

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Larissa Ribeiro Soares

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE  
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE DISTRIBUIÇÃO  
CONSIDERANDO UMA AMOSTRA PADRÃO NO RIO GRANDE DO  
SUL**

Santa Maria, RS  
2023

Larissa Ribeiro Soares

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE  
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO  
UMA AMOSTRA PADRÃO NO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheira de Produção**.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmem Brum Rosa

Santa Maria, RS  
2023

Larissa Ribeiro Soares

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE  
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO  
UMA AMOSTRA PADRÃO NO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheira de Produção**.

Aprovada em: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2023.

---

Carmem Brum Rosa, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientadora)

---

Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. (UFSM)  
(Avaliador)

---

Denis Rasquin Rabenschlag, Dr. (UFSM)  
(Avaliador)

## RESUMO

### ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO UMA AMOSTRA PADRÃO NO RIO GRANDE DO SUL

AUTORA: Larissa Ribeiro Soares  
ORIENTADORA: Carmem Brum Rosa

Os transformadores são equipamentos essenciais para o sistema elétrico, pois são responsáveis por elevar ou reduzir a tensão da energia elétrica para que ela possa ser transportada e distribuída de forma segura e eficiente. No entanto, os transformadores tradicionais apresentam baixa eficiência energética, o que representa um desperdício de energia e um aumento dos custos das distribuidoras. A gestão de eficiência energética é um conjunto de ações que visam reduzir o consumo de energia em um processo ou sistema. No caso das distribuidoras de energia, a gestão de eficiência energética pode ser aplicada a diversos componentes do sistema elétrico, incluindo os transformadores. O estudo e a aquisição de transformadores mais eficientes é uma importante estratégia de gestão de eficiência energética para as distribuidoras de energia, pois pode trazer diversos benefícios, tanto para as empresas quanto para a sociedade. Para verificar a viabilidade técnico-econômica da aquisição de transformadores mais eficientes, foram utilizadas ferramentas como o plano PDCA (Plan-Do-Check-Act) e método linear para cálculo da depreciação. Utilizou-se métodos práticos complementares para a análise das perdas de energia elétrica destes equipamentos e conseqüentemente na comprovação da eficiência como fator determinante na solução ótima perante critérios técnicos-econômicos.

**Palavras-chave:** Transformadores. Eficiência energética. Plano PDCA. Viabilidade técnico-econômica.

## ABSTRACT

### TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE REPLACEMENT OF THREE-PHASE DISTRIBUTION TRANSFORMERS CONSIDERING A STANDARD SAMPLE IN RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Larissa Ribeiro Soares

ADVISOR: Carmem Brum Rosa

Transformers are essential equipment for the electrical system, as they are responsible for increasing or decreasing the voltage of electrical energy so that it can be transported and distributed safely and efficiently. However, traditional transformers have low energy efficiency, which represents a waste of energy and an increase in the costs of distributors. Energy efficiency management is a set of actions that aim to reduce energy consumption in a process or system. In the case of energy distributors, energy efficiency management can be applied to various components of the electrical system, including transformers. The study and acquisition of more efficient transformers is an important energy efficiency management strategy for energy distributors, as it can bring various benefits, both for companies and society. To verify the technical-economic feasibility of acquiring more efficient transformers, tools such as the PDCA (Plan-Do-Check-Act) plan and the linear method for calculating depreciation were used. Complementary practical methods were used to analyze the electrical energy losses of these equipment and consequently to prove efficiency as a determining factor in the optimal solution under technical-economic criteria.

**Keywords:** Transformers. Energy efficiency. PDCA plan. Technical-economic feasibility

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Placa de Identificação.....	13
FIGURA 2 – Ciclo PDCA.....	14
FIGURA 3 – Fluxograma das etapas.....	19
FIGURA 4 – Sistema Elétrico de Potência.....	20
FIGURA 5 – Dados do consumo de energia elétrica por região.....	22
FIGURA 6 – Dados de consumo de energia elétrica por classes.....	22
FIGURA 7 – Transformador trifásico.....	23
FIGURA 8 – Histórico da Média Mensal do Painel de Preços.....	26
FIGURA 9 – Gráfico da viabilidade econômica.....	30

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Precificação dos Transformadores Trifásicos.....	25
TABELA 2 – Precificação dos Transformadores Trifásicos da Amostra Padrão.....	26
TABELA 3 – Custos das perdas totais por cenário.....	27
TABELA 4 – Valor Residual.....	28
TABELA 5 – Análise da viabilidade econômica.....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	11
<b>2.1.1</b>	<b>Norma ABNT NBR ISO 50001 .....</b>	<b>13</b>
2.2	CONFIABILIDADE E VIDA ÚTIL .....	15
2.3	ANÁLISE ECONÔMICA DE PERDAS DE ENERGIA.....	16
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>18</b>
3.1	CENÁRIO DE ESTUDO .....	18
3.2	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO.....	18
3.3	MÉTODO DE TRABALHO .....	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>21</b>
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	21
4.2	COLETA DE DADOS .....	24
4.3	PRÉ-ANÁLISES .....	25
4.4	MODELAGEM .....	26
4.5	RESULTADOS .....	28
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>
	<b>APÊNDICE A - MCPSE .....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação, cada vez mais acentuada, por qualidade de energia elétrica se deve à grande quantidade de equipamentos e processos sensíveis que são afetados por problemas de qualidade de energia elétrica, os quais provocam prejuízos, principalmente aos consumidores industriais e comerciais. Cada um dos fenômenos tratados na qualidade da energia elétrica, sejam eles classificados como qualidade dos serviços prestados ou qualidade do produto relacionado à forma de onda, provocam efeitos sobre equipamentos e processos dos consumidores (KAGAN; ROBBA; SCHMIDT, 2009).

De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a frequência (FEC) - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora das interrupções se manteve em trajetória decrescente, reduzindo de 5,99 interrupções em 2021 para 5,37 interrupções em média por consumidor em 2022, o que significa uma melhora de 10,4% no período. Essas melhorias na qualidade da energia distribuída são positivas para o país, pois contribuem para o desenvolvimento econômico e social (ANEEL, 2023).

Em princípio, o planejamento de distribuição consiste na obtenção de estudos para todas as áreas, com alternativas de expansão e suas obras programadas ao longo dos anos. Assim, a continuidade do processo de planejamento consiste em revisões periódicas e atualizações dos dados de carga e ainda nas reprogramações das obras (CIPOLI, 1993).

Com o intuito de equilibrar os custos associados a estes prejuízos, agências reguladoras no mundo inteiro lançam normas e resoluções de forma a regulamentar os indicadores de qualidade de energia elétrica aos pontos de entrega dos consumidores (KAGAN; ROBBA; SCHMIDT, 2009). A Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. A Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021 estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Prodist. Entrou em vigor em 1º de janeiro de 2022 e revogou as resoluções anteriores sobre o tema. Esses procedimentos normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e ao desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

A Resolução estabelece os direitos e deveres do consumidor e demais usuários

do serviço, tratando de temas como conexão, contratos, tarifa social, medição, faturamento, suspensão, serviço de atendimento (SAC), fornecimento para iluminação pública, ressarcimento de danos, procedimentos irregulares e veículos elétricos.

A qualidade do serviço pode ser basicamente entendida como a continuidade de fornecimento, gerenciando as interrupções no sistema elétrico, as quais são provocadas por falhas no sistema (manutenção corretiva) e por atividades de manutenção programada (manutenção preventiva) (KAGAN; ROBBA; SCHMIDT, 2009). O conhecimento dos parâmetros de confiabilidade dos componentes em redes de energia é necessário para o cálculo da confiabilidade e também para o sistema de manutenção centrado na confiabilidade (GONO, 2017).

