



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MURILO CARVALHO FEITOSA

**ESTUDO GERAL DE TRANSFORMADORES: ESTUDO DE CASO EM PAU DOS
FERROS/RN**

PAU DOS FERROS – RN

2020

MURILO CARVALHO FEITOSA

**ESTUDO GERAL DE TRANSFORMADORES: ESTUDO DE CASO EM PAU DOS
FERROS/RN**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Otávio Paulino Lavor
(UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

PAU DOS FERROS – RN

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

**ESTUDO GERAL DE TRANSFORMADORES: ESTUDO DE CASO EM PAU DOS
FERROS/RN**

Murilo Carvalho Feitosa

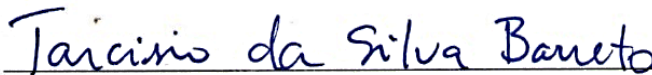
Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semiárido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 24/04/2020

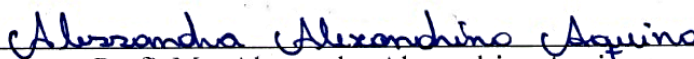
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Otávio Paulino Lavor
(Orientador – UFRSA)



Prof. Me. Tarcisio da Silva Barreto
(Membro – UFRN)



Profª. Me. Alessandra Alexandrino Aquino
(Membro – UECE)

PAU DOS FERROS – RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Centro multidisciplinar de Pau dos Ferros (BCPDF)
Sector de Informação e Referência (SIR)

F311e Feitosa, Murilo Carvalho.

Estudo geral de transformadores: estudo de caso em Pau dos Ferros/RN /
Murilo Carvalho Feitosa. - 2020.
30 f.: il.

Orientador: Otávio Paulino Lavor.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2020.

1. Transformadores a óleo. 2. Transformadores a seco. 3. Orçamento. I. Lavor, Otávio Paulino, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

*Dedico este trabalho em especial aos meus pais **Francisco Evandro Duarte Feitosa e Degislândia de Carvalho Pessoa**, assim como a minha irmã **Ludimila Carvalho Feitosa** e minha família, minha companheira **Ana Lívia Ripardo L. de Carvalho** e minha filha **Ana Júlia Ripardo de Carvalho Feitosa**, por todo amor e incentivo, e por estarem sempre acreditando no meu potencial.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por me conceder este momento tão especial, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos e por me proporcionar nesse mesmo período meu maior presente, minha filha Ana Júlia, que é uma das pessoas que mesmo indiretamente, me faz seguir sempre com foco, me dar força, coragem e perseverança.

Agradecer também aos meus pais, Degislândia de Carvalho Pessoa e Francisco Evandro Duarte Feitosa, por todo carinho, incentivo e afeto, por sempre estarem do meu lado e por toda educação e humildade que me deram.

Agradecer a minha grande companheira, Ana Lívia Ripardo L. de Carvalho, por sempre me dar apoio, me escutar, me dar conselhos, participar dessa difícil jornada, por sempre demonstrar seu amor e carinho comigo assim como me incentivar cada vez mais, diariamente.

Agradecer com muito carinho a minha irmã, Ludimila Carvalho Feitosa, por ser uma grande companheira nessa jornada, dando ótimos conselhos e por contribuir na minha formação.

Agradecer a minha família, primos, tios, padrinhos, em especial meus avós, por sempre acreditarem em mim e sempre me darem aquele conforto nas horas difíceis e de que tem alguém acreditando no meu potencial para passar por cima de qualquer obstáculo.

Agradecer a disponibilidade, atenção e compromisso do meu orientador, Otávio Paulino Lavor, por acreditar em mim e por toda ajuda na minha carreira universitária, sou muito grato por ser não só restrito a sala de aula, por todo incentivo, conselhos, histórias e frases que nos ajudam a pensar mais claramente nas tomadas de decisões.

Agradecer também a todos os professores que fizeram parte dessa jornada universitária e que de certa forma deixaram, pelo menos, uma semente de conhecimento em mim.

Agradecer a todos meus amigos que adquiri nesse período, em especial Pedro Ivan, Davi Ferreira, Luan Barreto, John David, David Dutra, João Hugo, Pablo Roberto, Marley Franco, Lucas Almeida e Luan Nunes, que sempre estiveram comigo nos momentos bons e ruins, por sempre me aconselhar e ajudar para minha formação, por serem esses grandes amigos.

Devo um grande agradecimento também a duas pessoas muito especiais que desde antes da faculdade até hoje, me dão grande ajuda, Jonatas Vieira e Gezilene Alves, são pessoas que tem também um lugar reservado no meu coração e que contribuíram muito na minha carreira acadêmica.

Por fim, agradecer a todos que me ajudaram direta e indiretamente nessa minha fase acadêmica, meu sincero muito obrigado.

RESUMO

O uso de transformadores vem ocorrendo desde antes da Segunda Guerra Mundial e está diretamente ligado a qualidade de energia elétrica que chega até os usuários, e também, de certa forma, à qualidade de vida. Existem dois tipos de transformadores: o transformador a seco e o transformador a óleo. O objetivo deste trabalho é apresentar os dois tipos de transformadores, detalhando os princípios de funcionamento, as perdas, entre outras, e fazer um estudo de caso na cidade de Pau dos Ferros sobre o custo da troca de todos os transformadores a óleo por transformadores a seco, mostrando possibilidades para que essa troca se torne vantajosa. Mostra-se neste trabalho as principais diferenças entre eles, e os prós e contras de forma clara e objetiva. Após isso, obtivemos dados coletados dos transformadores localizados em Pau dos Ferros. Constatou-se que os transformadores são apenas do tipo a óleo e então realizou-se um orçamento para obter o custo da substituição, visto que os transformadores do tipo seco são mais eficientes e vantajosos.

Palavras-chave: Transformadores a óleo. Transformadores a seco. Orçamento.

