

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**THALIS FERRAZZA DE SOUZA**

**ANÁLISE DA REDUÇÃO DE VALOR DE FATURA DE ENERGIA ATRAVÉS DE  
MUDANÇA DE PERFIL DE CARGA DE IRRIGAÇÃO EM LAVOURAS DE ARROZ  
DO RIO GRANDE DO SUL.**

**São Leopoldo  
2022**

THALIS FERRAZZA DE SOUZA

**ANÁLISE DA REDUÇÃO DE VALOR DE FATURA DE ENERGIA ATRAVÉS DE  
MUDANÇA DE PERFIL DE CARGA DE IRRIGAÇÃO EM LAVOURAS DE ARROZ  
DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Elétrica, pelo Curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade do  
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Vinícius André Uberti

São Leopoldo

2022

Dedico este estudo a Maria, minha mãe, sem ela não teria chegado aonde cheguei, na graduação e na vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a minha mãe, que nunca poupou esforços para me proporcionar tudo que foi possível, muitas vezes abrindo mão de suas vontades para satisfazer as minhas.

A minha família e todas os entes queridos que contribuíram direta e indiretamente nessa jornada desde o ensino fundamental até a graduação.

Ao meu orientador Vinicius André Uberti, pelo conhecimento e a dedicação com o qual me assessorou na confecção deste estudo.

Aos professores que contribuíram na confecção deste trabalho, em especial a Professora Luciana Marini Kopp, que me auxiliou de bom coração em um momento em que este estudo ainda era só uma ideia e ao Professor Paulo Roberto Wander que me ajudou com os conhecimentos que fugiam da minha capacidade no momento.

A Cooperativa Certaja, por disponibilizar os dados necessários para análise e pelo apoio em toda a construção desta dissertação.

## RESUMO

O Brasil está entre os 10 maiores produtores mundiais de arroz, e o estado do Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 70% dessa produção, sendo mais da metade produzida com um sistema de irrigação. Esse sistema de irrigação utiliza geralmente de bombas e motores elétricos para seu funcionamento, o que demanda uma grande quantidade de energia elétrica. Existem incentivos tarifários para mover essa grande demanda energética gerada pela irrigação para um horário de menor estresse para o sistema elétrico, porém, observou-se que este desconto na tarifa geralmente não é utilizado de forma otimizada. A proposta deste estudo é avaliar o retorno financeiro da utilização de forma otimizada deste incentivo, quando comparado com a forma que atualmente é feita a irrigação. Para isso, primeiramente levantou-se o consumo de todos os agricultores que possuem o benefício de modo a encontrar os possíveis candidatos a aplicação da proposta, a partir daí, foram analisados os perfis de carga dos candidatos de modo a identificar se era possível a aplicação conforme proposto. Para os consumidores em que foi possível a aplicação, foi feito o estudo do retorno financeiro, para aqueles onde não foi possível aplicar, justificou-se a não aplicação e foram sugeridos estudos específicos e melhorias. O perfil de carga proposto mostrou-se bastante eficiente principalmente em unidades faturadas no grupo B, a aplicação para estes consumidores é mais simples devido a menor área que possibilita um maior controle da irrigação, nos dois casos que foram estudados obteve-se resultados entre 40 e 50% de redução no valor total gasto com energia para o ciclo completo de irrigação. A principal contribuição deste trabalho é servir como base inicial para a avaliação de alterações no perfil de carga em consumidores irrigantes visando retorno financeiro na fatura de energia.

**Palavras-chave:** irrigação; plantio de arroz; eficiência energética; incentivo tarifário;

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Sistema Elétrico Brasileiro .....	15
Figura 2 – Perfil de uma lavoura de arroz mostrando, de maneira esquemática, a evaporação (E), a transpiração (T), o fluxo lateral (FL) e a percolação da água (P). 21	21
Figura 3 - Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistemas.....	23
Figura 4 - Curva de associação x Curva do sistema duas bombas iguais em série..	25
Figura 5 - Associação em paralelo x Curva do sistema bombas iguais .....	26
Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	27
Figura 7 – Imagem de satélite da unidade 23029 .....	32
Figura 8 - Configuração do sistema hidráulico da unidade 23029.....	33
Figura 9 - Imagem de satélite unidade 20378 .....	37
Figura 10 - Sistema de irrigação da unidade 20378.....	37
Figura 11 - Imagem de satélite unidade 20399 .....	40
Figura 12 - Canal por onde a água é distribuída .....	40
Figura 13 - Imagem de satélite Unidade 75151.....	44
Figura 14 - Entrada de energia unidade 75151 .....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Estimativas da produção do arroz, segundo as principais Unidades da Federação produtoras e sua variação anual (%).....	20
Gráfico 2 - Balanço de água observado na irrigação intermitente e contínua .....	22
Gráfico 3 - Evolução do número de colmos por metro quadrado nos manejos de irrigação contínuo e intermitente. ....	22
Gráfico 4 - Exemplo de gráfico de consumo .....	29
Gráfico 5 - Consumo ativo e reativo ao longo do mês de fevereiro de 2022.....	34
Gráfico 6 - Chuva acumulada diária mês de fevereiro 2022 .....	34
Gráfico 7 - Consumo Ativo e reativo ao longo de todo período de irrigação. ....	38
Gráfico 8 - Consumo da unidade.....	41
Gráfico 9 - Chuva diária acumulada de novembro de 2021 .....	42
Gráfico 10 - Consumo da unidade.....	46

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Percentual de desconto por grupo e região .....	19
Tabela 2 - Escolha da opção mais econômica do ponto de vista de eficiência energética.....	24
Tabela 3 - Consumo médio últimos 3 anos x Tarifa de energia (23029) .....	35
Tabela 4 - Proposta avaliando consumo das 21:30 às 07:00 (23029) .....	36
Tabela 5 - Consumo médio aplicado a tarifa .....	43
Tabela 6 - Retorno financeiro da proposta .....	43
Tabela 7 – Simulação mensal de faturamento unidade 75151 .....	46

**LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
MINFRA	Ministério da Infraestrutura
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TE	Tarifa de Energia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEC	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ABRATE	Associação Brasileira das Empresas de Transmissão de Energia Elétrica
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Histórico da empresa CERTAJA Energia</b> .....	<b>11</b>
1.1.1 O princípio do cooperativismo .....	12
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	13
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>1.3 Justificativa</b> .....	<b>13</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 O setor elétrico Brasileiro</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 Tarifa de energia e consumidor rural</b> .....	<b>16</b>
2.2.1 Grupos de faturamento.....	16
2.2.2 Modalidades tarifárias .....	17
2.2.3 O desconto para consumidores rurais.....	18
<b>2.3 O desconto ao irrigante e ao aquicultor</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3 Plantio de arroz e eficiência energética</b> .....	<b>19</b>
2.3.2 Irrigação intermitente em lavouras de arroz .....	21
<b>2.4 Eficiência Energética em sistemas de bombeamento</b> .....	<b>23</b>
2.4.1. Redução de perda de carga através do aumento do diâmetro da tubulação. .	24
2.4.2 Aumento dos reservatórios.....	25
2.4.3 Associação adequada de bombas .....	25
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1 Avaliação do consumo e escolha dos candidatos a aplicação</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2 Avaliação da memória de massa dos consumidores</b> .....	<b>28</b>
3.2.1 Software Hemera .....	29
3.2.2 Análise do perfil de consumo .....	29
<b>3.3 Análise das chuvas em relação ao consumo</b> .....	<b>30</b>
<b>3.4 Determinação do perfil de consumo otimizado</b> .....	<b>30</b>
<b>3.5 Avaliação do retorno financeiro</b> .....	<b>31</b>
<b>4 ESTUDOS DE CASO</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1 Unidade 23029</b> .....	<b>32</b>
4.1.1 Caracterização da unidade.....	32
4.1.2 Análise do gráfico de consumo .....	33

4.1.3 Análise do consumo de energia .....	35
4.1.4 Proposta de alteração no horário de irrigação.....	35
4.1.5 Resultados e discussão.....	36
<b>4.2 Unidade 20378 .....</b>	<b>36</b>
4.2.1 Caracterização da unidade.....	36
4.2.2 Análise do gráfico de consumo .....	38
4.2.3 Resultados e discussão.....	39
<b>4.3 Unidade 20399 .....</b>	<b>39</b>
4.3.1. Caracterização da unidade.....	39
4.3.2 Análise do gráfico de consumo .....	41
4.3.3 Análise do consumo de energia .....	42
4.3.4 Proposta de alteração no horário de irrigação.....	43
4.3.5 Resultados e discussão.....	44
<b>4.4 Unidade 75151 .....</b>	<b>44</b>
4.4.1. Caracterização da unidade.....	44
4.4.2 Análise do gráfico de consumo .....	45
4.4.3 Análise do consumo de energia .....	46
4.4.4 Resultados e discussão.....	47
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1 Trabalhos futuros .....</b>	<b>48</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais de arroz com uma produção anual de mais de 10 milhões de toneladas do grão. O Rio Grande do Sul é o principal produtor do Brasil, contribuindo com cerca de 70% da produção nacional. Desta produção, mais da metade é plantado com um sistema de irrigação. (IBGE 2019).

A irrigação do arroz difere de outras culturas devido a esta ser feita majoritariamente por inundação da área plantada. Este processo geralmente é feito através de bombas elétricas trazendo esta grande quantidade de água de rios e lagos até a lavoura. Toda esta movimentação exige uma grande quantidade de energia elétrica de forma contínua durante todo o período de plantio (cerca de 100 dias por ano).

Este patamar de demanda energética em apenas uma determinada época do ano acaba por estressar o sistema de distribuição neste período, principalmente em áreas de concessão predominantemente rurais, com agricultura majoritariamente composta pelo cultivo do arroz, como é o caso de cooperativas de distribuição de energia do sul do país como a CERTAJA Energia, cooperativa que servirá de base para este estudo.

Como forma de aliviar este estresse, existem incentivos tarifários para os agricultores utilizarem a energia em horários em que a demanda energética é reduzida, porém na prática esta utilização não ocorre de forma eficiente, o que acaba prejudicando não apenas a distribuidora de energia, mas também os consumidores que acabam pagando um valor maior que o que seria necessário em suas faturas de energia.

### **1.1 Histórico da empresa CERTAJA Energia**

A CERTAJA Energia foi fundada em 17 de outubro de 1969, quando o então Presidente da República Arthur da Costa e Silva incumbiu o Prefeito Municipal de Taquari, Sr. João Carlos Voges Cunha, de fundar uma Cooperativa, aproveitando um programa federal de eletrificação rural. O programa tinha por objetivo levar o desenvolvimento através da energia elétrica, visando qualidade de vida, aumento da

produção e contenção do êxodo rural. Nasceu assim a Cooperativa Regional de Energia Taquari Jacuí.(CERTAJA 2020)

No início, o alvo principal a ser atingido eram as propriedades rurais, localizadas dentro da área de atuação da cooperativa, com o objetivo de fornecer energia elétrica aos produtores, proporcionando-lhes mais conforto e conseqüentemente uma melhor qualidade de vida.