Conceitua-se a economia da qualidade como a expressão dos benefícios da qualidade sob a forma de unidades monetárias, tanto em termos de receitas quanto de despesas. Eliminação de custos devido à má qualidade, de custos que produzem defeitos, perdas, erros, falhas, paralisações, atrasos, quebras, demoras e paradas de processo, perda de eficiência, redução do rendimento, retrabalho, reprocessamento, reinspeção, materiais adicionais e execução de atividades extras para compensar falhas ou erros (PALADINI, 2019).

Esta pesquisa tem como temática a análise econômica dos equipamentos auxiliares que permitem efetuar a transferência de energia elétrica em nível de potência. Os elementos que possibilitam essa ação denominam-se transformadores. O transformador é extremamente importante como um componente ou equipamento auxiliar em muitos e diferentes tipos de circuitos elétricos e eletrônicos. Operando desde débeis sinais presentes em aparelhos eletrônicos, até potentes sinais presentes em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, trabalha com as mais diversas tensões, correntes e frequências. Pode ser suspenso em uma estrutura de transmissão ou de distribuição de energia elétrica, ficando exposto às intempéries, e ainda cumprir sua finalidade sem requerer atenção e exigindo manutenção muito simples e restrita. Sua eficiência é comparativamente muito alta e sua prolongada vida compensa, de muito, seu custo inicial que, é aparentemente elevado (SIMONE, 2010).

Deste modo, o problema que essa pesquisa pretende responder é: qual a solução ótima na análise econômica na comparação de transformadores novos com diferentes classes de eficiência a fim de auxiliar o processo decisório por parte das distribuidoras de energia elétrica?

O objetivo geral é criar um mecanismo de análise econômica comparativa entre os tipos de transformadores novos em uma amostra padrão de distribuição. O objetivo geral desdobra-se no seguintes objetivos específicos: a) realizar análises comparativas em aspectos técnicos de operação e custos envolvidos na substituição de transformadores para as redes elétricas de distribuição; b) estudar o investimento necessário para a aquisição dos transformadores, apontando pontos de vantagem quanto ao desempenho dos aspectos qualitativos e tempo de retorno do investimento; c) estimar a solução ótima (resultado dos menores custos entre a comparação dos tipos de transformadores) para apoio ao processo decisório por parte da distribuidora de energia elétrica.

A utilização dos transformadores de potência é imprescindível para a continuidade de operação do sistema elétrico. Logo, um estudo da viabilidade de custos e qualidade é um demonstrativo importante de perdas econômicas e ambientais para as empresas distribuidoras de energia elétrica. Uma forma de reduzir as perdas nos sistemas de distribuição é utilizar transformadores de distribuição com maiores níveis de eficiência, contudo, para propor alternativas ao processo decisório, deve-se realizar um estudo de viabilidade financeira do custo-benefício entre equipamentos de diferentes níveis de eficiência. Apesar dos transformadores apresentarem uma considerável representatividade nas perdas dos sistemas de distribuição de energia elétrica, eles são extremamente essenciais no funcionamento destes. Com isso, surge a preocupação em melhorar a eficiência energética na utilização destes equipamentos (FINKLER *et al.*, 2020).

Esta pesquisa é importante para empresas de distribuição de energia e seus clientes, haja vista que a tomada de decisão assertiva pode fornecer distribuição de energia com melhor qualidade e diminuir os riscos de danos a equipamentos domiciliares que são ocasionados por motivos técnicos e falta de energia. Do ponto de vista acadêmico, a análise econômica no contexto comparativo de transformadores permite a exploração de métodos de apoio ao processo decisório e o preenchimento de lacunas científicas que contemplam as análises amostrais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o objetivo de salientar a análise técnico-econômica dos transformadores trifásicos de rede de distribuição, o embasamento teórico do estudo dá-se pelos tópicos discutidos nas seções seguintes.

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com a finalidade de maiores esclarecimentos serão citadas algumas das principais políticas públicas existentes que tratam de eficiência energética.

Em conjunto com o Plano Nacional de Energia 2030, em 2011 foi lançado o Plano Nacional de Eficiência Energética, o qual possui como objetivo instituir políticas e orientar ações que consigam fazer com que sejam desenvolvidas atuações de eficiência energética, focadas em aspectos tecnológicos e comportamentais. O plano prevê mecanismos de ação voluntária e também compulsória, que resultem em uma redução de 10% no consumo de energia (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

A Lei federal nº 9.991, de 2000, instituiu que concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica são obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final (BRASIL, 2000).

Em 17 de outubro de 2001 foi publicada a Lei nº 10.295, que instituiu a política nacional de conservação e uso racional de energia. Essa lei apresenta como diretriz a necessidade de se estabelecer níveis referenciais de eficiência. Uma regulamentação importante instituída por essa lei foi o Decreto nº 4.508, publicado em 11 de dezembro de 2002, que instituiu os níveis mínimos de eficiência energética para motores elétricos trifásicos fabricados ou comercializados no Brasil (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

Um aumento da eficiência ou rendimento nominal dos transformadores de distribuição é obtido por uma redução das perdas a vazio e/ou das perdas em carga. De uma forma geral, o aumento da eficiência reflete em uma redução diretamente proporcional ao valor da perda técnica considerada e valores em reais perdidos (MEDEIROS, 2008).

A capitalização das perdas consiste em agregar ao valor de compra do equipamento os valores consumidos em perdas de energia por determinado período de tempo (MEDEIROS, 2008).

A eficiência de um transformador é a relação entre a potência elétrica fornecida pelo transformador e a potência elétrica consumida pelo mesmo. Um transformador com maior eficiência é aquele que fornece mais potência para a carga com menor consumo de energia (SILVA; OLIVEIRA; CORRÊA, 2022).

A eficiência de um transformador é medida pela relação entre a potência de entrada e a potência de saída. Um transformador ideal é 100% eficiente, ou seja, toda a potência de entrada é convertida em potência de saída. No entanto, transformadores reais apresentam perdas, que são causadas por três fatores principais: perdas no núcleo, perdas nos enrolamentos e perdas de energia na forma de calor. Além desses fatores, a eficiência de um transformador também pode ser afetada pelo seu design e pela qualidade dos componentes utilizados. Em geral, transformadores de maior potência são menos eficientes do que transformadores de menor potência. Isso ocorre porque, transformadores de maior potência precisam de um núcleo e enrolamentos maiores, o que aumenta as perdas (SOUZA, 2023).

Conforme as referências, quanto maior a classe, maior a eficiência do equipamento. Para esta análise comparativa foram consideradas duas classes de eficiência de transformadores: a classe C e a classe D, logo, a classe C apresenta maior eficiência que a classe D. Com base nesta escolha, as tabelas de curvas C e D fornecidas pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) (INMETRO, 2022) reiteram as informações para esta análise técnica.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem foi iniciado no país em 1984 e atualmente é gerido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), com a função de fornecer ao consumidor informações de desempenho de produtos, que considera, entre outros fatores, o consumo de energia.

O nível de eficiência dos transformadores é indicado em placas de identificação adesivadas no equipamento. A Figura 1 exemplifica uma placa de identificação que informa as principais características de construção e operação do equipamento, onde é possível verificar os esquemas de ligações e as tensões de operações.

Figura 1 – Placa de Identificação

**Sigma**  
transformadores  
Soluções com Energia

Av. das Indústrias, 45 - Área Industrial II  
Lagoa Vermelha - RS - CEP: 95.300-000  
CNPJ 93734911/0001-23  
Fone: (54) 3358-2085

**TRANSFORMADOR TRIFÁSICO**

Nº  Data Fabricação

Potência  kVA Norma

Impedância  % Tipo óleo isolante

ALTA TENSÃO		TERMINAIS H1 H2 H3		
Tensão V	Pos.	Comutador Liga		Lig.
23.100	1	7-10	8-11	9-12
22.000	2	10-4	11-5	12-6
20.900	3	4-13	5-14	6-15

Diagrama Fasorial Dyn1

BAIXA TENSÃO			
Tensão V	Terminais		Lig.
380	X1-X2	X2-X3	X3-X1
220	X0-X1	X0-X2	X0-X3

Volume  L Massa total  kg PI N°

Elevação de temperatura óleo / enrolamento  °C

Material dos enrolamentos AT / BT

Nível de eficiência  Isento de PCB

**INDÚSTRIA BRASILEIRA**

Fonte: Manual de Instruções Sigma (2016).