ABSTRACT

The use of transformers has been occurring since before the Second World War and is directly linked to the quality of the electric energy that reaches the users, and also, in a way, with quality of life. There are two types of transformers: the dry transformer and the oil transformer. The objective of this work is to present the two types of transformers, detailing the operating principles, such as losses, among others, and to make a case study in the city of Pau dos Ferros on the cost of replacing all oil transformers with dry, showing possibilities for this exchange to become advantageous. It shows in this work as main differences between them, and the pros and cons in a clear and objective way. After that, obtain data collected from transformers located in Pau dos Ferros. See if the transformers are just oil type and then execute a budget to obtain the replacement cost, since dry type transformers are more efficient and advantageous.

Keywords: Oil transformers. Dry transformers. Budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação dos dois tipos de transformadores, a óleo e a seco, respectivamente.	15
Figura 2: Representação esquemática do fenômeno de indução (a) e (b) – Lei de Faraday.	16
Figura 3: Exemplo de denominação dos terminais.....	19
Figura 4: A) Transformador trifásico do tipo de núcleo envolvente; B) Transformador trifásico do tipo de núcleo envolvido.	20
Figura 5: Fluxo do óleo isolante.	21
Figura 6: Detalhes de um transformador a óleo.	22
Figura 7: Acidentes com transformadores a óleo.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Prós e contras dos transformadores a óleo e a seco.	23
Tabela 2: Relação de transformadores na cidade de Pau dos Ferros.	24
Tabela 3: Preços de transformadores para cada potência utilizada.	25
Tabela 4: Quantidade de transformadores a óleo por potência.	26
Tabela 5: Valor total dos transformadores a seco.	26
Tabela 6: Valor percentual no custo final.	27

ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
RN	Rio Grande do Norte
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UL	Underwriters Laboratories
ANSI	American National Standards Institute
IEEE	Institute of Electrical and Eletronics Engineers
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	TRANSFORMADORES	14
2.1.	Princípio de funcionamento.....	15
2.1.1.	Lei de faraday	15
2.1.2.	Lei de lenz	16
2.2.	Tranformadores: caso ideal.....	17
2.3.	Tranformadores: caso real	17
2.3.1.	Perdas	17
2.3.2.	Modelo térmico	18
2.3.3.	Denominação dos terminais	19
3.	TIPOS DE TRANSFORMADORES	19
3.1.	Transformadores a seco	20
3.2.	Transformadores a óleo	21
3.3.	Principais diferenças entre os transformadores a óleo e a seco.....	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
6.	REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais estamos em busca de uma melhor qualidade de vida. Dessa forma, tudo que se encontra ao nosso redor que pode influenciar para isso precisa de estudos e testes, como por exemplo, a energia elétrica, uma das coisas mais utilizadas por nós, precisa de um estudo e de um bom dimensionamento de condutores, transformadores, linha de transmissão, entre outras, para que chegue com qualidade até nós usuários. Relacionado a isso, abordaremos neste trabalho os tipos de transformadores, detalhando seus princípios de funcionamento, destacando qual o tipo mais viável e mais eficiente, entre outras características.

De acordo com a NBR 5356-1/2007, o transformador é definido da seguinte forma: Transformador é um equipamento estático com dois ou mais enrolamentos que, por indução eletromagnética, transforma um sistema de tensão e corrente alternadas em outro sistema de tensão e corrente, de valores geralmente diferentes, mas à mesma frequência, com o objetivo de transmitir potência elétrica.

Segundo Cabral *et al.* (2016), falar sobre transformadores de tensão é um assunto muito sério e que envolve bastante dinheiro, tanto quando se trata da compra quanto de manutenção. Este trabalho consiste em mostrar o funcionamento de tais assim como a diferença entre eles, custo e seus prós e contras. O transformador foi inventado por Michael Faraday em 1831.

Documentadamente, os primeiros transformadores foram os chamados “a seco”, na verdade não se utilizava esse termo, os primeiros transformadores eram constituídos por materiais sólidos que serviam de isolantes dos condutores, sendo esses tubos de tecidos de algodão impregnados em alcatrão e o papel, ou seja, eram transformadores a seco por não haver a utilização de óleo. Onde Cogo *et al.* (2018) diz que na década de 70 foi quando houve a utilização dos transformadores com meio isolante sólido, os transformadores ditos então a seco.

Assim houve uma certa popularização dos transformadores, dessa forma, surgiu uma certa necessidade de chegar a transformadores mais potentes, assim como maiores valores de tensão nominal, daí surge o transformador a óleo, pois para obter maiores potências precisaria de um material isolantes com maior rigidez dielétrica. Foi assim também que surgiu o tanque metálico juntamente com o óleo.

Finocchio *et al.* (2016) fala que o uso de transformadores se mostra muito importante para a utilidade pública, notamos o uso destes em diversos locais, como por exemplo, shoppings, hospitais, universidades, indústrias, etc. Ele permite que a tensão varie, seja para uma maior ou menor, com frequência constante, por meio da ação do campo magnético, o

transformador também ajuda no transporte de energia de um local para outro, por conta da sua eficiência, transmissão e rapidez.

É muito comum vermos nos postes de rua, estes transformadores, na maioria das vezes próximos de grandes prédios comerciais ou locais de trabalho que demandam uma quantidade maior de carga, então essa proximidade ajuda na redução dos custos dos condutores de alimentação. Muitas vezes a escolha entre qual tipo escolher está mais relacionada ao custo do que o impacto ambiental, manutenção e o local onde se encontra, o que deveriam ser as prioridades para a escolha do tipo mais adequado, visando uma maior eficiência.

Abordamos neste trabalho uma metodologia de pesquisas bibliográficas, para entender o funcionamento dos transformadores, busca de dados na concessionária do Rio Grande do Norte para o estudo quantitativo de custos, e pesquisas de preços, para isso algumas empresas foram contatadas, como a WEG, SIEMENS e a TOSHIBA, porém não obtivemos êxito, então recorreremos para preços aleatórios mas que são fundamentais.

Como dito, existem dois tipos de transformadores, transformadores a óleo e a seco, obviamente existem grandes diferenças entre eles, relacionadas tanto a custo, manutenção, como funcionamento, utilização, etc. Então, diante do exposto até aqui, este trabalho vem mostrar como funciona cada tipo deste, quanto custa, e fazer um estudo de caso na cidade de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte para mostrar a relação e o valor da troca de todos transformadores a óleo por a seco.

