

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL



JOÃO BATISTA LACERDA JÚNIOR

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE NÚCLEOS NANOCRISTALINOS
PARA COLHEITA DE ENERGIA MAGNÉTICA APLICADA EM
RSSF**

Cajazeiras-PB
Maio - 2021

JOÃO BATISTA LACERDA JÚNIOR

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE NÚCLEOS NANOCRISTALINOS
PARA COLHEITA DE ENERGIA MAGNÉTICA APLICADA EM
RSSF**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Tecnologia em Automação Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Me. Jailton Ferreira Moreira
Coorientador: Dr. Abinadabe Silva Andrade

Cajazeiras-PB
2021

Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

L131e

Lacerda Júnior, João Batista

Estudo experimental de núcleos nanocristalinos para colheita de energia magnética aplicada em RSSF / João Batista Lacerda Júnior; orientador Jailton Ferreira Moreira; coorientador Abinadabe Silva Andrade.- 2021.

48 f.: il.

Orientador: Jailton Ferreira Moreira.

TCC (Tecnologia em Automação Industrial) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

1. Coletores Magnéticos 2. Colheita de Energia 3. Redes de Sensores sem Fio – RSSF I. Título.

681.527(0.067)

JOÃO BATISTA LACERDA JÚNIOR

**ESTUDO EXPERIMENTAL DE NÚCLEOS NANOCRISTALINOS
PARA COLHEITA DE ENERGIA MAGNÉTICA APLICADA EM
RSSF**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Tecnologia em
Automação Industrial do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Grau de Tecnólogo em Automação
Industrial.

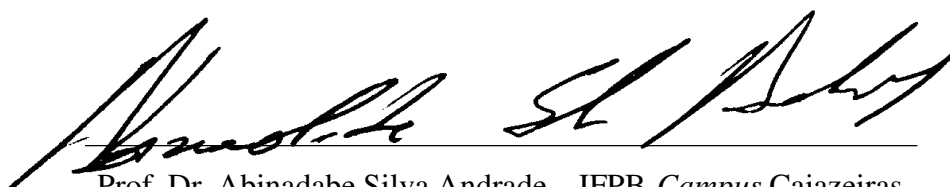
Aprovado em 04 de Junho de 2021.

BANCA EXAMINADORA



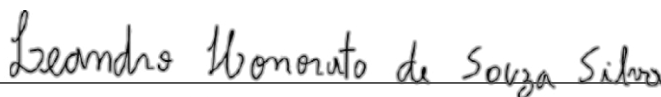
Prof. Me. Jailton Ferreira Moreira – IFPB-Campus Cajazeiras

Orientador



Prof. Dr. Abinadabe Silva Andrade – IFPB-Campus Cajazeiras

Coorientador



Prof. Me. Leandro Honorato – IFPB-Campus Cajazeiras

Membro

A Deus pela vida, aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de conhecer a vida.

Agradeço aos meus pais Maria de Fátima Estrela Lacerda e João Batista Lacerda pelos princípios éticos e morais.

Agradeço ao prof. Me. Jailton Ferreira Moreira pela orientação deste trabalho.

Agradeço a Maria Lindinêz Lopes Dantas pela ajuda e companheirismo no projeto de pesquisa ao qual se desenvolveu este trabalho.

Agradeço a Sabrina Rodrigues dos Santos, exemplo de força, disciplina, uma inspiração.

Agradeço ao IFPB pelos amigos e colegas, honrado em conhecê-los.

RESUMO

Há anos pesquisadores desenvolvem técnicas de colheita de energia do ambiente. Com os recentes avanços em dispositivos eletrônicos (redução considerável no tamanho e na utilização de energia), essas técnicas vêm demonstrando resultados expressivos. Dentre vários meios de colheita de energia (*Energy Harvesting*), uma delas é a colheita de energia magnética. Essa energia pode ser coletada, segundo a Lei de Faraday, pelo campo magnético criado pela corrente elétrica que atravessa uma linha de potência. Por meio das pesquisas realizadas, os testes experimentais foram desenvolvidos com o objetivo de colher a potência fornecida pelos módulos de colheita NX e NY, potência essa, calculada devido a tensão colhida nas diferentes cargas resistivas acopladas aos módulos, como também, pudemos calcular a densidade de potência, levando em consideração o volume dos módulos. A potência colhida pelo módulo coletor magnético (*magnetic harvester*) tem por finalidade a alimentação das redes de sensores sem fio (RSSF) – dispositivos compactos e autônomos distribuídos espacialmente, que se comunicam entre si, capazes de monitorar diversos parâmetros ambientais utilizando sensores - prolongando a sua vida útil como também a de suas baterias, limitando manutenções preventivas em curto período de tempo e principalmente diminuindo custos com logísticas na troca das mesmas em locais remotos ou de difícil acesso.

Palavras-Chave: Coletor Magnético; Colheita de Energia; Redes de Sensores sem Fio (RSSF).