É fundamental que uma empresa distribuidora acompanhe sistematicamente os níveis de perdas nos vários segmentos do sistema elétrico, visando orientar a tomada de providências onde as perdas elétricas possam ser economicamente reduzidas (CIPOLI, 1993).

### 2.1.1 Norma ABNT NBR ISO 50001

A Norma ABNT NBR ISO 50001 estabelece um Sistema de Gestão de Energia com base na estrutura de melhoria contínua do plano PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Esta foi criada para que as organizações estabeleçam uma estrutura para gerir e melhorar o consumo de energia, de maneira a proporcionar redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa, beneficiando as condições de vida no planeta (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015). As etapas do plano PDCA, exibidas na Figura

2, são as seguintes:

- a) Planejar (Plan): Estabelecer objetivos, metas e planos de ação necessários, visando alcançar resultados em conformidade com as oportunidades de melhoria de desempenho energético e com a política energética da organização. Na fase de planejamento cabe estabelecer ainda, os indicadores de desempenho energético.
- b) Fazer (Do): Implementar os planos de ação da gestão da energia.
- c) Verificar (Check): Monitorar e medir as características principais dos processos da organização, visando determinar o desempenho energético em relação à política e aos objetivos energéticos, divulgando os resultados obtidos.
- d) Agir (Act): Contempla a tomada de decisões e ações para melhorar continuamente o desempenho energético e o Sistema de Gestão de Energia.

Figura 2 – Ciclo PDCA



Fonte: Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001 (2016).

Implementar a ISO 50001 fornece benefícios para as organizações estabelecerem uma estrutura para gerir e melhorar o consumo de energia. O objetivo dessa norma é permitir que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, o uso e o consumo de energia (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

Seguindo os princípios da Norma, a escolha, das concessionárias de energia, por um transformador de maior eficiência energética é justificada. Dentre as principais definições é destacável a melhoria do desempenho energético; o sistema de gestão de energia e a relação quantitativa entre uma saída e uma entrada de energia. Estes critérios justificam a importância da análise da eficiência destes ativos.

## 2.2 CONFIABILIDADE E VIDA ÚTIL

A confiabilidade de um transformador é a probabilidade de que o mesmo opere sem falhas durante um período de tempo especificado. Logo, a eficiência de um transformador está diretamente relacionada à sua confiabilidade. Um transformador com menor eficiência terá um consumo de energia maior, o que resultará em um aumento da temperatura interna do transformador. O aumento da temperatura interna pode causar danos aos componentes do transformador, o que pode levar a falhas. Portanto, um transformador com maior eficiência é mais confiável do que um transformador com menor eficiência. Isso ocorre porque, um transformador com maior eficiência dissipa menos calor, o que reduz o risco de danos aos seus componentes (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2015).

A expectativa de vida dos transformadores é um fator crítico de confiabilidade a ser analisado. Isto é, a qualidade de serviço por transformador e o gerenciamento da equipe responsável da concessionária de energia elétrica são fatores que geram indicadores (DA SILVA *et al.*, 2020). Devido à falta de controle nos grandes sistemas elétricos brasileiros, principalmente no planejamento de vida útil dos transformadores de potência, há uma necessidade de se detectar o tempo de vida útil perdida (BAZOVSKY, 1961).

O conhecimento dos parâmetros de confiabilidade dos componentes em redes de energia é necessário para o cálculo da confiabilidade. Parâmetros de confiabilidade de componentes são possíveis de serem recuperados apenas com bancos de dados precisos de empresas de distribuição. Esse banco de dados incluem registros de interrupções e interrupções nas redes de energia. A manutenção influencia os indicadores que avaliam as interrupções - o tempo de manutenção na verdade significa indisponibilidade (GONO, 2017).

Os transformadores de distribuição com óleo mineral isolante (OMI) devem ter uma expectativa de vida útil, mínima, de vinte e cinco anos, sob condições normais

de operação. Essa expectativa de vida é estabelecida pela ANEEL através do Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE).

### 2.3 ANÁLISE ECONÔMICA DE PERDAS DE ENERGIA

É importante que as concessionárias, antes da realização da manutenção de um transformador, façam a medição das perdas em vazio e realizem uma avaliação econômica de forma a verificar a viabilidade da manutenção e comparar os custos envolvidos e o valor das perdas com o preço de um transformador novo de mesma potência e as perdas deste (ARAÚJO, 2005).

O custo total de um transformador é composto por diversos fatores que devem ser levados em consideração: o preço de compra, o preço das perdas de energia, custo de manutenção e reparos durante sua vida útil, preço pago pela energia elétrica e sua desvalorização monetária de mercado (LEISINGER, 2009).

O transformador mais barato nem sempre é o que proporcionará o melhor custo-benefício ao longo dos anos, devendo ser dada preferência aos transformadores de alto rendimento (SILVA; PEPE, 2012).

Os ativos de uma empresa estão sujeitos a constante desvalorização, devido, principalmente, ao desgaste, envelhecimento e ao avanço tecnológico. Portanto, a depreciação é caracterizada pela diferença entre o valor de compra do bem e seu valor de troca após um certo tempo de uso. Quando esse ativo torna-se obsoleto, considera-se então que seu valor é residual (KUHNEN, 2001).

Através do balanço de energia efetuado a partir das informações sobre energia fornecida aos consumidores, energia adquirida da empresa supridora e energia gerada em usinas próprias, pode ser determinado o percentual de perdas da empresa. As perdas totais dos transformadores de distribuição são calculadas somando-se as perdas no ferro com as perdas do cobre (CIPOLI, 1993).

De acordo com Fitzgerald, Kingsley e Jones (2009), as perdas de energia em transformadores podem ser divididas em dois tipos principais: perdas em carga e perdas em vazio. As perdas em carga ocorrem quando o transformador está alimentando uma carga. Elas são causadas pela resistência das bobinas do transformador. A resistência das bobinas é causada pelo material condutor usado para construí-las, como cobre ou alumínio. As perdas em vazio ocorrem quando o transformador não está alimentando nenhuma carga. Elas são causadas pela

histerese e correntes parasitas no núcleo do transformador. A histerese é um fenômeno que ocorre quando o material magnético do núcleo do transformador é magnetizado e desmagnetizado repetidamente. As correntes parasitas são correntes induzidas no núcleo do transformador que não são úteis para a operação do transformador.

As perdas de energia dos transformadores são inevitáveis, mas podem ser reduzidas com medidas de eficiência e manutenção. Estas influenciam em perdas econômicas para as distribuidoras de energia. As distribuidoras são remuneradas pela energia elétrica que entregam aos consumidores, e as perdas reduzem a quantidade de energia elétrica que é efetivamente entregue aos consumidores. Isso resulta em uma redução da receita das concessionárias. Logo, estas empresas têm adotado medidas para reduzir os prejuízos, as quais incluem a seleção de transformadores mais eficientes, melhoria da operação e manutenção dos transformadores (SILVA; OLIVEIRA; CORRÊA, 2022).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para auxiliar na coleta e apresentação dos dados e informações desta pesquisa, os procedimentos metodológicos serão apresentados em tópicos, sendo adequáveis e realizáveis, a fim de resolver o problema identificado.

#### 3.1 CENÁRIO DE ESTUDO

O cenário deste estudo aplica-se às concessionárias de energia elétrica estabelecidas no estado do Rio Grande do Sul, que utilizam transformadores trifásicos em suas redes de distribuição. A justificativa da escolha deste cenário baseia-se na possibilidade de comparação deste equipamento elétrico com os outros tipos de transformadores monofásicos e bifásicos, já que o transformador trifásico é caracterizado pelas vantagens de maior uso, eficiência, potência, facilidade de instalação e fácil transporte.