Os transformadores podem nos ajudar para a melhoria na qualidade de energia que chega até nós, porém, contrário a isso pode nos prejudicar caso haja um mau dimensionamento, ou por exemplo, a sua localização, em locais indevidos que algumas vezes podem oferecer riscos por estarem próximos de pessoas ou animais isso relacionado ao modelo a óleo, e ainda o mau descarte do óleo após a manutenção, entre outras desvantagens. Tudo isso depende de um estudo pertinente e adequado para a escolha da melhor solução. Com isso, quantos transformadores a óleo e a seco existem em Pau dos Ferros? Qual a diferença econômica para obter a troca dos transformadores a óleo por a seco?

2. TRANSFORMADORES

Como dito anteriormente, estamos sempre à procura da melhoria na qualidade de vida, e isso está ligado, além das outras coisas, a qualidade de energia elétrica, que hoje é fundamental para a existência humana. Com isso de acordo com Camargo (2005), o termo “Qualidade da Energia Elétrica” é definido como sendo qualquer desvio que possa ocorrer na amplitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica, resultando na operação inadequada do equipamento do consumidor. O mesmo autor ainda fala que esse tipo de anomalia pode ser das seguintes formas, natureza local, quando esta pertence a uma perturbação de ocorrência interna a instalação do consumidor, ou de natureza externa ou remota.

Essa busca pela qualidade da energia elétrica também está diretamente ligada nos interesses desde donos de grandes redes industriais, como as próprias concessionárias, passando também por consumidores comerciais até consumidores residenciais. As influências para essa crescente demanda por transformadores possuem algumas razões, resumidamente, uma primeira é a crescente utilização de novos equipamentos eletrônicos, uma segunda é a sensibilidade desses equipamentos a variações dessa qualidade de energia, uma última seria custo operacional para a manutenção ou até mesmo a troca em um curto período de tempo desses equipamentos quando se encontram danificados.

De acordo com Finocchio *et al.* (2016), Transformadores são equipamentos utilizados para transferir energia de um lado do circuito para o outro, através de um fluxo magnético comum a ambos os lados.

E segundo Transformadores (2014), esses equipamentos são dispositivos destinados a transformar tensões, correntes e impedâncias. Tratam-se de dispositivos de corrente alternada que operam baseados nos princípios da Lei de Faraday detalhada a seguir.

Já de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), um transformador é definido como um equipamento elétrico estático que, por indução eletromagnética, transforma tensão e corrente alternadas entre dois ou mais enrolamentos, sem mudança de frequência.

De acordo com a norma, ANSI/IEEE C57.12.00 de 2006, *American National Standards Institute* (ANSI) e o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) ambos consideram a função de controle do transformador de potência, definindo-o como um equipamento estático, desprovido de partes sujeitas a movimento contínuo, utilizado em sistemas elétricos para transferir potência entre circuitos por meio de indução eletromagnética.

Essas são algumas definições relacionadas a transformadores. Contudo, podemos concluir que de forma geral, um transformador é um aparelho estático, que serve para melhorar a qualidade da energia que chega até nossas residências, ele transforma a energia de forma que ela esteja perfeita para o uso doméstico e industrial, de acordo com a necessidade do local.

Os transformadores são compostos no geral, por enrolamentos que são fios de cobre com seção circular ou quadrada cobertos por uma fina camada de esmalte; núcleo que é utilizado para reduzir perdas relacionadas, essas que segundo Santos, Lisita e Machado (2012) são estimadas pelas normas UL 1561-1994, UL 1562-1994 e pela IEEE Std C57.110-2008, e melhorar as características de magnetização, o núcleo é composto por um material ferromagnético em forma de chapas finas, que se encontram isoladas umas das outras que possuem silício em sua composição; tanque e meio refrigerante, é onde ficam armazenados o núcleo e os enrolamentos, que serve também de recipiente para o óleo isolante; e por último, os acessórios gerais, são eles, terminais, parafusos, tampas, buchas, radiadores, sensores, etc. que servem para auxiliar no funcionamento de um transformador.

A seguir, na figura 1, temos imagens dos dois tipos de transformadores, a óleo e a seco.

Figura 1: Representação dos dois tipos de transformadores, a óleo e a seco, respectivamente.



Fonte: <https://www.sabereletrica.com.br/trafo-seco-x-oleo/>.

2.1. Princípio de funcionamento

2.1.1. Lei de Faraday

De acordo com Transformadores (2014), uma lei foi formulada em 1831 por Michael Faraday após uma série de experimentos. Faraday observou que a movimentação de uma espira condutora através de um campo magnético provindo de um ímã, o contrário também sendo

verdadeiro, mover um ímã em uma espira condutora, gera uma corrente percorrendo na espira condutora. Essa corrente é proveniente dessa ação, onde nomeamos de corrente induzida pela variação do campo magnético. Faraday também descobriu que essa corrente era proporcional à *taxa de variação no tempo do fluxo magnético*. Na verdade, essa corrente é devida a uma tensão induzida no condutor, tensão essa chamada de *força eletromotriz induzida*, ou *f.e.m.* Essa força produzida nesse experimento pode ser escrita como:

$$f.e.m. = -\frac{d\Phi}{dt},$$

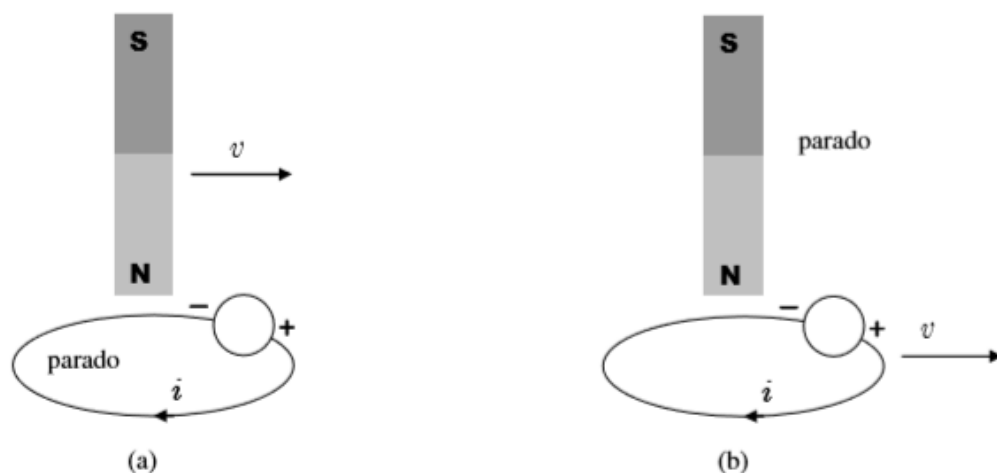
sendo Φ o fluxo através da espira condutora. Em geral o condutor é uma bobina de mais de uma espira. Então uma forma mais geral para a f.e.m., $e(t)$, é dada por:

$$e(t) = -N \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) [V],$$

onde N é o número total de voltas da espira.

