



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

**CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**Título:**

**Gestão de Perdas de Energia em Redes de Distribuição  
de Baixa Tensão: Um Estudo do Dimensionamento de  
Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A**

**AUTOR:**

Júnior, Samuel Fibione Jofrisse

**SUPERVISORES:**

UEM: Eng. Hélder Nhambe

EDM: Manuel Ussene

Maputo, Dezembro de 2023



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

**CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**Título:**

**Gestão de Perdas de Energia em Redes de Distribuição de Baixa Tensão: Um Estudo do Dimensionamento de Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A**

**AUTOR:**

Júnior, Samuel Fibione Jofrisse

**SUPERVISORES:**

UEM: Eng. Hélder Nhambe

EDM: Manuel Ussene

Maputo, Dezembro de 2023

  
**FACULDADE DE** **ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE** **ENGENHARIA**  
**ELECTROTÉCNICA**

**F1 - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO**

Nome do estudante: Júnior, Samuel Fibione Jofrisse

Referência do tema: 2023ELEPD54

Data: 13/10/2023

Título do tema: Gestão de Perdas de Energia em Redes de Distribuição de Baixa Tensão: Um Estudo do Dimensionamento de Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A

<b>1. Resumo</b>					
1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo (clareza, organização, correlação com o apresentado)	1	2	3	4	5
<b>Secção 1 subtotal (max: 5)</b>					

<b>2. Organização (estrutura) e explanação</b>										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5					
2.2. Introdução, antecedentes e pesquisa bibliográfica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Secção 2 subtotal(max: 45)</b>										

<b>3. Argumentação</b>										
3.1. Criatividade e originalidade	1	2	3	4	5					
3.2. Rigor	1	2	3	4	5					
3.3. Análise crítica, evidência e lógica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4. Relação objectivos/ resultados/conclusões métodos/	1	2	3	4	5					
3.5. Relevância	1	2	3	4	5					
<b>Secção 3 subtotal(max: 30)</b>										

<b>4. Apresentação e estilo da escrita</b>					
4.1. Legibilidade e organização	1	2	3	4	5
4.2. Ilustração e qualidade das figuras e tabelas	1	2	3	4	5
4.3. Estilo da escrita (fluência do texto, uso da língua e gramática)	1	2	3	4	5
4.4. Fontes bibliográficas (citação correcta, referências, etc)	1	2	3	4	5
<b>Secção 4 subtotal(max: 20)</b>					

<b>Total de pontos (max: 100)</b>	
-----------------------------------	--

<b>Nota (=Total*0,2)</b>	
--------------------------	--

Nota: Quando exista a componente gráfica (desenhos técnicos), a nota acima é multiplicada por 0,8 cabendo os restantes 20% do peso à referida parte gráfica.

O supervisor

\_\_\_\_\_

Maputo, \_\_\_\_ de Dezembro de 2023



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO**  
**PROFISSIONAL**

Declaro que o estudante Samuel Fibione Jofrisse Júnior entregou no dia \_\_/\_\_/\_\_, as 3 cópias do relatório do seu estágio profissional com a referência: \_\_\_\_\_.

Intitulado: Gestão de Perdas de Energia em Redes de Distribuição de Baixa Tensão: Um Estudo do Dimensionamento de Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A

Maputo, aos \_\_\_\_ de Dezembro de 2023

A Chefe da Secretaria

---

(Arlete Chiconela)



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, Samuel Fibione Jofrisse Júnior, declaro que este Relatório de Estágio Profissional nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau ou num outro âmbito e que ele constitui o resultado do meu labor individual.

Maputo, ao \_\_\_\_ de Dezembro de 2023

---

(Samuel Fibione Jofrisse Júnior)

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais, Senhora e Senhor Jofrisse, que me deram seus ombros, sempre que fosse necessário.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, nosso Pai, que sempre me manteve em pé, com inteligência e muita força para resistir às intempéries da Faculdade de Engenharia.

Do mesmo modo, agradeço aos meus pais biológicos, o Sr. e a Sra. Jofrisse, que sempre me deram um apoio incondicional e amor imarcescível ao longo da minha jornada.

Agradeço, também, aos meus irmãos: o Mário, a Francisca, a Ângela e a Cremilda. Que mesmo estando distantes, conseguiram criar mecanismos de estarmos sempre juntos e conectados.

Como poderia me esquecer de agradecer ao meu pai espiritual, o Bispo Frank Otchere, a pessoa que sempre acreditou no meu potencial e sempre me forçou a se tornar numa pessoa mais forte e a encontrar formas de quebrar todas as barreiras da vida.

Um grande abraço aos meus grandes amigos Jonas, Melosovik, Hélder, Danilo, Aime, Arsénio, Adilson, Lóger, Amedy, Conde Júnior, Edson Rufai, e às minhas melhores amigas dra. Viegas, Nicole, Joalina, Isabéu, Graciete e Cândida. Agradecimentos especiais à minha querida Luísa pelo apoio constante e incentivo ao longo desta jornada acadêmica, tornando o processo de conclusão deste Relatório ainda mais significativo.

Estendo, de igual modo, meu agradecimento aos meus mentores, os tios Francisco, Joshua, Maria Arvista e ao Rev. Janato.

Meus agradecimentos aos meus colegas e amigos Audemiro, Valter, Muchope, Nhamuhuco.

Às minhas *Shepherds* L. P.'s Segua, Rhoda, Adel, Vilma e Gabi, o meu muito obrigado.

Deixo um agradecimento especial ao meu supervisor, Eng. Nhambe, pelo incentivo, pela dedicação do seu escasso tempo ao meu Relatório de Estágio e pela paciência.

Fortes abraços aos meus colegas do Estágio na EDM, os técnicos Hilário Massongane, Osvaldo Matsombe, Sr. Chirindza, Aurélio Mayela, João Dança, Naira Uele, Luís Bila, Eng. Chissaque, Eng. Ubaldo Pumule, ao Chefe do Departamento de Operações o Eng.



Carlos Manhiça, Eng. Willer Cote, Dércio Massalane, abraços ao Eng. Emílio Litsuri. Abraços fortes ao meu supervisor do Estágio o Sr. Manuel Ussene e ao Chefe do Departamento de Manutenção o Sérgio Javane. Aos colegas estagiários o Dércio Nharre, o Caiado, o Marcelo, a Cláudia, a Laura, a Tiolídia, a Gracinda, o Celso Tivane e outros.

Também quero agradecer à Faculdade de Engenharia, ao Departamento de Engenharia Electrotécnica e, especialmente a todos os meus professores, destaques para o Eng. Telles, dr. Camilo, Eng. Pililão, Eng. Cuinhane, Eng. Mabote, Prof. Doutor Eng. Cumbi durante a minha estadia nesta Universidade.

## EPÍGRAFE

*Siga a sua paixão. O resto cuidará de si mesmo. Se eu posso fazer isso, qualquer pessoa pode. É possível. E é a sua vez. Então, vá em frente. Nunca é tarde demais para se tornar aquilo que você sempre quis ser desde o início. - J. Michael Straczynski*

## RESUMO

Este estudo destaca a importância do dimensionamento eficiente dos Postos de Transformação (PTs) na rede eléctrica, focando em Maxaquene A, no Distrito Municipal de Ka Maxakeni, Cidade de Maputo. A pesquisa aborda a prática actual da EDM, identifica desafios e propõe uma metodologia otimizada para melhorar a eficiência e confiabilidade. Destaca-se a necessidade crítica de enfrentar perdas energéticas e problemas operacionais associados aos PTs de baixa tensão. A pesquisa visa contribuir para aprimorar as práticas da EDM, melhorar a qualidade do serviço e promover o desenvolvimento sustentável em Maxaquene A.

**Palavras-Chave:** Postos de Transformação, Eficiência Energética, Rede de Distribuição.

## **ABSTRACT**

This study emphasizes the significance of efficient sizing for Transformation Points (PTs) in the electrical grid, with a focus on Maxaquene A, Municipal District of Ka Maxakeni. The research addresses current practices at EDM, identifies challenges, and proposes an optimized methodology to enhance efficiency and reliability. The critical need to address energy losses and operational issues associated with low-voltage PTs is highlighted. The research aims to contribute to improving EDM practices, enhancing service quality, and promoting sustainable development in Maxaquene A.

**Keywords:** Transformation Points, Energy Efficiency, Distribution Network.

## Índice

AGRADECIMENTOS .....	vi
EPIGRAFE .....	viii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	0
1.1 Contextualização .....	0
1.3 Objectivos.....	2
1.3.1 Objectivo Geral: .....	2
1.3.2 Objectivos Específicos: .....	2
CAPÍTULO II: METODOLOGIA DE PROJECTO.....	3
2.1 Abordagem/Paradigma .....	3
2.2 Tipo de Pesquisa.....	3
2.3 Técnicas e Instrumentos de Colecta de Dados .....	4
2.4 Técnicas e Instrumentos de Tratamento e Análise de Dados .....	4
CAPÍTULO III: REVISÃO DA LITERATURA .....	6
3.1 Breve História dos Transformadores .....	6
3.2 Considerações de Design Estrutural Moderno de um Transformador .....	10
3.3 Impacto da Carga do Transformador na Eficiência.....	18
CAPÍTULO IV: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	22
4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	22
4.1.1 Ausência de um Plano Prévio de Dimensionamento para Novos Pontos de Transformação na EDM .....	23
4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	25
4.2.1 Práticas Actuais: Ausência de um Plano Prévio de Dimensionamento para Novos Pontos de Transformação na EDM .....	25
CAPÍTULO V: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....	28
5.1 Conclusão .....	28

5.2 Limitações e Recomendações.....	30
Referências Bibliográficas.....	31
Anexos.....	33

Figura 1 Anel de indução de Faraday. Fonte:.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 2 Transformador Original de William Stanley (Welan, 2010). .....	9
Figura 3 Componentes do transformador trifásico tipo seco.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4 Construção de transformador tipo núcleo trifásico. ....	14
Figura 5 Perda vs Carregamento (Kennedy, 1998) .....	19

#### **Lista de Figuras**

Tabela 1 Classe de Níveis Eficiência Para Transformadores de Distribuição à Secos .....	21
Tabela 2a Medições de Carga nos PTs de Maxaquene A.....	24
Tabela 3b Medições de Carga nos PT's de Maxaquene A.....	24

#### **Lista de Tabelas**

## CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização

À medida que a procura global por electricidade continua a aumentar, a eficiência e a confiabilidade das redes de distribuição tornam-se cruciais para sustentar as actividades económicas e garantir o bem-estar das comunidades. A Electricidade de Moçambique (EDM), um interveniente fundamental no sector de fornecimento de electricidade, desempenha um papel vital na entrega de electricidade em áreas urbanas e suburbanas em Moçambique. Garantir o desempenho óptimo das redes de distribuição é de extrema importância para satisfazer as necessidades energéticas de comunidades.

Um componente integral dessas redes de distribuição são os Postos de Transformação (PTs), responsáveis por ajustar os níveis de tensão na rede. No contexto de redes de baixa tensão, o dimensionamento adequado dos PTs torna-se importante para atender às demandas de energia, minimizando o risco de sobrecargas e falhas. Esta consideração tem particular relevância em áreas densamente povoadas, como Maxaquene A, onde a demanda de energia pode apresentar flutuações significativas.