#### 3.2 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Quanto a classificação da natureza da pesquisa a ser realizada, esta enquadra-se como aplicada, haja vista a relação entre a prática e a teoria na busca por melhorias a partir dos cenários analisados.

O objetivo de pesquisa é de característica exploratória, ou seja, quando a pesquisa se encontra na fase preliminar, esta tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto a ser investigado, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitando a delimitação do tema da pesquisa; orientando a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou a descoberta de um novo tipo de enfoque para o assunto. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Em consonância ao exposto, a pesquisa é de abordagem qualitativa e quantitativa. Para Oliveira *et al.* (2021), “[...] uma pesquisa de natureza qualitativa busca dar respostas a questões muito particulares, específicas, que precisam de elucidações mais analíticas e descritivas.”

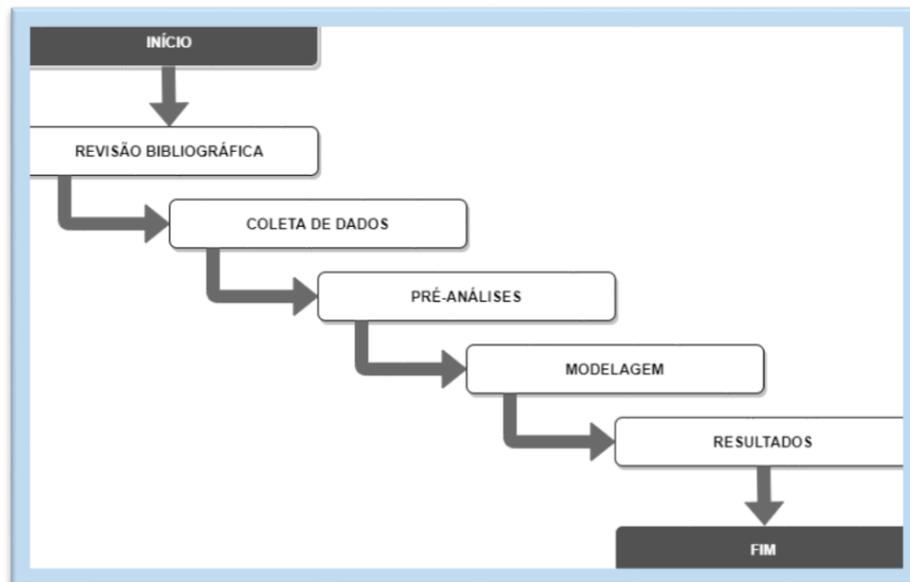
Knechtel (2014) assevera que, tanto a pesquisa qualitativa quanto a quantitativa têm como foco principal o ponto de vista do indivíduo. Enquanto a pesquisa qualitativa considera a proximidade com o sujeito, a pesquisa quantitativa

utiliza-se de materiais e métodos precisos a para apresentação de seus resultados.

### 3.3 MÉTODO DE TRABALHO

Com o intuito de elaborar um estudo elucidado, a pesquisa foi dividida em cinco etapas, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas



Fonte: Autora (2023).

A primeira etapa da pesquisa consistiu em uma revisão bibliográfica, realizada com o objetivo de maior conhecimento dos equipamentos selecionados, entendimento do planejamento de distribuição do sistema elétrico de potência e análise atual do uso da energia elétrica por classes e regiões.

A segunda etapa é responsável pelas entrevistas com técnicos e especialistas do setor de energia, extração de dados técnicos, pesquisa de valores na aquisição de equipamentos, solicitada a fabricantes regionais para obter-se uma média desses valores.

Na terceira etapa foi feita uma pré-análise, para tratamento dos dados e completude das informações, a fim de identificar os principais critérios e parâmetros de análise de transformadores e os conceitos mais importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Na quarta etapa foi feita a modelagem dos valores de aquisição para a amostra padrão, os valores dos indicativos de eficiência destes equipamentos e cálculos das

perdas de energia.

A última etapa mostra o resultado da análise econômica e sua viabilidade, baseada nos tópicos anteriores para a escolha da solução ótima na amostragem padrão, considerando os critérios e parâmetros citados anteriormente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O sistema elétrico de potência, em sentido amplo, é o conjunto de todas as instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Em sentido restrito, é um conjunto definido de linhas e subestações que assegura a transmissão e/ou a distribuição de energia elétrica, cujos limites são definidos por meio de critérios apropriados, tais como, localização geográfica, concessionário e tensão (ABNT NBR 5460).

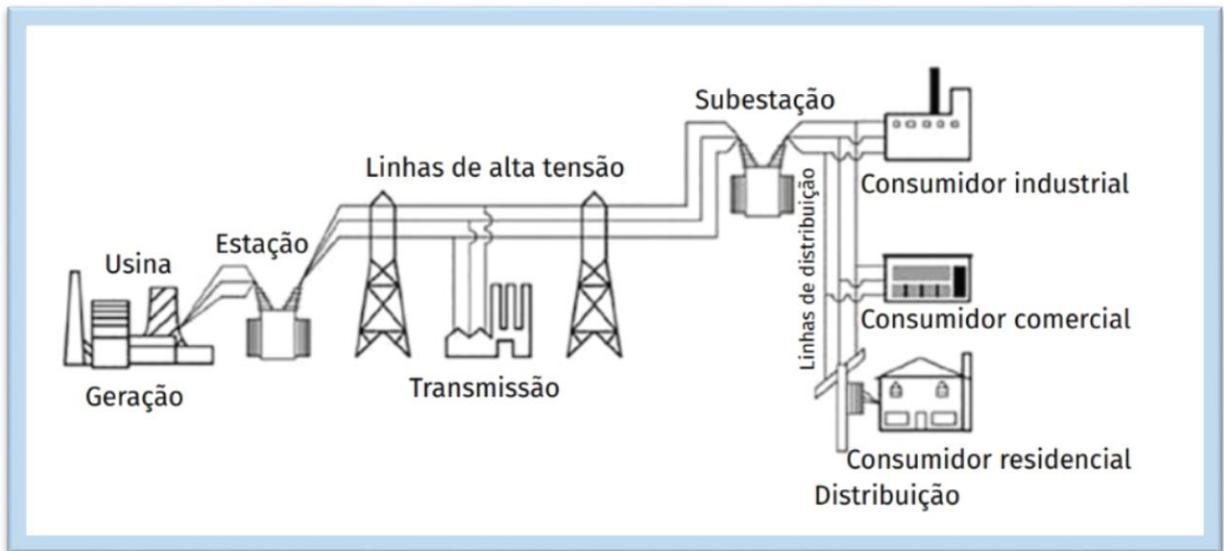
A Subestação é a parte de um sistema de potência, concentrada em um dado local, compreendendo as extremidades de linhas de transmissão e/ou distribuição, com os respectivos dispositivos, incluindo transformadores e outros equipamentos (ABNT NBR 5460).

As subestações de distribuição são subestações abaixadoras, utilizadas para ligar a subtransmissão à distribuição primária. Essas subestações podem assumir diversas configurações, a depender da potência atendida (KAGAN; OLIVEIRA; ROBBA, 2010 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O sistema de distribuição elétrica é responsável por levar a energia elétrica das subestações até os consumidores finais. Ele é composto por linhas de transmissão e distribuição, equipamentos de proteção e controle, e medidores de consumo, sendo é um elemento essencial da infraestrutura elétrica, pois garante que a energia elétrica chegue às casas, empresas e indústrias de forma segura e confiável. Os transformadores trifásicos são os transformadores mais comuns utilizados no sistema de distribuição de energia elétrica. Eles são construídos com três bobinas, uma para cada fase da corrente alternada. As bobinas primárias são ligadas em série com a fonte de alimentação de alta tensão, e as bobinas secundárias são ligadas em paralelo com os consumidores finais (PEREIRA, 2010).