A figura a seguir trás a representação esquemática do fenômeno de indução, Lei de Faraday, onde a figura 2a) representa o momento em que a espira está parada e o ímã está em movimento com velocidade v gerando uma corrente na espira, e a figura 2(b) neste caso o ímã está parado e a espira em movimento com velocidade v e também há presença de corrente na espira.

Figura 2: Representação esquemática do fenômeno de indução (a) e (b) – Lei de Faraday.



Fonte: Transformadores (2014).

2.1.2. Lei de Lenz

Uma lei foi proposta por Heinrich Lenz, partindo de resultados experimentais, diz que a corrente induzida se comporta sempre num sentido contrário ao sentido da variação do campo magnético que a gera, onde surge duas condições, a primeira está relacionada a diminuição do fluxo magnético e que implica na criação de um campo magnético direcionado no mesmo sentido do fluxo pela corrente induzida; a segunda diz que havendo o oposto da primeira, ou seja, caso aumente o fluxo magnético um campo magnético será criado num sentido contrário ao fluxo pela corrente induzida.

2.2. Transformadores: caso ideal

De acordo com Nogueira e Alves (2009), o transformador de potência pode ser provido de dois ou mais enrolamentos acoplados por um fluxo magnético mútuo. Ainda de acordo com os mesmos, entende-se por transformador ideal os que podemos desprezar todas as perdas geradas em funcionamento com regime permanente, ou seja, as resistências dos enrolamentos podem ser desprezadas; fluxo magnético pertencente somente no núcleo, concatenando-se com ambos os enrolamentos; não há perdas no núcleo, e; permeância do núcleo infinita. Eles ainda afirmam que, obviamente, estas condições são apenas considerações práticas, e nunca são atingíveis no transformador real.

2.3. Transformadores: caso real

Trataremos aqui neste tópico os transformadores reais, trazendo alguns dos fenômenos relacionados a seu funcionamento. Vale ressaltar que este entendimento só é verdadeiro quando o transformador está operando em regime permanente com frequência industrial constante. Aqui consideramos algumas perdas que foram desconsideradas no *caso ideal*.

2.3.1. Perdas

As perdas nos transformadores reais são entendidas como “escoamento de potência” isso se dá pela diferença na potência de entrada para a potência de saída. Há quatro tipos de perdas importantes:

- **Perdas no cobre:** resumidamente, estas perdas ocorrem devido ao aquecimento da bobina, efeito Joule, quando há circulação de corrente onde parte da energia utilizada é transformada em calor.
- **Correntes de Foucault:** ou correntes parasitas, são perdas relacionadas a circulação de corrente no núcleo do transformador, geradas por um fluxo magnético variante no tempo, provocando também perdas por efeito Joule.
- **Perdas por histerese:** é provocada pelo atraso no alinhamento do campo magnético com a indução magnética. Esse atraso provoca perdas de energia elétrica, a cada ciclo de histerese um pouco da energia é perdida.
- **Fluxo de dispersão:** de acordo com Nogueira e Alves (2009), são os fluxos magnéticos que concatenam com apenas um enrolamentos e cujas trajetórias são definidas majoritariamente através do ar, ou seja, os fluxos magnéticos criados pelas correntes nos enrolamentos de entrada e de saída são opostos um ao outro resultando numa porção de linhas de fluxo magnético que escapam do núcleo formando um circuito fechado pelo ar em volta do enrolamento.

2.4. Modelo térmico

Em decorrência das tantas perdas que um transformador real está sujeito, seu funcionamento depende diretamente de um bom dimensionamento e de uma escolha ideal de seu material para uma maior vida útil do mesmo.

Uma das principais causas de queima dos transformadores é a ruptura no isolamento do enrolamento, essa ruptura ocorre devido ao sobreaquecimento nas bobinas provocando uma degradação desse material isolante, após a ruptura ocorre um curto-circuito.

Quando um transformador aquece muito devido ao mau dimensionamento, atinge diretamente no seu funcionamento, pois um sobreaquecimento do mesmo gera aceleração na oxidação dos materiais isolantes, perdas das propriedades do dielétrico, no caso dos transformadores a óleo, degradação do óleo isolante, etc.

Por esse motivo o conhecimento da temperatura ao qual o transformador vai trabalhar é importante como afirma Camargo (2005), que seja feito uma escolha certa do material para fabricação do mesmo. Para saber tal temperatura, utiliza-se um termômetro instalado diretamente nele em diversos pontos do enrolamento ou é feita uma estimativa indireta através das temperaturas do transformador pelo emprego de modelos térmicos.