ABSTRACT

Researchers have been developing techniques for harvesting energy from the environment for years. With recent advances in electronic devices (considerable reduction in size and energy use), these techniques have shown expressive results. Among various means of energy harvesting (Energy Harvesting), one of them is magnetic energy harvesting. This energy can be collected, according to Faraday's Law, by the magnetic field created by the electric current passing through a power line. Through the researches carried out, the experimental tests were developed with the objective of collecting the power supplied by the NX and NY modules, this power, calculated due to the voltage collected in the different resistive loads coupled to the modules, as well as the calculation of the power density, taking into account the volume of the modules. The power harvested by the magnetic collector module (magnetic harvester) is intended to supply wireless sensor networks (WSN) - compact and autonomous devices distributed spatially, which communicate with each other, capable of monitoring various environmental parameters using sensors - extending the its useful life as well as that of its batteries, limiting preventive maintenance in a short period of time and mainly reducing costs with logistics when replacing them in remote or inaccessible locations.

Keywords: Magnetic Collector; Energy Harvest; Wireless Sensor Networks (RSSF).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arquitetura de uma RSSF	19
Figura 2 – Esquemático do gerenciamento de energia do nó.....	20
Figura 3 – Módulo de coleta de energia magnética e suas especificações.	24
Figura 4 – Esquemático do módulo de condicionamento de energia.....	24
Figura 5 – Bobina em um núcleo ferromagnético	25
Figura 6 – Esquemático do circuito de captação de energia.....	25
Figura 7 – Núcleos Nanocristalinos NX e NY	27
Figura 8 – Nó sensor com colheita por indução magnética em linha de potência.	27
Figura 9 – Coletor magnético toroidal, baseado em transformador de corrente (TC), em linha de potência.....	28
Figura 10 – Estrutura Nanocristalina.....	30
Figura 11 – Representação do material nanocristalino em fita.	31
Figura 12 – Circuito Elétrico da Bancada Resistiva de Potência.	33
Figura 13 – Bancada Resistiva de Potência 1.....	34
Figura 14 – Bancada Resistiva de Potência 2.....	34
Figura 15 – Multímetro digital.	36
Figura 16 – Núcleos Nanocristalino bobinados NX e NY	39
Figura 17 – Curva de Potência Módulo Coletor Toroidal NX.	40
Figura 18 – Curva de Potência Módulo Coletor Toroidal NY.	40
Figura 19 – Densidade de Potência do Módulo Coletor Toroidal NX.....	42
Figura 20 – Densidade de Potência do Módulo Coletor Toroidal NY	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores medidos das resistências.	36
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade de potência de algumas colheitas de energia	21
Tabela 2 – Medições 1 das Resistências de Potência.	37
Tabela 3 – Medições 2 das Resistências de Potência.	37
Tabela 4 – Características dos núcleos.	38

LISTA DE ABREVIATURAS

AWG – American Wire Gauge;

CA – Corrente Alternada;

CC – Corrente Contínua;

IOT – Internet das Coisas;

I_p – Corrente Primária;

MEMS – Micro Electro-Mechanical Systems;

RSSF – Rede de Sensores Sem Fio;

R_L – Carga Resistiva;

TC – Transformador de Corrente;

V_{R_L} – Tensão da Carga;

VV – Tensão do Varivolt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 REDE DE SENSORES SEM FIO.....	18
2.2 FUNCIONAMENTO E HARDWARE.....	18
2.3 COLETOR DE ENERGIA	22
2.4 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS TIPOS DE COLETORES.....	22
2.4.1 Coletor piezoelétrico	22
2.4.2 Coletor solar.....	22
2.4.3 Coletor de radiofrequência (RF)	23
2.5 MÓDULO COLETOR MAGNÉTICO	23
2.6 MÓDULO COLETOR TOROIDAL NANOCRISTALINO.....	26
2.7 ESTRUTURA NANOCRISTALINA	29
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 LOCAL DE ESTUDO.....	31
3.2 COLETA DE DADOS E PROCEDIMENTOS	31
3.3 EQUIPAMENTOS DE COLETA DE DADOS	32
3.4 MEDIÇÃO DAS RESISTÊNCIAS	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 BOBINAMENTO DOS NÚCLEOS TOROIDAIS NANOCRISTALINOS	37
4.2 CURVAS DE POTÊNCIA DOS MÓDULOS DE COLHEITA NX E NY	39

4.3 DENSIDADE DE POTÊNCIA	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE A – DADOS DO MÓDULO COLETOR TOROIDAL NANOCRISTALINO NX.	47
APÊNDICE B – DADOS DO MÓDULO COLETOR TOROIDAL NANOCRISTALINO NY.	48