No entanto, apesar da sua importância crítica, a prática de dimensionamento dos PTs tem sido frequentemente negligenciada, resultando em ineficiências e perdas significativas de energia. Esta pesquisa visa abordar este desafio, desenvolvendo uma metodologia otimizada para o dimensionamento de PTs em redes de distribuição de baixa tensão, com foco em Maxaquene A.

Esta investigação irá explorar as práticas actuais de dimensionamento de PTs na EDM, identificar desafios e áreas de melhoria, e recomendar uma metodologia para otimizar o dimensionamento dos PTs. O objectivo é contribuir para a melhoria das redes de distribuição de electricidade na Cidade de Maputo e em Moçambique em geral, aumentando a eficiência e a confiabilidade e, conseqüentemente, melhorando a qualidade do serviço prestado aos residentes de Maxaquene A.

## 1.2 Formulação do Problema

As perdas de energia nas redes de distribuição de electricidade são uma questão crítica que afectam a eficiência, a sustentabilidade e os custos operacionais das empresas de electricidade. Na EDM, especialmente no Bairro de Maxaquene A, as perdas associadas ao dimensionamento inadequado dos PTs de baixa tensão representam um desafio significativo.

No contexto de Maxaquene A, as características demográficas e as variações na demanda de energia podem influenciar directamente na magnitude dessas perdas. Portanto, uma compreensão aprofundada dos factores que contribuem para as perdas de energia nesse contexto é importante.

Diante dessa situação, este estudo busca investigar e analisar as perdas de energia associadas aos PTs de baixa tensão no bairro de Maxaquene A. O objectivo é identificar os principais factores que contribuem para essas perdas e explorar estratégias potenciais para mitigá-las. A pesquisa procura responder à seguinte pergunta: **"Quais são os principais factores que contribuem para as perdas de energia nos Postos de Transformação de baixa tensão no bairro de Maxaquene A, e quais estratégias podem ser exploradas para mitigar essas perdas?"**

A implementação inadequada dos PTs pode resultar em uma série de problemas operacionais, incluindo sobrecargas, falhas de equipamento e interrupções no serviço. Esses problemas não apenas geram custos adicionais para a EDM em termos de manutenção e reparações, mas também impactam negativamente a satisfação do cliente e a confiança no fornecedor de energia.

A pesquisa e o desenvolvimento de uma metodologia de dimensionamento otimizada para os PTs de baixa tensão são, portanto, fundamentais para maximizar a eficiência e a



confiabilidade da rede de distribuição de electricidade. Além disso, pode ajudar a minimizar as perdas de energia associadas ao sub e sobrecarregamento dos PTs, contribuindo para a redução dos custos operacionais, melhoria da qualidade do serviço e desenvolvimento sustentável na região de Maxaquene A.

### **1.3 Objectivos**

#### **1.3.1 Objectivo Geral:**

Gerir Perdas de Energia em Redes de Distribuição de Baixa Tensão, Com Base Num Estudo do Dimensionamento de Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A.

#### **1.3.2 Objectivos Específicos:**

- Avaliar as práticas actuais de dimensionamento dos PTs na EDM, com ênfase em Maxaquene A e colectar dados relevantes sobre a demanda de energia e características específicas da área;
- Formular uma metodologia otimizada para o dimensionamento de PTs em redes de baixa tensão, visando minimizar as perdas de energia, levando em consideração as cargas do Bairro de Maxaquene A;
- Avaliar os impactos da implementação da metodologia proposta na minimização das perdas de energia, eficiência e confiabilidade da rede. Realizar uma análise de custo-benefício e propor recomendações para implementação em larga escala e melhorias contínuas

## CAPÍTULO II: METODOLOGIA DE PROJECTO

O projecto busca desenvolver uma metodologia eficiente para o dimensionamento de Postos de Transformação (PTs) visando minimizar as perdas de energia. A abordagem metodológica adotada é detalhada a seguir:

### 2.1 Abordagem/Paradigma

A metodologia utilizará uma abordagem mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos para abordar os desafios relacionados às perdas de energia nos PTs. Inspirada por Gil (2002), a escolha da metodologia será guiada pelos objectivos, incorporando elementos teóricos e empíricos.

**Abordagem Empírica:** A colecta de dados será realizada por meio de observações e medições no Bairro de Maxaquene A, visando obter informações práticas sobre as condições da rede de distribuição de baixa tensão.

**Elementos Teóricos:** A pesquisa incluirá revisão bibliográfica sobre gestão de perdas de energia, dimensionamento de PTs e práticas actuais na EDM. Essa revisão será essencial para fundamentar conceitos-chave, identificar melhores práticas e situar a pesquisa no contexto mais amplo.

### 2.2 Tipo de Pesquisa

**Abordagem Qualitativa:** Envolverá entrevistas com profissionais da EDM e análise de documentos técnicos para compreender as práticas actuais de dimensionamento e identificar desafios do Bairro de Maxaquene A.

**Natureza Aplicada:** A pesquisa aplicará os conhecimentos adquiridos para otimizar o dimensionamento dos PTs, visando reduzir perdas de energia e melhorar a eficiência da rede de distribuição.

**Caracterização Exploratória:** Buscará identificar os principais factores que contribuem para as perdas de energia no Bairro de Maxaquene A.

### 2.3 Técnicas e Instrumentos de Colecta de Dados

**Entrevistas:** Serão conduzidas entrevistas com profissionais da EDM para compreender práticas actuais e desafios no dimensionamento de PTs no Bairro de Maxaquene A.

**Análise de Documentos:** Revisão de documentos técnicos da EDM, relatórios e registos relacionados à rede eléctrica e características do Bairro de Maxaquene A.

**Pesquisa Bibliográfica:** Consulta a fontes escritas, como livros e artigos científicos, para embasar teoricamente a pesquisa.

### 2.4 Técnicas e Instrumentos de Tratamento e Análise de Dados

**Análise Estatística:** Aplicação de técnicas estatísticas para quantificar e interpretar dados numéricos relacionados às perdas de energia, consumo e eficiência dos PTs.

**Análise Qualitativa:** Avaliação qualitativa das entrevistas e análise de documentos para identificar padrões, desafios específicos e oportunidades de melhoria.

**Análise de Custo-Benefício:** Avaliação económica das soluções propostas, considerando custos de implementação, economia de recursos a longo prazo e impactos na eficiência operacional.

**Propostas de Melhoria:** Com base nos resultados, serão propostas recomendações para otimizar o dimensionamento dos PTs, reduzindo as perdas de energia no Bairro de Maxaquene A.

## CAPÍTULO III: REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Breve História dos Transformadores

Transformadores modernos não evoluíram significativamente de seus predecessores iniciais. A invenção do transformador teve início no século XIX. O químico e físico inglês Michael Faraday iniciaram experimentos com circuitos electromagnéticos em 1821, após a descoberta do electromagnetismo (Thompson, 1901). Em agosto de 1831, Faraday realizou um experimento para aprofundar sua compreensão da relação entre electricidade e magnetismo. Ele enrolou dois fios isolados em torno de um anel de ferro, conectando um dos fios a uma bateria e o outro a um galvanómetro (IET, 2011; IEEE Global Network, 2009). Observou-se que a presença de corrente em um fio criava outra corrente no outro fio, por meio do magnetismo. Esse incidente observável é chamado de "*mutual inductance*" (indutância mútua), propriedade que permite aos transformadores desempenhar sua função de alterar a tensão para diferentes níveis. O anel de indução de Faraday foi, na realidade, o primeiro transformador básico (IET, 2011).



**Figura 1** Anel de indução de Faraday. Fonte:

Pesquisas posteriores pelo cientista irlandês Nicolas Callen levaram à criação da bobina de indução em 1836 (Callan, 1836). Callen queria gerar uma tensão mais alta do que a disponível. Utilizando um bastão de aproximadamente 2 pés de comprimento, feito de ferro macio como "núcleo", ele enrolou dois fios de cobre individuais, cada um com cerca de 200 pés de comprimento, como "bobinas". Após conectar a primeira bobina a uma bateria, percebeu-se que, ao desconectar a bateria, um choque podia ser sentido no segundo terminal da segunda bobina. Progredindo com essas descobertas, Callen decidiu aumentar o tamanho da bobina secundária. Ao conectar a bateria de baixa tensão, Callen testemunhou uma tensão mais elevada induzida no fio secundário. Essa observação, de que havia uma relação entre a diferença de tamanho nas bobinas primária e secundária e o

efeito que isso tinha na alteração da tensão induzida, seria um dos princípios orientadores para o futuro *design* e princípio de funcionamento de transformadores.

Com novas descobertas sendo feitas por cientistas como Faraday e Callen no campo do electromagnetismo, especificamente em relação à relação entre fluxo magnético e corrente, era inevitável que os pesquisadores começassem a buscar avanços na área. Embora muitos experimentos provavelmente tenham sido realizados após a descoberta do princípio de indução de Callen na década de 1830, o próximo avanço notável na história do transformador só ocorreria em 1876, pelo engenheiro russo Pavel Yablochkov.

Yablochkov desenvolveu um sistema que demonstraria as capacidades das bobinas de indução não apenas para variar a tensão, mas também para accionar uma carga secundária conectada. Seu sistema era composto por uma fonte de alimentação de corrente alternada (CA) conectada ao primário de um par de bobinas. No lado secundário da bobina, ele havia conectado lâmpadas eléctricas. A fonte de CA foi capaz de alimentar com sucesso a carga, funcionando de maneira semelhante a um transformador moderno (University of Florida, 2011). Este *design* de transformador primitivo seria eventualmente superado na década de 1880 por vários inventores de transformadores, incluindo a Ganz Company em Budapeste, Hungria, Sebastian Ziani de Ferranti da Inglaterra, e Lucian Gaulard e John Gibbs também da Inglaterra.

O *design* do transformador de Gaulard e Gibbs foi concluído em 1882, operando como um transformador redutor com um núcleo de ferro aberto. O transformador, que chamaram de "gerador secundário", tinha um *design* linear e era ineficiente para ser fabricado (Whelan, 2010). A eficiência operacional também era bastante baixa. Eventualmente demonstrariam o uso do transformador publicamente em 1884 em Turim, Itália, conectando os transformadores em série para alimentar uma ferrovia, bem como para acionar iluminação incandescente e de arco. A patente de *design* de Gaulard e Gibbs foi comprada pelo empresário americano George Westinghouse, mas ainda precisaria de mais pesquisas para se tornar economicamente viável para produção e distribuição em larga escala. Eventualmente, Gaulard e Gibbs perderiam os direitos da patente para de Ferranti em

tribunal (Whelan, 2010), no entanto, foi sua demonstração na Itália que permitiria que o design se tornasse globalmente conhecido e melhorias adicionais fossem feitas.