A Figura 2 ilustra o sistema elétrico de potência de modo geral.

Figura 4 – Sistema Elétrico de Potência



Fonte: Adaptada de Oliveira *et al.* (2021).

A região Sul é a líder em consumo per capita de energia elétrica no Brasil, com 3.084 kWh por habitante, e a classe residencial representa o maior número de unidades consumidoras de eletricidade do país, conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica - 2023, disponibilizado no site do EPE – Empresa de Pesquisa Energética. As informações sobre o consumo de energia elétrica das regiões estão ilustradas na Figura 5, reiterando a importância do estudo deste setor.

Figura 5 – Dados do consumo de energia elétrica por região

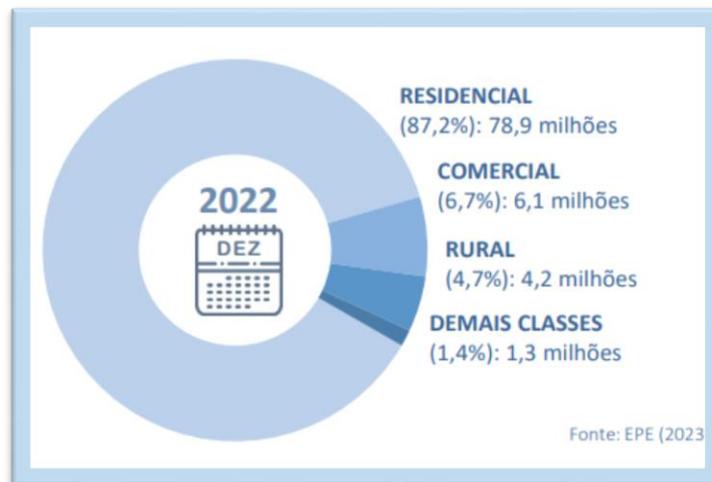
	NORTE	NORDESTE	SUDESTE	SUL	CENTRO-OESTE
 <b>População</b>	19,2 milhões	58,1 milhões	90,5 milhões	30,7 milhões	17 milhões
 <b>Consumo per capita</b>	1.983 kWh/hab.	1.516 kWh/hab.	2.739 kWh/hab.	3.084 kWh/hab.	2.385 kWh/hab.
 <b>UFs de destaque (kWh/hab.)</b>	 AP: 1.250  PA: 2.441	 PI: 1.211  BA: 1.735	 RJ: 2.133  SP: 2.926	 RS: 2.653  SC: 3.837	 DF: 2.061  MT: 2.757

Fonte: IBGE; SIMPLES (2023)

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023.

Os dados sobre a concentração da energia elétrica das classes estão detalhados na Figura 6.

Figura 6 – Dados de consumo de energia elétrica por classes

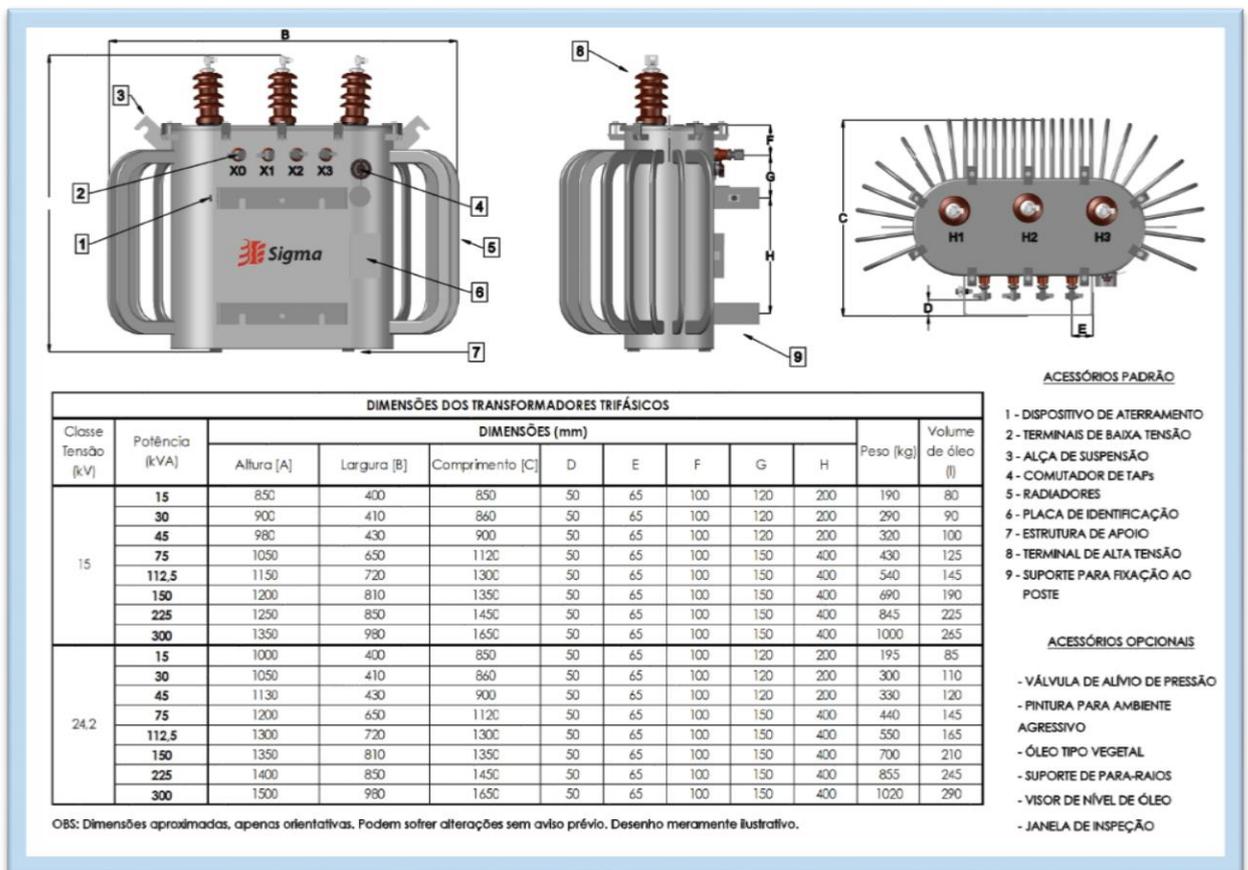


Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023.

Em princípio, o planejamento de distribuição consiste na obtenção de estudos para todas as áreas, com alternativas de expansão e suas obras programadas ao longo dos anos. Assim, a continuidade do processo de planejamento consiste em revisões periódicas e atualizações dos dados de carga e ainda nas reprogramações das obras (CIPOLI, 1993).

Um transformador trifásico é um dispositivo elétrico que transforma energia elétrica de um circuito para outro, geralmente de alta para baixa tensão. Consiste em três enrolamentos primários e três enrolamentos secundários enrolados em torno de um núcleo comum (PAULA, 2023). A Figura 7 ilustra um transformador trifásico e suas principais características externas.

Figura 7 – Transformador trifásico



Fonte: Adaptado de Sigma (2016).

Após um estudo mais detalhado sobre o setor de energia elétrica e seus equipamentos principais, em específico o transformador trifásico, foi possível dar sequência na escolha dos parâmetros e critérios da coleta de dados.

#### 4.2 COLETA DE DADOS

Os preços de aquisição dos transformadores trifásicos com os parâmetros e critérios selecionados foram adquiridos através das informações fornecidas pelo fabricante Sigma. Para esta coleta, foram estabelecidos parâmetros e critérios. Os parâmetros são características dos transformadores, enquanto os critérios são especificações que podem ser usadas para comparar transformadores. Logo, seguem como parâmetros: a) transformadores trifásicos; b) isolamento em isolante líquido (óleo mineral); c) tensão primária de 13,8 kV (quilovolts); d) tensão secundária de 380/220 V (volts); e) classes de tensão de 75 kVA. Já os critérios são as classes de eficiência C e D.

