

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Francisco Gasparin Fabrin

**INTEGRAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS PARA  
MITIGAR OS IMPACTOS REGULATÓRIOS DE INTERRUPÇÕES DO  
FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Santa Maria, RS**

**2023**

Francisco Gasparin Fabrin

**INTEGRAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS PARA  
MITIGAR OS IMPACTOS REGULATÓRIOS DE INTERRUPÇÕES DO  
FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pinheiro Bernardon

Santa Maria, RS, Brasil

2023

FABRIN, FRANCISCO  
INTEGRAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS PARA  
MITIGAR OS IMPACTOS REGULATÓRIOS DE INTERRUPÇÕES DO  
FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA / FRANCISCO FABRIN.-  
2023.  
73 p.; 30 cm

Orientador: DANIEL PINHEIRO BERNARDON  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica, RS, 2023

1. Compensações. 2. Indicadores. 3. Armazenamento de  
Energia. 4. Usina Fotovoltaica 5. Unidades consumidoras  
irrigantes. I. PINHEIRO BERNARDON, DANIEL II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFEM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CEB 10/1728.

Declaro, FRANCISCO FABRIN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Francisco Gasparin Fabrin

**INTEGRAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS PARA  
MITIGAR OS IMPACTOS REGULATÓRIOS DE INTERRUPÇÕES DO  
FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

**Aprovado em 28 de abril 2023.**

---

**Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. Eng. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador - videoconferência)

---

**Leonardo Nogueira Fontoura da Silva, Dr. Eng. (UFSM)**  
(videoconferência)

---

**Bibiana Maitê Petry Ferraz, Dra. Enga. (UFRGS)**  
(videoconferência)

Santa Maria, RS, Brasil

2023

Dedico este trabalho a todas as pessoas que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS por permitir a realização de mais um sonho.

Agradeço ao professor Daniel Pinheiro Bernardo, que desde o início possibilitou meu desenvolvimento acadêmico e esteve sempre à disposição.

Ao professor Vinícius Jacques Garcia, pelas suas orientações, conhecimento transmitido e sua paciência.

Aos professores do PPGEE-UFSM (Programa de Pós-Graduação Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria) por transmitir seus conhecimentos e possibilitar o crescimento acadêmico e profissional com ética e respeito.

Aos colegas do projeto de pesquisa, Júlio Airton Bitencourt e Henrique Silveira Eichkoff, pelos conhecimentos compartilhados.

Ao grupo CPFL pelo apoio técnico e financeiro, através do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento PD-00396-3077/2021– “PA3077-Estudo e proposta de metodologia alternativa sobre mecanismos tarifários e de compensações de energia elétrica por transgressão dos limites de qualidade do serviço em áreas dispersas e sazonais”, financiado com recursos do programa de P&D da ANEEL.

“A uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade”.

Albert Einstein.

## RESUMO

# INTEGRAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS PARA MITIGAR OS IMPACTOS REGULATÓRIOS DE INTERRUPÇÕES DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

AUTOR: Francisco Gasparin Fabrin

ORIENTADOR: Daniel Pinheiro Bernardon

Os indicadores de continuidade da qualidade do serviço, em especial os indicadores individuais e coletivos, são os principais meios de avaliação da prestação de serviço da distribuidora de energia junto a seus clientes (unidades consumidoras). Desta forma é de grande interesse das distribuidoras em manter a qualidade da prestação do serviço, caso contrário há ocorrência de compensações proporcionais a quantidade de vezes e ao tempo que as unidades consumidoras ficam sem energia. Os valores em ressarcimento aos clientes são elevados, onerando financeiramente as distribuidoras. Neste trabalho propõem-se a realizar abordagens com a utilização de fontes externas, como os bancos de baterias e usinas fotovoltaicas para abastecer o sistema elétrico de distribuição na ocorrência de faltas de energia e ou fortalecer o sistema elétrico. Se faz primeiramente uma busca do conjunto que possui o maior valor pago em compensações aos seus clientes e após a busca da subestação dentro do conjunto selecionado, é selecionado a SE que possui o maior número unidades consumidoras rural irrigante atendido na classe A4, contendo os piores indicadores individuais. A metodologia é baseada nos valores médio diários do consumo e valores dos indicadores para a definição do Sistema de Armazenamento de Energia - SAE e Usina Fotovoltaica - UFV. Para que possa ser instalado em pontos estratégicos com objetivo de reduzir os indicadores a valores inferiores aos estabelecidos pela ANEEL. Por último e realizado a análise da viabilidade econômica e do tempo de retorno a traves da aplicação do VPL e TIR. O resultado apresentou viabilidade positiva considerando o tempo de garantia dos equipamentos utilizados e a vida útil.

**Palavras-chaves:** Compensação. Indicadores. Distribuidora. Armazenamento de Energia. Usina Fotovoltaica. Sistema Elétrico de Distribuição. Unidades Consumidoras. Irrigantes.



## ABSTRACT

### INTEGRATION OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES TO MITIGATE THE REGULATORY IMPACTS OF INTERRUPTIONS IN THE SUPPLY OF ELECTRICITY

AUTHOR: Francisco Gasparin Fabrin

ADVISOR: Daniel Pinheiro Bernardon

The indicators of continuity in the quality of the product, especially the individual and collective indicators, are the main means of evaluating the service provided by the energy distributor to its customers (consumer units). Thus, it is in the distributors' great interest to maintain the quality of the service provided, otherwise there are "fines" proportional to the number of times and the time that the consumer units are without energy. The amounts in reimbursement to customers are high, financially burdening the distributors. In this work, it is proposed to carry out approaches with the use of external sources, such as battery banks and photovoltaic plants to supply the electrical distribution system in the event of energy shortages and or to strengthen the electrical system. First, a search is made for the set that has the highest amount paid in compensation to its customers and after the search for the substation within the selected set, the SE that has the largest number of consumer units and irrigating rural customer served in class A4 is selected, containing the worst individual indicators. The methodology is based on average daily consumption values and indicator values for the definition of the Energy Storage System - SAE and Photovoltaic Plant - UFV. So that it can be installed at strategic points in order to reduce the indicators to values lower than those established by ANEEL. Finally, the analysis of economic feasibility and payback time through the application of NPV and IRR is carried out. The result showed positive feasibility considering the warranty time of the equipment used and the useful life.

**Keywords:** Compensation. indicators. distributor. Energy Storage. Photovoltaic Plant. Electrical Distribution System. Consumer Units. Irrigators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interrupções não relacionadas diretamente as instalações elétricas.....	25
Figura 2 - Causas que afetam diretamente as instalações elétricas. ....	26
Figura 3 - Causas que afetam diretamente o sistema elétrico.....	26
Figura 4 - Causas externas que não estão associadas diretamente ao sistema elétrico. .	27
Figura 5 - Causas em Média Tensão, que ocasionam o FEC. ....	27
Figura 6 - Projeção do número de consumidores GD até 2030.....	30
Figura 7 - Projeção da geração por ano em GD até 2030.....	30
Figura 8 - Projeção da capacidade de potência instalada em GD até 2030.....	31
Figura 9 - Carregamento dos Alimentadores da SE. ....	36
Figura 10 - Localização dos consumidores irrigantes. ....	37
Figura 11 - Características de consumo dos consumidores irrigantes.....	38
Figura 12 - Fluxograma para abordagem na redução dos indicadores, utilizando indicadores individuais.....	40
Figura 13 - Fluxograma da abordagem para redução dos indicadores, utilizando indicadores coletivos. ....	43
Figura 14 - Alimentadores 23kV da SE (irrigantes).....	48
Figura 15 - Alimentadores 23kV da SE.....	49
Figura 16 - Disposição dos Alimentadores da SE-1. Posição dos possíveis GD. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo diário de radiação solar para o mês de janeiro e junho do ano 2021.	32
Tabela 2 - Consumo de energia por mês dos irrigantes do Conjunto.....	38
Tabela 3 - Participação das UC irrigantes no mercado da Distribuidora em 2021. ....	47
Tabela 4 -Indicadores coletivos e compensações para o Conjunto. Valores anuais.....	50
Tabela 5 - Consumo de energia para cada Alimentador da Subestação.....	51
Tabela 6 -Média dos Indicadores individuais para o mês de janeiro de cada ano.....	51
Tabela 7 - Consumo do conjunto em MWh. ....	52
Tabela 8 - Indicadores coletivos e transgressões pagas.....	54
Tabela 9 - Valores dimensionados para cada AL.....	56
Tabela 10 - Investimento inicial para cada Alimentador, da Subestação SE-1.....	56
Tabela 11 - Proporcionalidade de número de UC e valor pago em compensação por SE. .....	58
Tabela 12 - Tempo de retorno do investimento inicial (SAE+UFV). ....	59

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta Tensão
BT	Baixa tensão
km	Quilometro
kV	Quilo Volts
kVA	Quilo Volt Ampères
kW	Quilo Watts
MT	Média tensão
MWh	Mega Watts hora
U	Tensão elétrica
UC	Unidade Consumidora
DRC	Duração relativa da transgressão para tensão crítica
DRP	Duração relativa da transgressão para tensão precária
SAE	Sistema de Armazenamento de Energia
UFV	Usina Fotovoltaica

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO .....	18
1.3 ESTUDO DA ARTE .....	19
1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS .....	22
2. FUNDAMENTOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO CONTENDO IRRIGANTES	24
2.1 INDICADORES DE QUALIDADE .....	24
<b>2.1.1 Principais causas para o DEC e FEC em redes aéreas .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.2 Performance dos indicadores e compensações financeiras .....</b>	<b>26</b>
2.2 ENERGIA RENOVAVEIS .....	28
2.2.1 USINA FOTOVOLTAICA – UFV .....	28
<b>2.2.2 Sistema de Armazenamento de Energia – SAE .....</b>	<b>34</b>
2.6 CARACTERISTICAS DOS CONSUMIDORES SAZONAL – IRRIGANTES .....	35
3. ABORDAGEM HEURISTICA PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES .....	39
3.1 METODOLOGIA PARA A REDUÇÃO DOS INDICADORES INDIVIDUAIS ...	39
<b>3.1.1 Descrição da Metodologia .....</b>	<b>39</b>
3.2 METODOLOGIA PARA A REDUÇÃO DOS INDICADORES COLETIVOS .....	42
3.3 METODOLOGIA PARA VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS .....	45
4. APLICAÇÃO DOS METODOS .....	47
4.1 DIMENSIONAMENTO PARA OS ALIMENTADORES DA SE-1, UTILIZANDO METODO PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES INDIVIDUAIS .....	54
<b>4.1.1 Dimensionamento para Alimentador AL1 .....</b>	<b>54</b>
4.2 INVESTIMENTO INICIAL PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS .....	56

<b>4.2.1 Pontos de aplicação dos SAE+UFV nos alimentadores.....</b>	<b>60</b>
4.3 METODOLOGIA PARA A REDUÇÃO DOS INDICADORES, UTILIZANDO INDICADORES COLETIVOS .....	63
<b>4.3.1 Dimensionamento do SAE e UFV para o conjunto .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3.2 Investimento inicial para redução dos indicadores e validação dos resultados .....</b>	<b>64</b>
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	66
5.2 TRABALHOS FUTUROS .....	67
5.3 PUBLICAÇÕES .....	67
REFERÊNCIAS .....	70

## 1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro, assim como em muitas partes do mundo, tem sofrido grandes transformações nos últimos anos. Por um lado, houve um processo de grandes mudanças em sua estrutura, com a desverticalização das empresas de energia elétrica e a criação de empresas com funções e responsabilidades específicas de geração, transmissão e distribuição. Da privatização de grande parte das empresas distribuidoras, surgiu a necessidade de órgãos reguladores para o estabelecimento de novas regras para a prestação de serviços públicos de fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais. A evolução tecnológica que criou a era digital, equipamentos elétricos cada vez mais sofisticados, porém altamente sensíveis a qualidade de fornecimento de energia. A crescente conscientização da população brasileira com relação aos seus direitos de consumidor, e a necessidade permanente de garantir a universalização do acesso, torna a energia elétrica um produto indispensável e que é requerido cada vez mais, não só em intensidade como também em qualidade (KAGAN; OLIVEIRA; OBBA, 2005).

Os sistemas elétricos de potência possuem a função de fornecer energia elétrica a todos os usuários, com qualidade a qualquer momento em que esta for solicitada. Esta ação de transmitir energia engloba as funções de produtor (transformando a energia de alguma natureza, seja ela hidráulica, eólica, térmica ou outra, em energia elétrica), de transmissor (transportando a energia das centrais geradoras até as subestações) e de distribuidor (fornecendo aos consumidores a quantidade de energia demandada, instante a instante) (BOCK, 2009).

As distribuidoras de energia têm um grande desafio em manter o sistema de distribuição operando adequadamente frente as normas impostas pela ANEEL. Principalmente, aquelas que possui unidades consumidoras com redes áreas e rurais contendo unidades consumidoras irrigantes, com alto consumo de energia, e com características de carga sazonal ligadas em seus alimentadores. Estes provocando altos valores de compensações pagas por violações dos indicadores devido as características das redes de distribuição, por estarem na extremidade dos alimentadores, principalmente pela dificuldade das equipes de manutenção chegarem no local de defeito em tempo hábil, conseqüentemente tendo várias horas de interrupção e muitas frequências de falta de energia, afetando não somente a Unidades Consumidoras (UC) mas sim a todos que estão

no conjunto. Conjunto de unidades consumidoras é definido por Subestação de Distribuição, podendo conter mais de uma subestação.

Desta forma, as distribuidoras de energia vêm enfrentando um grande desafio para manter o sistema operando em condições que atendam as normas estabelecidas pelo órgão regulador. Pesquisas estão sendo realizadas atualmente para encontrar uma solução que satisfaça tanto as unidades consumidoras como as distribuidoras de energia. Neste sentido este trabalho utilização de Sistema de Armazenamento de Energia – SAE e Usinas Fotovoltaicas- UFV, para auxiliar o sistema de distribuição durante a operação equilibrando seus níveis de tensão e suprindo energia durante a falta.

Estudos realizados para aplicação desses tipos de recursos energéticos distribuídos em redes de distribuição, mesmo não sendo atualmente permitido o ilhamento das redes utilizando SAE e UFV pela ANEEL, pode-se realizar estudos para a averiguação da eficácia com a utilização dessas fontes. Estas fontes de energia por possuir um comportamento variável e depender da radiação solar para o funcionamento adequado, como é o caso das UFV, ocorrendo situações em que a necessidade da demanda de energia não necessariamente será atendida sempre, devido a influências externas, porém o uso desses recursos é promissor no planejamento dos sistemas elétricos (CANHA, 2020).

O atendimento a solicitação de demanda de energia elétrica, é a tarefa fundamental associada às empresas distribuidoras de energia, sensivelmente desafiadora com o aumento do consumo. Manter o sistema de distribuição de energia elétrica em condições de operação aceitáveis, ao mesmo tempo em que são observados os limites para os indicadores de desempenho estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

Conforme EPE (2021), Ministério de Minas e Energia (MME) no Plano Decenal, a matriz energética atingira 48% ao final do horizonte, sendo que 86% da oferta de energia elétrica proviera de fontes renováveis, sendo que no período de 2018-2027 terá que ser investido R\$ 1,8 trilhão para atender o crescimento da demanda e manter o sistema com matriz energética. O crescimento previsto é de 2,3% anual, entre 2017 e 2027, sendo previsto um consumo de 325,3 Mtep para o ano de 2027.