Em 13 de agosto de 2008, a CERTAJA Energia foi regulamentada como permissionária de serviço público de energia através de assinatura do Contrato de Permissão. A homologação partiu da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) através de publicação no Diário Oficial, Resolução Autorizativa 1477. A CERTAJA Energia foi a primeira cooperativa de eletrificação a receber a outorga de permissionária no Rio Grande do Sul.

Com o objetivo de atender o franco crescimento, tanto em número de cooperados quanto no aumento do consumo, a Cooperativa investe constantemente em novas tecnologias, para que seus cooperados tenham serviços e atendimentos de excelência.

Atualmente, a Cooperativa distribui energia elétrica em 19 municípios, atendendo mais de 28.000 cooperados ativos. Possui aproximadamente 3900 km de redes, onde estão instalados 54.937 postes (99% de concreto), com 5.034 transformadores de distribuição e uma potência instalada de 118,2MVA.

#### 1.1.1 O princípio do cooperativismo

Segundo o site da CERTAJA Energia (2020), cooperativismo é um movimento, filosofia de vida e modelo socioeconômico capaz de unir desenvolvimento econômico e bem-estar social. Seus referenciais fundamentais são: participação democrática, solidariedade, independência e autonomia. É o sistema fundamentado na reunião de pessoas e não no capital. Visa às necessidades do grupo e não do lucro. Busca prosperidade conjunta e não individual.

Seguindo os princípios do cooperativismo dentro do ambiente corporativo que surgem ideias que visam beneficiar não só a empresa, mas também os cooperados que fazem parte da rede de cooperação.

Alinhado com este princípio, este trabalho busca propor uma alternativa que traga benefícios tanto para os consumidores quanto para a Cooperativa de distribuição.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de redução no valor de fatura de energia de produtores de arroz com uma mudança no perfil de irrigação, propondo um sistema de irrigação intermitente que coincide com o período que é ofertado desconto no valor de tarifa para este fim.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos do trabalho cita-se:

- a) Analisar o consumo de produtores rurais arroteiros de uma distribuidora de energia buscando perfis de carga compatíveis com o objetivo do trabalho.
- b) Propor uma mudança neste perfil de carga visando uma redução no gasto com energia por parte deste produtor.
- c) Avaliar a redução no gasto com energia com base na tarifa atual.

## **1.3 Justificativa**

A irrigação é parte essencial no desenvolvimento da agricultura, atividade que exige grande quantidade de energia elétrica. Contudo, esta energia deve ser utilizada de forma otimizada, visando a redução dos custos e a correta gestão deste recurso.

Desta forma, é crescente a necessidade de realização de estudos que possam trazer dados robustos quanto ao retorno financeiro associado ao uso energético mais consciente, além da análise do impacto que o horário reservado para a irrigação traz na diminuição dos custos com energia.

Analisando o uso de energia dos consumidores rurais com desconto de irrigação, em sua maioria plantadores de arroz, pôde-se observar que o desconto na tarifa que lhes é ofertado geralmente é mal aproveitado. Isto se dá por diversos

fatores, como a falta de informação sobre o desconto, o desconhecimento sobre a possibilidades de irrigação do arroz aproveitando melhor este benefício e sobre o valor do retorno financeiro possível através desta aplicação.

Desta forma, este trabalho busca servir como base para avaliação do retorno financeiro possível aplicando um perfil de eficiência de consumo para irrigação conforme proposto.

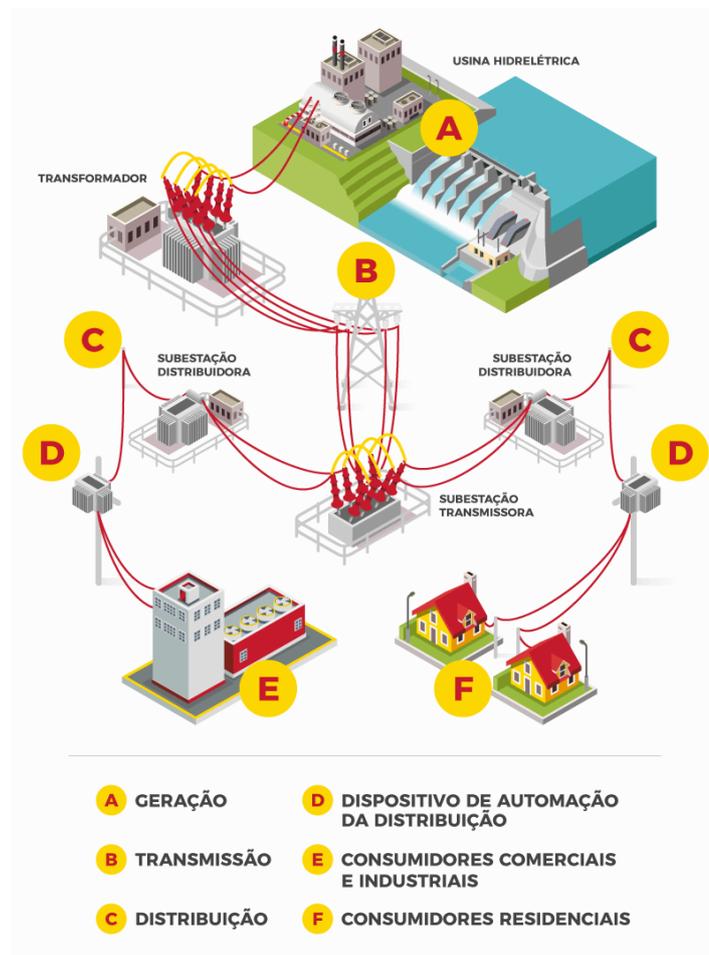
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O setor elétrico Brasileiro

Segundo a ANEEL (2020), a energia elétrica é essencial à sociedade, promovendo o desenvolvimento socioeconômico dos países. No Brasil, a principal fonte de geração energia são as hidrelétricas, que correspondem a cerca de 62% da capacidade instalada do país, seguido das usinas termoeletricas com 28% e das usinas eólicas e importação de energia (grande parte dessa importação proveniente de ITAIPU).

De forma simplificada, o sistema é composto por unidades geradoras, que produzem a energia, as unidades transmissoras, que levam essa energia do local em que ela é gerada até os grandes centros e pelas unidades distribuidoras, que transportam essa energia até a casa dos cidadãos. (ANEEL,2020).

Figura 1 - Sistema Elétrico Brasileiro



Fonte: IDEC (2020)

O sistema elétrico brasileiro permite, ainda, que seja feito o intercâmbio da energia produzida em todas as regiões, através do Sistema Interligado Nacional, o SIN, que é uma grande rede de transmissão com mais de 100 mil quilômetros de extensão que interliga (quase) todo o sistema elétrico do Brasil.

## **2.2 Tarifa de energia e consumidor rural**

Com relação ao faturamento de energia elétrica, primeiro, deve-se falar sobre a tarifa de energia elétrica. De acordo com a ANEEL (2021), a tarifa de energia é, de forma simplificada, o preço que é cobrado por unidade de energia consumida (esta geralmente em kWh). Ou seja, o valor que o consumidor irá pagar ao fim do seu ciclo de faturamento é o seu consumo multiplicado pela tarifa de energia. Para alguns consumidores ainda é cobrado um valor referente a potência solicitada, este valor é chamado de demanda, e é cobrado referente a maior média de potência ativa registrada em um intervalo de 15 minutos dentro do ciclo de faturamento.

A tarifa é subdividida em duas parcelas, a TE e a TUSD, a TE é a parcela correspondente ao valor da energia e a TUSD é a parcela correspondente ao uso do sistema de distribuição de energia. De forma simplificada, a TE é a parcela destinada ao custo de geração da energia e a TUSD à parcela destinada ao custo de transmissão da mesma (ANEEL, 2021).

Dois consumidores distintos podem pagar valores diferentes de tarifa dentro de uma mesma distribuidora de energia, isto acontece, pois, a tarifa depende da modalidade tarifária que o consumidor se encontra.

### **2.2.1 Grupos de faturamento**

Antes de entrar no conceito de modalidade tarifária, é necessário explicar que os consumidores de energia elétrica, a título de faturamento são divididos em dois grupos tarifários, chamados de “Grupo A” e “Grupo B”.

Segundo ANEEL (2021), “Grupo A” é o grupo de unidades consumidoras cujo fornecimento se dá em tensão igual ou superior a 2,3 kV, este grupo subdivide-se nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;

- c) subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- d) subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- e) subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e
- f) subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

E “Grupo B” seria o grupo cujas unidades consumidoras são atendidas com fornecimento de tensão abaixo de 2,3kV. Este grupo se divide nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo B1 – residencial;
- b) subgrupo B2 – rural;
- c) subgrupo B3 – demais classes; e
- d) subgrupo B4 – Iluminação Pública.

### 2.2.2 Modalidades tarifárias

A ANEEL (2021), define modalidade tarifária como um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas. Entre essas modalidades estão:

- a) Modalidade tarifária convencional monômnia: modalidade aplicada aos consumidores do grupo B, cujo faturamento depende apenas do consumo de energia elétrica, independente do horário da utilização;
- b) Modalidade tarifária horária branca: modalidade que pode ser aplicada aos consumidores do grupo B, cuja tarifa de consumo de energia é diferenciada a depender do horário em que se utiliza esta;
- c) Modalidade tarifária horária verde: modalidade aplicada aos consumidores do grupo A, caracterizada por possuir tarifas diferenciadas de acordo com o horário de utilização da energia e uma única tarifa de demanda de potência ativa; e
- d) Modalidade tarifária horária azul: modalidade aplicada aos consumidores do grupo A, similar a modalidade tarifária verde, com a diferenciação de que além de ser cobrado uma tarifa diferente de acordo com o horário da utilização de energia também é cobrado um valor de demanda adicional em relação ao horário de utilização.

Para o presente trabalho, é necessário citar que os horários a que se referem as modalidades tarifárias horária verde e azul são conhecidos como horário de ponta e horário fora de ponta. A ANEEL (2021) define horário de ponta como as três horas diárias consecutivas, a serem definidas pela distribuidora, com exceção de sábados, domingos e feriados. O horário fora de ponta fica definido como o horário complementar ao de ponta.

Nestas três horas de ponta, para os consumidores enquadrados na tarifa horária verde, a tarifa de energia é mais cara quando comparada ao horário de fora de ponta. Para os consumidores enquadrados na tarifa horária azul, a tarifa de energia neste horário geralmente é igual ou próxima do valor de fora de ponta, porém estes também pagam o valor de demanda ativa registrado neste período. (ANEEL, 2021).

### 2.2.3 O desconto para consumidores rurais

O Decreto Nº 7891/2013 estabeleceu a redução tarifária de diversos segmentos que necessitam de energia elétrica como forma de promover o desenvolvimento energético dos mesmos. Entre eles estão os consumidores rurais do Grupo A e Grupo B, estes recebendo um desconto na TUSD e TE de dez por cento e trinta por cento respectivamente.