No caso específico, os parâmetros selecionados são aqueles que são comuns aos transformadores trifásicos de isolamento líquido com tensão primária de 13,8 kV e tensão secundária de 380/220 V. Os critérios selecionados são aqueles que são usados para comparar a capacidade e a eficiência dos transformadores.

Este tópico fornece uma visão geral dos ativos selecionados. Ele informa que os mesmos estão disponíveis em duas classes de tensão e duas classes de eficiência. A escolha dos parâmetros e critérios foi baseada na disponibilidade da coleta de informações de revendedores destes equipamentos e nas especificações da Norma Brasileira ABNT NBR 5356-7.

A Tabela 1 ilustra melhor estas informações e está distribuída conforme a potência, classe de tensão, tensões primárias e secundárias e a classe de eficiência dos equipamentos selecionados.

Tabela 1 – Precificação dos Transformadores Trifásicos

<b>Transformadores Trifásicos</b>				
<b>Potência (kVA)</b>	<b>Classe de Tensão (kV)</b>	<b>Tensão Primária/Secundária (V)</b>	<b>Classe de Eficiência</b>	<b>Valor Unitário (R\$)</b>
75	13,8	380/220	C	16.466,00
			D	15.215,00

Fonte: Autora (2023).

Os valores acima mencionados foram considerados para um valor unitário, logo, para análise do estudo são necessários valores recalculados para a amostra padrão, lembrando que, a quantidade de transformadores trifásicos instalados na rede de distribuição da região não pode ultrapassar a demanda máxima da subestação.

#### 4.3 PRÉ-ANÁLISES

Para a pesquisa, foi considerada uma amostra padrão de uma subestação contendo um transformador de 69/13,8 kV de tensão e 12.500 kVA de potência, com capacidade para atender aproximadamente 150 transformadores trifásicos de distribuição de 75 kVA e tensão de 13,8 kV/220 V, levando em conta a demanda máxima coincidente desta região. Este padrão de subestação remete a uma cidade

qualquer de pequeno porte. O sistema elétrico de potência em estudo é o de Distribuição, que distribui a energia elétrica recebida do sistema de transmissão aos grandes, médios e pequenos consumidores.

Conforme Resolução Normativa da ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021 - PRODIST, as redes dos sistemas de distribuição devem ser estratificadas por nível de tensão. O nível de tensão do sistema de distribuição estudado é 69 kV, sendo classificado como Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT). No planejamento do SDAT, a Norma institui que a distribuidora deve considerar alguns critérios, dentre eles, qualidade, continuidade e viabilidade econômica, que são os tópicos da análise do objetivo deste trabalho.

#### 4.4 MODELAGEM

Primeiramente foi feito o cálculo da demanda máxima de capacidade, que é a divisão do valor de potência de 12.500 kVA do transformador da subestação pelo valor de potência de 75 kVA, o qual resulta numa demanda máxima de 150 transformadores.

Com a demanda máxima foi possível estabelecer o valor de investimento inicial destes ativos para a amostra total, conforme é verificado na Tabela 2.

Tabela 2 – Precificação dos Transformadores Trifásicos da Amostra Padrão

<b>Transformadores Trifásicos</b>			
<b>Quantidade (Un)</b>	<b>Potência (kVA)</b>	<b>Classe de Eficiência</b>	<b>Valor (R\$)</b>
150	75	C	2.469.900,00
		D	2.282.250,00

Fonte: Autora (2023).

Conforme já foram mencionadas no tópico 2.1, as tabelas de curvas C e D dos equipamentos selecionados, fornecidas pelo INMETRO, informam as perdas totais destes equipamentos. Estas perdas foram transformadas em reais, a fim de comparar e verificar qual equipamento tem o maior custo-benefício. O preço da energia elétrica utilizado no cálculo é o valor que as distribuidoras pagam ao comprar energia das transmissoras, que é diferente do preço da energia elétrica que chega ao consumidor.

Este valor é informado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que é um órgão e uma entidade sem fins lucrativos, criada mediante lei federal nº 10.848, de 15 de março de 2004. O órgão tem como finalidade tornar viável o comércio de energia elétrica no mercado livre de energia. A Figura 8, retirada da página da CCEE, mostra o gráfico do histórico da média mensal dos últimos 10 anos para a região Sul do país com o valor da média mensal em R\$ 249,39 o mega-watt-hora (MWh) que, convertido para kWh, fica aproximadamente R\$ 0,25.

Figura 8 – Histórico da Média Mensal do Painel de Preços



Fonte: CCEE (2023).

Foram utilizados os critérios e parâmetros já pertinentes na análise. O valor em reais foi resultado da multiplicação da média dos valores de perdas totais aproximados pelo valor atualizado da energia, citado anteriormente. A Tabela 3 confere estas informações.

Tabela 3 – Custos das perdas totais por cenário

Perdas Totais				
Cenário	Classe C		Classe D	
	kWh	R\$	kWh	R\$
1 TF	1,300	0,33	1,615	0,40
Anual para 1 TF	11.388	2.840,00	14.147	3.528,22
Anual para 150 TF	1.708.200	426.008,00	2.122.110	529.233,00
1 TF em 25 anos	284.700	71.001,33	353.685	88.205,50

150 TF em 25 anos	42.705.000	<b>10.650.200,00</b>	53.052.750	<b>13.230.825,00</b>
-------------------	------------	----------------------	------------	----------------------

Fonte: Autora (2023).

#### 4.5 RESULTADOS

Para uma análise mais detalhada foi calculado o valor residual destes equipamentos para o período estimado pela ANEEL, com o intuito de verificar a depreciação dos mesmos, o qual é uma forma de distribuir o custo de um ativo ao longo de sua vida útil. O valor residual de um transformador pode ser calculado subtraindo o valor acumulado da depreciação do custo original do transformador.

Nesta determinação do valor de mercado em uso, foi utilizado o Método da Linha Reta; que consiste basicamente em aplicar taxas constantes de depreciação durante o tempo de vida útil estimado para o equipamento e para a depreciação, considerando-se obrigatoriamente o percentual de depreciação acumulada, registrada na contabilidade para cada bem do ativo considerado.

Seguindo a Normativa, foi utilizada a taxa de depreciação no valor de 4% ao ano, conforme estabelecido no manual com o código 565.01 no MCPSE (Anexo à Resolução Normativa nº 674/2015, de 11 de agosto de 2015 – ANEEL), o qual está inserido no Apêndice A. Seguir apresenta-se, na Tabela 4, o cálculo do valor residual.

Tabela 4 – Valor Residual

Período (Anos)	Classe C	Classe D
0	R\$ 16.466,00	R\$ 15.215,00
1	R\$ 15.807,36	R\$ 14.606,40
2	R\$ 15.175,07	R\$ 14.022,14
3	R\$ 14.568,06	R\$ 13.461,26
4	R\$ 13.985,34	R\$ 12.922,81
5	R\$ 13.425,93	R\$ 12.405,90
6	R\$ 12.888,89	R\$ 11.909,66
7	R\$ 12.373,33	R\$ 11.433,27

8	R\$ 11.878,40	R\$ 10.975,94
9	R\$ 11.403,26	R\$ 10.536,90
10	R\$ 10.947,13	R\$ 10.115,43
11	R\$ 10.509,25	R\$ 9.710,81
12	R\$ 10.088,88	R\$ 9.322,38
13	R\$ 9.685,32	R\$ 8.949,48
14	R\$ 9.297,91	R\$ 8.591,50
15	R\$ 8.925,99	R\$ 8.247,84
16	R\$ 8.568,95	R\$ 7.917,93
17	R\$ 8.226,20	R\$ 7.601,21
18	R\$ 7.897,15	R\$ 7.297,16
19	R\$ 7.581,26	R\$ 7.005,28
20	R\$ 7.278,01	R\$ 6.725,07
21	R\$ 6.986,89	R\$ 6.456,06
22	R\$ 6.707,42	R\$ 6.197,82
23	R\$ 6.439,12	R\$ 5.949,91
24	R\$ 6.181,55	R\$ 5.711,91
25	<b>R\$ 5.934,29</b>	<b>R\$ 5.483,44</b>

---

Fonte: Autora (2023).