Logo após a exibição pública na Itália em 1884, três pesquisadores da empresa húngara, conhecida como Ganz Company, começaram a procurar melhorias no transformador de Gaulard e Gibbs. Os engenheiros Otto Blathy, Karoly Zipernowsky e Miksa Deri recomendam que, em vez de usar um núcleo de ferro aberto, um sistema mais eficiente unidade do tipo núcleo fechado seja construída. O *design* da Ganz Company era uma forma toroidal conhecido como “Z.B.D.” transformador e foi o primeiro transformador de alta eficiência do mundo transformador, tendo uma eficiência operacional de aproximadamente 98 por cento (Uppenborn, 1889). Além do mais, utilizando o projecto de núcleo fechado, os engenheiros fizeram melhorias na forma como os transformadores foram instalados no sistema de distribuição. Reconhecendo a questão que ocorreu com transformadores conectados em série, nos quais o desligamento de uma carga afectaria a tensão para as outras cargas conectadas, foi sugerido que os transformadores fossem conectados ao sistema de distribuição em paralelo (Whelan, 2010). As ideias desenvolvidas e propostas por os três engenheiros da Ganz Company lançaram as bases para transformadores comerciais fabricação e instalação pública.

Após Westinghouse comprar o *design* do transformador de Gaulard e Gibbs, ele designou um de seus funcionários, William Stanley, para conduzir pesquisas adicionais sobre como o design poderia ser melhorado e fabricado eficazmente para venda. Stanley iniciou suas pesquisas em 1885 e concluiu seu primeiro protótipo de transformador em março de 1886 (University of Florida, 2010). Semelhante aos transformadores Z.B.D., o transformador de Stanley utilizava um núcleo de ferro fechado, mas tinha uma lacuna ajustável que permitia a variação da força electromotriz. Essa distância de lacuna poderia ser alterada por meio de um parafuso feito de material não magnético (Stanley, 1886). Stanley demonstrou o transformador publicamente para alimentar vários estabelecimentos na Main Street em Great Barrington, Massachusetts. Usando um gerador de corrente alternada Siemens como fonte, ele aumentou a voltagem com um de seus transformadores e transmitiu a energia por fios com uma voltagem mais alta para vários edifícios. No porão de cada edifício, havia outro transformador, conectado ao sistema em paralelo, que reduzia a voltagem a um nível utilizável para as luzes (University of Florida, 2010). Esse sistema básico de transmissão

de energia tinha os mesmos princípios básicos dos sistemas em uso pelas empresas de serviços públicos hoje.



**Figura 2** Transformador Original de William Stanley (Welan, 2010).

Em Dezembro de 1886, após a demonstração de Stanley em Great Barrington, Westinghouse solicitou uma patente para um *design* comercialmente produzível baseado no trabalho de Stanley. Esse *design* permitiria uma produção rápida na fábrica e um custo viável para distribuição. O novo transformador de Westinghouse era composto por lâminas finas de ferro empilhadas, separadas por um material isolante. Bobinas de cobre que foram enroladas antecipadamente podiam então ser encaixadas sobre o material do núcleo (Westinghouse, 1887). O transformador tinha uma forma quadrada, semelhante aos transformadores de hoje, em oposição ao transformador em forma de tiróide criado pelos engenheiros da Ganz Company. Alguns anos depois, em 1889, o primeiro transformador trifásico foi desenvolvido na Alemanha (Welan, 2010).

Com a invenção do transformador, surgiu a capacidade de gerar energia eléctrica remotamente, aumentá-la para uma tensão mais alta para transmissão, transmiti-la, reduzi-la para a tensão operacional de equipamentos e iluminação próxima à carga conectada, e, finalmente, utilizá-la pela carga. Tudo isso poderia agora ser feito de maneira muito mais económica e conveniente do que os sistemas históricos de corrente contínua (CC). Embora a maioria das cargas eléctricas no final do século XIX consistisse em iluminação nocturna, à medida que motores eléctricos foram introduzidos na indústria para transporte e usos industriais, a demanda por energia tornou-se uma exigência de 24 horas por dia (Schnapp, 2001). Uma disputa nacional nos Estados Unidos sobre se a corrente alternada (CA) ou contínua (CC) deveria ser usada para alimentar residências e empresas, conhecida como a



"Guerra das Correntes", concluiu-se em 1896, após a Westinghouse Electric Corporation utilizar com sucesso geradores hidroelétricos localizados nas Cataratas do Niágara para transmitir energia CA para Buffalo. O consenso geral mudou para o uso de CA para serviços públicos e tornou-se o padrão desde então. Com o uso generalizado de sistemas CA, os transformadores tornaram-se uma necessidade, levando a mais pesquisas em seus *designs* e capacidades operacionais, bem como melhorias nessas áreas, desde o início do século XX até os dias de hoje.

### 3.2 Considerações de Design Estrutural Moderno de um Transformador

O *design* mais básico de um transformador não evoluiu muito desde o anel original de Faraday: dois enrolamentos isolados entre si, enrolados em um núcleo comum feito de um material magnético apropriado. O enrolamento primário é energizado por uma fonte de corrente alternada (CA). Devido às propriedades do material do núcleo, geralmente composto por aço ou ferro, o fluxo magnético pode ser facilmente transmitido por ele.

Como resultado da indução mútua, a energia é transferida para o enrolamento do secundário, onde é então entregue à carga. Embora o resultado final para um *design* básico como o de Faraday possa ser alcançado de várias maneiras, o *design* mais desejável proporcionará uma unidade que não apenas tenha as condições operacionais necessárias, mas também seja fácil de produzir. Existem vários propósitos e *designs* para transformadores modernos, desde pequenos eletrônicos até grandes centrais de energia elétrica. De particular interesse para esta tese será o transformador comercial de distribuição de energia trifásico a seco encontrado em edifícios de ensino superior, geralmente fornecido no lado primário a 480 V, 4,16 kV ou, em alguns casos, 12,47 kV.

Os principais componentes dos transformadores a seco são:

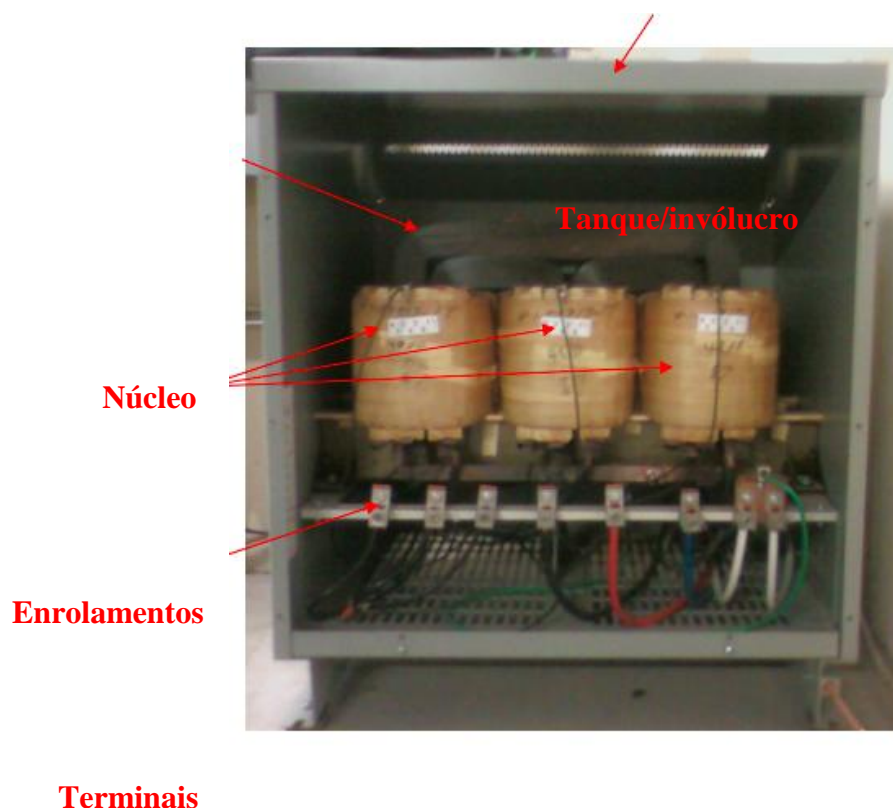
**Núcleo** - permite o caminho para o fluxo magnético, discutido mais abaixo

**Bobinas (ou enrolamentos)** - permite o fluxo de corrente, discutido mais abaixo

**Meio isolante** - dissipa calor, geralmente consiste em ar e/ou tipos de papel

**Terminais** - pontos de terminação para condutores de energia de entrada e saída

**Tanque/Invólucro** - Estrutura que abriga todos os componentes



**Figura 3** Componentes do transformador trifásico tipo seco.

O propósito do núcleo de um transformador é proporcionar um caminho contínuo para o fluxo magnético. Idealmente, o núcleo deve ser o menor possível, mantendo ainda o caminho adequado, para permitir um uso mínimo de material e perdas. Além disso, devido à natureza de polaridade reversa da corrente alternada (CA), o material do núcleo precisará ter moléculas que possam facilmente reverter suas posições (Stanley, 1886). À medida que as moléculas mudam de direção, é criado atrito que dissipa energia na forma de calor. Esse fenômeno é conhecido como "histerese" e contribui para as perdas gerais de um transformador. Além disso, devido ao fluxo magnético passando pelo núcleo, correntes parasitas são geradas, conhecidas como "correntes de Foucault". As correntes de Foucault são dissipadas como calor e contribuem para as perdas gerais do transformador (Stanley,

1886). Tanto as perdas por histerese quanto as perdas por correntes de Foucault não dependem da carga, mas são inerentes ao núcleo em si, resultando apenas da energização do transformador.

O material do núcleo pode variar, dependendo da aplicação do transformador. Alguns exemplos incluem metal macio, aço silício, aço carbonilo, cerâmica de ferrite e metal vítreo. Geralmente, os núcleos são feitos de aço com alto teor de silício, especificamente do tipo orientado por grãos, devido à sua capacidade de minimizar as perdas por histerese (Stanley, 1886; Welan, 2010). Geralmente, o material é montado na forma de folhas finas empilhadas de metal, conhecidas como "laminações". Empilhando as lâminas de metal, o núcleo é equivalente a vários circuitos individuais em vez de um grande circuito magnético. Cada folha tem apenas uma porcentagem do fluxo magnético total e, como as correntes de Foucault fluem ao redor dessas linhas de fluxo, esse arranjo evita grandemente o fluxo de correntes de Foucault (Welan, 2010). Entre as lâminas, há verniz isolante, que também busca diminuir ainda mais as correntes de Foucault, proporcionando um caminho de alta resistência. A inclusão de lâminas e verniz no *design* pode reduzir a contribuição das perdas totais devido às correntes de Foucault. Idealmente, esses padrões de laminação serão fáceis de cortar e empilhar para garantir eficiência no processo de fabricação.

O propósito das bobinas, também conhecidas como enrolamentos, de um transformador, é utilizar a indução mútua para converter uma tensão fornecida de um nível para uma tensão de nível diferente para uso (Welan, 2010). Os enrolamentos estão localizados no mesmo plano, de modo que o campo magnético do enrolamento primário percorre o enrolamento secundário. A quantidade pela qual o nível de tensão é elevado ou reduzido é determinada pelo número de enrolamentos nas bobinas. A relação entre as bobinas é conhecida como "relação de espiras", que é a razão entre o número de espiras nas bobinas secundárias para o número de espiras nas bobinas primárias.