Vinicius A. Uberti (2017), descreve que o sistema elétrico de distribuição é atendido em média tensão contendo UCs irrigantes, sendo redes de distribuição diferenciadas em relação a redes urbanas, com as características que mais se destacam:

- As redes são geralmente radiais e de grande extensão;



- Possui poucas UC ligadas ao longo da rede;
- Contém cargas elevadas por 23 horas diárias em períodos de irrigação, apresentando uma carga sazonal, com maior consumo nos meses entre novembro a abril;
- A realização de manutenção do sistema elétrico se torna complicado, em função da grande parte da rede ser de difícil acesso;
- A possibilidade de falhas, é maior do que nos centros urbanos;

Desta forma, o presente trabalho propõe a aplicação de SAE e UFV instalada em pontos estratégicos, em locais com os maiores valores de indicadores apurados, principalmente em Alimentadores que contêm unidades irrigantes com consumo de energia sazonal. Mesmo não sendo permitido atualmente o ilhamento, é realizado um breve estudo para aplicação das fontes de energia com o propósito de reduzir os indicadores abaixo dos valores estabelecidos como meta pela ANEEL.

O propósito deste trabalho não é zerar os indicadores individuais e os coletivos, pois esta alternativa seria impossível com as características atuais das redes de distribuição atualmente utilizadas, para atender as unidades consumidoras irrigantes com as características de consumo apresentadas, por se tratar de redes áreas e radiais, geralmente utilizando cabos não isolados e de grandes extensões.

Assim, este trabalho apresenta um estudo como sugestão de reduzir os indicadores utilizando SAE e UFV, com o objetivo de eliminar os valores de compensações pagas anualmente, revertendo este valor em investimento na metodologia sugerida.

## 1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

As distribuidoras de energia enfrentam um grande desafio para manter o sistema elétrico de potência operando em condições adequadas e compatíveis com a legislação vigente, por tanto tem um grande compromisso em fornecer energia aos seus clientes de forma adequada para que possa satisfazer as normas e indicadores definidos pela ANEEL.

Os indicadores, quer seja eles da qualidade do produto ou serviço, representam a eficaz o serviço prestado das distribuidoras junto a seus clientes. Baixa qualidade ou mesmo ineficaz, valores superiores aos estabelecidos pelo ANEEL.

Conjuntos os quais possui extensas redes de distribuição aéreas e pertencente a áreas rural, geralmente sofrem mais com interrupções de energia, por diversos motivos. Mans principalmente por ser redes aéreas estão sujeitos a ação do vento, animais, descargas atmosféricas, e principalmente por estarem em regiões no estado do Rio Grande do Sul e em locais onde possui altos índices de temporais, sofrem consequências com altos valores de compensações a ser pago a seus clientes.

Desta forma, essa Dissertação realiza um estudo com o intuito de apresentar uma metodologia para reduzir os indicadores individuais e consequentemente os coletivos em um conjunto que possui valores superior aos estabelecidos pela ANEEL. Com auxílio de Sistema de Armazenamento de Energia e Usinas Fotovoltaicas, sendo inseridas no sistema de distribuição, pretende-se reduzir os indicadores a valores inferiores aos estabelecidos pelo órgão regulador.

## 1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

Esta dissertação tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para a redução dos indicadores individuais e coletivos em subestações, ou em conjuntos, contendo unidades consumidoras atendidas na classe de tensão A4, as quais são encontradas em sua grande maioria no final da rede de distribuição, com longas distancias das subestações.

Como objetivos específicos estão:

- I. Realizar metodologia de aplicação para redução dos indicadores a valores abaixo dos limites estabelecido pela ANEEL, com aplicação de fontes externas, auxiliando o sistema de distribuição de média tensão em situações de falta de energia e realizando o reforço ao sistema;
- II. Identificar e conhecer o conjunto que possui os maiores valores de compensações pagas por violação dos indicadores coletivos;

- III. Obter dentre as subestações do conjunto selecionado, a subestação que apresenta a maior quantidade de unidades consumidores, realizando a aplicação da metodologia sobre este.
- IV. Identificação das principais causas de interrupção de energia;
- V. Descrever as características do conjunto e subestação selecionada;
- VI. Obter a viabilidade da metodologia definida em relação ao custo financeiro e o tempo de retorno.

### 1.3 ESTUDO DA ARTE

Os trabalhos relevantes e recentes encontrados na literatura relacionadas ao tema de sistema de armazenamento de energia, usina fotovoltaica e indicadores de continuidade.

Para amenizar o impacto da demanda solicitada pelos irrigantes em Jilei Ye et al. (2016) este trabalho mostra os resultados quando utilizado o armazenamento de energia, vários benefícios em relação a qualidade de energia para o lado das distribuidoras, e para o lado do cliente apresenta a vantagem da compensação de energia. Apresenta duas propostas que podem ser realizados por parte do governo oferecendo compensação econômica para os investidores, compensação pela capacidade de reserva da unidade, e compensação por Custo de investimento.

Já P.R. Thomas et al. (2016) apresenta uma proposta de Armazenamento de energia Comunitária Única para um pequeno grupo de consumidores, possuindo um controlador de gerenciamento de energia, sendo possível controlar a redução de pico, nivelamento de carga, integração de geração renovável, controle dos níveis de tensão e melhoria da confiabilidade.

Santos K. Verma e Abhinav Shandilya, (2017) mostra os valores da tarifa de energia que motiva as unidades consumidoras a investir geração de energia distribuída, neste trabalho realizado no sul da Noruega propõem o incentivo a instalação de

armazenamento de energia e geração em diversos pontos onde a concentração de cargas elevadas na rede quando a demanda de pico for solicitada pelo sistema.

Monteiro, *et al.* (2007) o trabalho realizou um estudo dos custos da viabilidade da utilização da energia fornecida pelas distribuidoras com a utilização dos motores a diesel em 5 regiões do Brasil. Considerando as tarifas Verde, Azul e convencional com períodos de irrigação de 2, 4, 6 e 8 meses por ano, com operação do horário de ponta e fora ponta.

Gonzaga, *et al.* (2016) tem como objetivo apresentar um método definido como DEC – Estrutural, para avaliar a confiabilidade do sistema elétrico, através de registros históricos de desempenho e pelas características construtivas do SEP.

Capelano, *et al.* (2008) propõem a implantação de horários de ponta diferenciados. O trabalho apresentou 5 diferentes horários de ponta, com 3 horas de duração, distribuídos entre as 6:00 às 21:00 horas.

Bezerra, *et al.* (2003) apresentando uma metodologia para desenvolvimento de uma nova formulação de tarifas horo-sazonal e tarifas para fornecimento interruptiva de eletricidade.

Ye, *et al.* (2016), apresentam um trabalho mostrando os resultados quando utilizado o armazenamento de energia, apresentando vários benefícios em relação a qualidade de energia para o lado das distribuidoras, e para o lado do cliente apresenta a vantagem da compensação de energia. Apresenta duas propostas que podem ser realizados por parte do governo oferecendo compensação econômica para os investidores, compensação pela capacidade de reserva da unidade, e compensação por Custo de investimento.

Thomas, *et al.* (2016), apresenta uma proposta de Armazenamento de energia Comunitária Única para um pequeno grupo de consumidores, possuindo um controlador de gerenciamento de energia, sendo possível controlar a redução de pico, nivelamento de carga, integração de geração renovável, compensação de energia reativa, controle dos níveis de tensão e melhoria da confiabilidade.

Saradva, *et al.* (2016), demonstram a compensação de energia Ativa e Reativa em linhas de Distribuição usando D-STATICOM (*shunt*, baseado em eletrônica de potência) com armazenamento de energia. Sendo para a compensação de energia reativa e utilizado

capacitores, para o fornecimento de energia Ativa e utilizado o armazenamento em baterias.

Alguns autores publicaram trabalhos sugerindo o armazenamento de energia fora do horário de ponta para ser utilizada no período de ponta ou mesmo em horário de utilização da irrigação; Ye, Xue, Sang, Lu e Liu (2016), apresenta uma proposta onde se tem incentivos oferecido por parte do governo para a implementação do sistema de armazenamento sendo pago compensação as unidades que aderirem, em contrapartida a redução da carga e consumo nos horários críticos.

Já Thomas, Walker Jr e Carthy (2016), apresenta uma proposta de armazenamento de energia Comunitária Única envolvendo pequenos grupo de consumidores, onde será injetado no sistema em horários críticos.

Em Saradva, Kadivar, Pandya e Rana (2016), sugere o armazenamento de energia para compensação de energia ativa e reativa.

Chen, Jin, Xin e Zhand (2011), apresenta uma proposta de compensação de energia em curto período através do armazenamento de energia, para situações em que precisa uma alta potência em um curto período.

Verma e Shandilya, (2017). Apresenta uma proposta de incentivo para o armazenamento de energia com geração em locais onde concentra cargas elevadas para ser injetada na rede em horários críticos.

Nas bibliografias em que cita a Geração Distribuída, são as seguintes:

Para este item, alguns trabalhos publicados sugerindo solução para a demanda de energia em horários críticos utilizando a GD, foram:

Monteiro, Ferraz, Coelho e dos Santos (2007). Com isso o trabalho realizou um estudo dos custos da viabilidade da utilização da energia fornecida pelas distribuidoras com a utilização dos motores a diesel em 5 regiões do Brasil.

Santos K. Verma e Abhinav Shandilya, (2017), propõem além do incentivo a instalação de armazenamento de energia a geração em diversos pontos onde há concentração de cargas elevadas para que possam ser injetadas na rede quando a demanda de pico for solicitada pelo sistema.

Já em Mohamed Wagdy, Amr Magdy e Walid El-Khattam, (2020), apresenta um trabalho que tem como objetivo a criação de um algoritmo para realizar o controle das cargas em uma rede Smart Grid, fazendo com que o pico de demanda seja reduzido através do deslocamento de carga para pontos onde concentra quantidade adequada de GD para reduzir a demanda.

Os trabalhos citados acima apresentam formas diversas para a melhoria da qualidade de energia, utilizando métodos diversos, porém não foi encontrado trabalhos publicados onde envolve a rede de distribuição em média tensão, de classe A4, e consumidores irrigantes que apresentam consumo sazonal durante dois períodos do ano, classificado como período de safra e entre safra. Desta forma, a presente dissertação vem com o propósito de abranger essa parte do estudo, com a inclusão do armazenamento de energia e com a utilização de usinas fotovoltaicas com o propósito de reduzir os indicadores para estes clientes específicos, localizados distantes das fontes de energia, no final das redes de distribuição.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

Nesta dissertação foi distribuída em 5 capítulos, na seguinte forma:

- Capítulo 1: Neste descreve uma introdução do Sistema Elétrico de Potência bem como a importância da qualidade de energia e as consequências ao não cumprimento das normas. Apresenta a motivação para a realização deste trabalho. Para finalizar, uma descrição de trabalhos encontrados sobre o tema.
- Capítulo 2: Descreve a qualidade do fornecimento de energia elétrica e sua importância. Apresenta os indicadores DEC e FEC em distribuidora com redes aérea de forma geral, e os valores apurados para a distribuidora em estudo. Descreve o SAE e a UFV bem como os fornecedores e potenciais comerciais existentes, e principais fabricantes. Descreve as características do sistema elétrico em estudo, sua localização e suas subestações, e quantidades de consumidores.
- Capítulo 3: Descreva duas metodologias para obter a redução dos indicadores individuais e coletivos e método para validação dos resultados.

- Capítulo 4: Já neste apresenta a aplicação das metodologias apresentadas no capítulo 3, e os resultados de cada uma.
- Capítulo 5: Nesse capítulo, as considerações finais, os resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros e publicações realizadas.

## 2. FUNDAMENTOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO CONTENDO IRRIGANTES

Neste capítulo é dada ênfase às características do sistema elétrico adotado para o estudo. Desta forma, os indicadores que contemplam o sistema elétrico bem como índices de um sistema aéreo, também trata da descrição do Sistema de Armazenamento de Energia e a Usina Fotovoltaica que é utilizada na aplicação, os históricos das causas que ocasionaram as ocorrências de falta, as características do conjunto e da subestação adotada para o estudo, e por fim as características dos consumidores irrigantes com consumo sazonal.

### 2.1 INDICADORES DE QUALIDADE

O controle de qualidade da energia pelas distribuídas é de fundamental importância frente às distribuidoras de energia, para isso foi criado os indicadores de qualidade pela ANEEL (2022), como uma forma de medir a qualidade do produto bem como fiscalizar e aplicar multas em caso de descumprimento dos valores estabelecidos pela agência reguladora.

A forma de mensurar a qualidade da prestação do serviço fornecido pela distribuidora está associada com a disponibilidade da energia elétrica fornecida, bem como os procedimentos a serem adotados pelas concessionárias, em caso de interrupções no fornecimento de energia. Para avaliar a qualidade do serviço, são apurados indicadores de continuidade quanto à duração e frequências das interrupções estabelecidos pelo Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional – PRODIST, onde é apresentado o Módulo 8, que define a qualidade do produto e serviço. Sendo divididos em indicadores de continuidade coletivos, o DEC e o FEC e os indicadores individuais, sendo eles os DIC, FIC, DMIC e DICRI, sendo apurados apenas as interrupções de longa duração (superior a 3 minutos). Os indicadores de continuidade individuais devem ser apurados para todas as unidades consumidoras.



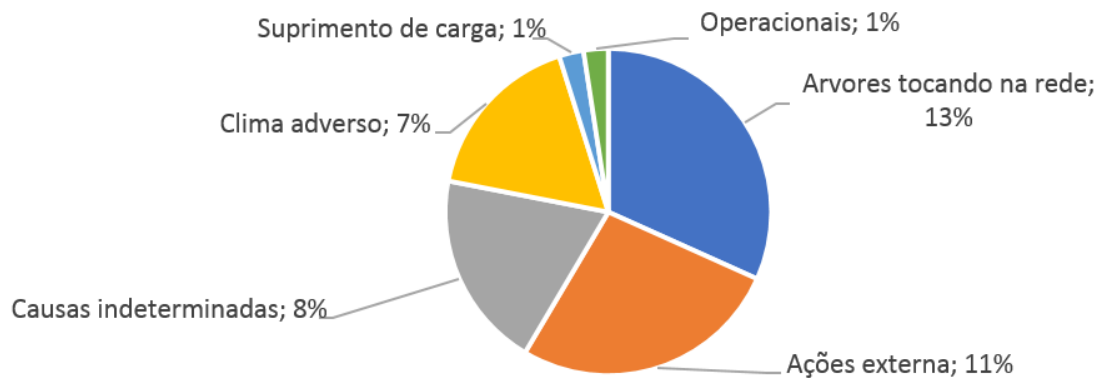
Os valores dos indicadores coletivos, são resultados dos indicadores individuais, desta forma, qualquer alteração nos indicadores individuais, conseqüentemente será alterado os coletivos.

### 2.1.1 Principais causas para o DEC e FEC em redes aéreas

O autor Barro (2020), apresenta um histórico de desligamento que provoca alteração nos indicadores individuais e coletivos para uma distribuidora de energia. Desta forma, descreve para as interrupções em média tensão, os quais, representa para rede em baixa tensão de 19%, já em média apresenta 80%, e apenas 1% é referente a rede de alta tensão. A mesma fonte ressalta que do total do indicador, considerando redes áreas e subterrâneas, 96% das interrupções estão em redes aéreas.

A fonte relata que 41% do DEC está associado a interrupções não relacionadas diretamente as instalações elétricas, figura 1.