2.4.1. Denominação dos terminais

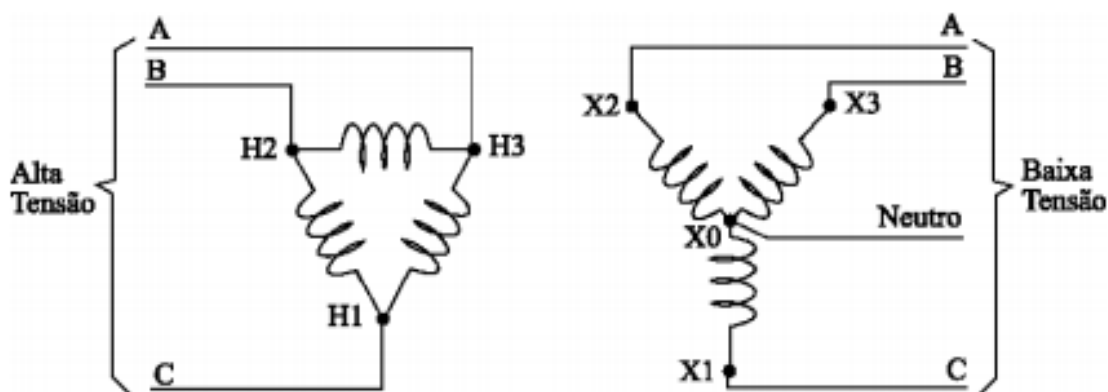
Os terminais de um transformador não necessariamente precisam ser determinados, pois independente de qual enrolamento se utilizar como primário ou como secundário, ele vai funcionar, e também independente a fonte e a carga. Por praticidade utiliza-se a bobina com maior número de enrolamentos para designar como de alta tensão, porém com menor corrente, e por conseguinte, a bobina com menor número de enrolamentos é de baixa tensão.

Normalmente a denominação dos terminais de acordo com Aguiar (2007),

“Os terminais do enrolamento de alta tensão são nomeados sempre começando pela letra “H” seguido de um algarismo numérico maior ou igual a 1, que irá indicar a polaridade relativa do enrolamento. Para os terminais do enrolamento de baixa tensão, eles são começados pela letra “X” seguido do numeral, que tem a mesma função do anterior. Se no transformador houver um terceiro enrolamento, utiliza-se a letra “Y” para designar os terminais do enrolamento de mais baixa tensão, também seguido do numeral. O numeral “0” é reservado para os terminais de qualquer enrolamento (H, X ou Y) que serão destinados à ligação de neutro ou de aterramento.” (AGUIAR, 2007, p. 22).

Como ilustrado na figura abaixo,

Figura 3: Exemplo de denominação dos terminais.



Fonte: Aguiar (2007).

3. TIPOS DE TRANSFORMADORES

Como dito anteriormente, existem dois tipos de transformadores: o transformador a óleo e o transformador a seco. Iremos mostrar a seguir as principais diferenças entre estes dois tipos, já que um dos objetivos deste trabalho é mostrar o custo da troca de todos os transformadores a óleo por transformadores a seco.

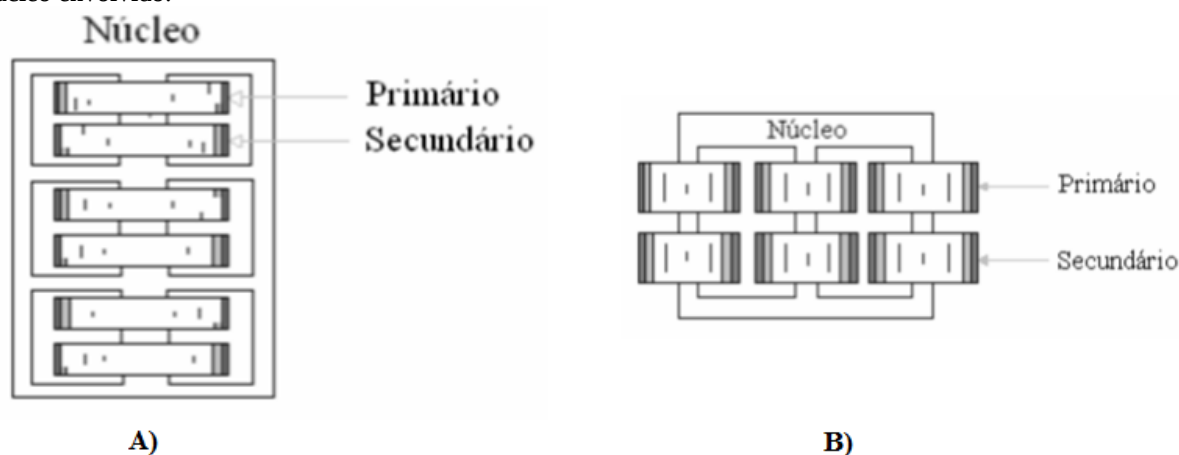
3.1. Transformadores a seco

Também chamado de transformadores com meio Isolante Sólido, os transformadores a seco, segundo Camargo (2005), foram os primeiros transformadores e surgiram por volta de 1880. O uso do óleo isolante (o outro tipo de transformador) em aparelhos de indução foi patenteado por David Brooks, da Filadélfia, em 1878. O emprego em transformadores foi introduzido por Elihu Thomson e foi inicialmente comercializado pela Westinghouse em 1886. O tipo de transformador a seco foi muito empregado em 1930 durante a Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidos materiais siliconados para satisfazer operações com temperaturas mais altas que aquelas permitidas para a classe de isolamento B, que era a classe do transformador em questão, então necessitava de alguns aprimoramentos para utilizá-lo nessas condições.

Desde os anos 90, transformadores do tipo seco ventilados vêm substituindo os transformadores com óleo isolante, em muitas instalações industriais e comerciais.

Camargo (2005) ainda diz que transformadores moldados em resina epóxi, reúnem todas as vantagens para a distribuição de energia elétrica, de forma mais econômica, segura, confiável e ecológica. E o núcleo em sua maioria é do tipo convencional envolvido, mas pode ser também projetado e construído na forma envolvente. A diferença entre os dois tipos pode ser notada nas figuras 4. Em geral, o tipo de núcleo envolvente é mais econômico para transformadores a seco de baixa tensão, enquanto o tipo núcleo envolvido é mais econômico para os de tensão elevada.

Figura 4: A) Transformador trifásico do tipo de núcleo envolvente; B) Transformador trifásico do tipo de núcleo envolvido.



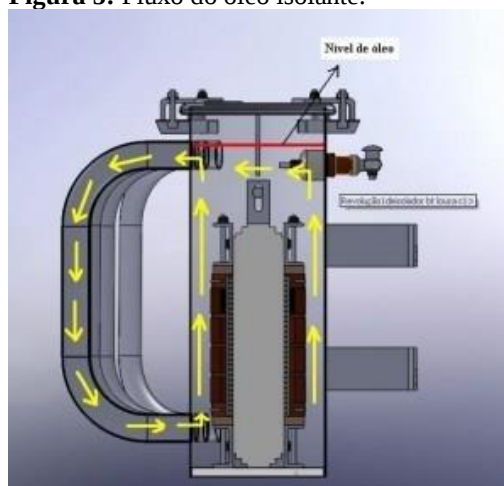
Fonte: Camargo (2005).