O material da bobina geralmente consiste em um material altamente condutivo, geralmente cobre ou alumínio na indústria dos EUA. Os projectistas buscam alcançar o número necessário de espiras, ao mesmo tempo que minimizam o material e o espaço utilizado

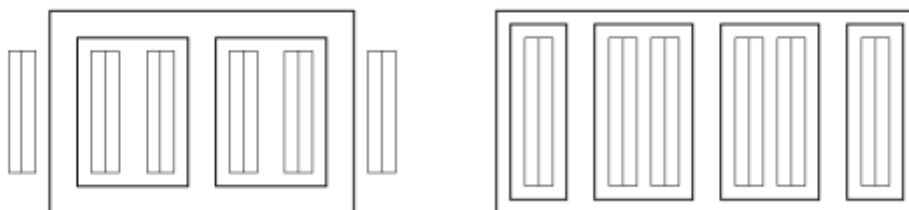
(Universidade de Florida, 2010). Embora o alumínio tenda a ser menos caro que o cobre, o cobre é mais condutivo. Isso equivale à necessidade de usar enrolamentos de alumínio maiores do que um transformador de bobina de cobre com desempenho semelhante, o que significa que os transformadores de alumínio tendem a ter uma pegada física maior. Além dos próprios enrolamentos, os transformadores devem ter espaço apropriado para materiais isolantes e dissipação de calor. Materiais comuns de isolamento de enrolamento incluem papel, shellac, verniz, esmalte, vidro, plástico, papel impregnado de óleo ou uma combinação desses materiais. As bobinas do transformador geralmente têm forma redonda, quadrada ou rectangular, dependendo do tamanho da unidade (Universidade de Florida, 2010).

Além das restrições de custo e tamanho, os projectistas também devem estar cientes dos impactos na eficiência causados pelos enrolamentos. Assim como os núcleos dos transformadores têm perdas, os enrolamentos também têm perdas. São observados dois tipos de perdas, que, ao contrário das perdas no núcleo, dependem da carga e da quantidade de corrente retirada. O primeiro tipo de perda na bobina é conhecido como perdas por efeito Joule " $I^2R$ ". Isso ocorre como resultado da resistência real do material da bobina e ocorre tanto nos enrolamentos primários quanto nos secundários (Kennedy, 1998). Como o valor da corrente depende da carga, não pode ser alterado e, portanto, a única maneira de melhorar as perdas  $I^2R$  é reduzir a quantidade de resistência no *design* do transformador. O segundo tipo de perda na bobina é, semelhante ao núcleo, a perda por correntes parasitas, que ocorre como resultado de campos magnéticos em movimento causando correntes parasitas emaranhadas nos enrolamentos. Tanto as perdas  $I^2R$  quanto as perdas por correntes parasitas contribuem para as perdas gerais de um transformador.

Embora o núcleo e as bobinas sejam componentes separados com funções diferentes, os dois devem trabalhar juntos como um sistema completo para alcançar os efeitos adequados (Kennedy, 1998). A configuração na qual o núcleo e as bobinas são dispostos pode variar nos transformadores modernos, mas geralmente existem dois tipos principais de configuração em uso.

Os tipos principais de construção de transformadores são do tipo **núcleo** e do tipo **crosta**.

Transformadores do tipo núcleo consistem em um único anel do núcleo de aço que é cercado e envolvido pelo material de enrolamento. Normalmente, as bobinas de tensão secundária estão localizadas ao lado do núcleo, com as bobinas de tensão primária as envolvendo concentricamente, tendo uma fina camada de isolamento entre as duas. As bobinas de tensão primária serão, portanto, as visíveis externamente. No entanto, transformadores de maior capacidade, na faixa de MVA, tendem a ter bobinas primárias e secundárias alternadas ou intercaladas. Eles são caracterizados por ter uma área menor de material do núcleo. Embora a construção do tipo núcleo possa ser usada para todos os tamanhos de transformadores de potência, ela é mais frequentemente escolhida para uso em transformadores menores de distribuição.



**Figura 4** Construção de transformador tipo núcleo trifásico.

Transformadores do tipo crosta consistem em um único anel de bobinas primárias e secundárias que são cercadas e envolvidas pelo material do núcleo. As bobinas primárias e secundárias são construídas na forma de "panquecas", onde as bobinas de diferentes níveis de tensão são empilhadas alternadamente, geralmente com uma camada de isolamento e espaços para dissipação de calor as separando. A configuração mais comum é o agrupamento de bobinas primárias-secundárias-primárias. Eles são caracterizados por ter uma maior relação de peso de aço para cobre. Uma vez que os transformadores construídos do tipo casca tendem a ter menos reactância entre as bobinas e operam de maneira mais eficiente em condições de corrente alta, eles são mais frequentemente usados em aplicações maiores, como estações ou usinas de energia.

Embora os transformadores possam ser projectados nas configurações de tipo núcleo ou tipo casca, com excepção das classificações de corrente extremas, não há uma grande vantagem operacional de um sobre o outro. O tipo de construção é deixado à discrição do fabricante, a menos que o cliente solicite especificamente uma preferência. Tipicamente, a decisão será baseada em factores económicos de material e mão-de-obra. Os custos totais de fabricação para cada tipo determinam, em última instância, a relação entre núcleo e bobina. Os requisitos mais importantes para o *design* são as especificações do cliente em relação às características eléctricas. Características importantes do transformador incluem:

**Tensão** - as tensões desejadas nos lados primário e secundário

**Relação de espiras** - a relação entre o número de espiras no enrolamento secundário para o número de espiras no enrolamento primário

**Potência (capacidade)** - a potência máxima que a unidade é capaz de operar, limitada pela elevação de temperatura permitida. Esta classificação é apenas para uma corrente em fase

**Impedância** - a oposição ao fluxo de corrente no enrolamento do transformador, compreendendo resistência ( $R$ ) e reactância indutiva ( $X$ ). A resistência é uma propriedade estrutural que contribui para as perdas de carga, enquanto a reactância indutiva faz com que a corrente atrase em relação à tensão e não contribua para as perdas.

**Eficiência** - a razão da potência de saída do transformador para a potência de entrada.

Essas características serão discutidas mais detalhadamente ao longo deste relatório. No entanto, é importante ter uma compreensão breve das características, pois são os parâmetros básicos que influenciam a forma como os *designers* de transformadores tradicionalmente tomaram suas decisões de *design*. Uma vez que os engenheiros de *design* tenham as especificações correctas, eles podem começar o processo de *design*. Esse processo começa com o estabelecimento conceitual de um arranjo de enrolamento predeterminado, bem como as dimensões dos componentes. As características eléctricas do *design* "fundamental" inicial serão então calculadas e comparadas com as características desejadas. Alguns exemplos dessas características incluem número de espiras, densidade de fluxo de vazamento, reactância, resistência e perdas por correntes parasitas. Com base

nos resultados da comparação, as dimensões iniciais serão ajustadas para aproximar o *design* das especificações. Os cálculos e comparações, geralmente realizados por *software* de computador, serão repetidos para garantir o máximo esforço em alcançar as características de design desejadas. Os *designers* também devem levar em consideração as propriedades físicas, incluindo as propriedades dielétricas do material de isolamento e as propriedades magnéticas.

Os valores finais calculados são também comparados com dados de teste de transformadores semelhantes para garantir a precisão do design. Embora esses procedimentos produzam um transformador com operação suficiente, uma característica importante que não pode ser negligenciada no processo de *design* é a eficiência do transformador, determinada pelas perdas do transformador. Por definição, a eficiência do transformador é:

$$\% \text{ Eficiência} = (\text{Potência de Saída} / \text{Potência de Entrada}) \times 100\%$$

$$\% \text{ Eficiência} = (\text{Entrada} - \text{Perdas Totais}) / \text{Entrada} \times 100\%$$

A partir deste conjunto de equações, é fácil ver que à medida que as perdas totais do transformador aumentam, a eficiência global do transformador diminui. Assim, um transformador altamente eficiente terá um mínimo de perdas.

As perdas são geralmente divididas em duas categorias: as perdas em vazio, que estão presentes quando o transformador está apenas energizado, mesmo que o secundário esteja em circuito aberto e mudam desprezivelmente à medida que a carga aumenta; e as perdas com carga, que ocorrem sempre que o transformador está sob carga e mudam à medida que o tamanho dessa carga varia. A soma das perdas em vazio e com carga produz as perdas totais.

**As perdas em vazio consistem nos seguintes componentes:**

- Perdas de ferro (soma dos componentes abaixo)
  - Perdas por histerese nas lâminas do núcleo

- Perdas por correntes parasitas nas lâminas do núcleo
- Perdas  $I^2R$  ou perdas de cobre devido à corrente em vazio no enrolamento primário
- Perda por correntes parasita dispersas em grampos do núcleo, parafusos e outros componentes do núcleo
- Perdas dieléctricas.

Uma vez que a maioria das perdas em vazio - geralmente mais de 99% - resulta das perdas de ferro, as perdas restantes são frequentemente consideradas desprezíveis ao calcular a eficiência geral. As perdas de ferro dependem do tipo de aço, densidade de fluxo, tipo e peso do núcleo e técnicas de fabricação. A direcção do fluxo também impacta a quantidade de perdas. O fluxo que viaja paralelo à orientação do grão é mais eficiente, então os núcleos são projectados para maximizar esse tipo de fluxo. A orientação do grão perpendicular ao fluxo, que ocorre em juntas, aumenta as perdas e é projectada para ser minimizada. Ambos tipos de fluxo são usados para calcular as perdas em vazio e otimizar os designs de transformadores.

**As perdas em carga consistem nos seguintes componentes:**

- Perdas  $I^2R$  ou perdas de cobre devido à corrente tanto nos enrolamentos primários, quanto nos secundários; e
- Perda por correntes parasita nos enrolamentos.

As perdas com carga são mais difíceis de calcular, pois são baseadas na carga do transformador. A determinação precisa muitas vezes requer dados de carga do transformador ao longo do tempo. Além disso, as perdas com carga dependem da temperatura e geralmente são assumidas a uma referência de 75°C. Encontrar melhorias na minimização de perdas com carga é limitado, pois, além de utilizar um material menos resistivo na construção do enrolamento, as únicas maneiras de reduzir as perdas de cobre são aumentando a área transversal do condutor ou reduzindo o comprimento da volta média do condutor.

Outros factores a considerar no *design* do transformador são o aumento de temperatura e a classificação de temperatura. O aumento de temperatura é a quantidade de calor que a bobina produzirá e, portanto, aumentará a temperatura nas condições de operação. Isso leva em consideração a vida útil do isolamento afectado pela temperatura de operação e a



temperatura ambiente assumida ao longo da vida do transformador. O aumento de temperatura padrão do transformador é de 150 °C. Os fabricantes também produzem transformadores que operam mais frios do que modelos padrão de aumento de temperatura, com exemplos comuns tendo aumentos de temperatura de 80 °C e 115 °C. Esses transformadores são projectados com conjuntos de núcleo e bobina maiores que aumentam as perdas em vazio e diminuem as perdas em carga. O resultado final é um transformador que opera mais eficientemente em cargas mais altas do que uma unidade com aumento de temperatura de 150°C.

A classificação de temperatura é a quantidade máxima de calor que o sistema de isolamento do transformador pode suportar em condições de operação antes de começar a se deteriorar e, eventualmente, falhar. A classificação de temperatura é a soma do aumento de temperatura do enrolamento, temperatura ambiente máxima e a permissão de ponto quente dentro dos enrolamentos. O aumento de temperatura do enrolamento pode variar (comumente 80, 115 ou 150°C), enquanto a temperatura ambiente máxima é geralmente calculada em 40°C e a permissão de ponto quente em 30°C, para um total máximo de 220°C. A maioria dos transformadores modernos é incorporada com uma classificação de temperatura do sistema de isolamento Classe 220°C, mesmo que o aumento de temperatura do enrolamento seja inferior a 150°C.