Este desconto ainda é cumulativo, para os consumidores do Grupo B, com outros incentivos rurais, como o Desconto para irrigação e aquicultura (ANEEL, 2021).

O Decreto Nº 9642/2018 estabeleceu, a partir de 1º de janeiro de 2019, a redução dos descontos dispostos no decreto Nº 7891/2013 à razão 20% ao ano sobre o valor inicial, até que a alíquota seja zerada, em 2023.

## 2.3 O desconto ao irrigante e ao aquicultor.

O desconto tarifário destinado a irrigação e aquicultura já está em vigor há bastante tempo. A Portaria do MINFRA nº 45, de 1992, estabeleceu que, para todo consumo de energia destinado exclusivamente a atividade de irrigação verificado no período compreendido entre as 23 horas e as 5 horas do dia posterior deveria incidir um desconto percentual conforme a região do país.

Desde então, houve diversas alterações com relação a esse desconto, conforme dispostos na Lei nº 10.438, de 2002 e no Decreto nº 7.891, entre essas alterações está o aumento do período diário com desconto destinado a irrigação.

Atualmente, de acordo com a resolução normativa nº 1000 de 2021 da ANEEL, o desconto é aplicado, para consumidores da classe rural com consumo destinado exclusivamente as atividades de irrigação e aquicultura, durante um período diário contínuo de oito horas e trinta minutos, garantido o horário entre 21h30 min e às 6h do dia seguinte.

Os percentuais, a quais dispõem o referido desconto, diferem conforme a região do país e o grupo tarifário a qual pertence o consumidor conforme a seguinte tabela:

Tabela 1 - Percentual de desconto por grupo e região

Região	Grupo	Desconto TUSD e TE
Nordeste	A	90%
	B	73%
Norte, Centro-oeste e Minas Gerais	A	80%
	B	67%
Demais regiões	A	70%
	B	60%

Fonte: Adaptado de ANEEL (2021) .

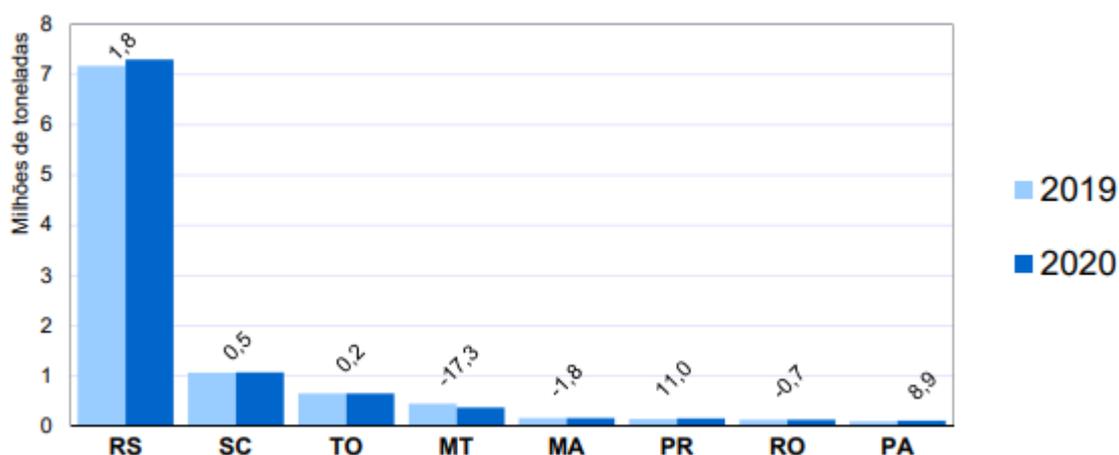
Conforme pode ser observado na Tabela 1, este desconto tem um valor bem significativo podendo chegar a até 90% no valor da energia em algumas localidades.

### 2.3 Plantio de arroz e eficiência energética

Atualmente, o Rio Grande do Sul é o principal produtor de arroz do Brasil, com cerca de 70% da produção nacional. (IBGE, 2019).

Diferente de outras culturas que utilizam de sistema de aspersão de água ou pivôs, a irrigação do arroz é feita, majoritariamente, por inundação ou saturação do solo. Esse tipo de cultura é considerada uma das mais exigentes em termos técnicos e de uso de água. Fatores como o período de submersão do solo, a altura da lâmina de água e o sistema de cultivo são determinantes na produtividade da lavoura. (EMBRAPA, 2004).

Gráfico 1 – Estimativas da produção do arroz, segundo as principais Unidades da Federação produtoras e sua variação anual (%).



Fonte: IBGE (2019).

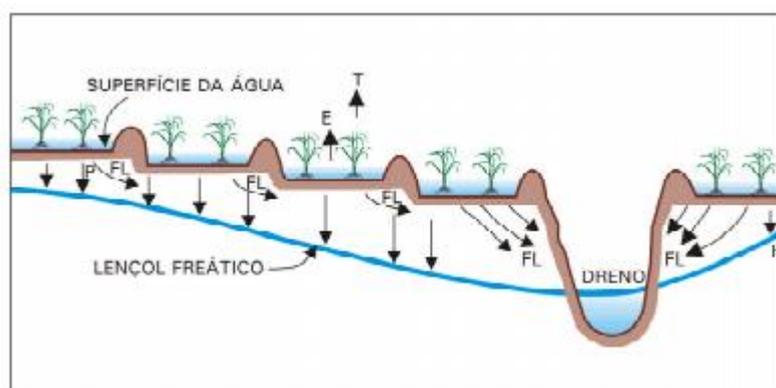
A água necessária para a irrigação do arroz geralmente é captada de fontes como rios, lagoas e barragens e então conduzida até as lavouras. Essa condução é feita, geralmente, elevando este volume de água a uma altura maior que a da lavoura, para posteriormente ser feita a distribuição desta por gravidade. (EMBRAPA, 2004).

A elevação da água geralmente é feita através de um conjunto motor-bomba, que deve ser dimensionado de acordo com a necessidade de vazão de água e também de altura a ser elevada). Desta forma, é estabelecido um canal principal (do ponto mais alto ao mais baixo da lavoura) e canais secundários para garantir que a água possa chegar uniformemente em toda a área. (EMBRAPA, 2004).

A área cultivada é dividida em quadros retangulares que são limitados por diques, popularmente denominado de “taipas”, de forma a represar a água que é distribuída, mantendo um nível de água, que é chamado de lâmina d’água, que deve ser mantido até o fim do período de irrigação, cerca de 100 dias. (EMBRAPA, 2004).

O volume de água necessário para cultura do arroz representa o somatório da água necessária para saturar o solo, formar a lâmina de água, compensar a evapotranspiração e repor as perdas por infiltração lateral e percolação. Essa quantidade depende das condições climáticas, do solo, do manejo da cultura, além de fatores como dimensões e revestimentos dos canais, localização da fonte e profundidade do lençol freático. De toda forma, tradicionalmente estima-se o uso de  $2L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ , como quantidade de água consumida nas lavouras de arroz irrigado do RS. (EMBRAPA, 2004).

Figura 2 – Perfil de uma lavoura de arroz mostrando, de maneira esquemática, a evaporação (E), a transpiração (T), o fluxo lateral (FL) e a percolação da água (P).



Fonte: Embrapa (2005).

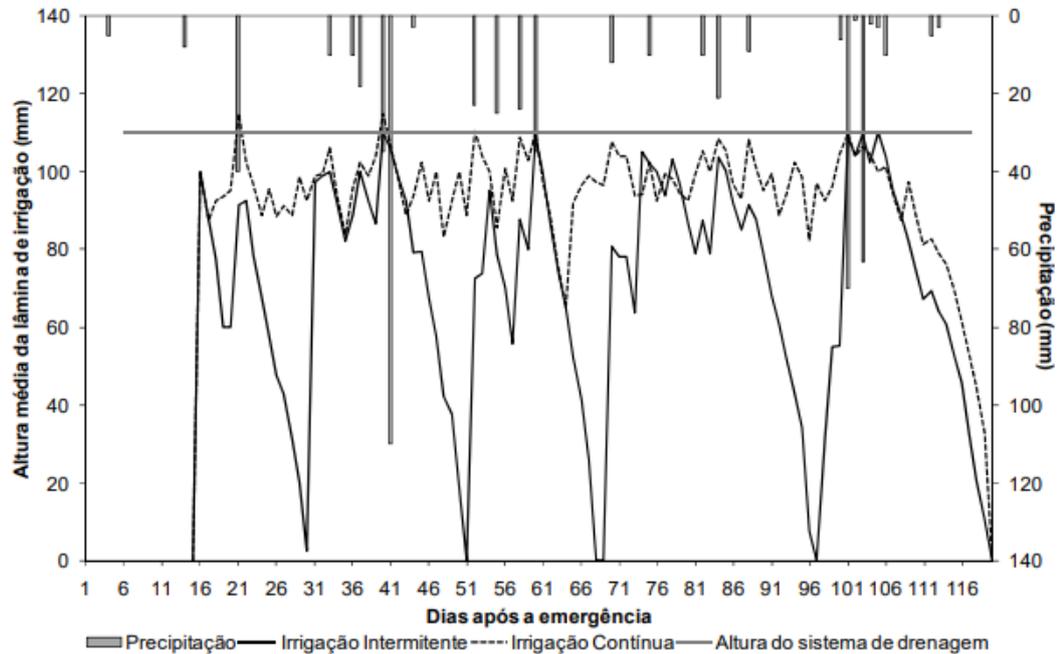
Estima-se que a eficiência do uso da água, com solo apropriado e assumindo que as etapas de planejamento, construção e operação sejam adequadas, a eficiência da irrigação pode atingir valores na ordem de 60%, valor considerado aceitável em nível mundial. (EMBRAPA, 2004).

De acordo com Campos(2011), a automação do processo de irrigação se vê necessária pois, ainda hoje, no plantio convencional que ocorre em grande partes das lavouras do RS, o controle da água entre as taipas é feito manualmente por aguadores (profissional que cuida da parte da irrigação) abrindo e fechando os canais de distribuição de água de forma a garantir o nível de lâmina d'água, além de corrigir constantemente os micro relevos do solo. Este processo requer uma grande quantidade de mão de obra (com baixa qualificação) e ainda assim, por ser um processo humano e que requer grande atenção, acaba possuindo falhas que ocasionam em um aumento nas perdas de água por escoamento superficial.

### 2.3.2 Irrigação intermitente em lavouras de arroz

Segundo Mezzomo (2009), a irrigação do arroz de forma intermitente pode proporcionar diversos benefícios quando comparada a irrigação de forma contínua. Entre esses benefícios estão uma redução de aproximadamente 32% do volume de água aplicado, devido ao maior armazenamento da água da chuva, reduzindo também a quantidade de água escoada superficialmente, diminuindo significativamente a quantidade de agrotóxicos transportados para o ambiente.