O cálculo do valor residual tem por objetivo a comprovação da estimativa de vida útil estabelecida pela ANEEL, que mostra a assertividade da determinação, pois ao final do período os equipamentos mantêm um valor residual positivo.

Dando sequência na análise econômica, em seguida é feita a comparação dos investimentos iniciais com os valores obtidos, a fim de verificar o retorno financeiro do investimento inicial, conforme Tabela 5, abaixo.

Tabela 5 – Análise da viabilidade econômica

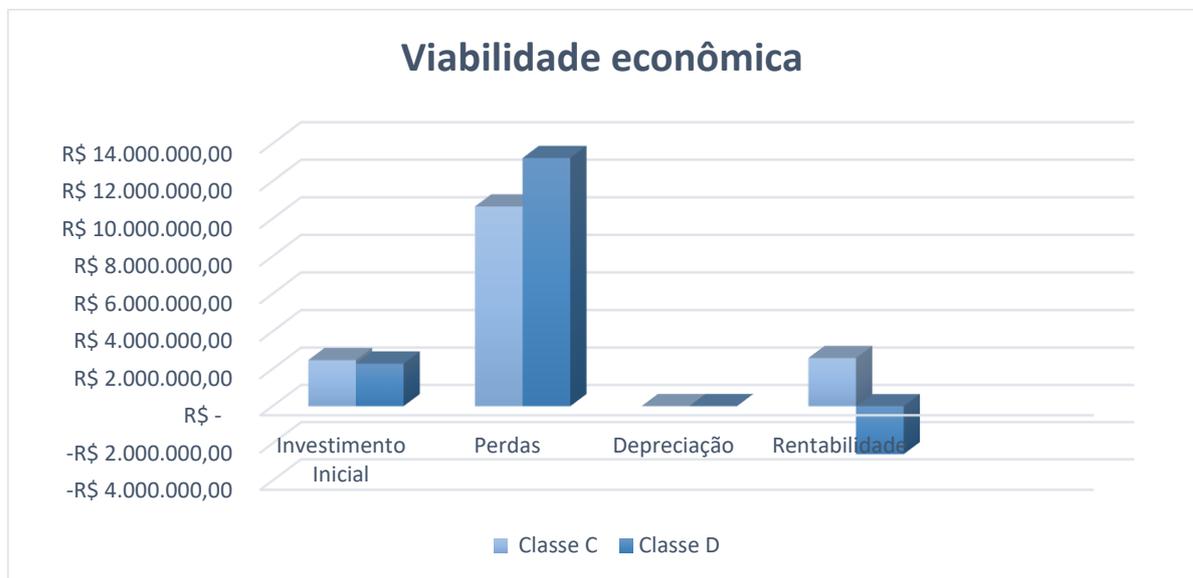
Viabilidade econômica					
Classe	Investimento Inicial (R\$)	Perdas (R\$)	Depreciação ao final de 25 anos (R\$)	Rentabilidade (R\$)	Percentual
C	2.469.900,00	10.650.200,00	5.934,29	+2.580.625,37	+20%
D	2.282.250,00	13.230.825,00	5.483,44	-2.580.625,37	-20%

Fonte: Autora (2023).

Conforme é demonstrado na Tabela acima, a classe C apresenta uma economia no valor de R\$ 2.580.625,37. Ou seja, é 20% mais rentável que a classe D.

A Figura 9, ilustra em gráfico a relação entre as variáveis da Tabela 5, para melhor análise comparativa.

Figura 9 – Gráfico da viabilidade econômica



Fonte: Autora (2023).

## 5 CONCLUSÃO

A partir da condução da pesquisa foi comprovado que o transformador com eficiência maior, classe C, é mais viável técnico-economicamente que o de eficiência menor, classe D. Essa verificação baseia-se nos seguintes resultados: a) comprovação bibliográfica através das pesquisas, as quais evidenciam que tecnicamente o transformador com certificação de eficiência maior tem propriedades físicas melhores, o que comprova o maior rendimento; b) conformidade com as Normas Brasileiras, especificamente com a Norma ABNT NBR ISO 50001, que institui a implementação de um sistema de gestão da eficiência energética empresarial utilizando o ciclo PDCA; c) retorno financeiro da amostra considerada no período estimado da vida útil, que supre o investimento inicial de aquisição do equipamento classe C, sendo o de maior custo.

Durante o estudo dificuldades foram encontradas na etapa de coleta de dados em artigos relacionados ao tema, o que evidencia uma lacuna acadêmico-científica parcialmente preenchida por este trabalho, com incentivo de pesquisas na interface da Engenharia de Produção e Engenharia Elétrica.

Foi alcançado com êxito o objetivo principal desta pesquisa, o qual era apresentar a vantagem na aquisição de ativos mais eficientes às concessionárias de energia elétrica através das ferramentas disponibilizadas ao longo do curso da Engenharia de Produção. Já que, para as distribuidoras, toda perda de energia é convertida em saída de caixa perdido. Portanto, quanto mais eficiente o ativo for, maior custo-benefício terá a empresa e conseqüentemente seus clientes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5460:1992**. Sistemas elétricos de potência. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 5356-7:2017**. Transformadores de potência. Parte: Guia de carregamento para transformadores imersos em líquido isolante. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 50001:2018**. Sistemas de gestão da energia – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Disponível em: acesso em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 05 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, revoga as Resoluções Normativas nº 395, de 15 de dezembro de 2009; nº 424, de 17 de dezembro de 2010; nº 432, de 5 de abril de 2011 e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>. Acesso em: 05 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 674, de 11 de agosto de 2015**. Aprova a revisão do Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico - MCPSE, instituído pela Resolução Normativa nº 367, de 2 de junho de 2009. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015674.html>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. ANEEL divulga os resultados do desempenho das distribuidoras na continuidade do fornecimento de energia elétrica em 2022. **Gov.br**, 29 de março de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-divulga-os-resultados-do-desempenho-das-distribuidoras-na-continuidade-do-fornecimento-de-energia-eletrica-em-2022>. Acesso em: 27 out. 2023.

ARAÚJO, A. N. Histórico da evolução de perdas em transformadores de distribuição no Brasil e uma visão de futuro. CIERTEC — SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE PERDAS, EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA E PROTEÇÃO DA RECEITA NO SETOR ELÉTRICO, 5, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: 2005.

BARROS, B. F. de; BORELLI, R.; GEDRA, R. L. **Eficiência Energética** - Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos. São Paulo: Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536518404. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518404/>. Acesso em: 24 out. 2023.

BAZOVSKY, I. **Reliability theory and practice**. New Jersey, 1961.

BRASIL. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm). Acesso em: 20 de outubro de 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9991.htm#:~:text=LEI%20No%209.991%2C%20DE%2024%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20investimentos,el%C3%A9trica%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9991.htm#:~:text=LEI%20No%209.991%2C%20DE%2024%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20realiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20investimentos,el%C3%A9trica%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias). Acesso em: 10 out. 2023.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/>. Acesso em: 22 out. 2023.

CIPOLI, A. **Engenharia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1993.

DA SILVA, É. R. *et al.* Metodologia Multicritério para Gerenciamento da Vida Útil de Transformadores de Distribuição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA 23, 2020. **Anais eletrônico...**

FINKLER, A. *et al.* **Análise da Capitalização das Perdas de Energia em Transformadores de Distribuição**, 2020. Disponível em: [https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/553/2020/07/93595-field\\_submission\\_abstract\\_file2.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/553/2020/07/93595-field_submission_abstract_file2.pdf). Acesso em: 19 nov. 2023.