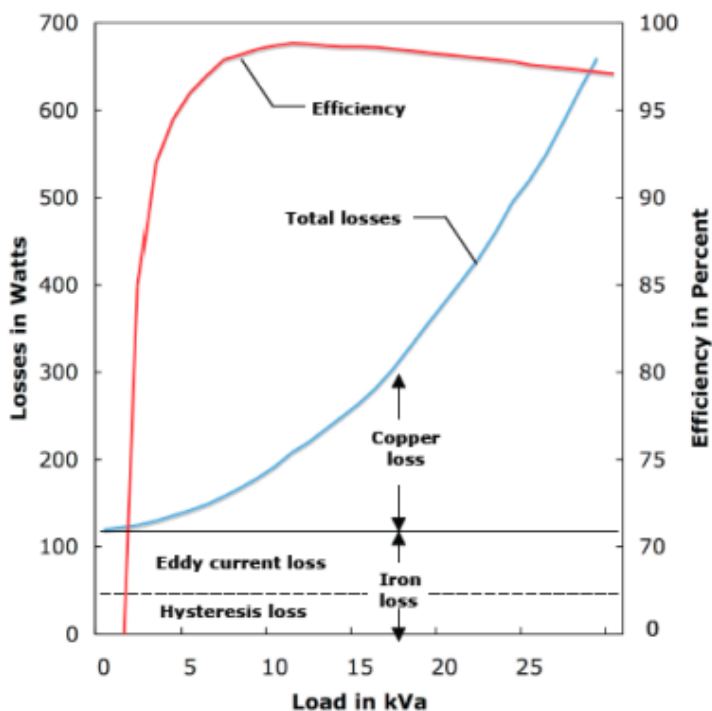
### **3.3 Impacto da Carga do Transformador na Eficiência**

As perdas em vazio do transformador não dependem do tamanho da carga conectada e, portanto, estão sempre presentes. As perdas com carga, por outro lado, dependem quase inteiramente da quantidade de corrente sendo retirada e têm uma relação directa com a quantidade de carga no transformador. À medida que a carga aumenta, as perdas com carga também aumentam devido ao aumento do fluxo de corrente e do aumento da temperatura. O aumento é parabólico, uma vez que as perdas são uma função do quadrado da corrente. No entanto, isso não significa necessariamente que o ponto de operação mais eficiente está no extremo inferior do espectro de carga. Uma regra geral é que o ponto de eficiência máxima para um transformador ocorre quando as perdas sem carga são iguais às perdas carregadas e as perdas de carga primárias são iguais às perdas de carga secundárias. O

cálculo para a carga no transformador (em kVA ou amperes) que corresponde ao ponto de eficiência máxima para um transformador com elevação padrão de temperatura é:

$$\text{Carregamento (\%)} = \sqrt{\frac{\text{Perda sem carga}}{\text{Perda Total a plena carga}}} \times \text{Carga máxima}$$

Dessa forma, pode-se inferir que operar um transformador abaixo ou acima do ponto de eficiência máxima resultará em operação menos eficiente. Uma visão geral da eficiência do transformador, bem como os vários tipos de perdas do transformador em relação à carga do transformador, pode ser vista na Figura abaixo. Com base nos valores da figura e usando a equação acima, pode-se calcular que o ponto de eficiência máxima ocorreria em uma carga de aproximadamente 11 kVA, ou cerca de 44,7% da classificação de carga total, o que corresponde ao ponto mais alto na curva de eficiência.



**Figura 5** Perda vs Carregamento (Kennedy, 1998)

É importante destacar que, por volta de 3 kVA ou 12% de carga, a eficiência do transformador em relação ao ponto de eficiência máxima diminui aproximadamente 5%, enquanto em cerca de 19 kVA ou 77% de carga, ela diminui apenas cerca de 1%. Isso ilustra a preocupação com a subcarga em relação ao consumo desnecessário de energia. A figura 5 é um exemplo de dados de perda e eficiência, mas transformadores individuais têm valores que variam. Por exemplo, um modelo de baixo aumento de temperatura teria características de perda diferentes de uma unidade padrão de aumento de temperatura, com um pico de eficiência ocorrendo em um nível de carga mais alto.

Mais de vinte fabricantes de transformadores, incluindo muitas empresas bem estabelecidas como General Electric, Siemens e Square D chegaram a um consenso e desenvolveram a publicação (Kennedy, 1998). Embora opcionalmente obrigatório, o NEMA TP-1-2002 seria posteriormente o catalisador para grandes mudanças na legislação federal. Naquela época, a norma buscava incentivar o desenvolvimento de unidades mais eficientes com fabricação e vendas viáveis custos, cobrindo todos os sistemas monofásicos e trifásicos, do tipo líquido e seco, médios (34,5 kV e abaixo) e transformadores de baixa tensão (600 volts e abaixo). Algumas exceções foram inclusas para pequenos transformadores, autotransformadores, transformadores para aplicações especiais, etc.

Todos os American National Standards Institute, Inc (ANSI) e NEMA (National Electrical Manufacturers Association) aplicáveis existentes os padrões ainda precisavam ser cumpridos. NEMA TP-1-2002 definiu a mais alta eficiência posição de referência a 0,35 por unidade de carga para transformadores de baixa tensão do tipo seco com cargas lineares e delineou essas eficiências mínimas conforme estabelecido na Tabela 1.

A Eficiência é definida como:

$$\%E = \frac{100 \times (P \times kVA \times 1000)}{P \times kVA \times 1000 + NL + LL + P^2 \times T}$$

Onde:

P = Por unidade de carga, 0,35 (ou 0,50 para média tensão);

kVA = Potência Aparente nominal constante na chapa de características em kVA;

NL = Perda em vazio carga (núcleo) a 20°C;

LL = Perda de carga na temperatura de referência de plena carga consistente com ANSI C57.12.01 em Watts;

T = Factor de correcção de temperatura de perda de carga para corrigir temperatura especificada de 75°C.

**Tabela 1 Classe de Níveis Eficiência Para Transformadores de Distribuição à Secos**

NEMA CLASS I EFFICIENCY LEVELS FOR DRY-TYPE DISTRIBUTION TRANSFORMERS								
Reference Condition			Temperature			% of Nameplate Load		
Low Voltage			75°C			35%		
Medium Voltage			75°C			50%		
Single Phase Efficiency				Three Phase Efficiency				
kVA	Low Voltage	Medium Voltage		kVA	Low Voltage	Medium Voltage		
		≤60 kV BIL	>60 kV BIL			≤60 kV BIL	>60 kV BIL	
15	97.7	97.6	97.6	15	97.0	96.8	96.8	
25	98.0	97.9	97.9	30	97.5	97.3	97.3	
37.5	98.2	98.1	98.1	45	97.7	97.6	97.6	
50	98.3	98.2	98.2	75	98.0	97.9	97.9	
75	98.5	98.4	98.4	112.5	98.2	98.1	98.1	
100	98.6	98.5	98.5	150	98.3	98.2	98.2	
167	98.7	98.8	98.7	225	98.5	98.4	98.4	
250	98.8	98.9	98.8	300	98.6	98.6	98.5	
333	98.9	99.0	98.9	500	98.7	98.8	98.7	
500	—	99.1	99.0	750	98.8	98.9	98.8	
667	—	99.2	99.0	1000	98.9	99.0	98.9	
833	—	99.2	99.1	1500	—	99.1	99.0	
				2000	—	99.2	99.0	
				2500	—	99.2	99.1	

## **CAPÍTULO IV: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS**

### **RESULTADOS**

Esta secção avalia as práticas de dimensionamento dos Pontos de Transformação (PTs) na EDM, com ênfase em Maxaquene A. O foco é colectar dados importantes sobre a demanda de energia e características locais. A análise busca identificar lacunas e desafios, considerando a densidade populacional única e as flutuações na demanda de energia. Serão, igualmente, apresentados os resultados obtidos durante as medições de tensões e correntes realizadas nos pontos PT 281, PT 235, PT 92 e PT 282 na hora de ponta e a discussão dos mesmos. Essas medições forneceram *insights* valiosos sobre o comportamento dos próprios Postos de Transformação e Sistema Eléctrico em condições de carga máxima. A análise desses resultados contribuirá para uma compreensão mais aprofundada do desempenho da rede de distribuição de Maxaquene A em momentos críticos, permitindo uma avaliação abrangente da qualidade e estabilidade da rede eléctrica em estudo. Cada ponto de medição será examinado individualmente, destacando padrões, variações e quaisquer observações significativas que surgiram durante o processo de colecta de dados. Essa apresentação visa fornecer uma base sólida para as conclusões apresentadas no próximo capítulo.

#### **4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Nesta secção, exploramos as práticas de dimensionamento dos Pontos de Transformação (PTs) na EDM, concentrando-nos em Maxaquene A. Nosso objectivo é capturar dados essenciais que revelam a demanda de energia e as características distintas da área. Ao analisar essas informações, buscamos compreender as nuances únicas da comunidade, considerando sua densidade populacional e as variações na demanda energética.

#### **4.1.1 Ausência de um Plano Prévio de Dimensionamento para Novos Pontos de Transformação na EDM**

Na avaliação das práticas actuais de dimensionamento na EDM, uma observação crucial emergiu: existe uma ausência notável de um plano abrangente para o dimensionamento de novos Pontos de Transformação (PTs). Esta secção explora as complexidades dessa deficiência, destacando os desafios operacionais e as ineficiências introduzidas na rede de distribuição eléctrica.

##### **4.1.1.1 Cenário Actual: Falta de Planeamento de Dimensionamento**

A EDM opera sem um plano predefinido para o dimensionamento de novos PTs, especialmente no contexto dinâmico de Maxaquene A. Ao contrário de directrizes estabelecidas que podem otimizar o processo de dimensionamento, a abordagem da EDM carece de um quadro sistemático para antecipar e acomodar a demanda energética única e as características da carga da área-alvo.

##### **4.1.1.2 Desafios Operacionais Decorrentes da Lacuna**

A ausência de um plano de dimensionamento tem repercussões ao longo do ciclo de vida de um PT. Durante as fases iniciais, leva a um processo de tomada de decisão *ad hoc*, muitas vezes influenciado por necessidades imediatas em vez de uma abordagem estratégica e prospectiva. Essa abordagem reactiva pode resultar em configurações subótimas de PTs e muitas imprecisões, podendo levar a problemas como desequilíbrios de carga, subutilização ou sobrecarga.

##### **4.1.1.3 Preocupações com Eficiência e Alocação de Recursos**

Além disso, sem um plano de dimensionamento predefinido, a EDM enfrenta desafios na optimização da eficiência de suas implementações de PTs. A falta de uma abordagem padronizada dificulta a estimativa precisa dos recursos necessários, tanto em termos de equipamentos quanto de mão-de-obra. Essa ineficiência pode contribuir para o aumento dos custos operacionais, prazos de implementação mais longos e maior probabilidade de modificações pós-implementação.