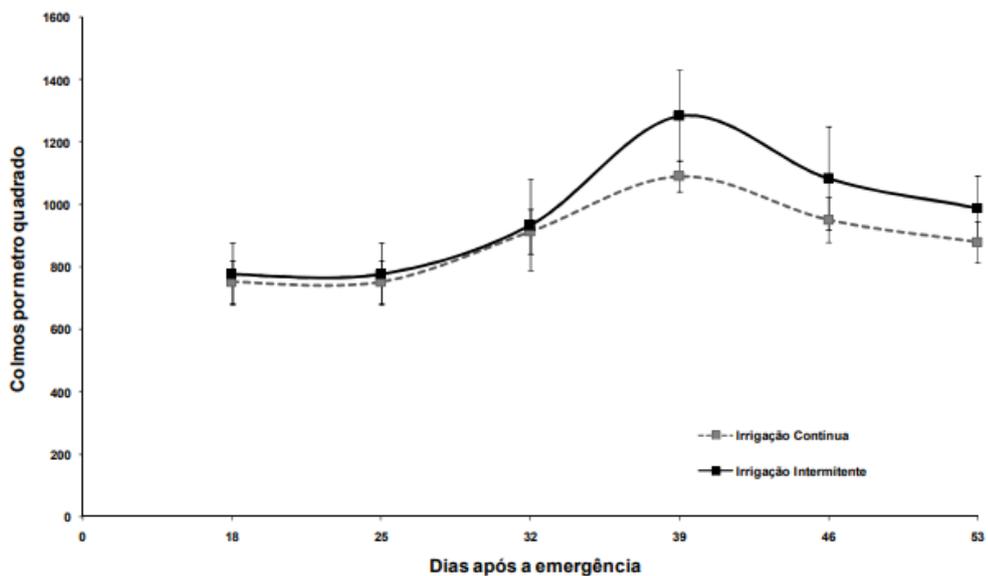
Gráfico 2 - Balanço de água observado na irrigação intermitente e contínua



Fonte: Mezzomo (2009)

Ainda segundo Mezzomo (2009), a irrigação de forma intermitente proporciona produtividade de grãos muito próxima da irrigação forma contínua.

Gráfico 3 - Evolução do número de colmos por metro quadrado nos manejos de irrigação contínuo e intermitente.



Fonte: Mezzomo (2009)

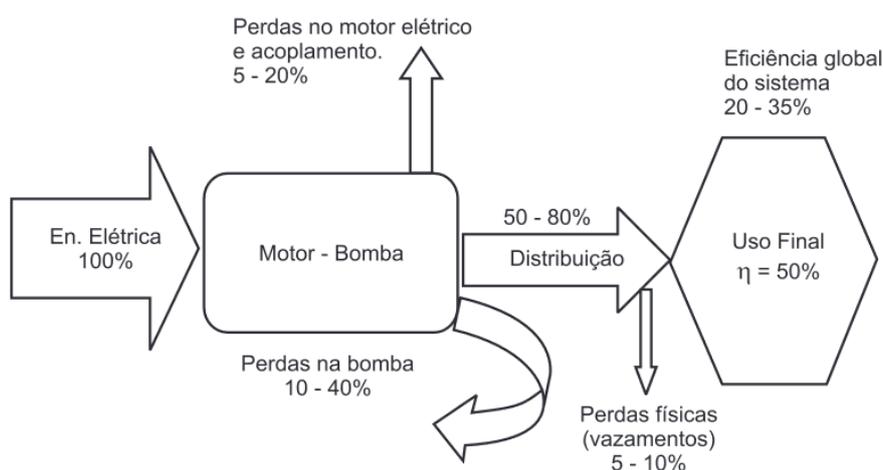
A lâmina de água serve também como barreira para impedir o crescimento de ervas daninhas que prejudicam a produtividade da lavoura de arroz. Porém, a intermitência desta lâmina de água não prejudica o controle destas plantas daninhas caso sejam utilizados herbicidas com propriedades residuais do solo. (MEZZOMO, 2009).

## 2.4 Eficiência Energética em sistemas de bombeamento

O uso de bombas de água é indispensável, bem como a energia elétrica utilizada para acionar os motores que fazem estas bombas funcionarem, desta forma se faz necessário que o uso desta energia seja feito de forma racional, não apenas pela conscientização ambiental agregada a este uso consciente, mas também pela redução dos custos de operação dos sistemas de bombeamento (PROCEL).

O conhecimento do balanço energético de um sistema de bombeamento contribui para a identificação das perdas que reduzem a eficiência do mesmo, bem como serve como um ponto de partida para ações de melhorias desta eficiência. A figura 3 caracteriza um balanço de energia de um sistema genérico de bombeamento.

Figura 3 - Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistemas.



Fonte: PROCEL

Existem diversas formas de melhorar a eficiência em um sistema de bombeamento, entre elas:

- Reduzir as perdas por vazamentos através de inspeção e manutenções frequentes.

- Reduzir a perda de carga através do aumento do diâmetro da tubulação.
- Melhorar o rendimento da bomba.
- Melhorar o rendimento do motor.
- Fazer a associação adequada de bombas visando otimizar o ponto de funcionamento do sistema.
- Reduzir do desperdício de água.
- Aumento da capacidade dos reservatórios.

#### 2.4.1. Redução de perda de carga através do aumento do diâmetro da tubulação.

A influência do diâmetro da tubulação no valor da perda de carga é enorme, desta forma, deve-se buscar sempre a melhor relação entre o investimento necessário na construção do sistema e o custo de operação, pois um sistema com um diâmetro de tubulação menor, apesar de possuir um custo menor, trará a necessidade de uma bomba maior para vencer a perda de carga e conseqüentemente um custo maior com energia ao longo do tempo(PROCEL).

A tabela 2 exemplifica um estudo de dimensionamento de diâmetro de tubulação no ponto de vista de eficiência energética.

Tabela 2 - Escolha da opção mais econômica do ponto de vista de eficiência energética.

Alternativa	Alt. 1 (100 mm)	Alt. 2 (150 mm)	Alt. 3 (200 mm)
VPL - Energia	R\$ 272.682,25	R\$ 32.467,70	R\$ 3.890,07
Custo Obra	R\$ 153.500,00	R\$ 185.300,00	R\$ 207.800,00
Custo Material	R\$ 230.000,00	R\$ 394.000,00	R\$ 638.280,00
Custo Bomba	R\$ 10.000,00	R\$ 3.000,00	R\$ 1.200,00
Total	R\$ 666.182,25	R\$ 614.767,70	R\$ 851.170,07

Fonte: PROCEL

Observa-se que, mesmo que possa parecer mais atrativo num primeiro momento a alternativa de menor diâmetro, devido ao menor custo de investimento, quando se leva em consideração o valor gasto com energia ao longo do tempo a opção mais econômica passa a ser a tubulação com custo inicial um pouco mais elevado.

#### 2.4.2 Aumento dos reservatórios

O dimensionamento dos reservatórios é um fator determinante para a economia de energia elétrica, permitindo modular melhor as cargas de forma a utilizar as estações de bombeamento em horários mais favoráveis para vencer a parcela da altura manométrica referente a altura geométrica do sistema para a irrigação necessária.

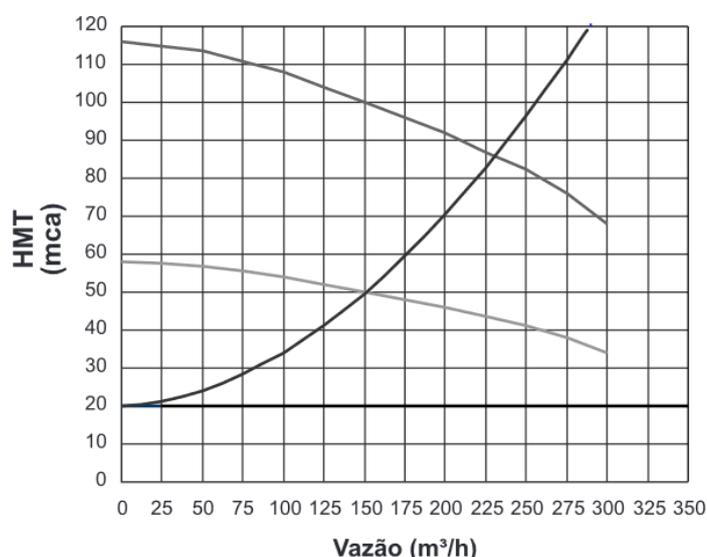
Também é possível a utilização de mais de um reservatório ao longo do sistema de irrigação a fim de otimizar ainda mais esta distribuição da água e o uso da energia em um horário em que a tarifa é reduzida (PROCEL).

#### 2.4.3 Associação adequada de bombas

A associação adequada das bombas destinadas a irrigação também é um importante aliado da eficiência energética do sistema, esta associação pode ser dividida em associação em série e associação em paralelo.

A associação em série é utilizada geralmente quando se faz necessário aumentar a altura manométrica do conjunto, de modo que a curva resultante de altura manométrica para cada vazão é uma soma das alturas individuais de cada bomba. A figura 4 mostra a curva de apenas uma bomba trabalhando individualmente e a curva de duas bombas iguais associadas em série relacionadas a curva do sistema.

Figura 4 - Curva de associação x Curva do sistema duas bombas iguais em série

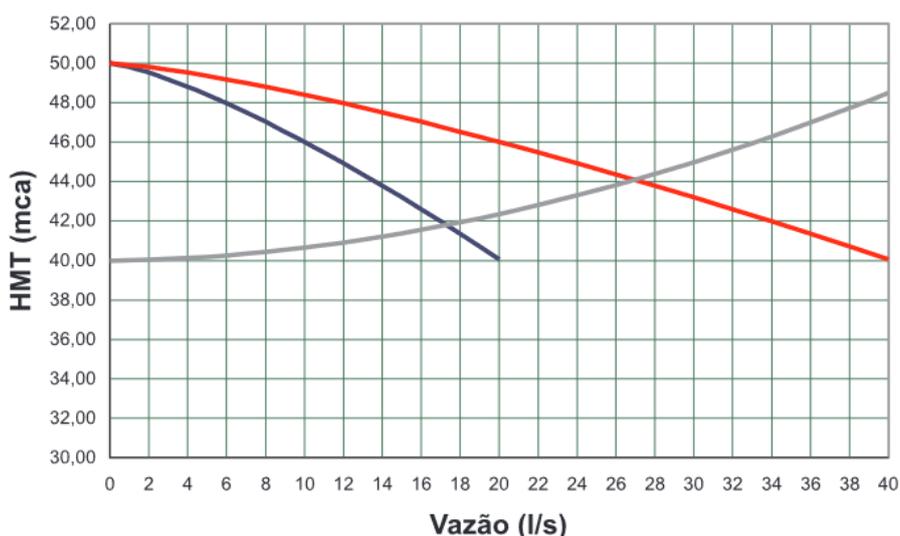


Fonte: PROCEL

O ponto de operação é o cruzamento entre as curvas, desta forma, para o sistema em questão, utilizando uma bomba observa-se uma vazão de 150 m<sup>3</sup>/h, enquanto na associação o sistema opera com uma vazão 230 m<sup>3</sup>/h, um aumento de mais de 50%.