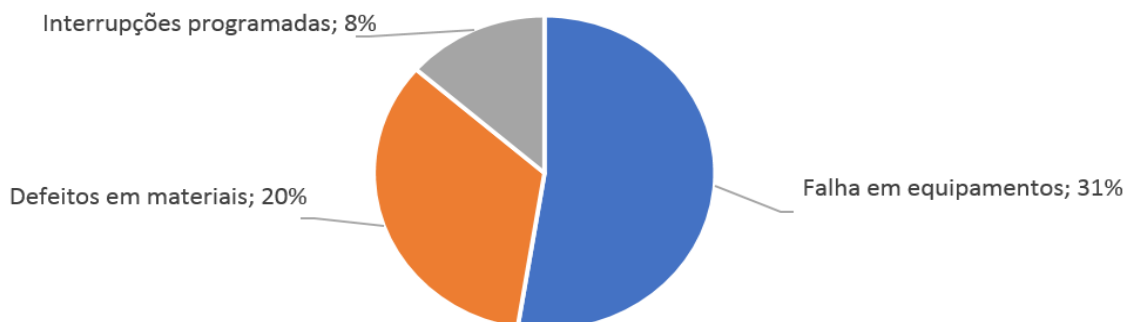
Figura 1 - Interrupções não relacionadas diretamente as instalações elétricas.



Fonte: Próprio autor.

Porém, as causas que afetam diretamente as instalações elétricas representam 59% do DEC, figura 2.

Figura 2 - Causas que afetam diretamente as instalações elétricas.



Fonte: Próprio autor.

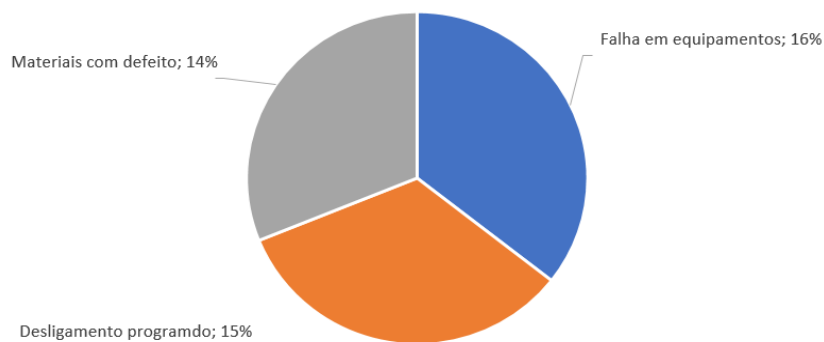
As causas que mais contribui para os indicadores são, as falhas em equipamentos e defeito em materiais. A principal causa de falha na rede elétrica é em mau estado, perfazendo 56% em média tensão e 52% em baixa tensão, estando em segundo lugar o transformador em baixa tensão com 41% e em média tensão com 6%.

### 2.1.2 Performance dos indicadores e compensações financeiras

Andre F. A. de Barro (2020), para o FEC as causas que ocasionam o indicador, seja ela interna ou externa são de igual proporção.

As causas que afetam diretamente o sistema elétrico, em baixa e média tensão, figura 3.

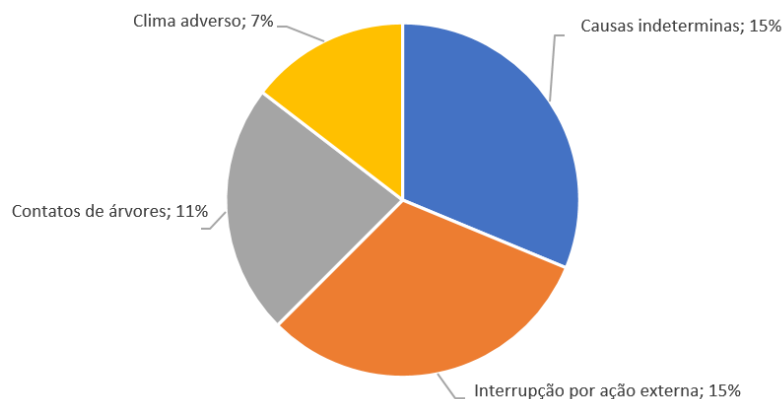
Figura 3 - Causas que afetam diretamente o sistema elétrico.



Fonte: Próprio autor.

E as causas externas que não estão associadas diretamente ao sistema elétrico, em baixa e média tensão, se destacam, se destacam, figura 4.

Figura 4 - Causas externas que não estão associadas diretamente ao sistema elétrico.



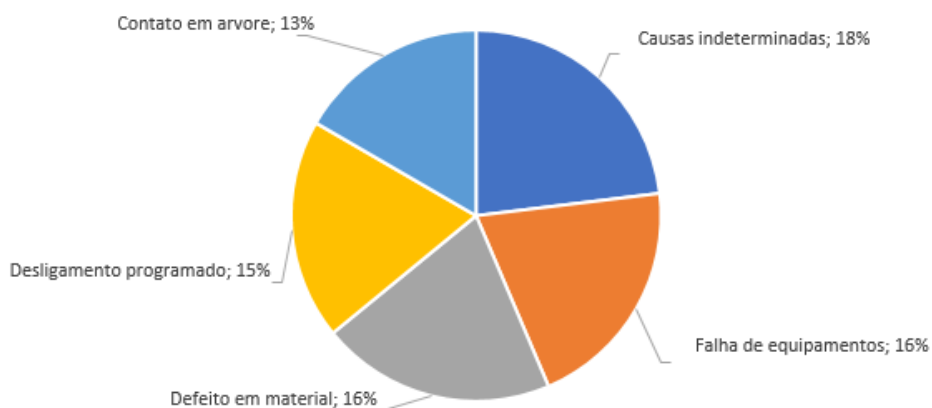
Fonte: Próprio autor.

A maior causa de ação externa com 29% é a Falha em subestação.

Para o FEC em rede aérea em baixa tensão, 62% tratam-se de falha de equipamento e defeito em material utilizado na rede. Já em redes de média tensão as mesmas falhas correspondem 32%.

Para a rede de média tensão, 78% do indicador FEC é composto pelas seguintes causas, figura 5.

Figura 5 - Causas em Média Tensão, que ocasionam o FEC.



Fonte: Próprio autor.

## 2.2 ENERGIA RENOVAVEIS

Devido à grande dificuldade das distribuidoras de energia em manter seus indicadores abaixo dos estabelecido pela ANEEL, principalmente em Subestações que possui Alimentadores contendo unidades consumidoras rural com consumo sazonal, se faz necessária a busca de alternativas. Estudos aprofundados para que se possa encontrar alternativas para a redução dos indicadores, abaixo do estabelecido, buscou-se realizar um estudo com aplicação de SAE e UFV para obter resultados que pudesse reduzir os indicadores. A seguir é descrito essas duas formas de obter energia para aplicação a rede de distribuição no intuito de auxiliar, reforçar e manter o sistema elétrico operando em condições aceitáveis.

### 2.2.1 Usina Fotovoltaica – UFV

Usinas fotovoltaicas, conhecidas também como usinas solares, são usinas de transformação da radiação solar em energia elétrica, através da utilização do silício para a produção de fotovoltaicas, um conjunto de células transforma-se em painel solar, e um grupo de painéis solares torna-se em usinas solares.

As principais vantagens são:

- Preço para aquisição em relação a outras fontes;
- Não polui o meio ambiente;
- Custo baixo de manutenção;
- Possibilita a instalação em qualquer lugar, desde que tenha acesso a radiação solar;
- Fácil instalação;
- Menor tempo de instalação entre outros tipos de usinas.

As principais desvantagens:

- Depende da radiação solar, em dias de chuva ou nublada pouca geração ou nenhuma;
- Difícil prevê uma potência de geração, por depender do clima.

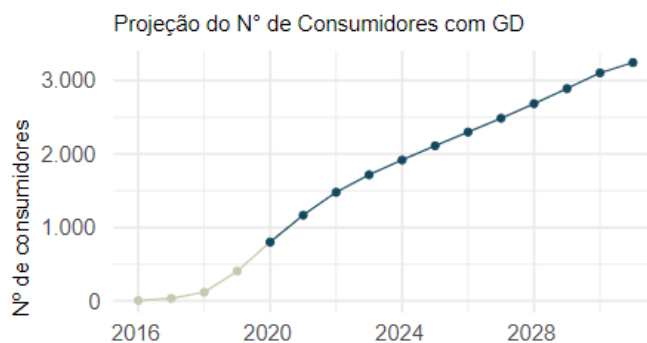
EPE (2018), descreve que a energia do sol é uma energia inesgotável, podendo ser aproveitada para suprir as necessidades da civilização. A metade da energia do sol que atinge a superfície, totalizando 885 milhões de TWh/ano, ou seja, mais de 8.500 vezes o consumo de energia mundial. Sendo a energia solar a fonte de maior potencial. A energia do sol pode ser utilizada de duas formas, através do calor e do efeito fotovoltaico, destas duas formas pode-se ter a geração de eletricidade fotovoltaica, aquecimento e resfriamento de ambientes, aquecimento d'água e geração de eletricidade heliotérmica.

O crescimento da obtenção de energia elétrica pela fotovoltaica, entre os anos de 2004 e 2016 foi de 44%, e a proporcionalidade continua nos últimos anos contida devido aos subsídios, principalmente em países europeus. Ela deve responder por 17% da matriz energética no Brasil até o ano de 2031, hoje corresponde a 7,7 da eletricidade gerada, no ano de 2021 o Brasil ficou em 4º lugar em crescimento, sendo superado por países como Estados Unidos, China e Índia.

No Rio Grande do Sul se tem para o ano de 2022 até o mês de agosto, 153.615 unidades consumidoras com geração distribuída, gerando uma potência instalada de 1.398.320,43 KW, conforme ANEEL. Para o mês de junho de 2022 obteve um acréscimo de 49,6MW de geração de energia fotovoltaica no Brasil.

Conforme ANEEL, em seu Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída, para a distribuidora em estudos no estado do Rio Grande do Sul, em relação a Fotovoltaicas em média tensão, apresenta uma projeção da evolução da potência instalada e a ser instalada bem como a quantidade de unidades consumidoras. Na Figura 6, o número de unidades consumidoras em média tensão para o ano de 2022 é de 1.478, já para o ano de 2030 projeta-se a quantidade de 3.105 unidades, um crescimento de 52,40% para os próximos 8 anos.

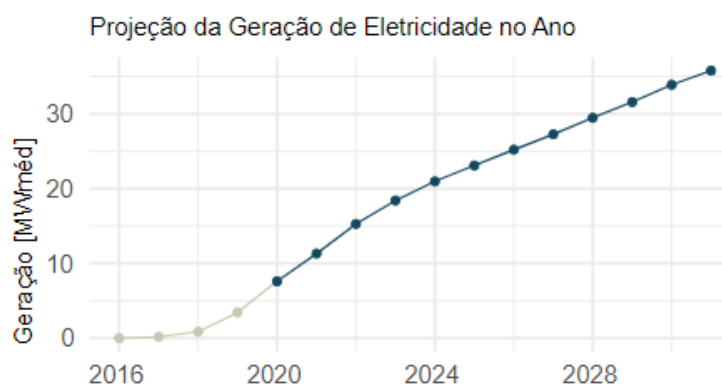
Figura 6 - Projeção do número de consumidores GD até 2030.



Fonte: ANEEL (2020).

Figura 7, demonstra a projeção de crescimento médio de geração a ser instalada para a distribuidora no Rio Grande do Sul em fotovoltaica, para o ano de 2022 tem-se 15 MW, no ano de 2030 projeta-se uma potência de 34 MW, um crescimento de 55,88%.

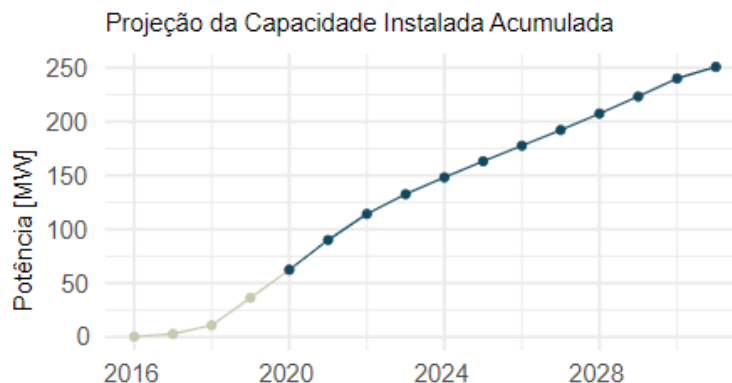
Figura 7 - Projeção da geração por ano em GD até 2030.



Fonte: ANEEL (2020).

Capacidade instalada de potência no ano de 2022 é de 114 MW, para o ano de 2030 é de 240 MW, apresentando um crescimento de 52,50%, conforme figura 8.

Figura 8 - Projeção da capacidade de potência instalada em GD até 2030.



Fonte: ANEEL (2020).

Pretende-se com esses dados apresentados nas figuras anteriores, mostrar que o custo para a instalação de usinas fotovoltaicas em função do aumento da produção e demanda pelo mercado. O Atlas Solar do Rio Grande do Sul (2018), demonstra a evolução dos preços médios entre os anos de 2016 e 2018, ocorreu uma redução de 34,68%. No ano de 2016 o custo para instalação de uma microgeração de 5,2kWp era de R\$ 44.400,00, já no ano de 2019 o valor passou a ser de R\$ 29.000,00. Podendo afirmar o descrito anteriormente, em que quanto maior a demanda de um produto menor o valor.

Será adota durante o desenvolvimento deste trabalho o tempo de 10 horas diárias de radiação solar para o estado do Rio Grande do Sul, conforme referência Sunrise-and-Sunset (2022). Apresentando na Tabela 1 o tempo em horas por dia de radiação solar disponível, para o município de Porto Alegre, o qual será considerado estas informações como referência para o estado todo. Os dois meses que estão na tabela são referentes ao mês de maior radiação, o janeiro, e o mês de menor incidência de radiação solar sendo o mês de junho, para a realização deste trabalho será adotado a pior hipótese, ou seja, o dia que apresenta o menor tempo de radiação, neste caso o menor tempo está no primeiro dia do mês de junho com 10h:03m, no entanto o dia de maior incidência e o primeiro dia do mês de janeiro com 14h:09m.

Tabela 1 - Tempo diário de radiação solar para o mês de janeiro e junho do ano 2021.

JANEIRO				JUNHO			
DIA	INÍCIO	POR DO SOL	TEMPO RADIAÇÃO	DIA	INÍCIO	POR DO SOL	TEMPO RADIAÇÃO
1	06:27	20:36	14:09	1	07:30	17:34	10:03
2	06:27	20:37	14:09	2	07:30	17:34	10:04
3	06:28	20:37	14:08	3	07:30	17:35	10:04
4	06:29	20:37	14:07	4	07:30	17:35	10:05
5	06:30	20:37	14:07	5	07:30	17:36	10:05
6	06:31	20:37	14:06	6	07:30	17:36	10:06
7	06:31	20:37	14:05	7	07:29	17:36	10:06
8	06:32	20:37	14:04	8	07:29	17:37	10:07
9	06:33	20:37	14:03	9	07:29	17:37	10:08
10	06:34	20:37	14:02	10	07:29	17:38	10:09
11	06:35	20:37	14:02	11	07:29	17:39	10:09
12	06:36	20:37	14:01	12	07:28	17:39	10:10
13	06:37	20:37	13:59	13	07:28	17:40	10:11
14	06:37	20:36	13:58	14	07:28	17:40	10:12
15	06:38	20:36	13:57	15	07:27	17:41	10:13
16	06:39	20:36	13:56	16	07:27	17:41	10:14
17	06:40	20:36	13:55	17	07:27	17:42	10:15
18	06:41	20:35	13:54	18	07:26	17:42	10:16
19	06:42	20:35	13:52	19	07:26	17:43	10:17
20	06:43	20:35	13:51	20	07:25	17:44	10:18
21	06:44	20:34	13:50	21	07:25	17:44	10:19
22	06:45	20:34	13:48	22	07:24	17:45	10:20
23	06:46	20:33	13:47	23	07:24	17:46	10:21
24	06:47	20:33	13:46	24	07:23	17:46	10:23
25	06:48	20:32	13:44	25	07:22	17:47	10:24



26	06:49	20:32	13:43	26	07:22	17:47	10:25
27	06:50	20:31	13:41	27	07:21	17:48	10:26
28	06:51	20:31	13:40	28	07:20	17:49	10:28
29	06:51	20:30	13:38	29	07:20	17:49	10:29
30	06:52	20:30	13:37	30	07:19	17:50	10:30
31	06:53	20:29	13:35	31	07:18	17:51	10:32

Fonte: Sunrise-and-Sunset (2022).