3.2. Transformadores a óleo

Segundo Cabral (2016), o uso do óleo como isolante se deu quando os transformadores se popularizaram e começaram a atingir maiores valores de potência, bem como maiores valores de tensão nominal, exigindo materiais isolantes de maior rigidez dielétrica. Nesse cenário, a adoção do óleo se deu ao mesmo tempo em que se adotou o tanque metálico, que possibilitou abrigar tanto a parte ativa do transformador quanto o seu isolante, o óleo, que também passou a exercer um papel importante na troca de calor, transportando-o desde as partes mais internas do transformador até o exterior, através de um circuito próprio, no qual canais internos e as aletas foram incorporados.

A adoção pelo óleo isolante, que era somente de origem mineral, naquela época, permitiu anular a presença do ar atmosférico, como material isolante, que limita a rigidez dielétrica de sistema isolante em que ele faça parte, ainda que com outros materiais como papel, tecidos e esmaltes (CABRAL, 2016, p. 2). Dessa forma, o óleo isolante ganhou grande aceitação e predominou quase que totalmente por longos anos, durante a vigorosa expansão dos sistemas elétricos, em todo o mundo. A figura 5 a seguir vem mostrar o fluxo do óleo isolante dentro do tanque do transformador e a seguinte, figura 6, detalha internamente um transformador a óleo da marca WEG.

Figura 5: Fluxo do óleo isolante.



Fonte: Datalink Engenharia Elétrica (2019).

A figura a seguir mostra mais detalhado um transformador a óleo, destacando suas partes internas e externas, como dito, da marca WEG.

Figura 6: Detalhes de um transformador a óleo.



Fonte: Acervo de pesquisa, 2020.

Destaca Nogueira e Alves (2009), o material isolante extremamente utilizado e de grande importância é o óleo mineral, onde o núcleo e as bobinas ficam imersos. Podem existir materiais isolantes com propriedades dielétricas e térmicas superiores ao óleo mineral, porém um material que combine tudo isso com uma relação custo benefício melhor que o óleo mineral ainda não existe.

Ainda segundo Nogueira e Alves (2009), a principal função do óleo isolante é promover um meio dielétrico entre os condutores energizados das bobinas; outra função é proteger a superfície interna da carcaça do equipamento contra algumas reações químicas que podem comprometer a integridade das conexões, como a oxidação. Vale dizer que o óleo isolante não é um bom lubrificante para as partes do transformador.

3.3. Principais diferenças entre os transformadores a óleo e a seco

Algo que ainda não foi falado neste trabalho, é a questão de o por que fazer este estudo de caso? Se analisarmos bem, todo transformador aquece muito, isso ocorre devido ao efeito joule e pelas correntes parasitas, para o combate a isso é que existe, por exemplo, o óleo no transformador, e o ar no transformador seco. Neste tópico veremos as principais diferenças entre os tais tipos de transformadores e poderemos obter uma resposta clara do propósito deste trabalho.

Como dito, para obtermos o resfriamento desses transformadores utiliza-se ar ou óleo. De acordo com Saiba... (2018), uma grande diferença entre ambos tipos de transformadores é

o tamanho, a dimensão, pois normalmente os transformadores a óleo são bem menores que os do tipo a seco.

Para saber qual melhor dos dois ao fazer uma construção, recomenda-se consultar a NBR 14039 antes de iniciar o projeto, nela relata que se um transformador for parte integrante da instalação da empresa ele não pode ser a óleo, isso se deve ao grau de risco muito mais elevado, dessa forma um transformador a óleo só pode ser instalado em Subestações eternas (SAIBA..., 2018).

Para entender melhor vamos resumir na tabela a seguir os prós e contras desses transformadores.

Tabela 1: Prós e contras dos transformadores a óleo e a seco.

	SECO	ÓLEO
RESTRIÇÕES ECOLÓGICAS	Isento;	Contaminação por óleo isolante.
SEGURANÇA	Propriedades auto extingüíveis e sem propagação de chamas;	Utilização de material inflamável e risco de explosão.
CUSTO DE INSTALAÇÃO	Menor;	Maior.
INSTALAÇÃO	Habilitado para instalação interna, não necessita porta/parede corta fogo, necessita somente de um gabinete de proteção;	Interna ou externa é necessário a construção de uma sala especial.
MANUTENÇÃO	Isento de substituições;	Necessário substituir óleo isolante e guarnições periodicamente conforme cada fabricante.

Fonte: <https://www.sabereletrica.com.br/trafo-seco-x-oleo> (2018).

No mais, podemos perceber que os transformadores a seco possuem uma maior vantagem em relação ao seu uso, quando se trata de uso doméstico e/ou industrial. Mas o recomendado é analisar a norma citada acima.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir de uma pesquisa realizada na cidade de Pau dos Ferros, na concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica no estado do Rio Grande do Norte (COSERN), obtivemos valores exatos da quantidade de transformadores utilizados em todo perímetro, zona rural e urbana. Vale ressaltar que os dados apresentados a seguir foram extraídos no dia 22/08/2019, e também que a concessionária não utiliza transformadores a seco na distribuição de rede, apenas em subestações particulares. Segue então, na tabela 2, a relação dos transformadores na cidade de Pau dos Ferros.

Tabela 2: Relação de transformadores na cidade de Pau dos Ferros.

RELAÇÃO DE TRANSFORMADORES A ÓLEO EM PAU DOS FERROS		
POTÊNCIA [kVA]	LOCALIDADE	
	RURAL	URBANA
5	18	1
10	48	0
15	174	2
30	88	11
45	39	25
75	35	36
112,5	4	13
150	1	6

Fonte: Acervo de pesquisa, 2020.

Podemos perceber que o transformador a óleo com potência de 15 kVA pode ser considerado de certa forma “padrão”, ou seja, comparado as quantidades utilizadas pelos outros é em média 7,9 vezes mais utilizado. Nota-se também que os transformadores de maior potência, 112,5 kVA e 150 kVA, são pouco utilizados.