**1.1.1.1 4.1.1.4 Implicações para a Resiliência da Rede**

A ausência de um plano de dimensionamento também afecta a resiliência e confiabilidade geral da rede de distribuição eléctrica. Em caso de flutuações de carga ou expansões na área atendida, a natureza reactiva do dimensionamento de PTs pode levar a vulnerabilidades na rede. Um plano de dimensionamento proactivo é importantíssimo para garantir que a rede possa se adaptar facilmente às mudanças na demanda, minimizando interrupções e aprimorando a confiabilidade geral da rede.

**4.1.1.5 Medição de carga na hora de ponta**

As tabelas abaixo ilustram os dados obtidos nas medições de carga nos Postos de Transformação do Bairro de Maxaquene A. As medições foram feitas no período de pico, compreendido entre 18:00 – 19:30h, de modo a auferir o valor de carga máxima, em kVA.

**Tabela 2a Medições de Carga nos PTs de Maxaquene A**

NR dos PT's	Potência Nominal ( $S_n$ )	$U_R$ (V)	$S_R$ (kVA)	$U_S$ (V)	$S_S$ (kVA)	$U_T$ (V)	$S_T$ (kVA)	$U_{RS}$ (V)	$U_{ST}$ (V)
PT 281	630	222	96,57	223	132,462	222	149,85	387	389
PT 235	500	216	191,16	217	184,233	218	176,58	378	380
PT 92	315	228	0	230	48,3	231	58,905	400	402
PT 282	500	216	174,96	216	182,736	216	215,136	377	378

**Tabela 3b Medições de Carga nos PT's de Maxaquene A**

Potência Nominal ( $S_n$ )	$U_{TR}$ (V)	$I_R$ (A)	$I_S$ (A)	$I_T$ (A)	Carregamento (%)	Potência Aparente da Carga Total (kVA)
630	385	145	198	225	<b>35,25</b>	222,10
500	378	295	283	270	<b>63,77</b>	318,85

315	400	0	70	85	<b>24,18</b>	76,18
500	377	270	282	332	<b>66,42</b>	332,09

As tabelas acima ilustram as medições de carga feitas na hora de pico nos PT 281, 92, 235 e 282.

## 4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.2.1 Práticas Actuais: Ausência de um Plano Prévio de Dimensionamento para Novos Pontos de Transformação na EDM

De acordo com os dados colectados, nota-se que dois PTs (281 e 92), encontram-se a operar abaixo da metade da carga nominal, 35.25% e 24.18%, respectivamente, o que indica estes se encontram subcarregados.

Contrariamente, os PTs (235 e 282) encontram-se a operar a 63.77 e 66.42% da carga nominal, respectivamente com um nível de carregamento aceitável.

Apesar de não termos a eficiência do transformador deste posto, porque não foram disponibilizados pelo fabricante e por não ter sido possível fazer os ensaios em curto-circuito e em vazio para determinar os parâmetros do transformador.

Ao analisar os dados colectados dos quatro transformadores (PT 281, PT 235, PT 92 e PT 282), é possível destacar padrões significativos em relação aos carregamentos e eficiência operacional.

#### 4.2.1.1 PT 281 (630 kVA):

O PT 281 opera a apenas 35.25% de sua carga nominal, o que representa uma subcarga substancial. A eficiência diminui em aproximadamente 5%, em comparação com o ponto de eficiência máxima, segundo as curvas de Kennedy (1998). Esse nível de subcarga é



preocupante, pois não apenas resulta em uma eficiência reduzida, mas também pode levar a outros problemas operacionais, como menor estabilidade e maior aquecimento.

Olhando para a carga de pico, apesar de esta não ter sido estudada ao longo de um período de tempo, dá para inferir que um transformador de 315kVA seria a melhor opção para este PT, tendo em conta que a carga é de aproximadamente 230kVA, o que daria um carregamento aceitável, de 73%.

#### **4.2.1.2 PT 92 (315 kVA):**

O PT 92 está a operar a uma carga ainda mais baixa, apenas 24.18% de sua capacidade nominal. A eficiência é significativamente comprometida. A diminuição de aproximadamente 5% na eficiência em relação ao ponto de eficiência máxima indica ineficiência operacional, equivalente à uma perda de aproximadamente 15.75%, segundo o gráfico de Kennedy (1998) e pode resultar em um consumo desnecessário de energia.

Outro detalhe importante é que a fase R desde Posto encontra-se sem carga,  $I_R = 0A$ , conforme ilustra a Tabela 1b.

O facto de a fase R do PT92 estar sem carga, com corrente  $I_R$  igual a 0A é uma observação crítica na análise dos dados. Isso indica que essa fase específica do transformador não está a contribuir para a carga total e, conseqüentemente, para a potência aparente total. Vamos explorar as implicações dessa situação:

#### **Ineficiência Operacional:**

A fase R sem carga resulta em uma ineficiência operacional significativa para o PT92, pois a potência aparente total é influenciada directamente pela contribuição de cada fase.

A eficiência do transformador é comprometida, uma vez que a potência aparente é essencial para calcular a eficiência.

#### **Possíveis Causas:**

A falta de carga em uma fase pode ser atribuída a uma conexão inadequada, falha em componentes internos ou até mesmo uma anomalia no sistema de controlo.

São necessárias verificações mais detalhadas, incluindo inspeções físicas e medições, para identificar a causa raiz desse problema.

#### **Impacto na Estabilidade do Sistema:**

A ausência de carga em uma fase pode afectar a estabilidade do sistema, levando a desequilíbrios e potencialmente causando perturbações na rede eléctrica.

Tendo em conta a Potência da carga deste PT, de aproximadamente 80kVA e assumindo que o problema de falta de carga na fase R seja um problema temporário e que a corrente na hora de pico desta fase seja de  $I_R=80A$ , a potência aparente na carga deste trafo será de aproximadamente 94kVA. Assim sendo, recomenda-se a substituição deste por de 315kVA, por um de 160kVA, que teria um carregamento de pico de aproximadamente 60%.

#### **4.2.1.3 PT 235 (500 kVA):**

Em contraste, o PT 235 opera a uma carga relativamente alta, atingindo 63.77% de sua capacidade nominal. A diminuição de apenas cerca de 1% na eficiência em relação ao ponto de eficiência máxima, segundo Kennedy (1998), o que sugere uma operação mais eficiente. No entanto, é importante monitorar o carregamento para evitar possíveis sobrecargas no futuro.

#### **4.2.1.4 PT 282 (500 kVA):**

O PT 282 também está a operar a uma carga considerável, atingindo 66.42% de sua capacidade nominal. A diminuição de aproximadamente 1% na eficiência em relação ao ponto de eficiência máxima indica uma operação relativamente estável em cargas mais elevadas. Isso é positivo para a eficiência geral do transformador.

## CAPÍTULO V: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusão

A pesquisa proposta delineou uma avaliação abrangente das práticas de dimensionamento dos Pontos de Transformação (PTs) da Electricidade de Moçambique (EDM) com enfoque especial em Maxaquene A. Três objetivos específicos foram abordados com o intuito de melhorar a eficiência e a confiabilidade da rede eléctrica, fazendo a gestão das perdas:

**Avaliação das Práticas Actuais:** Analisamos as práticas existentes, destacando a ausência de um plano prévio de dimensionamento para novos PTs na EDM. Essa lacuna foi identificada como uma fonte potencial de ineficiências operacionais e perdas de energia.

**Metodologia Optimizada:** Propusemos uma metodologia optimizada para o dimensionamento de PTs em redes de baixa tensão, focada em minimizar as perdas de energia, especialmente considerando as características e demandas específicas de Maxaquene A. Essa abordagem visa aprimorar a eficiência do processo de dimensionamento.

**Avaliação de Impacto e Recomendações:** Consideramos os impactos potenciais da implementação da metodologia proposta, não apenas na minimização de perdas de energia, mas também na eficiência e confiabilidade geral da rede.

Em conclusão, esta pesquisa destaca o papel imperativo do dimensionamento eficiente dos Pontos de Transformação (PTs) no contexto mais amplo da distribuição de eletricidade. À medida que a demanda global por eletricidade aumenta, garantir o desempenho ótimo das redes de distribuição torna-se crucial para sustentar as atividades econômicas e o bem-estar das comunidades. O foco específico deste estudo em Maxaquene A, uma área densamente povoada na Cidade de Maputo atendida pela Electricidade de Moçambique (EDM), destaca a necessidade de práticas meticulosas no dimensionamento de PTs.

A pesquisa lançou luz sobre os desafios existentes no dimensionamento de PTs na EDM, enfatizando a negligência histórica que resultou em ineficiências e perdas substanciais de energia. Os desafios identificados incluem variações demográficas e flutuações na demanda de energia em Maxaquene A, factores que influenciam directamente na magnitude das perdas de energia associadas ao dimensionamento inadequado dos PTs.

Portanto, esta pesquisa serve como um passo fundamental para aperfeiçoar as práticas de dimensionamento de PTs, enfatizando a necessidade de uma abordagem contextualizada. À medida que a distribuição de electricidade continua a ser peça fundamental no suporte às actividades sociais e económicas, otimizar o desempenho dos PTs emerge como um imperativo estratégico para empresas como a EDM.

## **5.2 Limitações e Recomendações**

Devido à indisponibilidade dos Técnicos da EDM, não conseguimos realizar medições em todos os dias da semana (Segunda-feira à Domingo), em horários distintos, como consequência não conseguimos encontrar a carga média nos PTs de Maxaquene A, que nos seria muito útil nos estudos aqui apresentados, assim sendo, recomenda-se a medição de carga nos PTs, de Segunda-feira à Domingo, em horários variados para poder estimar a média de carga deste Bairro.

Adicionalmente, recomendamos um levantamento de carga em kW em cada residência, aquando da instalação de um novo Posto de Transformação; criação de um mapa de carga para facilmente alocá-las ao PT mais próximo. Isso possibilitará um dimensionamento mais preciso.

É imperativo investigar e corrigir a falta de carga na fase R do PT92 para restaurar a eficiência e a operação normal do transformador.

Recomenda-se realizar verificações de continuidade nos circuitos, inspeções visuais e, se necessário, intervenções técnicas para corrigir a conexão ou substituir componentes defeituosos.