A escolha desta fonte geradora juntamente com a SAE, é pelo motivo ser de fácil e rápida instalação, e principalmente para realizar a carga dos SAE sem utilizar a energia do sistema elétrico, caso contrário o SAE seria considerado uma carga para o SEP, o qual não é objetivo deste trabalho, podendo aumentar os indicadores.

Esta tecnologia fica restrita à sua geração em períodos com incidência solar, ou seja, em momentos em que não houver incidência solar não terá energia sendo gerada, por este motivo, deve-se utilizar UFV com SAE, carregando durante o dia e podendo ser injetada a qualquer momento das faltas de energia, e fornecendo energia de forma a controlar os níveis de tensão.

A construção de uma UFV de 133 MW tendo um custo de R\$ 422 milhões, com um valor de R\$ 1.172.932,0 por MW. Já em Portal Solar (2021) relata que a construção de um UFV de apenas 1MWp custa aproximadamente R\$ 4 milhões, percebe-se que quanto maior a potência da usina menor o custo por MWp. O espaço necessário para cada MWp é de 1 hectare. Os sistemas fotovoltaicos possuem uma vida útil acima de 25 anos.

A aplicação das UFV, não só serve para o carregamento do SAE, também auxilia no controle dos níveis de tensão e frequência no SEP, podendo reduzir os indicadores DRC Duração de Interrupção de Transgressão de Tensão Crítica e DRP – Duração de Interrupção de Transgressão de Tensão Precária, desta forma, reduzindo ainda mais o tempo de retorno do investimento inicial.

### 2.2.2 Sistema de Armazenamento de Energia – SAE

Esta nova tecnologia está sendo implantada para auxiliar o Sistema Elétrico de Potência na redução de custos de energia nos horários de ponta e ou em horários de maior demanda e para manter o sistema elétrico estável, reduzindo os indicadores.

A iniciação da utilização da bateria de Lítio ocorreu em 1991 em equipamentos eletrônicos de pequeno porte, chegando nos dias de hoje auxiliando o SEP a fornecer energia aos seus clientes (EPE 2022). Essas baterias não possuem “memória”, não necessitando de descarga completa para manter uma boa eficiência.

Em Benchmark Mineral Intelligence (2021), apresenta os 5 maiores fabricantes, 4 estão localizados no continente Asiático, sendo a LG Chem (sul-coreana), a CATL (chinesa), BYD (chinesa), Panasonic (japonesa) e a Tesla localizada na Oceania.

A referência Raul F. Beck (2019) apresenta quatro tipos de baterias comercialmente disponível, sendo Bateria de Fluxo, Sódio-Enxofre, Chumbo-Ácida e a Bateria Íons de Lítio. A bateria de Lítio apresenta uma maior flexibilização quanto ao armazenamento de energia e ao tempo de autonomia com eficiência entre 85% e 100%, sendo por este motivo o modelo adotado atualmente para cargas elevadas.

Conforme EPE (2021), as principais vantagens do uso de Baterias de Lítio são:

- Possibilita fornecer energia rápida para a carga;
- Alta eficiência;
- Custo de operação baixo;
- Alta densidade de energia;
- Vida útil maior que 15 anos;
- Possibilita utilizar com geradores de energia fotovoltaica e eólica;

WEG (2021), apresenta a forma como e obtido altos valores potência armazenado utilizando associação de baterias. Desta forma, descreve que as células podem possuir até 300W de potência, um conjunto de células formam um Módulo que pode resultar em até 7 KW, um Rack que são um conjunto de Módulos podem ter entre 40 KW e 60 KW e por fim o Container, formado por um conjunto de Rack, pode ter entre 2 MW a 3MW. Pode-

se realizar a associação de vários Container para obter a potência desejada. O ciclo de utilização das baterias está entre 4000 e 6000 ciclos, desde que mantido a temperatura controlada.

Conforme a fonte Electreck (2021), apresenta o fabricante Tesla com os modelos de SAE e seus valores. Um dos modelos fabricados é o Megapack, podendo chegar a uma potência até 3 megawatt-hora (MWh) de armazenamento, ao preço de US\$ 1.235.890,00 (R\$ 5.512.069,40, valor do dólar obtido na data da referência - 2022).

Outra unidade fornecida pelo fabricante é o 10 Megapacks (30MWh) com um preço de US\$ 9.999.290 (R\$ 44.596.833,40), o que resulta em um preço por kWh de US\$ 327,87. A fonte ressalva que este não é o preço final do SAE, deve-se incluir o projeto e o transporte, que aqui neste trabalho não será mencionado por não ter uma referência de valores.

O preço por kWh diminui à medida que é adquirido SAE de maior capacidade. Para o modelo de 100 Megapacks reduzem o custo para cerca de US \$ 280 por kWh.

A escolha por utilização da SAE, e devido a proposta dos fabricantes de ser um método de fácil instalação, ocupa o menor espaço, tempo de instalação menor, e o método mais barato em relação a outros tipos de fonte geradora de energia, com garantia de 20 anos.

Conforme Alice P. Caurio (2021), o custo da instalação por MWh do SAE é mais barato que outras fontes, sendo de R\$3.010816,59, já para a PCH o custo fica em R\$ 7.044960,55, e da Eólica o custo é de R\$ 4.315.289,33.

## 2.6 CARACTERÍSTICAS DOS CONSUMIDORES SAZONAL – IRRIGANTES

Os consumidores irrigantes podem ser classificados tanto ao Grupo A quanto ao Grupo B, esta classificação depende da tensão de fornecimento necessária em sua instalação. No primeiro, que implica em unidades consumidoras com fornecimento de tensão igual ou superior a 2,3 kV e caracterizado pela tarifa binômica, esses clientes são pertencentes ao Subgrupo A4, com tensão de fornecimento entre 2,3 kV a 25 KV. Para o Grupo B, que compreende um nível de tensão inferior a 2,3 kV e de tarifa monômio, os

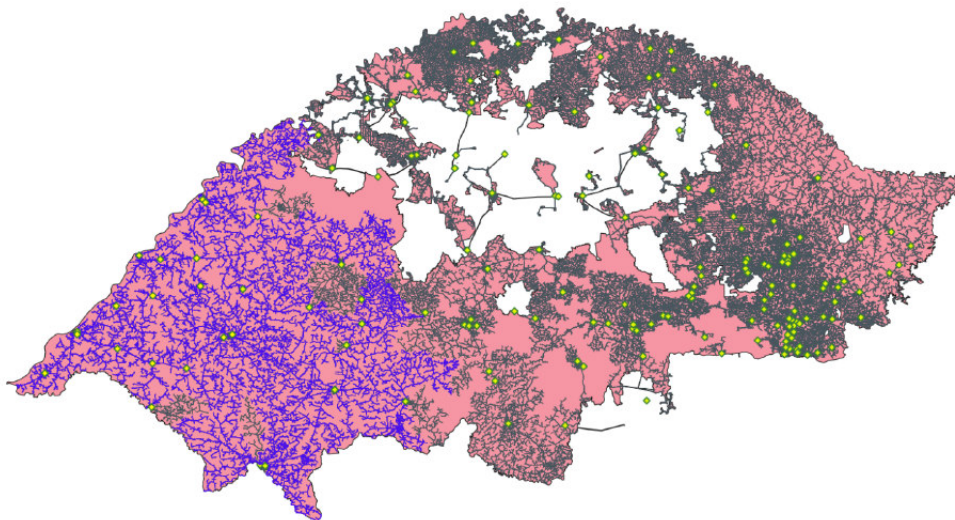
consumidores são classificados no Subgrupo B2 (Rural), conforme apresenta Resolução Nº 1000, ANEEL.

Os consumidores irrigantes são classificados na classe rural, identificados nas subclasses Agropecuária Rural (RU1) e Serviços de bombeamento de água destinada à atividade de irrigação (RU1B). Neste trabalho estão sendo analisados os consumidores atendidos no nível de tensão de Média tensão (MT).

De acordo com as informações obtidas pela concessionária de energia, foram encontrados um conjunto com 1.638 unidades consumidoras irrigantes rurais identificados nestas duas subclasses, os quais estão localizados no oeste do estado do Rio Grande do Sul, conforme ilustrado na Figura 9.

Nesta figura está ilustrada a rede de distribuição de Média Tensão da sua área de concessão, destacando-se, em azul os alimentadores nos quais estão conectados os irrigantes rurais.

Figura 9 - Carregamento dos Alimentadores da SE.



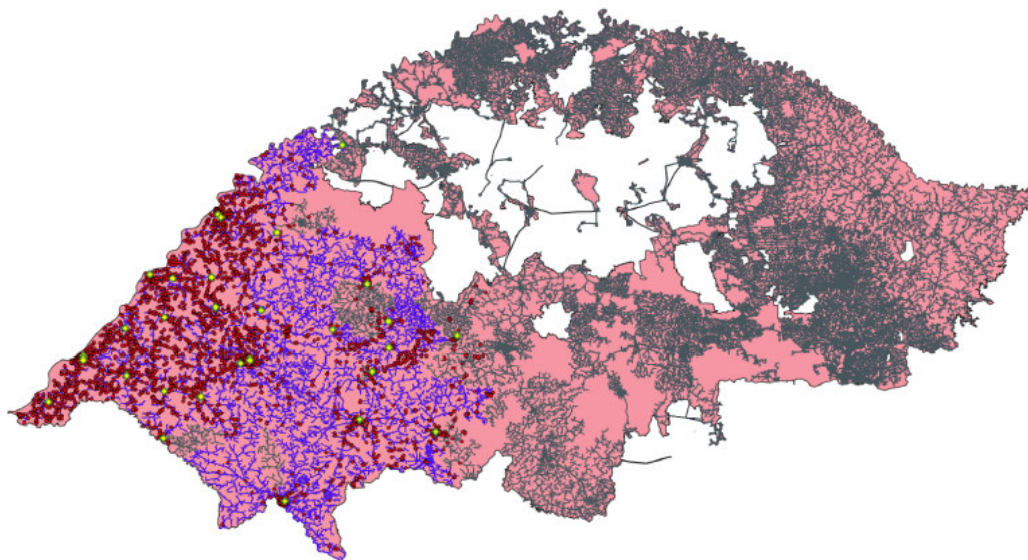
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os consumidores irrigantes desta distribuidora estão presente em 31 subestações, conectadas no total de 105 alimentadores que contemplam 12 conjuntos.

O consumo de energia dos clientes irrigantes (361.071 MWh) representa 4,69 % do consumo total dos clientes MT (7.706.001,617 MWh) e a extensão de rede MT dedicada a estes consumidores (24.932 km) representa 22,8% da extensão total das redes de distribuição de Média tensão (109.318 km).

A localização dos consumidores irrigantes concentra-se na região da Fronteira Oeste, e baixa densidade na região Centro, conforme ilustra a Figura 10, com destaques da localização dos consumidores em pontos vermelhos. Os pontos em amarelo indicam a localização das subestações AT/MT.

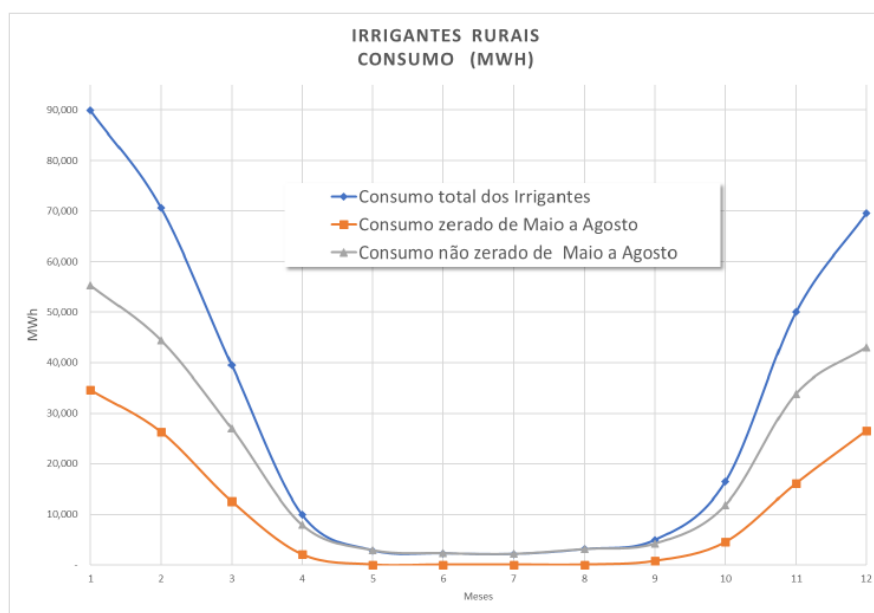
Figura 10 - Localização dos consumidores irrigantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 11 apresenta o perfil de consumo sazonal dos irrigantes rurais. É possível observar que nos meses entre maio e agosto o consumo é zero, não possuindo registros, ocorrendo registros somente nos meses de safra. Ficando caracterizado o consumo sazonal de energia de acordo com o ciclo do cultivo de irrigação.

Figura 11 - Características de consumo dos consumidores irrigantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível identificar na figura 11, a característica sazonal dos consumidores irrigantes rurais com a irrigação. Apresenta dois grupos de consumidores irrigantes, os consumidores que zeram a energia nos meses de maio a agosto, apresentando um consumo total menor (linha laranja), e os consumidores irrigantes que não zeram a energia no mesmo período, apresentando um consumo mais elevado (linha cinza). A redução do consumo do mês de janeiro para o mês de abril é, em média, de 97,7%.

A Tabela 2 resume o valor do consumo mensal, o percentual de representatividade do mês, o consumo percentual máximo e a redução percentual em relação ao máximo consumo observado. Na primeira linha apresenta o consumo em MWh/mês do conjunto, já na segunda linha apresenta a proporcionalidade mês, e na terceira linha apresenta a proporcionalidade da redução em relação ao mês de maior consumo.

Tabela 2 - Consumo de energia por mês dos irrigantes do Conjunto.

	Consumo de energia (MWh)											
	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Consumo Mensal	89.916,20	70.625,70	39.522,20	9.901,10	2.824,40	2.234,50	2.094,70	3.074,80	4.881,20	16.424,00	50.037,20	69.534,60
% Consumo mês	24,90%	19,60%	10,90%	2,70%	0,80%	0,60%	0,60%	0,90%	1,40%	4,50%	13,90%	19,30%
% Redução	0,00%	21,50%	56,00%	89,00%	96,90%	97,50%	97,70%	96,60%	94,60%	81,70%	44,40%	22,70%
Consumo total mensal = 361.071,0 MWh												

Fonte: Elaborado pelo autor.

### **3. ABORDAGEM HEURISTICA PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES**

Para este capítulo será descrito dois métodos com objetivo de reduzir os indicadores apurados, e manter valores abaixo do estabelecido pela ANEEL, e principalmente evitar os valores pagos anualmente pelas transgressões. Um deles será adotado os indicadores individuais e no outro adotado os indicadores coletivos, o propósito é a verificação entre os métodos. Os indicadores individuais DIC, FIC, DMIC, e coletivos DEC e FEC, para a realização da metodologia que será desenvolvida ao longo deste trabalho, com aplicação de fluxograma para a descrição do passo a passo.