A associação em paralelo é utilizada quando é necessária aumentar a vazão sem necessariamente aumentar a altura manométrica do sistema, desta forma, a curva resultante da associação para cada altura manométrica é a soma da vazão de cada bomba. A figura 5 mostra a curva de apenas uma bomba trabalhando individualmente e a curva de duas bombas iguais associadas em paralelo relacionadas a curva do sistema.

Figura 5 - Associação em paralelo x Curva do sistema bombas iguais



Fonte: PROCEL

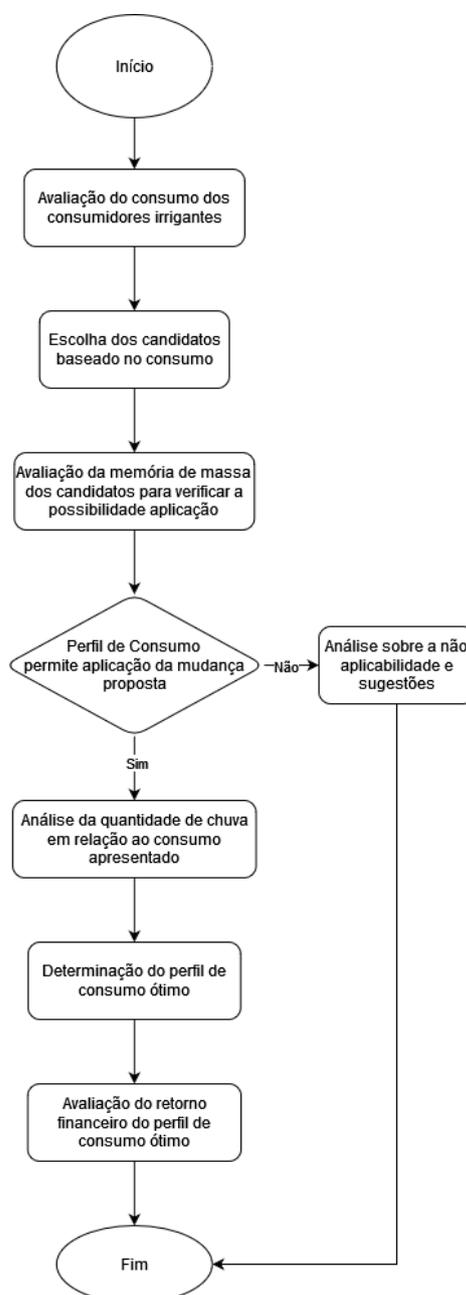
É importante observar que quando associadas cada bomba contribui com uma vazão menor do que produziria se não estivesse associada. Este efeito se dá pois é necessário levar em consideração a curva do sistema para encontrar o ponto de operação da nova configuração. Com diversos tipos de arranjo de bombas e as opções disponíveis no mercado, cabe ao profissional de engenharia fazer a seleção do arranjo que melhor atenda do ponto de vista de eficiência energética, mesmo que essa escolha não possa ser feita de forma trivial (PROCEL).

### 3 METODOLOGIA

Buscando avaliar possíveis reduções orçamentárias destinadas ao consumo de energia dos agricultores, o presente estudo visa avaliar a modificação do perfil de carga dos consumidores, de maneira a otimizar o uso dos recursos energéticos e descontos oferecidos para o setor de irrigação.

Para realização da análise proposta foram desenvolvidas etapas de trabalho conforme fluxograma apresentado na figura 6.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir serão detalhadamente descritas cada uma das etapas contidas no fluxograma, as quais deram origem a série de dados discutidas no presente estudo.

### **3.1 Avaliação do consumo e escolha dos candidatos a aplicação**

Inicialmente, foi utilizado o sistema de gestão comercial da Cooperativa Certaja de modo a consultar quais eram os consumidores que possuíam o desconto exclusivo para irrigação. A partir desta consulta, obteve-se o número de nove consumidores faturados no grupo A, todos com tarifa horo-sazonal verde, e setenta e três consumidores faturados no grupo B.

Utilizando recurso de programação então, levantou-se os dados de consumo destes consumidores referentes ao último ciclo completo de irrigação, entre 2021 e 2022. Pôde-se observar então que em média, no grupo B apenas cerca de 32% da energia utilizada ocorre dentro do horário reservado para irrigação e para os consumidores do grupo A, este número chega a 41% da energia total.

Este valor foi considerado insatisfatório considerando a possibilidade de redução tarifária disponível para esses consumidores. Portanto, com os dados de consumo referentes ao último ciclo e mãos, foram escolhidos os candidatos que teriam potencial para aplicação da alteração de perfil de irrigação observando principalmente a quantidade de consumo e a relação entre o consumo total e o consumo no horário reservado. Também foi observado o tempo desde a ligação da unidade, de modo que fossem escolhidos apenas consumidores conectados há mais de três anos, para que posteriormente fosse possível estimar um comportamento médio do ciclo de irrigação.

### **3.2 Avaliação da memória de massa dos consumidores**

A Cooperativa Certaja possui sistema de medição inteligente e telemonitorada na grande maioria dos seus consumidores de irrigação, desta forma, é possível acessar os dados de consumo e demanda com intervalos de até quinze minutos a partir da instalação do sistema de monitoramento.

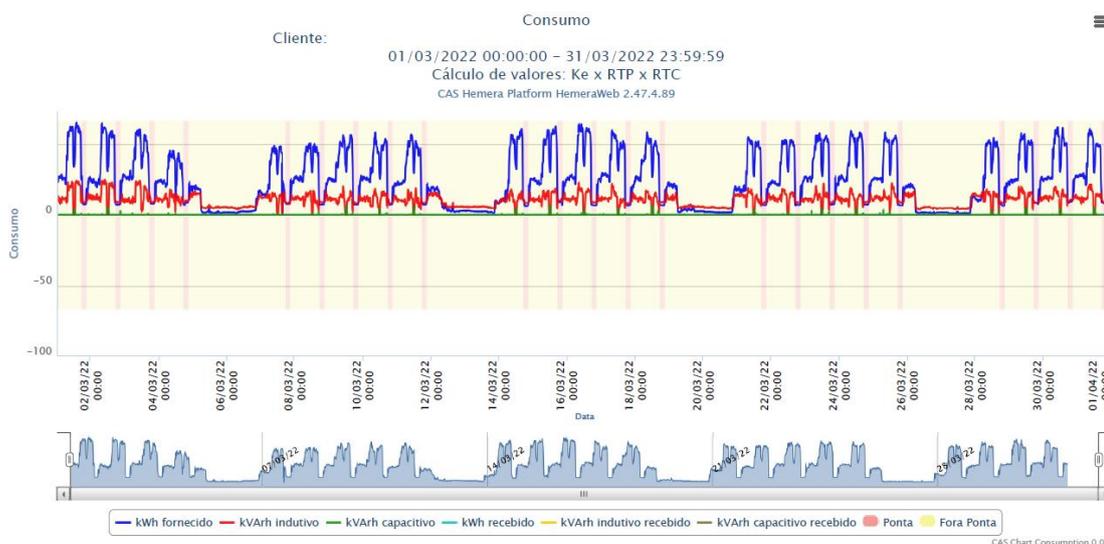
### 3.2.1 Software Hemera

Para a obtenção dos dados referentes ao consumo de cada um dos consumidores estudados, foi utilizado o software Hemera, da empresa CAS Tecnologia.

O software se comunica com um equipamento de telemedição instalado junto aos medidores inteligentes dos clientes, desta forma, diversos dados são extraídos em tempo real e ficam armazenados no banco de dados da cooperativa. Estes dados são utilizados para estudos, faturamento, previsão de carga e para evitar fraudes.

O gráfico 4 mostra um exemplo de consumo que pode ser obtido utilizando a ferramenta, com todos os dados referentes ao consumo e os postos horários.

Gráfico 4 - Exemplo de gráfico de consumo



Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

A partir deste gráfico de consumo, pode ser observado o comportamento da irrigação e outros dados como a potência ativa e reativa da unidade.

### 3.2.2 Análise do perfil de consumo

Os gráficos de consumo foram analisados para avaliar a possibilidade da aplicação da mudança no perfil de consumo. Para isso, buscou-se por comportamentos que indicassem essa possibilidade, como a presença de grandes

períodos com a irrigação desligada, indicando que é possível para a lavoura armazenar água e não ser irrigada pelo menos durante o tempo diário complementar ao horário reservado.

Também era necessária para a aplicação do estudo que a unidade apresentasse apenas um patamar de carga, ou seja, trabalhasse apenas com a potência máxima ou desligada. Isto acontece pois, como não se possui o dado de vazão necessária para a irrigação, estima-se a quantidade de tempo necessário total para a irrigação na potência máxima da unidade e em locais onde há mais de um patamar de carga não há como relacionar a potência com a vazão obtida, desta forma, impossibilitando o estudo.

### **3.3 Análise das chuvas em relação ao consumo**

Analisou-se se a presença de chuvas no local teria relação com os desligamentos ocorridos para as unidades de irrigação, para desta forma realmente verificar se a lavoura poderia ficar sem receber água o tempo que é necessário para a aplicação do perfil de carga proposto por este estudo.

Para isso, foram utilizados os dados do Instituto Nacional de Meteorologia, onde obteve-se o gráfico da “Chuva Acumulada em 24h” referente a estação meteorológica mais próxima do local das unidades estudadas, que para o caso seria a estação meteorológica de Porto Alegre, no Rio grande do sul.

Após obtidos os gráficos, cruzou-se as informações obtidas com os dados de consumo para verificar se a presença de chuvas é determinante na forma que é utilizada a energia.

### **3.4 Determinação do perfil de consumo otimizado**

Para obtenção do perfil de consumo otimizado, primeiro foi obtido o perfil de consumo médio das unidades, para isso, se fez a média do consumo total para todo o período de irrigação dos últimos três ciclos, da mesma forma, observou-se o período de duração desta irrigação, considerando do primeiro até o último dia em que a energia foi utilizada.

Relacionando o consumo médio durante todo o ciclo de irrigação e a média de dias de irrigação do ciclo, foi possível então estimar um consumo médio diário, que

pôde ser relacionado com a potência máxima do sistema de irrigação de forma a descobrir quantas horas de irrigação são necessárias por dia, através da equação(1):

$$\frac{\text{Consumo médio do ciclo}}{\text{Média de dias} \times \text{Potência máxima utilizada na irrigação}} = \text{Horas diárias de irrigação} \quad (1)$$

Com o valor da quantidade de horas necessárias por dia para a irrigação do sistema, propõe-se então a alocação deste horário a partir do horário de início do horário reservado para a irrigação, para o caso da Cooperativa Certaja, este horário se inicia as 21:30. Caso a quantidade de horas diárias de irrigação supere as oito horas e meia destinadas ao horário de irrigação, sugere-se então que o consumo adentre o horário de fora de ponta, podendo ser tanto no horário diretamente subsequente ou em qualquer outro horário durante o dia.

### 3.5 Avaliação do retorno financeiro

Para avaliação do retorno financeiro da alternativa proposta, primeiro simulou-se o gasto com base no consumo médio observado, utilizando a tarifa atual aplicada na Cooperativa Certaja, desta forma, foi possível estimar um custo médio por ciclo de irrigação para a configuração atual.