## Referências Bibliográficas

- [1] “Induction Ring.” IEEE Global Network. 3 August 2009. 10 July 2011. <[http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Induction\\_Ring](http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Induction_Ring)>.
- [2] “Stanley Transformer.” National High Magnetic Field Laboratory, University of Florida. 10 July 2011. <<http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/museum/stanleytransformer.html>>. Whelan, M. “The History of Transformers.” Edisontechcenter.org. 2010. 10 July 2011. <<http://www.edisontechcenter.org/Transformers.html>>.
- [3] Beaty, Wayne and Donald Fink. Standard Handbook for Electrical Engineers, 15<sup>th</sup> Edition. New York: McGraw-Hill, 2007: pp.10-13.
- [4] Callan, Nicholas. "On a new Galvanic battery," Philosophical Magazine: Series 3, Vol. 9. December 1836: pp. 472-478.
- [5] Gil, Antônio Carlos; *Como Elaborar Projectos de Pesquisa*, 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002
- [6] Kennedy, Barry. Energy Efficient Transformers. New York: McGraw-Hill, 1998: pp. 42-50.
- [7] National Electrical Manufacturer’s Association. “NEMA Standards Publication TP 1-2002: Guide for Determining Energy Efficiency for Distribution Transformers.” NEMA.org. 2002. 6 August 2011. Available Online at <<http://www.nema.org/stds/tp1.cfm#download>>.
- [8] Pansini, Anthony. Electrical Transformers and Power Equipment. Lilburn: The Fairmont Press, Inc, 1999: p. 22.
- [9] Schnapp, Robert. “History of the U.S. Electric Power Industry, 1882-1991.” U.S. Energy Information Administration. 24 September 2001. 12 July 2011. <[http://www.eia.gov/cneaf/electricity/page/electric\\_kid/append\\_a.html](http://www.eia.gov/cneaf/electricity/page/electric_kid/append_a.html)>.
- [10] Stanley, William. “Induction Coil.” United States Patent 0349611. September 1886.
- [11] Thompson, Silvanus. Michael Faraday, His Life and Work. London: Cassell, 1901, p. 95. “Archives Biographies: Michael Faraday.” The Institution of Engineering and Technology. 2011. 10 July 2011. <<http://www.theiet.org/about/libarc/archives/biographies/faraday.cfm>>.
- [12] Uppenborn, Friedrich. “History of the Transformer.” London: E. & F.N. Spon, 1889.

- [13] van Roon, Tony and Stanley A. Czarnik. "The Classic Induction Coil," Popular Electronics. March 1992. 10 July 2011. <<http://www.sentex.net/~mec1995/circ/hv/classic/classic.html>>.
- [14] Westinghouse, George. "Electrical Converter." United States Patent 366362. January 1887.

## **Anexos**

### **Anexo 1 - Medição de Carga**



ÁREA DE SERVIÇO AO CLIENTE KA MAXAKENI

DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO

MEDIÇÕES DE CARGA

HORAS: 19:19

PT Nº 92

LOCALIZAÇÃO Av. Joaquim Chissano

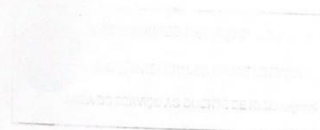
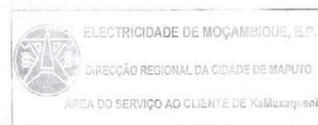
POTÊNCIA 315 KVA

TENSOES (V)	COMPOSTAS			SIMPLES			TERRAS(Ω)	
	RS	RT	ST	RN	SN	TN	TS	TP
	400	400	402	228	230	231		

CORRENTES (A)	FASE R	FASE S	FASE T	FUSIVEL CALIBRE (A)	OBSERVACOES
BARRAMENTO	00	70	85	500	
SAIDA 1					
SAIDA 2					
SAIDA 3					
SAIDA 4					
SAIDA 5					
SAIDA 6					
SAIDA 7					
SAIDA 8					
SAIDA 9					
IP					

TÉCNICO Manuel Bettenc

DATA : 20/11/23



ÁREA DE SERVIÇO AO CLIENTE KA MAXAKENI

DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO

MEDIÇÕES DE CARGA

HORAS: 11:01

PT Nº 235

LOCALIZAÇÃO Av. deordos de Louzaka, Baltazar

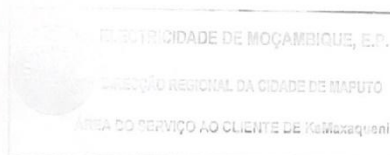
POTÊNCIA 500 KVA

TENSOES ( V )	COMPOSTAS			SIMPLES			TERRAS(Ω)	
	RS	RT	ST	RN	SN	TN	TS	TP
	378	378	380	216	217	218		

CORRENTES (A)	FASE R	FASE S	FASE T	FUSÍVEL CALIBRE (A)	OBSERVACOES
BARRAMENTO	295	283	270		
SAIDA 1					
SAIDA 2					
SAIDA 3					
SAIDA 4					
SAIDA 5					
SAIDA 6					
SAIDA 7					
SAIDA 8					
SAIDA 9					
IP					

TÉCNICO Mmanuel Venene

DATA : 20/11/23



ÁREA DE SERVIÇO AO CLIENTE KA MAXAKENI

DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO

MEDIÇÕES DE CARGA

HORAS: 18:44

PT Nº 281

LOCALIZAÇÃO: Escola Secundária Noroeste 1

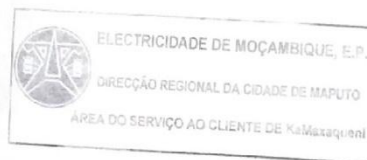
POTÊNCIA 630 KVA

TENSOES (V)	COMPOSTAS			SIMPLES			TERRAS(Ω)	
	RS	RT	ST	RN	SN	TN	TS	TP
	387	385	389	222	223	222		

CORRENTES (A)	FASE R	FASE S	FASE T	FUSÍVEL CALIBRE (A)	OBSERVACOES
BARRAMENTO	145	198	225	1000	
SAIDA 1					
SAIDA 2					
SAIDA 3					
SAIDA 4					
SAIDA 5					
SAIDA 6					
SAIDA 7					
SAIDA 8					
SAIDA 9					
IP					

TÉCNICO Mmanuel Bettene

DATA : 20/11/23



ÁREA DE SERVIÇO AO CLIENTE KA MAXAKENI

DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO

MEDIÇÕES DE CARGA

HORAS: 18:32

PT N° 282

LOCALIZAÇÃO: Escola Secundária Noroeste 2

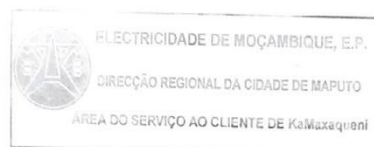
POTÊNCIA 500 KVA

TENSOES (V)	COMPOSTAS			SIMPLES			TERRAS(Ω)	
	RS	RT	ST	RN	SN	TN	TS	TP
	377	378	377	216	216	216		

CORRENTES (A)	FASE R	FASE S	FASE T	FUSÍVEL CALIBRE (A)	OBSERVACOES
BARRAMENTO	270	282	332	800	
SAIDA 1					
SAIDA 2					
SAIDA 3					
SAIDA 4					
SAIDA 5					
SAIDA 6					
SAIDA 7					
SAIDA 8					
SAIDA 9					
IP					

TÉCNICO Manuel Nethene

DATA : 20/11/23



**Anexo 2 – Carta de Aceitação de Estágio**



DIRECÇÃO REGIONAL DA CIDADE DE MAPUTO

**PARA:**  
Universidade Eduardo Mondlane (Faculdade de Engenharia)  
Maputo

Nossa Referência:  
SE /DRCM/2023  
N.º de Páginas: 1+0


Vossa Referência:  
De: / /2023

Data:  
28-08-2023

Contacto:  
Adelina Tene  
adelina.tene@edm.co.mz  
Telefone: +258 842000390

**Assunto:** Pedido de Estagio

Acusamos a recepção da carta com ref.ª FE-007/2023, de 16 de agosto, através da qual solicitam um estágio profissional para o senhor **Samuel F. Jofrisse Júnior**, estudante do curso de Engenharia Electrica- Laboral, por um período de três (3) meses. Informamos que dispomos de condições para acolher o estudante supra, devendo o mesmo apresentar-se no sector de Recursos Humanos desta Direcção durante as horas normais de expediente, munido de apólice de seguros contra acidentes de trabalho e equipamento apropriado de HST (fato macaco, botas, luvas e capacete).

Atenciosamente,  
  
Garrido Fernando  
Director  
ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.  
DIRECÇÃO REGIONAL DA  
CIDADE DE MAPUTO

Página 1 de (1)

Av. Milagre Mabote Nº.3660 • Maputo • Moçambique  
Tel. (+258) 21 359671 • [www.edm.co.mz](http://www.edm.co.mz)  
**Iluminando a Transformação de Moçambique**



**Anexo 3 – Termo de Atribuição de Tema e Plano de Actividades**

FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA  
Curso de Engenharia Eléctrica

**TERMO DE ATRIBUIÇÃO DE TEMA DE ESTÁGIO PROFISSIONAL**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD54	Data:	13/10/2023
---------------------	-------------	-------	------------

**1. TÍTULO DO TEMA**

**Gestão de Perdas de Energia em Redes de Distribuição de Baixa Tensão: Um Estudo do Dimensionamento de Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A**

**2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO TRABALHO A DESENVOLVER**

As redes de distribuição de electricidade desempenham um papel importante na alimentação de residências, empresas e indústrias em todo o mundo. A eficiência e a confiabilidade dessas redes são fundamentais para sustentar as actividades económicas e garantir o bem-estar das comunidades. A Electricidade de Moçambique (EDM) tem sido um protagonista no fornecimento de electricidade em todo o país, incluindo áreas urbanas e suburbanas.

Um componente primário dessas redes de distribuição de electricidade são os Postos de Transformação (PTs), que desempenham um papel vital ao ajustar os níveis de tensão na rede. Especialmente nas redes de baixa tensão, os PTs necessitam ser adequadamente dimensionados para atender à demanda de energia, minimizando o risco de sobrecargas e falhas. Esta consideração é especialmente relevante em áreas densamente povoadas, como o Bairro de Maxaquene A, onde a demanda de energia pode variar significativamente.

Entretanto, apesar de sua importância crítica, a prática de dimensionamento dos PTs tem sido frequentemente negligenciada, resultando em ineficiências e perdas significativas de energia. Esta pesquisa busca abordar este desafio, desenvolvendo uma metodologia otimizada para o dimensionamento de PTs em redes de distribuição de baixa tensão, com foco no bairro de Maxaquene A.

Esta investigação explorará as práticas actuais de dimensionamento de PTs na EDM, identificará desafios e áreas de melhoria, e recomendará uma metodologia para otimizar o dimensionamento dos PTs. Ao fazê-lo, pretendemos contribuir para a melhoria das redes de distribuição de electricidade na Cidade de Maputo e Moçambique, em geral, aumentando sua eficiência e confiabilidade e, consequentemente, melhorando a qualidade do serviço prestado aos residentes de Maxaquene A.

**Formulação do Problema:**

As perdas de energia nas redes de distribuição de electricidade são uma questão importante que afecta a eficiência, sustentabilidade e custos operacionais das empresas de electricidade. Na EDM, especialmente no Bairro de Maxaquene A, as perdas associadas ao dimensionamento inadequado dos PTs de baixa tensão representam um desafio significativo.

No contexto de Maxaquene A, as características demográficas e as variações na demanda de energia podem influenciar directamente na magnitude dessas perdas. Portanto, uma compreensão aprofundada dos factores que contribuem para as perdas de energia nesse contexto é importante.

Diante dessa situação, este estudo busca investigar e analisar as perdas de energia associadas aos PTs de baixa tensão no bairro de Maxaquene A. O objectivo é identificar os principais factores que contribuem para essas perdas e explorar estratégias potenciais para mitigá-las. A pesquisa procura responder à seguinte questão: "Quais são os principais factores que contribuem para as perdas de energia nos Postos de Transformação de baixa tensão no bairro de Maxaquene A, e quais



estratégias podem ser exploradas para mitigar essas perdas?"

**Justificação:**

A implementação inadequada dos PTs pode resultar em uma série de problemas operacionais, incluindo sobrecargas, falhas de equipamento e interrupções no serviço. Esses problemas não apenas geram custos adicionais para a EDM em termos de manutenção e reparos, mas também impactam negativamente a satisfação do cliente e a confiança no fornecedor de energia.