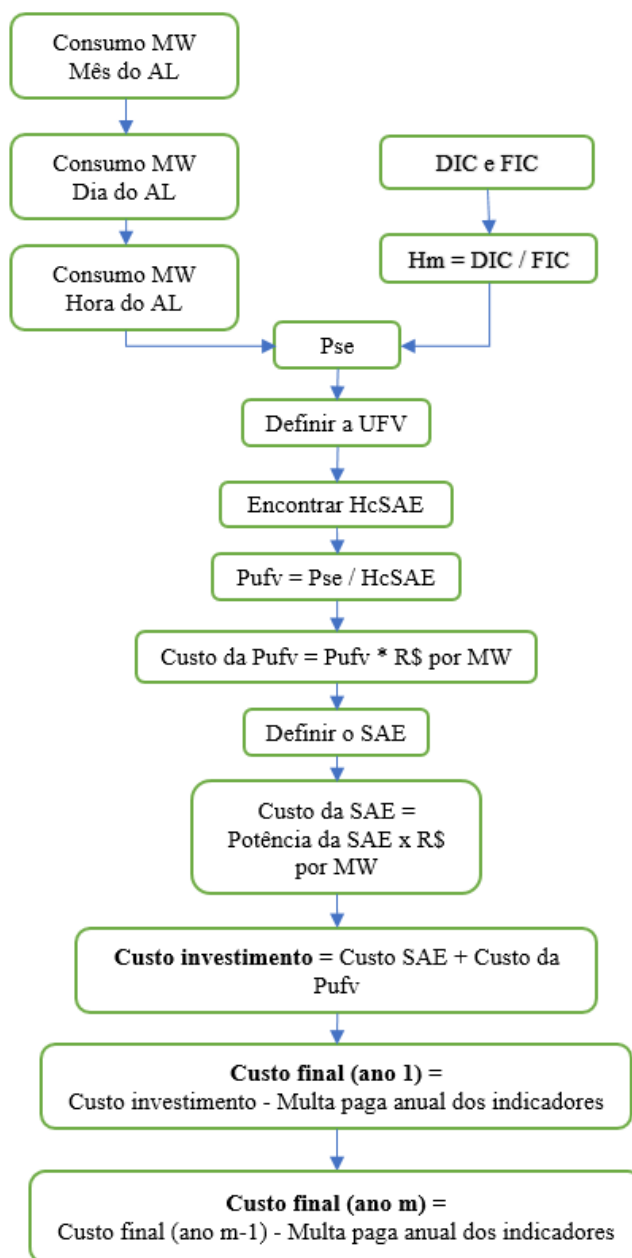
#### **3.1 METODOLOGIA PARA A REDUÇÃO DOS INDICADORES INDIVIDUAIS**

##### **3.1.1 Descrição da Metodologia**

As distribuidoras de energia têm consequências em função das violações de indicadores com o pagamento de altos valores de compensação, no entanto se faz necessário o desenvolvimento de uma abordagem para que possa reduzir os indicadores a valores aceitáveis junto a órgão regulamentador. Desta forma, foi criado uma metodologia, conforme o fluxograma apresentado na figura 12, com objetivo de propor uma forma de redução dos indicadores utilizando um método de aplicação rápido e que se tenha o menor impacto possível para o agravamento dos indicadores na execução, melhorando os indicadores com o auxílio de fontes externas (UFV e SAE) e encontrar o tempo de retorno do investimento inicial.

Assim, o propósito deste trabalho é desenvolver uma abordagem para a definição da potência de um sistema externo, a ser incluído no SEP para auxiliar em situações de ocorrência de falta de energia, conseqüentemente, reduzir os indicadores.

Figura 12 - Fluxograma para abordagem na redução dos indicadores, utilizando indicadores individuais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a realização de equação 13, será utilizado os valores dos indicadores individuais mensais, fornecidos pela ANEEL de uma subestação (SE -1), obtendo um valor médio em horas do tempo de ausência de energia para cada vez que houve a falta.

Também será necessário a obtenção do valor médio por hora do consumo de energia, conforme (14), com valores diários obtido a partir da Tabela 6.



$$H_m = \frac{DIC}{FIC} \quad (13)$$

$H_m$  - Quantidade de horas em média em relação a quantidade de vezes que as UC ficaram sem energia.

Para a definição do consumo médio hora, foi adotado a seguinte expressão:

$$C_{mh} = \frac{C_{md}}{24horas} \quad (14)$$

$C_{mh}$  – Consumo médio por hora das UC (valores definidos na Tabela 5);

$C_{md}$  – Consumo médio por dia.

Para encontrar o valor da energia necessária para suprir a falta, em relação ao tempo de ausência de energia na UC, é realizado a multiplicação dos valores encontrados em (13) e (14);

$$P_{se} = H_m \times C_{mh} \quad (15)$$

$P_{se}$  – Energia necessária para suprir a energia solicitada para a área.

A Energia a ser definida para o SAE e o próprio valor do  $P_{se}$ . O Custo a ser investido para esta fonte é encontrado pela multiplicação do  $P_{se}$  pelo valor do MW comercial.

Para a definição da UFV será adotado como base de tempo de radiação solar os dados apresentados na Tabela 1, onde consta o tempo de radiação solar diária, sendo adotado a pior hipótese, o menor tempo de radiação solar, que é de 10:00 horas.

Considerando a região norte do estado do Rio Grande do Sul onde se tem em média 10 horas diárias de radiação solar, no pior dia de radiação solar, sendo no mês de junho, é descontado desse tempo o valor encontrado do  $H_m$  (equação 13), obteremos o tempo para carga o SAE, equação (16).

$$H_{cSAE} = 10 - H_m \quad (16)$$

$H_{cSAE}$  – horas de carga diária para SAE.

Desta forma, para encontrar a potência da UFV, aplica-se o resultado em (15) dividindo pelo resultado encontrado em (16), teremos assim o valor para a usina, conforme (17).

$$P_{UFV} = P_{se} / HcSAE \quad (17)$$

$P_{UFV}$  – Potência da Usina Fotovoltaica necessária para carregar o SAE.

O Custo a ser investido em UFV é encontrado pela multiplicação do  $P_{UFV}$  pelo valor do MW comercial.

Com base nas descrições anteriores, para o desenvolvimento da metodologia, será aplicado em cada Alimentador da SE – 1, conforme apresenta a tabela 9.

### 3.2 METODOLOGIA PARA A REDUÇÃO DOS INDICADORES COLETIVOS

Esta etapa propõem uma abordagem utilizando os indicadores coletivos DEC e FEC, diferenciando do método anteriormente onde foi utilizado os indicadores individuais. Aqui, será utilizado diretamente os indicadores coletivos, e no próximo item será realizado a comparação entre as duas aplicações, definindo se há diferenciação no resultado financeiro e conseqüentemente no tempo de retorno, com a utilização do VPL.

Da mesma forma, que o método anterior se pretende, com os resultados desta abordagem, reduzir os indicadores a valores inferiores aos estabelecidos como meta pela ANEEL, e evitar multas por violações, utilizando o valor que deixará de ser pago aplicando em investimento nas tecnologias que justamente possam favorecer os indicadores de desempenho, também nesta será utilizado a UFV combinada com SAE.

Na Figura 13 é apresentado o fluxograma que representa a abordagem proposta nesta etapa, para melhoria dos indicadores com o auxílio de fontes externas (UFV e SAE) e encontrar o tempo de retorno do investimento inicial.

A primeira variável a ser definida é o  $Hm$  (número de horas de violação do limite estabelecido), calculado segundo a equação (18): utilizando os valores dos indicadores coletivos definidos pela ANEEL e os apurados no Conjunto, obtendo um valor em horas que ultrapassou o limite estabelecido do indicador.

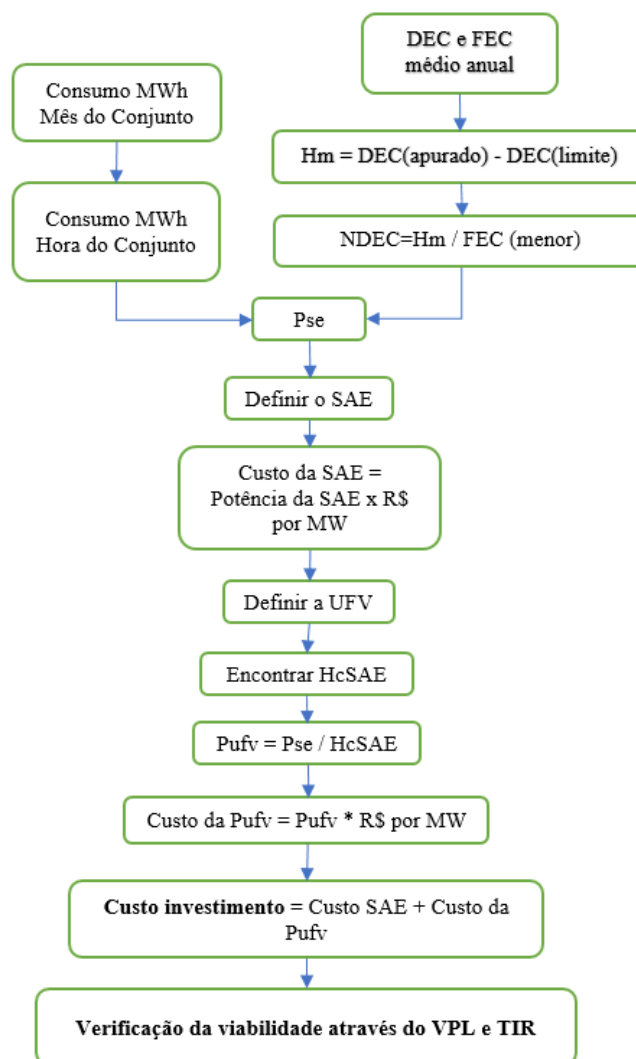
$$Hm = DEC(\text{apurado}) - DEC(\text{limite}) \quad (18)$$

Também será necessário a obtenção do valor médio em horas que o conjunto ficou sem energia em relação a frequência, conforme definido na equação (19). Desta forma teremos uma média em horas que o conjunto ficou sem energia, em relação a quantidade de vezes. A escolha do FEC (menor) e para que se tenha a pior hipótese no dimensionamento.

$$NDEC = \frac{Hm}{FEC(\text{menor})} \quad (19)$$

NDEC – Horas média que o sistema elétrico fica sem energia em função da frequência.

Figura 13 - Fluxograma da abordagem para redução dos indicadores, utilizando indicadores coletivos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De outra parte, considera-se a expressividade do consumo dos conjuntos de consumidores analisados, onde se busca quantificar o Consumo Médio por Hora do conjunto ( $Cmh$ ) a partir do Consumo Médio Diário do conjunto ( $Cmd$ ), conforme definido na equação (20).

$$Cmh = \frac{Cmd}{24horas} \quad (20)$$

Próximo passo é estimar o montante de energia necessária para suprir a falta de energia sobre o número de horas nas quais o fornecimento foi interrompido. Para tanto, calcula-se o produto entre  $NDEC$  e  $Cmh$  e define-se como  $Pse$  (potência necessária para suprir a energia solicitada na falta), conforme estabelecido na equação (21):

$$Pse = (NDEC) \times (Cmh) \quad (21)$$

A potência a ser definida para o SAE é o próprio valor do  $Pse$ . O Custo a ser investido para esta fonte é encontrado pela multiplicação do  $Pse$  pelo valor do MW.

O dimensionamento da UFV se baseia no número médio de horas de radiação solar, conforme Instituto de Astronomia – IA da USP (2022) apresenta, assumido como 10 horas, de onde será descontado o tempo que representa a interrupção do fornecimento ( $Hm$ ) e deve ser assumido como o tempo para energizar o sistema elétrico com a energia do SAE. Resta desta diferença o número de horas para realizar a carga diária do SAE, denominado de  $HcSAE$  e definido segundo:

$$HcSAE = 10 - (Hm) \quad (22)$$

A potência propriamente dita da UFV ( $P_{UFV}$ ), necessária para carregar o SAE, é calculada pela razão entre a potência do SAE ( $Pse$ ) e o número de horas para a sua respectiva de carga diária ( $HcSAE$ ), conforme definido:

$$P_{UFV} = Pse / HcSAE \quad (23)$$

O Custo a ser investido em UFV é encontrado pela multiplicação do  $P_{UFV}$  pelo valor do MW comercial.

O valor de retorno será também calculado pelo Valor Presente Líquido – VPL, onde terá como referência o valor pago anualmente em multa pelas transgressões dos indicadores, e sobre o total do investimento inicial.

### 3.3 METODOLOGIA PARA VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Para a validação dos resultados, será aplicado o Valor Presente Líquido – VPL para a obtenção do tempo de retorno do investimento inicial, equação 24, assim verificando se é viável a realização do investimento ou não, isso se dá se o VPL resultar num valor positivo, demonstrando que o projeto é um investimento viável, caso for negativo o projeto não é atrativo.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} - Investimento\ inicial \quad (24)$$

Onde:

FC – Fluxo de caixa;

TMA – Taxa mínima de atratividade;

j – período.

Já a Taxa Mínima de Atratividade – TMA, será definida de acordo com a informação do Banco Central do Brasil (2022) através do valor da inflação, que para a presente data, esta composta por 11,89% a.a. Para o período, “j”, representa o tempo mínimo, em anos, necessário para que se possa ter um resultado positivo.

Para melhor validação do resultado, será utilizado também a aplicação da Taxa Interna de Retorno – TIR, equação 25, é um método utilizado para análise de viabilidade de investimento (Treasury). Calcula a taxa de desconto que deve ter um projeto para seu Valor Presente Líquido seja maior que o TMA, ou seja, a TIR tem que ser superior a TMA para que seja aprovado o projeto.

Desta forma o método de cálculo é a seguinte:

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (25)$$

Onde:

FC – Investimento inicial;

T – Período total;

t – Cada período.

Se o resultado da TIR for superior ao valor do VPL, é satisfeito, ou seja, o projeto é favorável financeiramente. Assim é considerado satisfatório a aplicação da metodologia desenvolvida, podendo ser aplicada na prática.

#### 4. APLICAÇÃO DOS METODOS

As aplicações dos dois métodos descritos no capítulo anterior detalhadamente e realizado a avaliação dos resultados.

As informações coletadas referem-se a uma Subestação pertencente a um Conjunto que possui os maiores indicadores apurados entre todos os Conjuntos da distribuidora de energia. Assim, será adota as informações para o mês civil que possui o período de irrigação, apresentando os maiores valores de consumo de energia, sendo o mês de janeiro.

Desta forma, será analisado dentro do conjunto a Subestação que possui os maiores indicadores apurados, conforme apresenta a ANEEL (2022). As UC, em específico para o Rio Grande do Sul, têm uma característica diferenciadas aos demais consumidores pertencentes a mesma classe de fornecimento de energia, estes possuem um perfil de carga sazonal, que possui elevados consumo em dado período do ano.

A distribuidora tem registrado para o ano de 2019, 1.927 unidades irrigantes atendidos em média tensão, estes usuários apresentam um número pequeno em relação ao total, sendo representado em 2% do total de usuários em média tensão, porém apresentam 21% do mercado de média tensão, com um consumo de 225 MWh. Estes consumidores irrigantes podem ser 10 vezes superiores aos demais clientes atendidos na mesma classe de tensão, conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 3 - Participação das UC irrigantes no mercado da Distribuidora em 2021.