Após, considerando o consumo que foi estimado na etapa anterior, estimou-se quanto seria gasto utilizando-se do perfil de carga conforme foi proposto, alocando o máximo possível do consumo dentro do horário reservado para a irrigação também utilizando a mesma tarifa aplicada anteriormente.

Por fim, comparou-se os valores que foram obtidos nas duas configurações, a fim de observar qual a dimensão da redução observada no valor da fatura e quanto essa redução representa em relação ao valor total gasto com energia.

## 4 ESTUDOS DE CASO

### 4.1 Unidade 23029

#### 4.1.1 Caracterização da unidade

A unidade pertence ao grupo B, com uma potência declarada de 30 KVA, havendo uma grande margem para aumento de carga sem a necessidade de migração para o grupo A.

Como pode ser observado na figura 7, a ligação da unidade se dá muito próximo da margem do Rio Jacuí, de onde é retirada a água para a irrigação da área da unidade. Esta proximidade da margem do rio ajuda bastante com relação a potência necessária para que seja feita a irrigação, pois o caminho que a água precisa percorrer e a altura manométrica que a bomba precisa vencer também é reduzido.

Figura 7 – Imagem de satélite da unidade 23029



Fonte: HERE WeGo Maps

A água que é sugada do rio é direcionada para um canal principal que percorre a propriedade onde vai sendo distribuída entre as áreas de irrigação conhecidas como taipas. Na figura 8 observa-se o sistema de obtenção da água do rio.

Figura 8 - Configuração do sistema hidráulico da unidade 23029



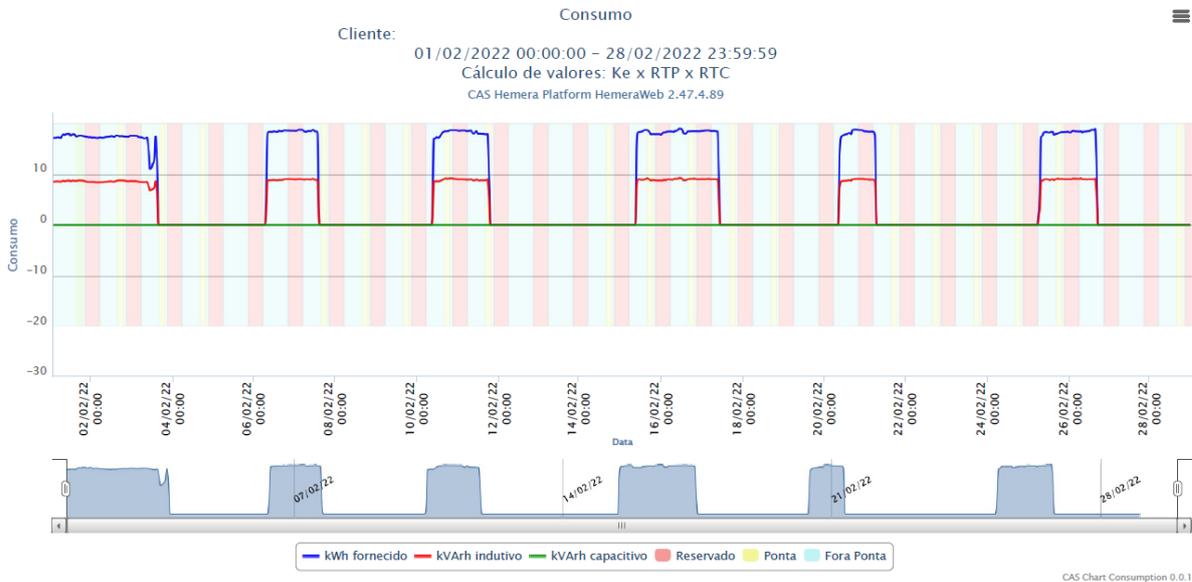
Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

Conforme é possível observar, o sistema é bem simples, contando apenas com um motor, uma bomba e uma pequena tubulação direcionando a água para um canal.

#### 4.1.2 Análise do gráfico de consumo

Para a unidade consumidora foi observado o gráfico de consumo de forma a identificar o perfil de carga utilizado na irrigação, após observação do Gráfico 5 pôde-se constatar a presença de grandes períodos sem a utilização dos motores e bombas para a irrigação.

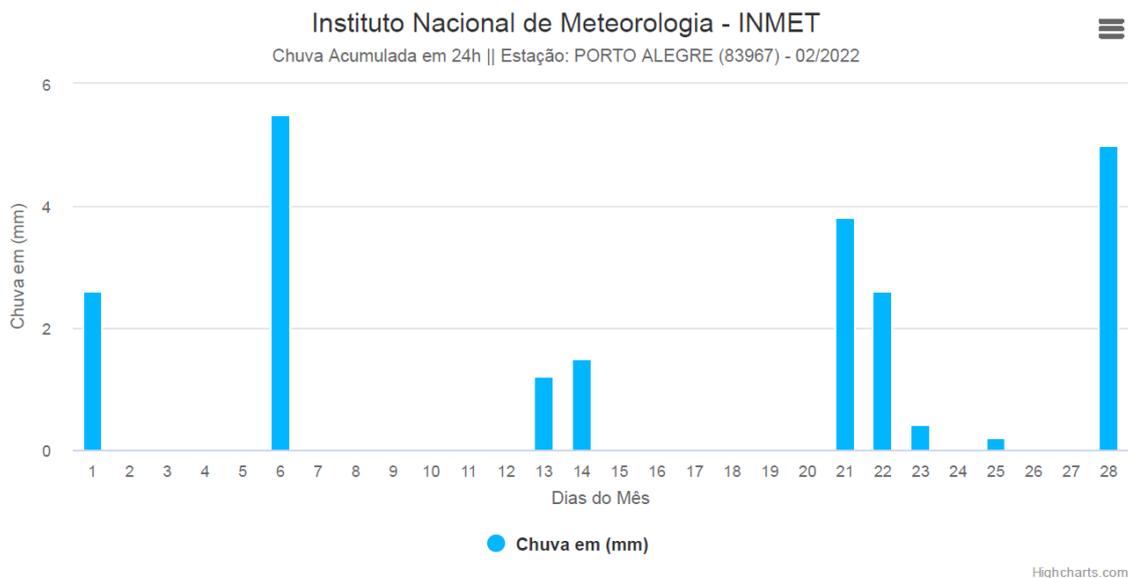
Gráfico 5 - Consumo ativo e reativo ao longo do mês de fevereiro de 2022



Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

Quando rebatido com o gráfico 6 que mostra a chuva acumulada em 24h da estação mais próxima a localização, pode-se concluir que estes períodos não acontecem devido a presença de chuva no local, que para o caso do mês de fevereiro de 2022 utilizado na comparação foi mínima.

Gráfico 6 - Chuva acumulada diária do mês de fevereiro de 2022



Fonte: INMET(2022)

Partindo destas constatações, é possível afirmar que a área irrigada possui grande capacidade para reter a água distribuída, tanto pelos longos períodos em que a irrigação acontece ininterruptamente, tanto pelos períodos em que não ocorre irrigação. Este comportamento é o mais indicado para a aplicação de uma mudança no perfil de irrigação para um perfil que busca otimizar a utilização de energia no horário reservado para a irrigação.

#### 4.1.3 Análise do consumo de energia

Analisando o consumo da unidade nos últimos três anos, chegamos a um consumo médio no período de irrigação de 21.787 kWh. Este período dura em média 125 dias por ano, resultando em 1062,5 horas de horário reservado para a irrigação por ano com uma potência máxima de aproximadamente 18,38kW.

Deste consumo observado, cerca de apenas 36% se encontra no horário reservado para a irrigação, um valor relativamente baixo visando a economia com eficiência energética possível.

A tabela 3 demonstra o quanto é gasto em média apenas com energia com a configuração atual utilizando-se da tarifa da cooperativa de energia elétrica onde está situada a unidade.

Tabela 3 - Consumo médio últimos 3 anos x Tarifa de energia (23029)

Consumo(kWh)		Valor(R\$)/kWh	Valor(R\$)
Total	21787		
Fora Ponta	13927	R\$ 0,45888	R\$ 6.390,82
Incentivado	7860	R\$ 0,18355	R\$ 1.442,70
		Total:	R\$ 7.833,52

Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando da equação(1) para o caso específico, chega-se no valor aproximado de 9 horas e meia diárias necessárias para a irrigação da área, apenas 1 hora a mais do que o tempo previsto para a irrigação no horário reservado.

#### 4.1.4 Proposta de alteração no horário de irrigação

Desta forma, foi avaliado a transferência destas nove horas e meia para o período compreendido entre as 21:30h até as 07:00h do dia subsequente, englobando todo o horário reservado e adentrando mais uma hora no horário fora de ponta. Esta

configuração permite que aproximadamente 90% do consumo da unidade seja feito dentro do horário reservado para a irrigação. A tabela 4 traz a avaliação desta mudança com relação aos valores gastos de energia.

Tabela 4 - Proposta avaliando consumo das 21:30 às 07:00 (23029)

Consumo(kWh)		Valor/kWh(R\$)	Valor(R\$)
Total	21826		
Fora ponta	2298	R\$ 0,45888	R\$ 1.054,51
Incentivado	19528	R\$ 0,18355	R\$ 3.584,36
		Total:	R\$ 4.638,87
		Redução:	R\$ 3.194,65
		Percentual:	41%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar para o caso uma redução percentual de 41% no valor total gasto pela unidade consumidora no ano.

#### 4.1.5 Resultados e discussão

Para o caso, é possível observar uma grande redução nos valores da fatura de energia sem a necessidade de que seja feito investimento algum para a implementação do novo perfil de carga. Portanto, conclui-se que para a configuração apresentada pela unidade, é vantajoso otimizar a forma do consumo visando um maior aproveitamento do horário reservado para irrigação.

## 4.2 Unidade 20378

### 4.2.1 Caracterização da unidade

Esta unidade pertencente ao grupo A, possui demanda contratada de forma sazonal de 220kW em Agosto escalando até 300kW em Janeiro, é a unidade com maior consumo exclusivo para irrigação conectada a cooperativa.

Como pode ser visto na figura 9, a unidade, que está identificada por uma seta vermelha, possui um canal principal que vem diretamente do Rio Jacuí, este canal então é subdividido em uma infinidade de condutos menores que se espalham por toda a extensão da terra para a irrigação da área, esses condutos podem ser identificados pela cor marrom escuro da água que circula através deles.

Figura 9 - Imagem de satélite unidade 20378



Fonte: HERE WeGo Maps

Na figura 10 podemos observar como é a configuração do sistema de irrigação da unidade, a localização do motor e dos tubos principais do local.