Com isso, vamos analisar então quanto custa a troca de todos esses transformadores a óleo por transformadores do tipo seco. Lembrando que os transformadores a seco necessitam de um ambiente em que os mesmos não podem estar expostos a umidade excessiva, ou seja, a

céu aberto sujeito a chuva, e temperatura superior a 40 °C comprometem seu funcionamento, com isso há um gasto a mais com um caixa protetora.

A seguir temos uma tabela que mostra os preços dos transformadores pelas potências e pelo tipo de transformador que cobre a cidade de Pau dos Ferros.

Tabela 3: Preços de transformadores para cada potência utilizada.

POTÊNCIA (kVA)	PREÇO (R\$)	
	A SECO	A ÓLEO
5	996,00	950,00
10	1.682,00	1.350,00
15	1.999,00	1.600,00
30	3.790,00	3.900,00
45	4.500,00	4.400,00
75	7.000,00	7.200,00
112,5	15.800,00	8.200,00
150	19.000,00	10.200,00

Fonte: Acervo de pesquisa, 2020.

Na tabela acima podemos ver os preços de ambos os tipos de transformadores utilizados, por potência e tipo. É possível também perceber que quanto maior a potência mais caro se torna o transformador do tipo seco para o transformador do tipo óleo, em relação as potências baixas, por exemplo, se compararmos o transformador de 5 kVA seco para o óleo da mesma potência a diferença dos preços são quase desconsideradas, já quando comparamos o de 150 kVA há uma diferença muito grande, pela nossa tabela, de R\$ 8.800,00.

Dentre todos os valores dos transformadores a seco, podemos notar que apenas os com potência de 30 kVA e de 75 kVA não superam o valor dos transformadores a óleo. Uma explicação para isso pode ser a questão do aspecto de construção e as vantagens relacionadas.

Pela tabela 2, podemos tirar as quantidades de cada transformador a óleo pela potência que são utilizados pela concessionária em questão, e a partir disso montar a próxima tabela, assim a partir dela poderemos calcular o valor comparando a troca para os transformadores do tipo seco. Teremos então, as seguintes quantidades:

Tabela 4: Quantidade de transformadores a óleo por potência.

POTÊNCIA (kVA)	QUANTIDADE
5	19
10	48
15	176
30	99
45	64
75	71
112,5	17
150	7
Total	501

Fonte: Autoria própria (2020).

Obtivemos um total de 501 transformadores a óleo no total. Pela tabela 4, como dito anteriormente, podemos tirar também as quantidades para calcular o valor da troca dos transformadores a óleo por a seco. Com isso, podemos então calcular o custo total para essa troca.

Tabela 5: Valor total dos transformadores a seco.

POTÊNCIA (kVA)	VALOR (R\$)
5	18.924,00
10	80.736,00
15	351.824,00
30	375.210,00
45	288.000,00
75	496.000,00
112,5	268.600,00
150	133.000,00
Total	2.012.294,00

Fonte: Autoria própria (2020).

Contudo, podemos perceber que para a troca de todos os transformadores a óleo por a seco geraria um gasto em média um total de R\$ 2.012.294,00. Nota-se que é um valor bastante

alto, uma solução é fazer a mudança em escala de prioridades, como por exemplo, locais de riscos de acidentes, ou seja, primeiro em locais onde o fluxo de pessoas é maior, depois em ruas de pouco movimento. Ou então, por utilidade, inicialmente começaria pela potência que é menos utilizada, ou o contrário, pela potência mais utilizada, já que os gastos com manutenção seriam reduzidos, se pararmos pra pensar na quantidade de transformadores do tipo óleo de 15 kVA, como discutido anteriormente, é a potência que consideramos padrão, os gastos com os transformadores desta potência seriam reduzidos ou pelo menos evitados.

Para se obter uma melhor vista de como pode ser os gastos, vamos agora montar uma tabela onde destaca as porcentagens por potências, ou seja, quanto cada potência representa no custo econômico final.

Tabela 6: Valor percentual no custo final.

POTÊNCIA (kVA)	VALOR PERCENTUAL (%)
5	0,940
10	4,012
15	17,483
30	18,646
45	14,313
75	24,648
112,5	13,348
150	6,609

Fonte: Autoria própria (2020).

Com essa tabela é possível fazer algumas associações e realizar uma sequência de possibilidades para a concessionária seguir, ou estudar para seguir:

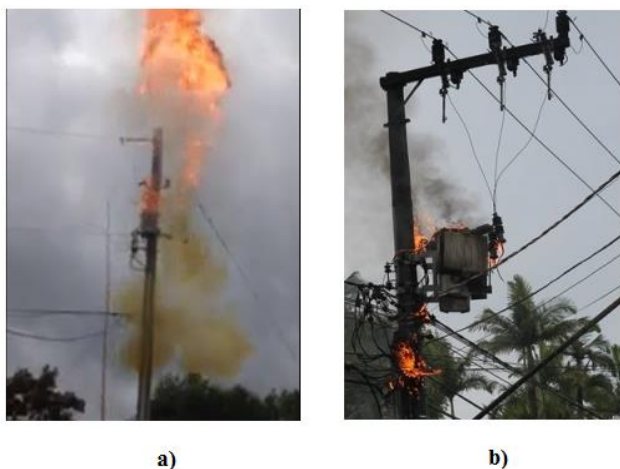
- É notório que mesmo os transformadores de 15 kVA sendo o mais utilizados de todos, ele não representa ainda a maior parcela do custo total, em uma escala crescente de custos os transformadores desta potência ficariam no 6º lugar, isso se encaixa perfeitamente em para os primeiros a serem trocados, já que são a maioria e isso evitaria haver gastos futuros com manutenção;

- Para uma escala de quantidade se a concessionária preferir primeiro começar pelo que possui a maior parcela de custo, são estes os de potência de 75 kVA e em questão de quantidade de produtos utilizados estão em 6º lugar;
- Há a possibilidade de escolher também pela maior potência se trocasse os transformadores das duas maiores potências isso iria reduzir o custo total para 80,043%, ou seja, iria reduzir aproximadamente 1/5 do custo total;
- Pode ser escolhido também começar pelo menor custo, nesse caso os transformadores de menor potência, mas isso mudaria pouco o cenário do custo total;
- Outra opção é procurar mudar pelo maior número de variação de potências, ou seja, começar trocando os transformadores de 5, 10 e 150 kVA, ou outra combinação.