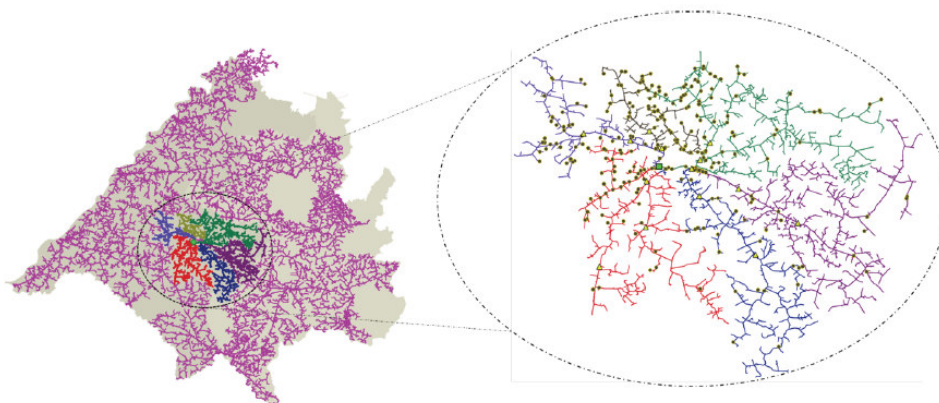
	Atendidos em MT (A3 e A4)	Irrigantes (A4)	Relação (%)
Quantidade de Usuários	88.384	1.927	2%
Mercado total (MWh)	2.019.273	432.596	21%
Consumo Médio (MWh/UC)	23	225	--

Fonte: Autor.

Este trabalho, terá como foco uma Subestação que contém seis Alimentadores, localizados na região oeste do estado do Rio Grande do Sul, onde possui uma vasta rede de distribuição localizada em área rural, possuindo consumidores com cargas sazonal e de alta demanda de energia, estando em regiões de alto índice de sofrer ações externas ocasionando faltas.

Na Figura 14 consta a localização da Subestação e os trajetos dos alimentadores com classe de tensão em 23 kV, os quais representam 12,3% da extensão de rede MT total de atendimentos aos consumidores irrigantes da região. Os alimentadores estão definidos por cores diferenciadas.

Figura 14 - Alimentadores 23kV da SE (irrigantes).

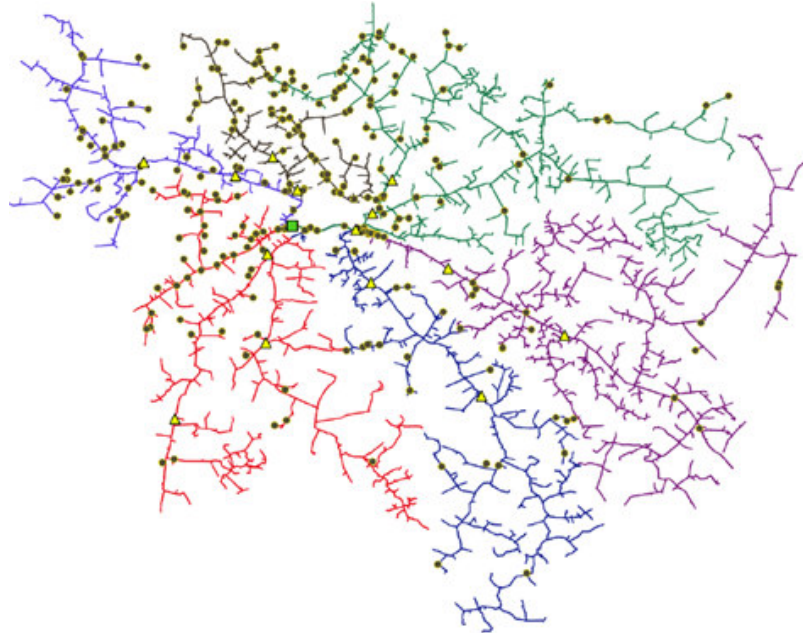


Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se na Figura 15, os 6 alimentadores contendo 14 reguladores de tensão atendendo 204 consumidores irrigante rurais. Os pontos em verde-amarelo constam os irrigantes rural atendido em média tensão, já os triângulos representam a posição dos reguladores de tensão, e no quadrado em verde a posição da Subestação.



Figura 15 - Alimentadores 23kV da SE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os indicadores individuais são únicos para cada unidade consumidora, desta forma cada uma tem um valor diferenciado entre as outras do mesmo alimentador, no entanto foi realizado uma média entre todas as unidades consumidoras do grupo selecionado.

A Tabela 4, apresenta os indicadores coletivos DEC e FEC apurados bem como os limites estabelecidos pela ANEEL e os valores de compensação pago anualmente. Os valores de compensação serão utilizados para definir o tempo de retorno do investimento dos SAE e UFV para reduzir os indicadores.

Tabela 4 -Indicadores coletivos e compensações para o Conjunto. Valores anuais.

Período	UC	DEC	DEC	FEC	FEC	Compensações
		apurado	Limite	apurado	Limite	
06/2021 a 05/2022	21.601	44,16	25,00	10,61	11,00	R\$ 8.104.748,33
01/2021 a 12/2021	21.473	35,15	25,00	9,97	11,00	R\$ 6.902.552,79
01/2020 a 12/2020	21.211	36,44	25,00	11,57	12,00	R\$ 5.417.254,33
01/2019 a 12/2019	21.059	53,68	25,00	11,65	12,00	R\$ 6.827.233,66
<b>Média =</b>	<b>21.336</b>	<b>42,35</b>				<b>R\$ 6.812.947,27</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por possuir valores diferentes em cada ano para o DEC, optou pela realização da média para os indicadores coletivos. Para os anos entre 2019 a 2021 possui valores representativos para 12 meses, já para o ano 2022 foi estabelecido o indicador pelos último 12 meses, porém foi incluído o período a partir de junho de 2021 até maio de 2022, assim, foi encontrado uma média de 42,35 para o DEC, já o estabelecido pela ANEEL e de 25,00. Para o indicador estar abaixo do estabelecido é necessária uma redução de 40,47% para que possa estar abaixo do máximo permitido.

Assim será guiado este trabalho, com objetivo de reduzir os indicadores a fim de obter valores abaixo do estabelecido pelo órgão fiscalizador e conseqüentemente excluir as compensações pagas anualmente, sendo investido no sistema de distribuição o valor que será deixado de pagar em compensações.

A Tabela 5 tem como objetivo apresentar o consumo de energia dos 6 Alimentadores da Subestação, nomeada como SE – 1, anual, mensal, por dia e por hora, dados estes que serão utilizados nos cálculos durante este capítulo. Os nomes dados na tabela para os alimentadores e para a subestação não refletem os nomes reais definidos pela distribuidora de energia, e sim nomes fictícios para o desenvolvimento deste trabalho, porém demais valores como consumo, compensações, correspondem valores reais.

Conforme apresentado na Tabela 6, será analisado os valores dos indicadores individuais dos últimos 3 anos da Subestação, com objetivo de obter em média o tempo em que as unidades consumidoras ficaram sem energia. Os valores médios coletados dos

indicadores para os três anos são praticamente os mesmos, desta forma os valores foram considerados iguais para fins de cálculos subsequente.

Tabela 5 - Consumo de energia para cada Alimentador da Subestação.

AL	SUBESTAÇÃO	CONSUMO	CONSUMO	CONSUMO	CONSUMO
		MW (anual)	MW (mês)	MW (dia)	MW (hora)
AL1	SE - 1	6.047,55	503,91	16,79	0,701
AL2	SE - 1	6.697,99	558,16	18,60	0,775
AL3	SE - 1	7.137,14	594,76	19,82	0,826
AL4	SE - 1	11.181,23	931,77	31,06	1,294
AL5	SE - 1	6.417,49	534,79	17,82	0,742
AL6	SE - 1	4.479,22	373,26	12,44	0,520

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que se possa ter resultados mais precisos, está sendo adotado valores para os indicadores com referência ao mês de maior consumo de energia, sendo o mês de janeiro de cada ano, que possui os maiores valores de indicadores. O contrário do mês de julho onde se tem os menores valores do período de 12 meses e conseqüentemente também os menores consumo de energia registrado.

Tabela 6 - Média dos Indicadores individuais para o mês de janeiro de cada ano.

Indicador	2021		2020		2019	
	Estabelecido	Apurado	Estabelecido	Apurado	Estabelecido	Apurado
DIC	7,26	23,50	7,26	19,37	7,26	20,71
FIC	3,42	7,75	3,48	7,40	3,48	5,97
DMIC	4,14	5,32	4,14	6,20	4,14	7,54

Fonte: ANEEL.

Devido a variação dos valores dos indicadores individuais, foi realizado a coleta dos indicadores de todas as UC do grupo A4 da Subestação, e foi realizado uma média entre os três anos, sobre os valores apurados. Estes resultados serão utilizados para a definição do SAE e UFV para todos os alimentadores, porém será usado valores de consumo de energia individual de cada alimentador.

Definição dos valores médio para os indicadores DIC e FIC:

$$DIC = \frac{23,50 + 19,37 + 20,71}{3} = 21,19 \quad (11)$$

$$FIC = \frac{7,75 + 7,40 + 5,97}{3} = 7,04 \quad (12)$$

Na Tabela 7 é apresentado o consumo do Conjunto adotado como referência, por mês e com o valor médio mensal, e diário. O propósito é dimensionar o SAE e a UFV em função da média em horas que as UC permanecem sem energia.

Tabela 7 - Consumo do conjunto em MWh.

<b>Mês</b>	<b>Consumo Total - MWh</b>
Janeiro	70.353,95
Fevereiro	57.221,18
Março	36.615,098
Abril	15.286,78
Maio	9.590,31

Junho	8.301,35
Julho	7.846,51
Agosto	8.474,41
Setembro	9.055,07
Outubro	16.176,99
Novembro	38.774,16
Dezembro	53.664,86
Consumo médio mês =	27.613,39
Consumo méd. Diário =	920,45

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi coletado informações dos indicadores coletivos do conjunto, pois entende-se que alterando estes será alterado os valores pagos pelas transgressões. Desta forma, foram analisados os valores dos indicadores coletivos dos últimos 4 anos do conjunto, com objetivo de se obter o tempo médio que as unidades consumidoras ficaram sem energia e a média da frequência. Na Tabela 8 são apresentados os indicadores anuais DEC e FEC apurados do Conjunto analisado, bem como os limites estabelecidos pela ANEEL e os valores de transgressões pagos anualmente. Estes valores pagos na forma de multas por transgressões serão utilizados para definir o tempo de retorno do investimento do sistema proposto SAE+UFV para reduzir os indicadores.

Tabela 8 - Indicadores coletivos e transgressões pagas.

Período	UC	DEC	DEC apurado	FEC	FEC apurado	Compensações
06/2021 a 05/2022	21.601	44,16	25,00	10,61	11,00	R\$ 8.104.748,33
01/2021 a 12/2021	21.473	35,15	25,00	9,97	11,00	R\$ 6.902.552,79
01/2020 a 12/2020	21.211	36,44	25,00	11,57	12,00	R\$ 5.417.254,33
01/2019 a 12/2019	21.059	53,68	25,00	11,65	12,00	R\$ 6.827.233,66
<b>Média =</b>	<b>21.336</b>	<b>42,35</b>	<b>25,00</b>			<b>R\$ 6.812.947,27</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.1 DIMENSIONAMENTO PARA OS ALIMENTADORES DA SE-1, UTILIZANDO METODO PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES INDIVIDUAIS

Neste item será apresentado a aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior, onde será dimensionado para cada alimentador da Subestação 1, o Sistema de Armazenamento de Energia e a Usina fotovoltaica. Em seguida apresentará os resultados com a utilização do VPL e TIR para a análise da viabilidade na utilização dos sistemas utilizados.

##### 4.1.1 Dimensionamento para Alimentador AL1

Conforme descrito a metodologia de cálculo, e como descrito no item anterior, os valores dos indicadores serão utilizados o mesmo para todos os 6 alimentadores.

Desta forma, primeiramente e realizado o cálculo para encontrar o tempo médio em horas que as unidades consumidoras ficaram sem energia, equação 26.

$$H_m = \frac{DIC}{FIC} = \frac{21,19}{7,04} = 3,00 \text{ horas} \quad (26)$$

A definição do consumo por hora, conforme equação 27, será calculada da seguinte forma, sendo os mesmos valores apresentado na Tabela 14:

$$C_{mh} = \frac{Cmd}{24 \text{ horas}} = 0,701 \text{ MWh} \quad (27)$$

Multiplicando os dois valores, obteremos desta forma 2,103 MWh, equação 28. Será adotado um SAE de 2,200 MWh ao preço de R\$ 3.270.434,46, sendo suficiente para suprir a energia no tempo previsto.

$$P_{se} = 3,00 \times 0,701 = 2,103 \text{ MW} \quad (28)$$

Para a definição da UFV, considerando um tempo de 3,00 horas em que o SAE+UFV irá fornecer energia ao sistema de distribuição, restariam 7,0 horas para a UFV realizar a carga da SAE, equação 29. A potência da usina sendo definida pelo  $P_{UFV}$ , conforme demonstrado na equação 30.

$$H_{cSAE} = 10 - 3,00 = 7,00 \text{ horas} \quad (29)$$

HcSAE – horas de carga diária para SAE

$$P_{UFV} = 2,103 / 7,00 = 0,300 \text{ MWp} \quad (30)$$

Será adotado um SAE de 2,2 MW, e uma UFV de 0,300 MWp para o alimentador, para carregar o SAE. Com base nos valores apresentado pelo Portal Solar (2021), o preço dessa UFV seria de R\$ 351.879,60.

Da mesma forma, que apresenta para o AL-1, será realizado para os demais alimentadores, onde é demonstrando os resultados encontrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores dimensionados para cada AL.

	Hm	Cmh (MWh)	Pse (MWh)	HcSAE	Pufv (MWh)
AL 1	3,00	0,701	2,103	7,00	0,300
AL 2	3,00	0,775	2,325	7,00	0,332
AL 3	3,00	0,826	2,478	7,00	0,354
AL 4	3,00	1,294	3,882	7,00	0,555
AL 5	3,00	0,742	2,226	7,00	0,318
AL 6	3,00	0,520	1,560	7,00	0,223

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.2 INVESTIMENTO INICIAL PARA REDUÇÃO DOS INDICADORES E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de encontrar o valor de investimento inicial para a inserção de SAE e UFV em cada alimentar e obter o tempo de retorno, sendo o tempo um item de suma importância, pois é o que vai definir se é válido ou não a aplicação do método com base no tempo de garantia de cada equipamento. A maioria dos fabricantes da SAE apresenta uma garantia de 20 anos, já os fabricantes de painéis solares possuem uma garantia de 25 anos, desta forma o tempo de retorno deve ser inferior ao tempo de garantia de cada componente instalado.

A Tabela 10 apresenta os valores de investimento inicial para cada Alimentador da Subestação SE-1, com os custos de aplicação do SAE e UFV separadamente. O investimento inicial total para a Subestação SE-1, na inclusão de SAE+UFV em cada Alimentador é de R\$ 23.888.283,90.

Tabela 10 - Investimento inicial para cada Alimentador, da Subestação SE-1.

Alimentador	Custo SAE	Custo UFV
AL1	R\$ 3.270.434,46	R\$ 351.879,60
AL2	R\$ 3.567.746,68	R\$ 389.413,42
AL3	R\$ 3.716.640,80	R\$ 351.879,60



AL4	R\$ 5.797.588,37	R\$ 650.977,26.
AL5	R\$ 3.419.090,57	R\$ 375.338,24
AL6	R\$ 2.378.497,80	R\$ 269.774,36
	<b>R\$ 22.149.998,68</b>	<b>R\$ 1.738.285,22</b>
<b>Total =</b>	<b>R\$ 23.888.283,91</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 11 apresenta o número de unidades consumidoras para cada Subestação bem como a proporcionalidade sobre o conjunto em UC. A Subestação nomeada como SE-1 possui 65,30% do total de UC do conjunto, obtendo um total de 14.105. Já a SE com menor número de UC e a SE-10, com 268 cadastradas perfazendo 1,24%.