Fitzgerald, Arthur E.; Kingsley, Charles; Jones, Alan G. **Transformadores de potência**. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill Education, 2009.

INMETRO. Transformadores de distribuição em líquido isolante. **Gov.br**, Ministério da Economia, 19 de maio de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/transformadores-de-distribuicao-em-liquido-isolante>. Acesso em: 19 nov. 2023.

GONO, R. Reliability and maintenance of electrical power system: Invited lecture. **Proceedings of the 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2017**, 2017.

KAGAN, N; ROBBA, E. J.; SCHMIDT, H. P. **Estimação de indicadores de qualidade da energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2009.

KNECHTEL, M. R. **Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada**. Curitiba, PR: Intersaberes, 2014.

KUHNEN, O. S. **Matemática Financeira Aplicada e Análise de Investimentos**. 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LEISINGER, T. P. W. **Calculating a Teal cost of Ownership for Transformers**. CSE - Consulting Specifying Engineer, Pure Power, 2009.

MEDEIROS, C. P. Determinação das perdas técnicas dos transformadores de distribuição, com dielétrico líquido, instalados nas empresas concessionárias de energia no Brasil. **CEPEL, RELATÓRIO TÉCNICO DIE - 6454/08**, 2008.

OLIVEIRA, Iberê C.; SILVEIRA, Miguel F.; FUJISAWA, Cassio H.; et al. Transmissão e Distribuição de Energia. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786556902111. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902111/>. Acesso em: 30 out. 2023.

PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade - Teoria e Prática**. 4. ed. São Paulo: Atlas Grupo GEN, 2019.

PAULA, L. A. de. **Fundamentos de Engenharia de Produção**. 12ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2023.

PEREIRA, Paulo Roberto. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª. ed. Novo Hamburgo: Universidade Freevale, 2013.

SILVA, P. R. da; OLIVEIRA, A. L. de.; CORRÊA, R. H. Relação entre a eficiência e a confiabilidade de transformadores elétricos. **Revista Brasileira de Engenharia Elétrica e Eletrônica**, 2022.

SILVA, E.P. DA.; PEPE, I.M. Estudo de relações entre perdas e custo total de propriedade em transformadores no contexto da eficiência energética. **Anais [...]** do VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa, 2012.

SIMONE, G. A. **Transformadores - Teoria e Exercícios**. São Paulo: Editora Saraiva, 2010. *E-book*. ISBN 9788536520452. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520452/>. Acesso em: 24 out. 2023.

SOUZA, Carlos Alberto de. **Eletricidade Básica**. São Paulo: Pearson, 2023.

## APÊNDICE A - MCPSE

 <b>ANEEL</b> <small>AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA</small>	<b>MCPSE   - MANUAL DE CONTROLE PATRIMONIAL DO SETOR ELÉTRICO</b>	<b>Revisão:</b> 2	<b>Data de Vigência:</b> Retificada pela AP 24/2014.	<b>Página:</b> 216 de 219
---	---	----------------------	---	------------------------------

TIPO DE UNIDADE DE CADASTRO		TIPO DE BEM		VU	TAXA
CÓD.	DESCRIÇÃO	CÓD.	DESCRIÇÃO		
		485.04	SISTEMA DE TELEMEDIDAÇÃO	15	6,67%
		485.05	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	15	6,67%
		485.06	SISTEMA DE MONITORAMENTO	15	6,67%
490	SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO DO ENVOLTÓRIO DE CONTENÇÃO	490.01	SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO DO ENVOLTÓRIO DE CONTENÇÃO	30	3,33%
495	SISTEMA DE RADIOCOMUNICAÇÃO	495.02	ESTAÇÃO VHF	15	6,67%
		495.03	ESTAÇÃO UHF	15	6,67%
		495.04	ESTAÇÃO MICROONDAS	15	6,67%
		495.05	ESTAÇÃO FIBRA ÓTICA	15	6,67%
500	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE EMERGÊNCIA DO NÚCLEO DO REATOR	500.01	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE EMERGÊNCIA DO NÚCLEO DO REATOR	30	3,33%
505	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO REATOR	505.01	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO REATOR	30	3,33%
510	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E PURIFICAÇÃO DO POÇO DE COMBUSTÍVEL USADO	510.01	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E PURIFICAÇÃO DO POÇO DE COMBUSTÍVEL USADO	30	3,33%
515	SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE EQUIPAMENTOS	515.01	SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE EQUIPAMENTOS	25	4,00%
520	SISTEMA DE VIGILÂNCIA ELETRÔNICA	520.01	SISTEMA DE VIGILÂNCIA ELETRÔNICA	25	4,00%
525	SISTEMA PARA GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO	525.01	SISTEMA PARA GASEIFICAÇÃO DE CARVÃO	15	6,67%
530	SISTEMA DE VAPOR PARA PRODUÇÃO NUCLEAR	530.01	SISTEMA DE VAPOR PARA PRODUÇÃO NUCLEAR	30	3,33%
535	SOFTWARE	535.01	SOFTWARE	5	20,00%
		535.02	LICENÇA DE USO	5	20,00%
540	SUBESTAÇÃO SF 6	540.01	SUBESTAÇÃO SF 6	40	2,50%
545	SUBESTAÇÃO UNITÁRIA	545.01	SUBESTAÇÃO UNITÁRIA	28	3,57%
550	SUPRIMENTO E TRATAMENTO D'ÁGUA	550.01	SISTEMA DE SUPRIMENTO DE ÁGUA	25	4,00%
		550.02	SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO	25	4,00%
		550.03	SISTEMA DE DESMINERALIZAÇÃO	25	4,00%
		550.04	SISTEMA DE INJEÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS	25	4,00%
555	TERRENO	555.01	DE UTILIZAÇÃO GERAL	-	-
		555.09	DE UTILIZAÇÃO COMO PASSAGEM DE LINHA	-	-
560	TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO	560.01	TRANSFORMADOR DE ATERRAMENTO	30	3,33%
565	TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO	565.01	AÉREO	25	4,00%
		565.02	PEDESTAL, PLATAFORMA OU ESTALEIRO	25	4,00%
		565.03	SUBTERRÂNEO	27	3,70%
		565.04	SUBMERSÍVEL	27	3,70%
		565.05	ESPECIAL / VERDE	27	3,70%
570	TRANSFORMADOR DE FORÇA	570.01	TRANSFORMADOR DE FORÇA	35	2,86%
		570.02	AUTO-TRANSFORMADOR DE FORÇA	35	2,86%
575	TRANSFORMADOR DE MEDIDA	575.01	TRANSFORMADOR DE CORRENTE, IGUAL OU SUPERIOR A 69 kV	30	3,33%
		575.01	TRANSFORMADOR DE CORRENTE, TENSÃO INFERIOR A 69 kV	23	4,35%

NUP: 23081.155938/2023-11

Prioridade: Normal

**Homologação de ata de defesa de TCC e estágio de graduação**

125.322 - Bancas examinadoras de TCC: indicação e atuação

**COMPONENTE**

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
10	Trabalho de conclusão de curso (TCC) (125.32)	Versão Final TCC - Larissa Ribeiro Soares.pdf

**Assinaturas**

**14/12/2023 09:51:34**

LARISSA RIBEIRO SOARES (Aluno de Graduação - Aluno Regular)  
07.09.08.01.0.0 - Curso de Engenharia de Produção - 121626

**15/12/2023 20:21:05**

CARMEN BRUM ROSA (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR (Ativo))  
01.28.05.00.0.0 - COORDENADORIA DE EMPREENDEDORISMO - CE-PROINOVA

1960



Código Verificador: 3646687

Código CRC: de3d83e9

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