Figura 10 - Sistema de irrigação da unidade 20378



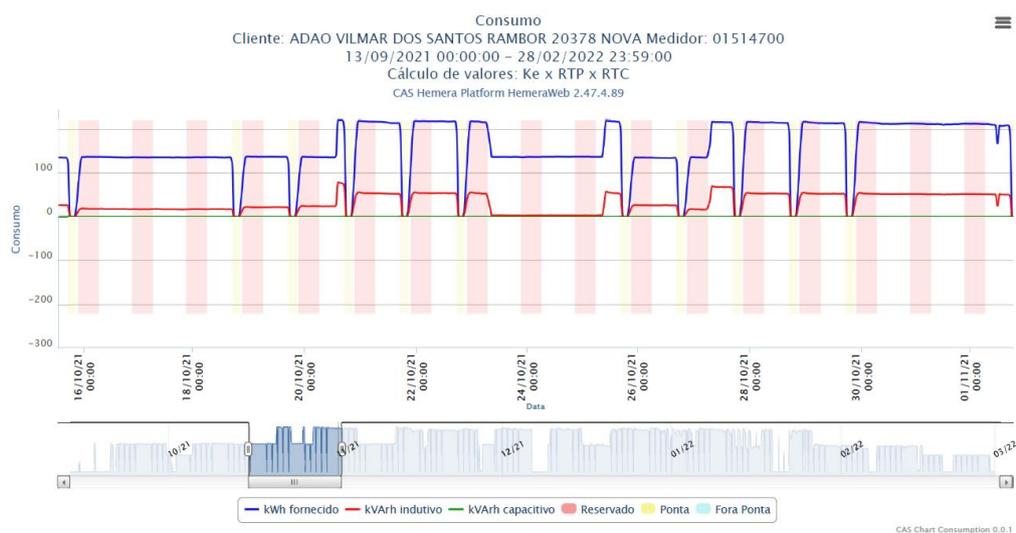
Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

A figura em questão foi tirada em um momento após o ciclo de irrigação onde a enchente do rio Jacuí estava muito próxima ao local.

#### 4.2.2 Análise do gráfico de consumo

O gráfico de consumo desta unidade indica que ela não possui grande capacidade de armazenamento de água, devido ao fato de a irrigação ocorrer quase que ininterruptamente parando apenas nos horários de ponta, porém também é possível observar dois patamares de carga distintos, um com potência de cerca de 130kW e um com potência de 230kW. O gráfico 7 mostra todo o período de irrigação da temporada 2021/2022 com foco em 15 dias de irrigação onde é possível observar que a irrigação funciona de forma contínua e identificar os patamares de carga.

Gráfico 7 - Consumo Ativo e reativo ao longo de todo período de irrigação.



Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

Os dois patamares de carga distintos indicam que a unidade possui pelo menos duas bombas sendo combinadas para a irrigação da área. Desta forma, não é possível afirmar que a relação vazão/potência se mantém fixa nos dois patamares, portanto não é possível afirmar quantas horas de irrigação diária a unidade necessitaria para a irrigação utilizando apenas o patamar máximo visando uma transferência da carga.

### 4.2.3 Resultados e discussão

Para a unidade em análise não foi possível aplicar o estudo da transferência de carga para um perfil otimizado para o horário destinado a irrigação, para o caso, por se tratar de uma unidade de alto consumo e de grande área, se faz necessário um estudo específico para remodelar o sistema de irrigação visando a possibilidade de utilizar melhor a carga de irrigação no horário específico destinado.

Este estudo específico, não será parte deste trabalho, pois para que fosse feita o dimensionamento correto da irrigação de forma a atender o proposto no trabalho seriam necessárias informações como altura manométrica, vazão necessária para a irrigação da área entre outras informações da lavoura que não são facilmente obtidas.

Entretanto, indica-se a utilização das possibilidades descritas no referencial teórico para aumentar a quantidade de água levada para a lavoura durante o horário reservado de forma a reduzir a quantidade de energia necessária durante o resto do dia.

## 4.3 Unidade 20399

### 4.3.1. Caracterização da unidade

Esta unidade pertence ao grupo B, possui potência declarada de 75kVA, porém, como pode ser observado no gráfico, a demanda registrada pela unidade é de cerca de 37kW, ou seja, a unidade também possui uma boa margem para aumento da potência permanecendo dentro do grupo B.

Como pode ser observado na figura 11, a unidade utiliza a água de um lago localizado muito próximo a área da lavoura para irrigar a área, esta proximidade auxilia com relação ao esforço necessário da bomba para levar a água até a área a ser irrigada, resultando numa menor potência de motor necessária.

Figura 11 - Imagem de satélite unidade 20399



Fonte: HERE WeGo Maps

Na figura 12 é possível observar o canal por onde a água do lago é levada para ser distribuída entre a plantação.

Figura 12 - Canal por onde a água é distribuída



Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

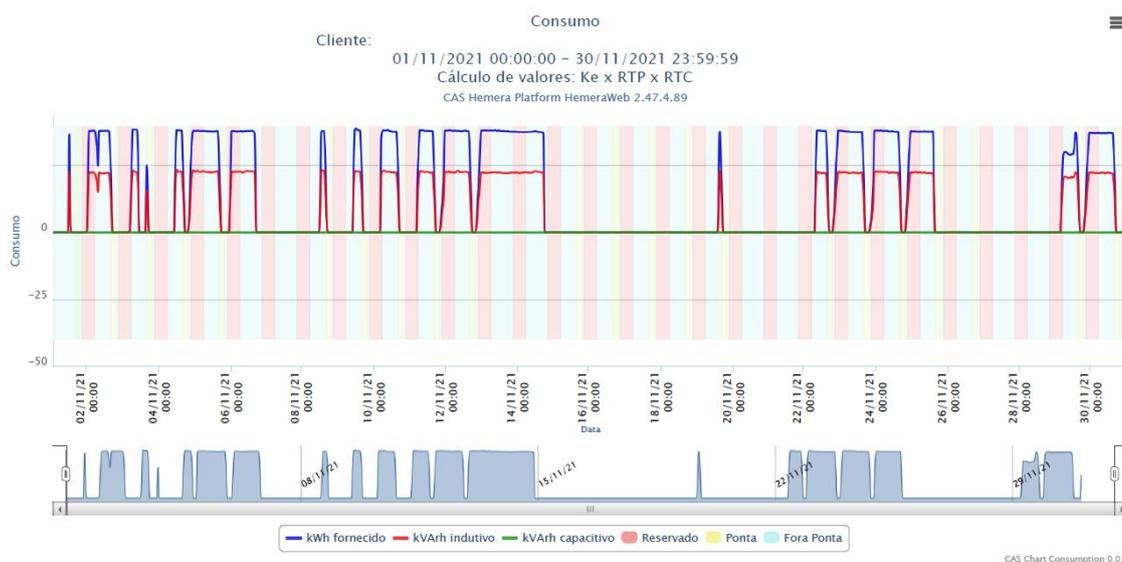
Também se nota na figura 12 como é o padrão de medição de energia que geralmente é colocada em local mais elevado devido a regular presença de enchentes nestes locais.

#### 4.3.2 Análise do gráfico de consumo

Analisando o gráfico 8, que nos traz o consumo da unidade, é possível identificar grandes períodos sem irrigação, que novamente, não aparenta ter relação direta com a quantidade de chuva no local, como pode ser observado no gráfico 9.

Também é possível observar que o funcionamento das bombas de irrigação ocorre muitas vezes somente durante o dia, sendo desligadas a noite, deixando a maioria do consumo fora do horário reservado.

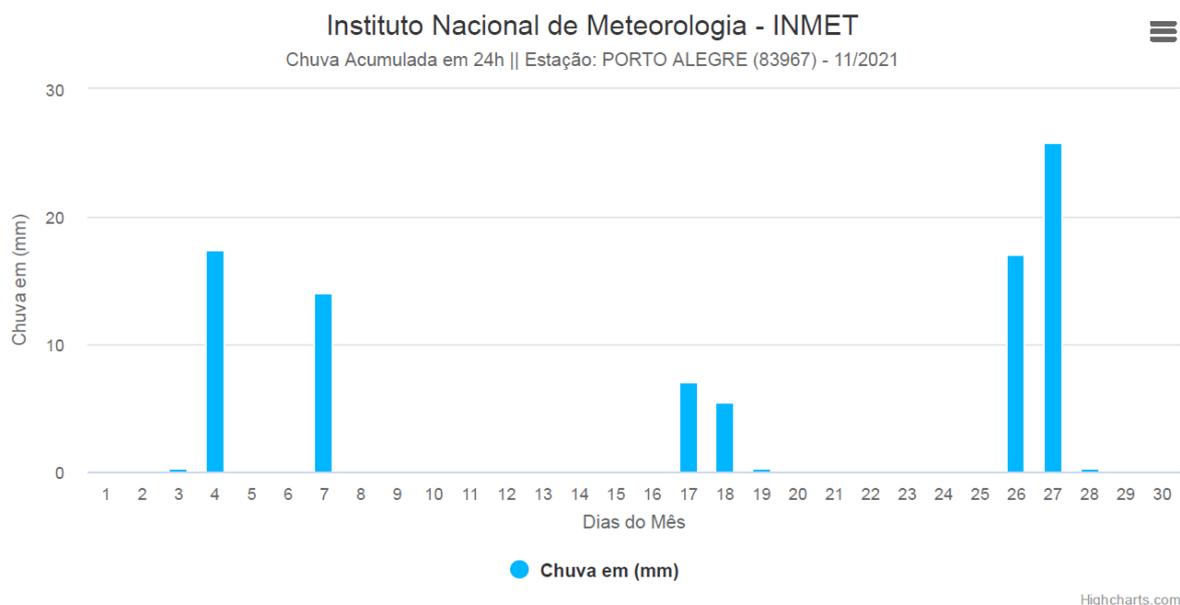
Gráfico 8 - Consumo da unidade



Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

Desta forma, é possível afirmar que a área analisada tem grande potencial para a aplicação da proposta de mudança de perfil de consumo visando uma melhor eficiência energética.

Gráfico 9 - Chuva diária acumulada de novembro de 2021



Fonte: INMET (2022)

Como pode ser observado, a irrigação permanece desligada do dia 14/11 até o dia 22/11, mesmo quase não havendo chuva no local.

#### 4.3.3 Análise do consumo de energia

Analisando o consumo da unidade nos últimos três anos, chegamos a um consumo médio no período de irrigação de 54042kWh. Este período dura em média 149 dias por ano, resultando em aproximadamente 1266,5 horas de horário reservado para a irrigação por ano com uma potência máxima observada de aproximadamente 39kW.

Deste consumo médio, apenas 16007kWh são consumidos dentro do horário reservado, um valor inferior a 30% do consumo total, abaixo do esperado em termos de eficiência energética.

A tabela 5 demonstra o valor gasto com energia aplicando a tarifa atual da unidade consumidora.

Tabela 5 - Consumo médio aplicado a tarifa

Consumo(kWh)		Valor/kWh(R\$)	Valor(R\$)
Total	54042		
Fora Ponta	38035	R\$ 0,45888	R\$ 17.453,50
Incentivado	16007	R\$ 0,18355	R\$ 2.938,08
		Total:	R\$ 20.391,58

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado, o valor gasto com a energia consumida no horário fora de ponta é predominante na fatura.