Com base no valor pago em compensações anual para o Conjunto em estudo, sendo o valor de R\$ 6.812.947,22, este será dividido proporcional ao número de UC de cada SE pertencente ao Conjunto, já que os valores pagos são por violação dos indicadores individuais e assim são definidos os indicadores coletivos. Desta forma a SE-1 representa R\$ 4.448.711,66, representando um porcentual de 65,30%. Já a SE-10 com a menor representatividade com 1,24% com valor de R\$ 84.527,10.

Tabela 11 - Proporcionalidade de número de UC e valor pago em compensação por SE.

	SE	UC por SE	% de UC	Valor por SE, transgressão
	<b>SE- 1</b>	<b>14.105</b>	<b>65,30%</b>	<b>R\$ 4.448.711,66</b>
	SE - 2	482	2,23%	R\$ 152.022,62
	SE - 3	506	2,34%	R\$ 159.592,21
	SE - 4	309	1,43%	R\$ 97.458,48
<b>Conjunto</b>	SE - 5	1.529	7,08%	R\$ 482.246,02
	SE - 6	629	2,91%	R\$ 198.386,36
	SE - 7	821	3,80%	R\$ 258.943,09
	SE - 8	1.567	7,25%	R\$ 494.231,21
	SE - 9	1.385	6,41%	R\$ 436.828,48
	SE - 10	268	1,24%	R\$ 84.527,10
	<b>Total</b>	<b>21.601</b>	<b>100%</b>	<b>R\$ 6.812.947,22</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre o valor encontrado, proporcional ao número de UC, será aplicado o Valor Presente Líquido – VPL para a obtenção do tempo de retorno do investimento inicial. Este investimento, SAE+UFV, tem por objetivo principal a redução dos indicadores apurados para que fiquem abaixo dos estabelecidos pelo órgão regulatório.

Vale ressaltar que conforme a Tabela 8, seria necessário a redução do indicador apurado DEC em 25,81% do ano 2021, para obter um valor abaixo do limite estabelecido pela ANEEL. Para o ano 2020 a redução necessária e de 31,31%. Para o ano 2019 uma redução necessária de 53,44%.

Pode-se afirmar que a Subestação SE-1, corresponde 65,30% do total de UC do Conjunto, desta forma é possível interpretar que se reduzir apenas os indicadores da SE-1 em 50% (com a instalação de SAE + UFV nos alimentadores), mantendo com 32,65%, atingiria a redução necessária para manter os indicadores abaixo do estabelecido pela ANEEL para o Conjunto, atendendo a necessidade para os anos 2021 e 2019.

Para se obter um valor mais aproximado do real em relação ao tempo de retorno, será aplicado Valor Presente Líquido -VPL, equação 24, assim verificando se é viável a realização do investimento ou não, isso se dá se o VPL resultar num valor positivo,

demonstrando que o projeto é um investimento viável, caso for negativo o projeto não é atrativo.

O Fluxo de Caixa corresponde ao valor proporcional correspondente a relação da quantidade de UC pelo valor total de compensação paga anual pela transgressão dos indicadores, conforme apresenta equação 31, ou seja:

$$\text{Fluxo de Caixa} = (65,30\%) * (\text{R\$ } 6.812.947,27) = \text{R\$ } 4.448.711,66 \quad (31)$$

Já a Taxa Mínima de Atratividade – TMA, será definida de acordo com a informação do Banco Central do Brasil (2022) através do valor da inflação, que para a presente data, esta composta por 11,89% a.a.

Para o período, “j” (na equação 24), representa o tempo mínimo, em anos, necessário para que se possa ter um resultado positivo. Para este caso foi identificado através de simulações o tempo de 10 anos, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Tempo de retorno do investimento inicial (SAE+UFV).

Ano	Valor retorno
0	- R\$ 23.888.283,90
1	R\$ 4.448.854,57
2	R\$ 4.448.854,57
3	R\$ 4.448.854,57
4	R\$ 4.448.854,57
5	R\$ 4.448.854,57
6	R\$ 4.448.854,57
7	R\$ 4.448.854,57
8	R\$ 4.448.854,57
9	R\$ 4.448.854,57
10	R\$ 4.448.854,57
<b>VPL</b>	<b>+ R\$1.362.328,70</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de investimento inicial, R\$ 23.888.283,90, é considerando o investimento somente dos alimentadores da SE-1, onde constatou-se que é possível obter um retorno em um tempo máximo de 10 anos.

Para melhor validação do resultado, será utilizado também a aplicação da Taxa Interna de Retorno – **TIR** (equação 25).

O resultado apresenta uma TIR de 13,26%, sendo superior ao valor do VPL, sendo satisfeito, ou seja, o projeto é favorável financeiramente. Assim e considerado satisfatório a aplicação da metodologia desenvolvida acima, podendo ser aplicada na prática.

#### **4.2.1 Pontos de aplicação dos SAE+UFV nos alimentadores**

Neste item será descrito os possíveis pontos de aplicação dos sistemas dimensionados nos itens anteriores, para Sistemas de Armazenamento de Energia e as Usinas Fotovoltaicas. Para a definição destes pontos foi utilizado um simulador desenvolvido pelo aluno do Doutorado da UFSM Júlio Arilon de Bitencourt, o qual realiza a definição dos pontos para UFV com base na carga instalada no alimentador. Para o estudo em questão foi aplicado o filtro de forma que realiza a definição dos pontos de instalação com base somente nas cargas em média tensão do grupo A4, sendo este os que contêm as unidades consumidoras irrigantes, que são o foco deste trabalho.

Na figura 16 apresenta a disposição dos alimentadores da SE-1 bem como os pontos simulados possíveis de instalação de GD. O quadrado em vermelho representa a Subestação SE-1, os losangos em amarelo são as chaves religadoras, e os losango em azul claro o resultado da simulação para possíveis pontos de instalação dos painéis fotovoltaicos. Para o AL1 apresentou 34 pontos, AL2 possui 42 pontos, para o AL3 apresenta 46 pontos, AL4 apresenta 65 pontos, AL5 apresenta 16 pontos, para o AL6 apresenta 19 pontos.

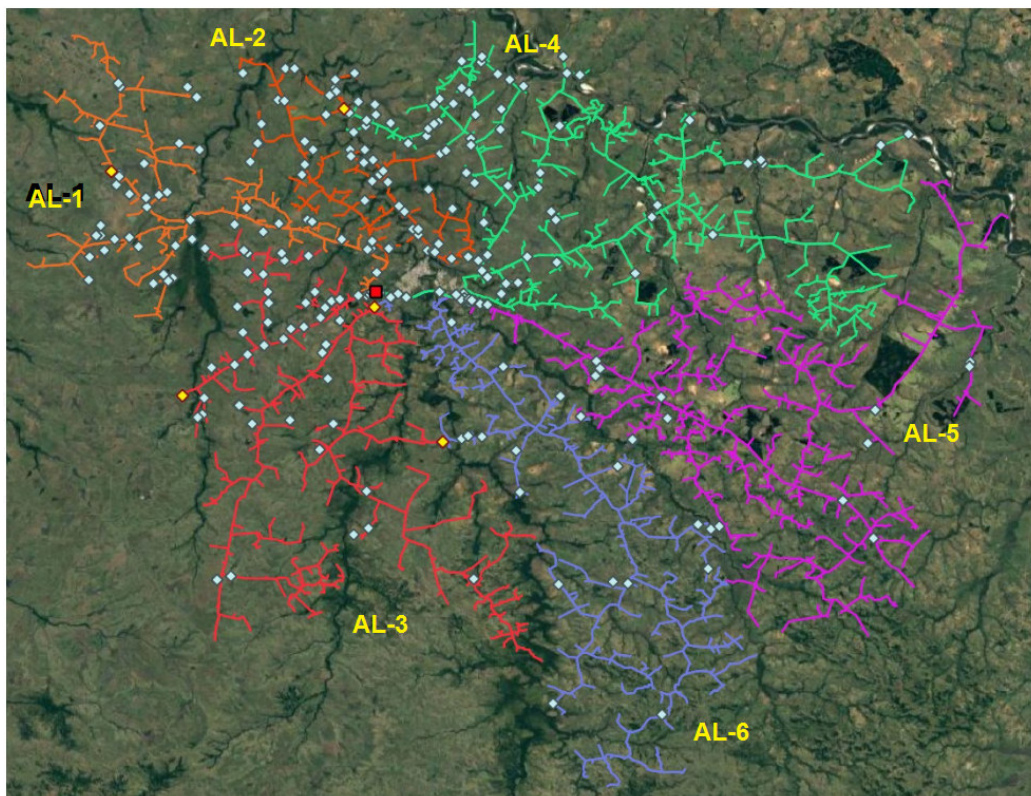
Os alimentadores desta subestação apresentam 90% de sua rede em área rural, podendo facilmente ser instalado as GD fotovoltaica por se tratar de área de cultivo de

grão não contendo sombreamento em nenhum momento do dia por árvores e ou prédios, ficando dependendo somente da radiação solar, possibilitando ao máximo aproveitamento.

Para o dimensionamento da GD fotovoltaica, para o AL1, foi obtido um valor de 0,30MWp (300kWp), conforme equação 30, o que daria uma área de ocupação para instalação de 1.320 m<sup>2</sup>, necessitando de 667 placas solares, se fosse instalado em um único ponto utilizando placas fotovoltaica de 450W, porém se dividir nos 34 pontos apresentados na simulação teríamos 38,82 m<sup>2</sup> por ponto, o que seria satisfatório por ser uma área que ocuparia menor espaço e seria distribuído em diversos pontos estratégicos.

Para o AL2, foi obtido um valor de 0,332 MWp (322 kWp), conforme equação 35, o que resultaria em 716 placas solares, em uma área de ocupação para instalação de 1.504 m<sup>2</sup> se fosse instalado em um único ponto, porém dividindo em 42 pontos apresentados na simulação teríamos 35,80 m<sup>2</sup> por ponto. Na mesma forma que para o AL1 seria satisfatório por distribuir a GD em diversos pontos estratégicos.

Figura 16 - Disposição dos Alimentadores da SE-1. Posição dos possíveis GD.



Fonte: Adaptado simulador elaborado por Júlio Arilon De Bitencourt.

Onde:

Quadrado em vermelho – Localização da SE-1;

Losango em azul - Pontos possíveis de instalação das UFV

Já para o AL3, foi obtido um valor de 0,354 MWp (354 kWp), conforme equação 40, o que resultaria em 787 placas solares, em uma área de ocupação para instalação de 1.652 m<sup>2</sup> se fosse instalado em um único ponto, porém dividindo em 46 pontos apresentados na simulação teríamos 35,91 m<sup>2</sup> por ponto. Na mesma forma que para os alimentadores anteriores seria satisfatório distribuindo as GD.

Para o AL4, foi obtido um valor de 0,555 MWp (555 kWp), conforme equação 45, o que resultaria em 1234 placas solares, em uma área de ocupação para instalação de 2.590 m<sup>2</sup> se fosse instalado em um único ponto, porém dividindo em 65 pontos apresentados na simulação teríamos 39,0 m<sup>2</sup> por ponto.

No AL5, foi obtido um valor de 0,318 MWp (318 kWp), conforme equação 50, o que resultaria em 707 placas solares, em uma área de ocupação para instalação de 1.484 m<sup>2</sup> se fosse instalado em um único ponto, porém dividindo em 16 pontos apresentados na simulação teríamos 92,8 m<sup>2</sup> por ponto.

Já no AL6, foi obtido um valor de 0,223 MWp (223 kWp), conforme equação 55, o que resultaria em 496 placas solares, em uma área de ocupação para instalação de 1.042 m<sup>2</sup> se fosse instalado em um único ponto, porém dividindo em 19 pontos apresentados na simulação teríamos 55,0 m<sup>2</sup> por ponto.

Desta forma deve ser realizado a análise do sistema elétrico físico, obtendo as localizações das chaves de manobra, religadores, reguladores de tensão, entre outros equipamentos de manobra e proteção, bem como a análise dos indicadores de cada unidade consumidora em cada alimentador para a definição correta da instalação do SAE e UFV, assim obtendo melhores resultados.

O simulador apresentou vários pontos estratégicos, mas não necessariamente deve ser instalado em todos os que foi apresentado, deve ser escolhido os que melhor apresentar resultados para os indicadores.

### 4.3 METODOLOGIA PARA A REDUÇÃO DOS INDICADORES, UTILIZANDO INDICADORES COLETIVOS

#### 4.3.1 Dimensionamento do SAE e UFV para o conjunto

O Conjunto a ser tratado, atende 10 Subestação, conforme apresenta a Tabela 11. Para a definição do SAE e UFV para o conjunto em estudo, primeiramente será definido o tempo ultrapassado do limite estabelecido para o conjunto pela ANEEL, assumindo-se a diferença entre o DEC médio apurado e o DEC-limite médio.

$$Hm = 42,35 - 25,00 = 17,35 \text{ horas} \quad (32)$$

A seguir deve-se encontrar o número equivalente de horas por dia que o conjunto ficou sem energia, a partir da razão entre  $Hm$  e o FEC médio apurado.

$$NDEC = \frac{17,35}{9,97} = 1,74 \text{ horas} \quad (33)$$

Com base no consumo médio em horas de um dia do conjunto será definido a potência necessária para suprir por hora na falta.

$$Cmh = \frac{920,45}{24 \text{ horas}} = 38,35 \text{ MWh} \quad (34)$$

Definindo assim a potência consumida em média por falta de todo o conjunto.

$$Pse = 1,74 \times 38,35 = 66,73 \text{ MW} \quad (35)$$

É possível dividir a potência em 4 pontos distintos no Conjunto, podendo optar pela instalação em Alimentadores pertencente a Subestação que possui maior número de irrigantes e ou consumidores com carga sazonal, neste caso permanecera prevalecendo a SE-1, para ser instalados em pontos estratégicos com maior incidência de faltas e ou reforço ao sistema. A potência do SAE ( $Pse = 66,73 \text{ MW}$ ) pode ser alcançada com o emprego de 4 unidades de SAE com **17 MWh** cada unidade, onde o valor unitário de cada **R\$ 31.235.059,65**.

As horas de carga do SAE é dada na equação (36) e a potência da UFV é calculada na equação (37). Como são assumidos 4 locais distintos para receber as UFVs, cada um destes locais receberá uma UFV de 8,078 MWp.

$$HcSAE = 10 - 1,74 = 8,26 \text{ horas} \quad (36)$$

$$P_{UFV} = 66,73 / 8,26 = 8,078 \text{ MWp} \quad (37)$$

Com base nos valores apresentado pelo PORTAL SOLAR (2021), o preço da UFV de 1MWp seria de R\$ 1.172.932,00. Desta forma, cada ponto de 8,078 MWp representaria um custo aproximado de instalação de **R\$ 9.474.944,70**.

Empregando-se quatro conjuntos SAE+UFV, é possível esperar uma melhor assertividade na redução dos indicadores.

#### **4.3.2 Investimento inicial para redução dos indicadores e validação dos resultados**

Custo para SAE será:

- 4 SAE de 17,00 MWh, totalizando R\$ 124.940.238,60;

Custo para UFV será:

- 4 UFV de 2,019 MWp, totalizando R\$ 37.899.778,80;

Com isso, o investimento total (SAE + UFV) será de R\$ 162.840.017,40.