Com isso, podemos perceber que há muitas formas de reduzir o custo total aos poucos, isso deve ser feito com cautela já que quando trabalhamos com transformadores, estamos lidando com altos valores de custos, esse cuidado se deve para que a empresa não chegue a sentir um impacto brusco muito grande na sua economia.

Isso tudo pode ser visto como um gasto desnecessário, mas se pararmos para pensar é de grande importância, não só profissional mas também ambiental, como dito, até mesmo para quem vive perto, pessoas, animais, os transformadores a seco possuem uma segurança maior, na internet vemos muitas reportagens relatando acidentes com transformadores do tipo óleo. Os acidentes mais comuns são explosões, como mostra a figura 7 a) e b).

Figura 7: Acidentes com transformadores a óleo.



Fontes: (a) <https://www.youtube.com/watch?v=LgVrSpAF4bw>
(b) <http://radiosentinela.com.br/?transformador-explode-e-queima-fachada-de-loja-no-centro-de-gs&ctd=20484>.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou a lei de Faraday e a lei de Lenz, para entendermos o princípio de funcionamento dos transformadores e como eles influenciam na qualidade da energia elétrica que chega até o nós. De forma que, essa qualidade depende de um bom dimensionamento e também da qualidade do produto. Abordou também os tipos de transformadores, a seco e a óleo, mostrando suas principais diferenças, seus prós e contras, e algumas perdas relacionadas.

O estudo de transformadores se mostrou muito importante, pois a partir deste podemos ter uma noção de como os mesmos funcionam e isso serve de forma grandiosa tanto de forma pessoal como profissional, pois trata-se de uma área de grande porte na sociedade hoje.

Com tudo que foi mostrado é possível tirar uma conclusão de que os transformadores a seco possuem vantagens sob os a óleo, tanto ambiental como relacionado a manutenção, entre outras. Além disso, como os transformadores a seco podem estar até mesmo próximos das pessoas, como por exemplo, dentro de uma empresa, é uma grande vantagem em relação aos do tipo a óleo.

Daí surge a ideia da troca dos transformadores do tipo óleo por do tipo seco. Isso daria maior segurança para as pessoas, geraria um maior conforto, de certa forma, para a concessionária responsável já que não precisaria de muita preocupação com manutenção, nem mesmo com poluição do meio ambiente, entre outras.

Os custos para a instalação dos transformadores do tipo seco são mais baratos que para os do tipo a óleo, mas como os a seco não podem estar expostos a céu aberto isso causa um acréscimo no gasto total, mas quando se olha as vantagens e os benefícios vale a pena realizar essa troca.

Contudo, nosso objetivo foi concluído com êxito de forma clara, quando apresentamos a tabela 2, mostrando os dados da COSERN e também quando foi discutido o custo econômico para a realização da troca desses transformadores.

O enriquecimento do conhecimento dos transformadores pode ser maior, ou seja, este trabalho ele pode evoluir futuramente, quando se adquirir uma bagagem teórica maior, apresentando todos os tipos de perdas já que neste trabalho só apresentamos as principais e mais conhecidas, também definir formas de localização dos transformadores na cidade de Pau dos Ferros, de forma a serem mais eficientes, ou seja, fazer um projeto.

Então, este tema apresenta uma área de conhecimento profissional e acadêmico bastante ampla, e que serve muito para quando se deseja atuar na área. Esta é uma pesquisa de grande relevância quando se trata de qualidade de energia elétrica.

6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Ezequiel Rabelo de. **Análise de resposta em frequência aplicada em transformadores de potência**. 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5356-1: Transformadores de potência: Generalidades**. Rio de Janeiro, p. 3. 2007.
- CABRAL, Sérgio H. L. et al. **Transformadores a óleo e a seco**. 2016. Disponível em: <<http://iltech.com.br/blog/?p=1421>>. Acesso em: 06 set. 2019.
- CAMARGO, Jelson Machado de. **Análise do desempenho térmico e vida útil de transformadores alimentando cargas não lineares**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.
- COGO, João R. et al. **Análise de Transitórios Devido a Manobras de Disjuntores a Vácuo em Transformadores com Meio Isolante Sólido (A Seco)**. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Nelson_De_Jesus/publication/329468451_Analise_de_Transitorios_Devido_a_Manobras_de_Disjuntores_a_Vacuho_em_Transformadores_com_Meio_Isolante_Solido_A_Seco/links/5c0a5e3fa6fdcc494fe0af85/Analise-de-Transitorios-Devido-a-Manobras-de-Disjuntores-a-Vacuho-em-Transformadores-com-Meio-Isolante-Solido-A-Seco.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2019.
- Datalink Engenharia Elétrica. **Funções do óleo isolante**. Disponível em: <<http://datalink.srv.br/artigos-tecnicos/funcoes-do-oleo-isolante-para-transformador/>>. Acesso em: 26 dez. 2019.
- FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira et al. **Transformador a Seco X Transformador a Óleo**. 2016. Disponível em: <<http://www.adeel.com.br/secovsoleo/>>. Acesso em: 06 set. 2019.
- NOGUEIRA, Daniel da Silva; ALVES, Diego Prandino. **Transformadores de potência - teoria e aplicação: tópicos essenciais**. 2009. 212 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- SAIBA qual Diferença entre Transformadores a Seco e a Óleo. 2018. Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/trafo-seco-x-oleo/>>. Acesso em: 01 jan. 2020.
- SANTOS, C. R. dos; LISITA, L. R.; MACHADO, P. C. M. **Medição de Perdas em Transformadores Trifásicos do Tipo Seco Suprindo Cargas Não-Lineares**. 2012. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/97029.PDF>>. Acesso em: 24 dez. 2019.
- TRANSFORMADORES: Teoria. Teoria. 2014. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/349452/mod_resource/content/2/Transformadores_Teo_2014%20%281%29.pdf>. Acesso em: 26 set. 2019.