A pesquisa e o desenvolvimento de uma metodologia de dimensionamento otimizada para os PTs de baixa tensão são, portanto, fundamentais para maximizar a eficiência e a confiabilidade da rede de distribuição de energia elétrica, bem como para minimizar as perdas de energia associadas ao sub e sobrecarregamento dos PTs. Ao fazer isso, a EDM pode reduzir os custos operacionais, melhorar a qualidade do serviço e contribuir para o desenvolvimento sustentável da região de Maxaquene A.





**Objectivo Geral:**

Gerir Perdas de Energia em Redes de Distribuição de Baixa Tensão, Com Base Num Estudo do Dimensionamento de Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A.

**Objectivos Específicos:**

- Avaliar as práticas actuais de dimensionamento dos PTs na EDM, com ênfase em Maxaquene A e colectar dados relevantes sobre a demanda de energia e características específicas da área;
- Formular uma metodologia otimizada para o dimensionamento de PTs em redes de baixa tensão, visando minimizar as perdas de energia, levando em consideração as cargas do Bairro de Maxaquene A;
- Avaliar os impactos da implementação da metodologia proposta na minimização das perdas de energia, eficiência e confiabilidade da rede. Realizar uma análise de custo-benefício e propor recomendações para implementação em larga escala e melhorias contínuas.



**Metodologia****Abordagem/Paradigma**

A metodologia utilizará uma abordagem mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos para abordar os desafios específicos relacionados às perdas de energia nos PTs. Inspirada por Gil (2002), a escolha da metodologia será guiada pelos objetivos, incorporando elementos teóricos e empíricos.

**Abordagem Empírica:** A colecta de dados será realizada por meio de observações e experimentos no Bairro de Maxaquene A, visando obter informações práticas sobre as condições da rede de distribuição de baixa tensão.

**Elementos Teóricos:** A pesquisa incluirá revisão bibliográfica sobre gestão de perdas de energia, dimensionamento de PTs e práticas actuais na EDM. Essa revisão será importante para fundamentar conceitos-chave, identificar melhores práticas e situar a pesquisa no contexto mais amplo.

**Tipo de Pesquisa**

**Abordagem Qualitativa:** Envolverá entrevistas com profissionais da EDM e análise de documentos técnicos para compreender as práticas actuais de dimensionamento e identificar desafios do Bairro de Maxaquene A.

**Natureza Aplicada:** A pesquisa aplicará os conhecimentos adquiridos para otimizar o dimensionamento dos PTs, visando reduzir perdas de energia e melhorar a eficiência da rede de distribuição.

**Caracterização Exploratória:** Buscará identificar os principais factores que contribuem para as perdas de energia no Bairro de Maxaquene A.

**Técnicas e Instrumentos de Colecta de Dados**

**Entrevistas:** Serão conduzidas entrevistas com profissionais da EDM para compreender práticas actuais e desafios no dimensionamento de PTs no Bairro de Maxaquene A.

**Análise de Documentos:** Revisão de documentos técnicos da EDM, relatórios e registros relacionados à infraestrutura elétrica e características específicas do Bairro de Maxaquene A.

**Pesquisa Bibliográfica:** Consulta a fontes escritas, como livros e artigos científicos, para embasar teoricamente a pesquisa.

**Técnicas e Instrumentos de Tratamento e Análise de Dados**

**Análise Estatística:** Aplicação de técnicas estatísticas para quantificar e interpretar dados numéricos relacionados às perdas de energia, consumo e eficiência dos PTs.

**Análise Qualitativa:** Avaliação qualitativa das entrevistas e análise de documentos para identificar padrões, desafios específicos e oportunidades de melhoria.

**Análise de Custo-Benefício:** Avaliação econômica das soluções propostas, considerando custos de implementação, economia de recursos a longo prazo e impactos na eficiência operacional.

**Propostas de Melhoria:** Com base nos resultados, serão propostas recomendações específicas para otimizar o dimensionamento dos PTs, reduzindo as perdas de energia no Bairro de Maxaquene A.

3. LOCAL DE REALIZAÇÃO

Bairro de Maxaquene A, Cidade de Maputo

4. SUPERVISORES

	Nome	Assinatura
Da UEM	Eng. Hélder Nhambe	<i>Helder Nhambe</i> , 13.10.23
Co-supervisor		
Da Instituição	Manuel Ussene	<i>Manuel Ussene</i>

Maputo, 13 de Outubro de 2023

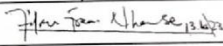

O estudante  
*Samuel Fibione Jofrisse Júnior*  
 (Samuel Fibione Jofrisse Jr.)

O Director do Curso  
*Zefanias José Mabote*  
 (Eng.º Zefanias José Mabote)  
 14.11.2023

O Chefe da Comissão Científica  
*José Nelson Guambe*  
 (Mestre José Nelson Guambe, Eng.º.)


Referência: 2023ELEPD54

Data: 13 /10/2023

Semana Prevista	Data Prevista	Hora Prevista	Semana Real	Data Real	Duração Real	Assunto
16	17/11/2023	12:30	16	17/11/2023		Discussão do termo de atribuição do tema
17	22/11/2023	12:30	17	24/11/23		Revisão bibliografica
18	29/11/2023	12:30	18	4/11/23		Resultados, analise e discussão
19	01/11/2023	12:30	18	8/12/23		Organização do Trabalho
19	04/11/2023	12:30	19	11/12/23		Submissão do relatorio final
<b>Supervisor:</b> Eng. Hélder Nhambe				Assinatura: 		
<b>Estudante:</b> Samuel Fibione Jofrisse Júnior				Assinatura: 		

Observações:

## Anexo 4 – Carta de Referência e Ficha de Classificação



ELECTRICIDADE  
DE MOÇAMBIQUE, E.P.

---

DIRECÇÃO REGIONAL DA CIDADE DE MAPUTO

A:  
UEM

Maputo

<b>Nossa Referência:</b> /RH/DRCM/2023 No. de Páginas: 1+0	<b>Vossa Referência:</b>	<b>Data:</b> 22-11-2023	<b>Contacto:</b> Adelina Tene Adelina.tene@edm.co.mz Telefone: 842000390
--	--------------------------	----------------------------	---

**Assunto:** Carta de Referência

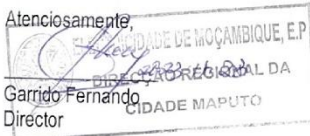
A Electricidade de Moçambique E.P. – Direcção Regional da Cidade de Maputo, declara que o senhor **Samuel Fibione Jofrisse Júnior**, estagiou nesta empresa, por um período de três (3) meses, tendo durante esse período realizado o seu estágio no Departamento de Manutenção da ASC Ka-Maxaquene onde realizou as seguintes actividades:

- Manutenção da rede Elétrica
- Montagem de novas Redes de BT
- Reparação de Avarias de BT
- Iluminação pública
- Reparação de Avarias de MT (Cabos e Linhas)

Importa referir que, em todas as fases do estágio, a estudante demonstrou muito empenho no exercício das suas actividades, espírito de colaboração e boa vontade de aprender com os colaboradores mais experientes, disponibilidade imediata para qualquer missão na qual foi incumbido.

Por ser verdade e a pedido da interessada, passou-se o presente documento, que vai assinado e autenticado com carimbo a tinta de óleo em uso nesta Unidade Orgânica.

Atenciosamente,




ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.  
DIRECÇÃO REGIONAL DA  
CIDADE DE MAPUTO

Garrido Fernando  
Director

página 1(1)

Av. Milagre Mabote Nº. 3660 • Maputo • Moçambique  
Tel. (+258) 21359671 • www.edm.co.mz  
Iluminando a Transformação de Moçambique





## ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE

ÁREA DE SERVIÇO AO CLIENTE DE KA-MAXAKENI  
DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO  
FICHA DE REGISTO DE ESTÁGIO

**NOME DO ESTAGIÁRIO:** Samuel Fibione Jofrisse Júnior  
**ESPECIALIDADE :** Engenharia Eléctrica  
**TIPO DE TRABALHO DESENVOLVIDO :** Manutenção da Rede Eléctrica, Montagem de Novas Redes de BT, Reparação de Avarias BT, Iluminação Pública, e Reparação de Avarias de MT (Cabos e Linhas).  
**TEMPO DE ESTÁGIO :** 22/08/2023 a 22/11/2023.  
**HORÁRIO DE TRABALHO:** das 07:30 às 15:30.

### CLASSIFICAÇÃO DO ESTAGIÁRIO

EXCELENTE	BOM	SUFICIENTE	INSUFICIENTE
X			

### OBSERVAÇÃO GERAL

	EXCELENTE	BOM	SUFICIENTE	INSUFICIENTE
ASSIDUIDADE	X			
PONTUALIDADE	X			
COMPORTEAMENTO	X			
RELACIONAMENTO		X		
DEDICAÇÃO	X			
CONHEC. PRATICOS		X		
CONHEC. TEÓRICOS	X			

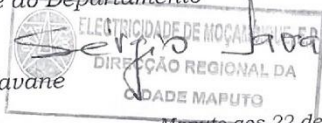
Comportamento final : **EXCELENTE**

### ASSIDUIDADE

Nº TOTAL DE FALTAS	JUSTIFICADAS	INJUSTIFICADAS
0	0	0

O Chefe do Departamento

*Sergio javane*  
Sergio javane



Maputo aos 22 de Novembro de 2023







## FACULDADE DE ENGENHARIA

### DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

#### FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE

(Auxiliar para o supervisor)

Nome do estudante: Júnior, Samuel Fibione Jofrisse

Referência do tema: 2023ELEPD54

Data: 13/10/2023

Título do tema: Gestão de Perdas de Energia em Redes de Distribuição de Baixa Tensão: Um Estudo do Dimensionamento de Postos de Transformação no Bairro de Maxaquene A

Indicador	Classificação				
	1	2	3	4	5
<b>Atitude geral</b> (manteve uma disposição positiva e sentido de humor)	1	2	3	4	5
<b>Dedicação e comprometimento</b> (Deu grande prioridade ao projecto e aceitou as responsabilidades prontamente)	1	2	3	4	5
<b>Independência</b> (realizou as tarefas independentemente, como prometido e a tempo)	1	2	3	4	5
<b>Iniciativa</b> (viu o que devia ter sido feito e fê-lo sem hesitar e sem pressões do supervisor)	1	2	3	4	5
<b>Flexibilidade</b> (disponibilidade para se adaptar e estabelecer compromissos)	1	2	3	4	5
<b>Sensibilidade</b> (ouvindo e tentou compreender as opiniões dos outros)	1	2	3	4	5
<b>Criatividade</b> (contribuiu com imaginação e novas ideias)	1	2	3	4	5
Total de pontos (max: 35)					

Valor do classificador	Cotação obtida	Significado
	1	Não aceitável (0 a 9 valores)
	2	Suficiente (10 a 13 valores)
	3	Bom (14 a 16 valores)
	4	Muito Bom (17 a 18 valores)
	5	Excelente (19 a 20 valores)

<b>Total de pontos (max: 35)</b>	

<b>Nota (=Total*20/35)</b>

O supervisor

---

(Eng. Hélder Nhambe)