Aplicando o Valor Presente Líquido – VPL (equação 24) para a obtenção do tempo de retorno do investimento inicial, da mesma forma realizada para a abordagem anterior, onde foi adotado os indicadores individuais. Este investimento tem por objetivo principal a redução dos indicadores apurados para que fiquem abaixo dos estabelecidos pelo órgão regulatório. Se o VPL resultar num valor positivo, demonstrando que o projeto é um investimento viável, caso for negativo o projeto não é atrativo



Vale ressaltar que conforme a Tabela 8, seria necessário a redução do indicador apurado DEC para o ano de 2022 em 43,38%, para obter um valor abaixo do limite estabelecido pela ANEEL. Para o ano 2021 a redução necessária é de 28,87%. Para o ano 2020 uma redução necessária de 31,39%. Já para o ano 2019 uma redução de 53,42. Realizando uma média entre os valores seria necessária uma redução de 40,96%.

O Fluxo de Caixa corresponde ao valor total de compensação paga anual pela transgressão dos indicadores coletivos (valor médio entre os anos de 2019 e 2022), ou seja:

$$\text{Fluxo de Caixa} = R\$ 6.812.947,27$$

Para a Taxa Mínima de Atratividade – TMA e o período, será definida da mesma forma que a metodologia anterior, composta por 11,89% a.a, e período, “j”, em anos, necessário para que se possa ter um resultado positivo.

Ao realizar a equação do VPL, foi constatado que até o 25º ano ocorre uma compensação significativa sobre o valor do investimento inicial, a partir desse ano não ocorre uma compensação favorável ao investimento, mesmo realizando uma simulação até aos 100º anos o VPL apresentou resultado negativo para o investimento.

Desta forma, com base no tempo de garantia dos sistemas a serem instalados serem muito inferior aos 100 anos, considera-se esta metodologia para a obtenção da redução dos indicadores coletivos para o conjunto em questão, inadequado financeiramente para que possa ser aplicado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou duas metodologias para a redução dos indicadores apurados, uma utilizando os indicadores individuais e outra utilizando os indicadores coletivos, sendo a última comprovada através de VPL e TIR que não é viável economicamente a sua aplicação. No entanto a primeira apresentou resultado favorável, com a comprovação também pela VPL e TIR e assim desenvolvido o dimensionamento para a aplicação dos SAE e UFV em uma subestação contendo 6 alimentadores.

Foi escolhido uma subestação dentro de um conjunto possuindo unidades consumidoras com carga sazonal, assim foi selecionado valores de indicadores e valores pagos em compensações anuais. A seleção foi realizada entre 100 conjuntos existentes da distribuidora, para obter a subestação com o maior número de consumidores irrigantes e com os maiores valores de indicadores.

A metodologia aplicada apresentou um tempo de retorno do investimento em um período de 10 anos, porém pode ser reduzido se considerado outros indicadores como DRP e DRC que são os índices que controlam os níveis de tensão. Também poderia ser considerado a energia gerada pelas GD durante o período em que não estariam carregando os SAE, podendo ser injetado no sistema de distribuição para ser utilizado pelas unidades consumidoras do alimentador. O tempo de retorno se comprovou satisfatório considerando o tempo de garantia dos fabricantes que é superior aos 10 anos, as placas solares apresentam 25 anos para alguns fabricantes, já o SAE em média de 15 anos.

Mesmo não sendo permitido o ilhamento de GD em sistemas de distribuição pela ANEEL, é apresentado uma metodologia de forma acadêmica com resultados satisfatórios se assim fosse aceito pela ANEEL. A escolha desses sistemas, SAE+UFV, foi por ser um sistema de fácil instalação, por possuir o menor tempo de construção em relação a outras formas de geração de energia e com menor impacto ambiental.

O propósito deste trabalho foi apresentar uma metodologia que pode ser analisado pelo órgão regulador utilizando as GD para auxiliar o sistema de distribuição na redução dos indicadores individual e coletivos e a exclusão dos valores pagos pelas violações dos indicadores.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

Para que se possa aumentar a qualidade dos resultados sobre a metodologia aplicada, os seguintes itens se propõem para continuidade do trabalho:

- Realizar a análise do sistema elétrico físico, obtendo as localizações das chaves de manobra, religadores, reguladores de tensão, entre outros equipamentos de manobra e proteção, bem como a análise dos indicadores de cada unidade consumidora em cada alimentador para a definição correta da instalação do SAE e UFV.
- Buscar valores exatos para implementação da Usinas Fotovoltaicas e Sistemas de Armazenamento de Energia, ex: valor projeto, mão de obra, acessórios, despesas diversas.
- Realizar separação de consumidores por região em cada alimentador, urbano e rural, para a averiguação se os sistemas serão mais eficientes.
- Aplicar dimensionamento dos Sistemas externos considerando a tendencia de aumento de carga para os próximos 20 anos para cada Subestação.
- Viabilidade de ingressar as Unidades Consumidoras como parte da implementação dos Sistemas Externos, possibilitando a compensação pela fatura de energia.

## 5.3 PUBLICAÇÕES

Durante a realização do Mestrado foram publicados, e ou em formato de publicação (trabalhos já aceito), os trabalhos relevantes em relação ao tratado nesta dissertação:

- Fabrin, F. G., Bernardon, D. P., Garcia, V.J., Pose, A., Reis, L., Butto, S., Chiara, L.M., Silva, D.W. **Heurística para redução das transgressões dos indicadores coletivos de consumidores irrigantes com o emprego de sistemas de**

**armazenamento e geração solar fotovoltaica.** Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2022), Fortaleza, CE, Brasil, 2022.

- Fabrin, F. G., Bernardon, D. P., Garcia, V.J., Pose, A., Reis, L., Butto, S., Chiara, L.M., Silva, D.W. **Abordagem para Redução dos Indicadores Individuais e Coletivos em Conjunto de Consumidores UC Irrigantes.** Simpósio Brasileiro de Sistema Elétricos (SBSE 2022). Santa Maria, Brasil. 2022.
- Fabrin, F. G., Garcia, V.J., Bernardon, D. P., Pose, A., Reis, L., Butto, S., Chiara, L.M., Silva, D.W. **On the analysis of contract optimization for high seasonal electrical consumers.** XXI Latin Ibero-American conference on Operations Research (CLAIO 2022). Buenos Aires, Argentina. 2022.

Também foi publicado outros trabalhos com conteúdo não ligado diretamente a esta dissertação:

- FABRIN, F. G.; LIMA, D. A. C.; KIESKICH, A. R. **Resistividade do Solo em Relação a Umidade e Temperatura Ambiente.** INGENIO Revista de Ciência Tecnologia e Inovación, <https://revistas.fio.unam.edu.>, p. 53 - 66, 23 fev. 2022.
- LIMA, D. A. C. ; FABRIN, F. G. ; BERNARDON, D. P. ; OLIVEIRA, M. O. ; CABRAL, R. J. . **Otimização matemática na decisão de planejamento para a expansão de um sistema de 8 barras.** INGENIO Revista de Ciência Tecnologia e Inovación, [revistas.fio.unam.edu.ar](https://revistas.fio.unam.edu.ar), p. 78 - 89, 05 abr. 2022.
- FABRIN, F. G.; PAIXAO, J. L; LIMA, D. A. C; SANTANA, G. C; BALDISSERA, L. B; SILVA, R. N. **Uso Do Método AHP Na Prioridade De Ações De Combate A Perdas Não Técnicas.** In: Salão do Conhecimento, 2021, Ijuí. XXVI Jornada de Pesquisa, 2021.
- FABRIN, F. G.; PAIXAO, J. L; LIMA, D. A. C; SANTANA, G. C; BALDISSERA, L. B; SILVA, R. N. **Métodos Matemáticos De Modelagem E Otimização: Teoria E Aplicações Do Método De Monte Carlo.** In: Salão do Conhecimento - UNIJUÍ, 2021, Ijuí. XXVI Jornada de Pesquisa, 2021.
- FABRIN, F. G.; LIMA, D. A. C.; Moura, G. A. S. de; ROSA, L. G; KUMM, I. S.; COSTA, C. S. **Comissionamento De Um Sistema Fotovoltaico Residencial.** In: Salão do Conhecimento, 2020, Ijuí. XXVIII Seminário de Iniciação Científica. Ijuí: UNIJUI, 2020. v. 6.

- LIMA, D. A. C.; FABRIN, F. G. ; LIMA, A. S. C.; WALANTUS, L. A. **Dimensionamento e a importância do setor elétrico para implantação do sistema fotovoltaico.** Revista de Ciência e Inovação, p. 77 - 91, 10 ago. 2020.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Notícias. Brasília. DF. 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-05/energia-solar-deve-responder-por-17-da-matriz-brasileira-ate-2031>. Acesso em: 10 agosto 2022.

ALICE P. CAURIO. **Análise Da Aplicação De Sistemas de Armazenamento e Sistemas Fotovoltaicos Para Redução de Custos de Energia Elétrica de Clientes do Grupo A**. Monografia. Porto Alegre, RS, Brasil, 2021.

ALVARO A. F.L., CLAUDIO BEZERRA DE CARVALHO, DEAN WILLIAM CARMEIS, DOREL SOARES RAMOS, GILBERTO DE MARTINO JANNUZZI, JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, MARIA ROSA REZENDE, SÉRGIO VALDIR BAJAY. “**As Tarifas Horo-Sazonais E De Fornecimentos Interruptíveis De Energia Elétrica Como Forma De Otimização De Curvas De Carga**”. Universidade São Paulo. 2017. Disponível em: <http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CLAGTEE2003/Papers/TS%20B-106.pdf>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

ANDRE F. A. DE BARRO. **Análise Das Principais Causas De Descontinuidade No Fornecimento De Energia Elétrica E De Seus Impactos Nos Indicadores De Qualidade**. Monografia. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2020.

ANEEL. **Painel de Desempenho**. Brasília. DF, Brasil, 2021. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/painel-de-desempenho>. Acesso em: 20 maio 2022.

ANEEL. **Indicadores Individuais de Continuidade por Município**. Brasília. DF, Brasil, 2022. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/limites-dos-indicadores-de-continuidade-por-municipio>. Acesso em: 15 abril 2022.

ANEEL. **PRODIST - Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 8**. ANEEL. Brasília. DF, Brasil. Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956\\_2\\_7.pdf](https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf). Acesso em: 5 junho 2022.

ATLAS SOLAR RIO GRANDE DO SUL. **Mercado Fotovoltaico**. Porto Alegre. RS. 2018. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos/atlas-solar7.pdf>. Acessado em agosto de 2022.

BANCO CENTRAL. **Estatísticas – Panorama Econômico**. Brasília, DF. Notícias. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acesso em: 17 agosto 2022.

CANHA, LUCIANE NEVES (et al.). **Energy Storage System Sitting and Sizing for Renewable Support, Handbook of Optimization in Electric Power Distribution Systems**. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9783030361143>. Acesso em: 24 maio 2020.

BOCK, SANDRO A. **Proteção de sistemas de distribuição**. Roteiro de aula para disciplina de proteção de sistemas elétricos. Ijuí: Ed. UNIJUI, 2009.

CANAL SOLAR. **Usina de energia Solar**. Notícias. São Paulo. Campinas. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/voce-sabe-o-que-e-uma-usina-de-energia-solar/>. Acesso em: 15 julho 2022.

ECO DEBATE. **Maior Usina Fotovoltaica da América do Sul inicia operação em São Paulo**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/>. Acesso em: 10 outubro 2021.

ELECTRECK. **Tesla reveals Megapack prices: starts at \$1 million**. Disponível em: <https://electrek.co/2021/07/26/tesla-reveals-megapack-prices/#:~:text=Tesla%20has%20revealed%20more%20detailed,large%2Dscale%20energy%20storage%20space>. Acesso em: 27 agosto 2022.

EPE. **Plano de Decenal de Expansão de Energia 2027**. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Brasília. DF, Brasil. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>. Acesso em: 10 agosto 2022.

EPE. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. Rio de Janeiro. RJ. Acessado em agosto de 2022. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20\(NT%20PR%2004-18\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20(NT%20PR%2004-18).pdf). Acesso em: 10 agosto 2022.

EPE. **Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída**. Rio de Janeiro. RJ. Disponível em: <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/pdgd/>. Acessado em agosto de 2022.

FERNANDO S.S., EDUARDO GONZAGA DA S., E MARCOS V. S. **Método Para Estimar a Confiabilidade de Sistemas de Subtransmissão de Energia - DEC Estrutural**. Belo Horizonte. UFSJ. Dissertação. 2017. Disponível em: <http://abradee03.org/send2016/wp-content/uploads/2016/12/3615.pdf>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

JILEI YE, JINHUA XUE, BINGYU SANG, DAN LU E HAOMAIN LIU. **Government, Economics, Companies, Investment, Energy storage, Reliability, Power systems**. IEEE. 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7512343>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. D.; OBBA, E. J. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2005. 325 p. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

MOHAMED WAGDY, AMR MAGDY E WALID EL-KHATTAM. **Optimal Demand Management for Smart Distribution Networks**. IEEE. 2020. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez47.periodicos.capes.gov.br/document/9320015>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

P.R. THOMAS, TJ WALKER JR E CA MC CARTHY. **Reactive power, Communities, Substations, Reliability, Batteries**. IEEE. 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6345524>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

PORTAL SOLAR. **Usina Solar: todas as informações sobre a tecnologia no Brasil e no Mundo**. Brasil. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>. Acesso em 18 julho 2022.

RAUL F. BECK. **Baterias Tecnologia e Aplicação em GD**. CPQD. Campinas, SP, Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.tec.abinee.org.br/2019/arquivos/e4172.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

RODRIGO O. C. MONTEIRO, PRISCYLLA FERRAZ, RUBENS D. COELHO E RONALDO A. DOS SANTOS. “**Distância Da Rede Elétrica Que Viabiliza O Uso De Motores Diesel Em Áreas Irrigadas Do Brasil**”. CAPES. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3305/2076>. 2007. Acesso em: 20 dezembro 2021.

SANTOS K. VERMA E ABHINAV SHANDILYA. **Variable tariff energy meter with automatic power flow control**. IEEE. 2017. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez47.periodicos.capes.gov.br/document/8389518>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

Sunrise-and-sunset. **Nascer e pôr do Sol**. Rio Grande. RS. 2022. Acesso em agosto de 2022. <https://www.sunrise-and-sunset.com/pt/sun/brasil/rio-grande>. Acesso em: 15 agosto 2022.

TREASY. **Taxa Interna de Retorno: como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto?** Santa Catarina. Blumenau. 2017.



Notícia. Disponível em: [https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/#:~:text=Do%20ingl%C3%AAs%20Internal%20Rate%20of,\)%20iguale%2Dse%20a%20zero](https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/#:~:text=Do%20ingl%C3%AAs%20Internal%20Rate%20of,)%20iguale%2Dse%20a%20zero). Acessado em agosto 2022.

VINICIUS A. UBERTI. **Lógica Fuzzy Para Avaliação De Eficiência Energética Em Sistemas De Irrigação De Lavouras De Arroz**. Dissertação. Santa Maria, RS, Brasil, 2017. Disponível em: [paimon.cpd.ufsm.br/handle/1/13433](http://paimon.cpd.ufsm.br/handle/1/13433). Acesso em: 5 novembro 2021.

XIAO YUAN CHEN, JIAN XUN JIN, YING XIN E JING YIN ZHAND. **Hybrid power systems, Superconducting magnetic energy storage, Power generation, High temperature superconductors, Superconducting coils, Partial discharges**. IEEE. 2011. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6145056>. Acesso em: 20 dezembro 2021.

WEG. **Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias – ESSW**. Jaraguá do Sul, SC, Brasil. Disponível em: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Armazenamento-de-Energia-em-Baterias/Sistema-de-Armazenamento-de-Energia-em-Baterias-ESSW/c/BR\\_WDC\\_CP\\_SISTEMA\\_ESSW](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Armazenamento-de-Energia-em-Baterias/Sistema-de-Armazenamento-de-Energia-em-Baterias-ESSW/c/BR_WDC_CP_SISTEMA_ESSW). Acesso em: 15 março 2022.