#### 4.3.4 Proposta de alteração no horário de irrigação

Seguindo a metodologia, foi estudada a possibilidade de ser feita a transferência da carga para o horário reservado. Utilizando-se da equação (1), chegou-se no resultado de nove horas e vinte minutos de irrigação diários para suprir a necessidade de irrigação da área.

Desta forma, foi proposta a irrigação durante o horário compreendido entre as 21:30h e as 06:50h do dia subsequente.

Com esta configuração, foi possível deslocar mais de 90% do consumo da unidade para o horário reservado. A tabela 6 demonstra o retorno que seria alcançado através da aplicação da proposta, com uma redução de até 45% no valor total gasto com energia para todo o período de irrigação.

Tabela 6 - Retorno financeiro da proposta

Consumo(kWh)		Valor/kWh(R\$)	Valor(R\$)
Total	54042		
Fora Ponta	4649	R\$ 0,45888	R\$ 2.133,33
Incentivado	49393	R\$ 0,18355	R\$ 9.066,09
		Total:	R\$ 11.199,41
		Redução:	R\$ 9.192,17
		Percentual	45%

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto, a redução no valor da fatura para este caso chega no patamar de 45% do valor total gasto energia.

#### 4.3.5 Resultados e discussão

Conforme esperado para a unidade foi observado uma grande redução no valor gasto com energia elétrica, esta economia se dá apenas pelo melhor aproveitamento do horário específico para a irrigação, sem a necessidade de nenhum investimento para a aplicação da proposta. Desta forma, a viabilidade da aplicação da proposta é bastante positiva do ponto de vista de eficiência energética.

#### 4.4 Unidade 75151

##### 4.4.1. Caracterização da unidade

Esta unidade pertence ao grupo A, possui demanda contratada de 130kW, uma potência já expressiva para a irrigação.

Como pode ser visto na figura 13, a unidade é localizada ao lado de um lago que serve como fonte para a irrigação da área.

Figura 13 - Imagem de satélite Unidade 75151



Fonte: HERE WeGo Maps

Na figura 14, podemos ver a entrada de energia em média tensão da unidade, juntamente com a subestação particular dela.

Figura 14 - Entrada de energia unidade 75151



Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

Também é possível visualizar mais a esquerda imagem o local de onde é extraída a água para irrigação.

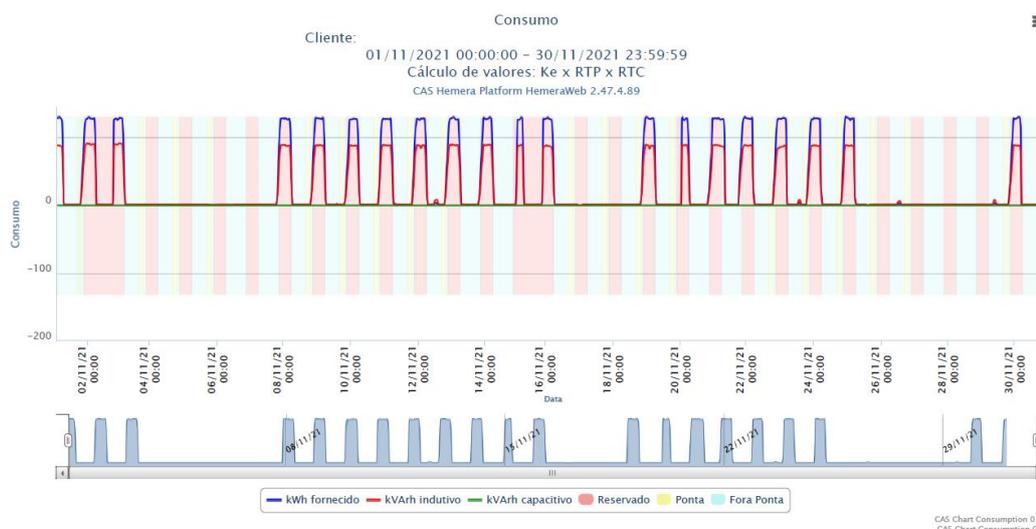
#### 4.4.2 Análise do gráfico de consumo

Analisando o gráfico 10, é possível observar uma forma de consumo similar a que é proposta neste trabalho, com o consumo energético da unidade sendo efetuado quase que integralmente apenas durante o horário reservado para tal.

Quando confrontado com o gráfico 9 que mostra a chuva acumulada no local para o mesmo período, é possível perceber uma relação maior entre os períodos em que há a presença de chuva e os períodos em que a irrigação não é utilizada no local.

Por possuir uma configuração de lavoura que permite que a área seja irrigada somente no horário reservado, armazenando a água pelo resto do dia, também é possível ser feito um melhor aproveitamento das águas vindas da chuva no local, possibilitando um aumento da eficiência geral da unidade.

### Gráfico 10 - Consumo da unidade



Fonte: Arquivos da distribuidora CERTAJA

#### 4.4.3 Análise do consumo de energia

A unidade consumiu cerca de 58564kWh na temporada de irrigação de 2021/2022, destes, 51461kWh foram consumidos dentro do horário reservado para irrigação, cerca de 88% do total. Este valor está dentro do objetivo proposto por este trabalho, resultando numa economia de R\$8977,88 se comparado ao valor que seria gasto caso a unidade não possuísse desconto de irrigação.

Tabela 7 – Simulação mensal de faturamento unidade 75151

Unidade 75151 (Grupo A)			
Consumo(kWh)		Valor/kWh(R\$)	
Total	22194		
Fora Ponta	1591	R\$ 0,25376	R\$ 403,73
Incentivado	20603	R\$ 0,07930	R\$ 1.633,82
Demanda(kW)	138	R\$ 32,6688	R\$ 4508,29
		<b>Total:</b>	<b>R\$ 6.545,84</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado através da tabela 7, o custo com a energia para a unidade é muito baixo, devido ao fato do baixíssimo valor que é pago no kWh durante o horário reservado.

Entretanto, devido a unidade ser faturada no grupo A, há a necessidade de considerar o valor da demanda faturada, que para uma potência de 138kW gera um

custo mensal de R\$4508,29 a ser faturado porém apenas nos meses em que há uso da irrigação.

#### 4.4.4 Resultados e discussão

A unidade consumidora é a comprovação de que é possível fazer a irrigação de uma lavoura de arroz apenas utilizando o horário reservado para tal, resultando em uma grande redução no valor gasto com a energia. Infelizmente a potência demandada para a aplicação faz com que o consumidor tenha que ser faturado no grupo A, o que acaba aumentando significativamente o custo devido ao acréscimo do valor da demanda.

Uma possível alternativa para a unidade, por estar muito próxima do limite para faturamento no grupo B, seria reduzir um pouco a potência do conjunto motor-bomba de irrigação para um valor próximo a 112,5kW, onde a mesma poderia ser faturada no grupo B, aumentando provavelmente o consumo sendo necessária a utilização do horário fora de ponta e também aumentando o valor da tarifa, porém evitando esta cobrança referente a demanda.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os consumos analisados, fica evidente a possibilidade de melhorias de eficiência energética com relação ao uso da energia para a irrigação. Neste aspecto, este trabalho trouxe uma proposta de alteração no perfil de consumo visando centralizar a utilização da energia em horário em que a tarifa é incentivada para a aplicação.

A configuração proposta como ideal pôde ser verificada através da observação do funcionamento em uma unidade já existente, não restando dúvidas sobre a possibilidade de se irrigar plantações de arroz exclusivamente no horário com tarifa reduzida.

Para o caso de consumidores do Grupo B, que já possuem uma certa intermitência na irrigação, foram possíveis observar reduções na casa dos 50% no custo total com energia elétrica apenas considerando a aplicação da transferência da carga conforme proposto neste trabalho, quando comparado com a forma como tradicionalmente é feito. Para consumidores do Grupo A também foi observado um menor custo de energia para a aplicação da proposta do trabalho quando comparado a um consumo similar não otimizado faturado em baixa tensão, porém, cabe ressaltar que o custo com a demanda de energia deve ser levado em consideração para análise de aumentos de carga para acomodar o consumo no horário reservado pois pode inviabilizar a proposta.

Por fim, conforme foi observado, não foi possível a aplicação da proposta para todos os casos, em unidades maiores e cuja irrigação ocorre de forma praticamente contínua não é possível estimar a transferência e o retorno devido à complexidade envolvida nas cargas e a não linearidade que existe entre a potência e a vazão do sistema.

### 5.1 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros fica a sugestão de um estudo de caso específico em um consumidor do grupo A, redimensionando todo o sistema de irrigação utilizando estratégias de eficiência energética e levando em consideração a tarifa incentivada do horário de irrigação e avaliar o retorno financeiro do novo sistema.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Saiba mais sobre o setor elétrico brasileiro**. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/home?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fhome%3Fp\\_auth%3DulSXNcT2%26p\\_p\\_id%3D3%26p\\_p\\_lifecycle%3D1%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_state\\_rcv%3D1&](https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fhome%3Fp_auth%3DulSXNcT2%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&). Acesso em: 22 nov. 2020.

CAMPOS, Paulo; STAHLHOEFER, Priscila; CAMPOS, Tássia. Automação para sistemas de irrigação. **Revista Gestão premium**, Osório, v. 1, n. 1, p. 10-25, jul./2010.

CERTAJA ENERGIA. **O que é cooperativismo?**. Disponível em: <http://www.certaja.com.br/energia/o-que-e-cooperativismo/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

CERTAJA ENERGIA. **Sobre nós**. Disponível em: <http://www.certaja.com.br/energia/cooperativa/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

EMBRAPA. Sistema do Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil. **Sistemas de Produção**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 157-170, jan./2004.

GOV.BR. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 30 jun. 2022.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola. **Indicadores IBGE**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 21, dez./2019.

IDEC. **O SISTEMA DE ENERGIA BRASILEIRO: NACIONAL E INTEGRADO**. Disponível em: <https://idec.org.br/edasuaconta/sistema>. Acesso em: 22 nov. 2020.

JUSBRASIL. **Portaria nº 45, 1992, MINFRA**. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/1027869/pg-43-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-23-03-1992>. Acesso em: 7 nov. 2020.

MEZZOMO, Rafael Friguetto. Irrigação Contínua e Intermitente em Arroz Irrigado: Uso de Água, Eficiência Agronômica e Dissipação de IMAZETHAPYR, IMAZAPIC e FIPRONIL. **Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 13, dez./2009.

MONACHESI, Marcelo Gaio; MONTEIRO, M. A. G. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**. 1. ed. [S.l.]: PROCEL, 2003.

SITE DO GOVERNO FEDERAL. **Lei Nº 10438, 2002**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/l10438.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%2](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%2)

Osobre%20a%20expans%C3%A3o%20da,energia%20el%C3%A9trica%2C%20d%C3%A1%20nova%20reda%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 7 nov. 2020.

SITE DO PLANALTO FEDERAL. **Decreto Nº 7.891, 2013**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Decreto/D7891.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D7891.htm). Acesso em: 7 nov. 2020.

STONE, Luis Fernando. Eficiência do Uso de Água na Cultura do Arroz Irrigado. **EMBRAPA**, Goiás, v. 1, n. 1, p. 12, dez./2005.