1 INTRODUÇÃO

É notável o surgimento de grandes inovações tecnológicas nos ramos da microeletrônica, comunicação sem fio e microssistemas eletromecânicos (MEMS - *Micro Electro-Mechanical Systems*). Esses avanços na tecnologia permitiu e estimula o desenvolvimento de sistemas autônomos inteligentes, que podem ser usados nas mais diferentes aplicações: como no rastreamento de tráfego e aplicações agrícolas (KUILA; JANA, 2018), na garantia da eficiência de processos industriais em uma refinaria de petróleo e na prevenção de desastres naturais (FAHMY, 2016), inteligência doméstica e cuidados na saúde (ALTURJMAN, 2018), segurança, vigilância, detecção de intrusos (KUILA; JANA, 2018), eventos sísmicos e pressão (SHARMA; PUGHAT, 2018). Tais sistemas podem ser constituídos por nós sensores sem fios multifuncionais, com capacidades de sensoriamento, processamento e comunicação. Essas características permitem aos nós, além de coletar dados para medição, analisar o status da rede e processar dados de outros nós sensores (MOREIRA, 2017).

Quando um grande número de nós sensores comunicam-se entre si, constitui-se uma rede de sensores sem fio (RSSF). Essas redes de sensores disseminadas num ambiente específico para o monitoramento, captam dados para estudos e posteriores análises.

A grande dificuldade encontrada por desenvolvedores destas RSSFs é aumentar o tempo de vida da rede, o problema de escassez de energia torna-se iminente, pois os nós sensores, apesar de usarem baterias para energizá-los, estas descarregam com o uso e isso gera problemas logísticos, já que geralmente os nós sensores autônomos das RSSFs são disseminados em grandes áreas ambientais, industriais, marítimas, urbanas, comumente de difícil acesso e em muitas situações exigem uma grande quantidade de sensores para monitorar o fenômeno de interesse.

Nesse contexto nasce a colheita de energia (*Energy Harvesting*). Conceitualmente a colheita de energia geralmente refere-se a dispositivos ou sistemas que capturam (ou colhem) a energia disponível no ambiente e a convertem em uma forma útil, que geralmente é eletricidade (BRIAND et al., 2015).

Atualmente há uma grande variação de meios de colheita energética; como por exemplo, a energia solar, que pode ser captada por painéis solares, a energia em mudanças de condições ambientais, como pressão, temperatura e aceleração, que pode ser transformada em energia elétrica por transdutores piezelétricos (ZHANG et al., 2017).

Recentemente, a coleta de energia baseada em indução magnética está ganhando cada vez mais atenção devido ao seu desempenho promissor em linhas de transmissão e distribuição de energia (linhas de potência), embora essa não seja uma fonte natural de energia, pois a energia pode ser coletada pelo campo magnético ou elétrico, sendo este a própria essência de um sistema de energia ao redor da linha de potência, usando o princípio de transformador elétrico com base na Lei de Faraday (variação do fluxo magnético no tempo gera uma corrente induzida). Através de um dispositivo coletor magnético (*magnetic harvester*) ligado a um circuito condicionador, capta-se o campo magnético gerado pelo corrente elétrica que percorre o condutor, transformando-o em energia elétrica para a alimentação dos nós (MOREIRA, 2017).

Dentro desse contexto, este trabalho visa o estudo experimental dos Núcleos Nanocristalino para a colheita de energia magnética como fonte alternativa de energia, com objetivo de alimentar redes de sensores sem fios (RSSF), prolongando a vida útil de suas baterias e garantindo seu funcionamento dentro dos parâmetros desejáveis com autonomia e poucos gastos com devidas manutenções, tornando-se um sistema eletrônico energeticamente autônomo.

1.1 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar o estudo experimental de colheita de energia magnética com núcleos de materiais com alta permeabilidade, com a finalidade de utilização futura em redes de sensores sem fios (RSSF), assim como fazer um levantamento do estado da técnica e a revisão de literatura sobre o tema.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Realizar a revisão de literatura sobre RSSFs e colheita de energia magnética.
2. Levantar o estudo da técnica sobre os módulos de RSSFs existentes que utilizam colheita de energia magnética.

3. Levantar a curva de potência de transformadores de corrente nanocristalinos de diferentes tipos.
4. Obter as densidades de potências dos dispositivos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REDE DE SENSORES SEM FIO

Quando um grande número de nós sensores comunicam-se entre si, constitui-se uma rede de sensores sem fio (RSSF). As RSSFs consistem em dispositivos compactos e autônomos distribuídos espacialmente os quais utilizam sensores capazes de monitorar condições físicas ou ambientais, disseminando dados coletados e informações processadas para análise, armazenamento e visualização para um ou mais observadores.

Para Tan et al, (2019), as RSSFs são uma das principais tecnologias da Internet das Coisas (IOT), sendo que esta é um dos campos de pesquisa mais importantes na era da informação atual, tem sido amplamente utilizado em todas as esferas da vida, como casa inteligente, cidade inteligente, comunidade inteligente e rede de veículos no campo de transporte.

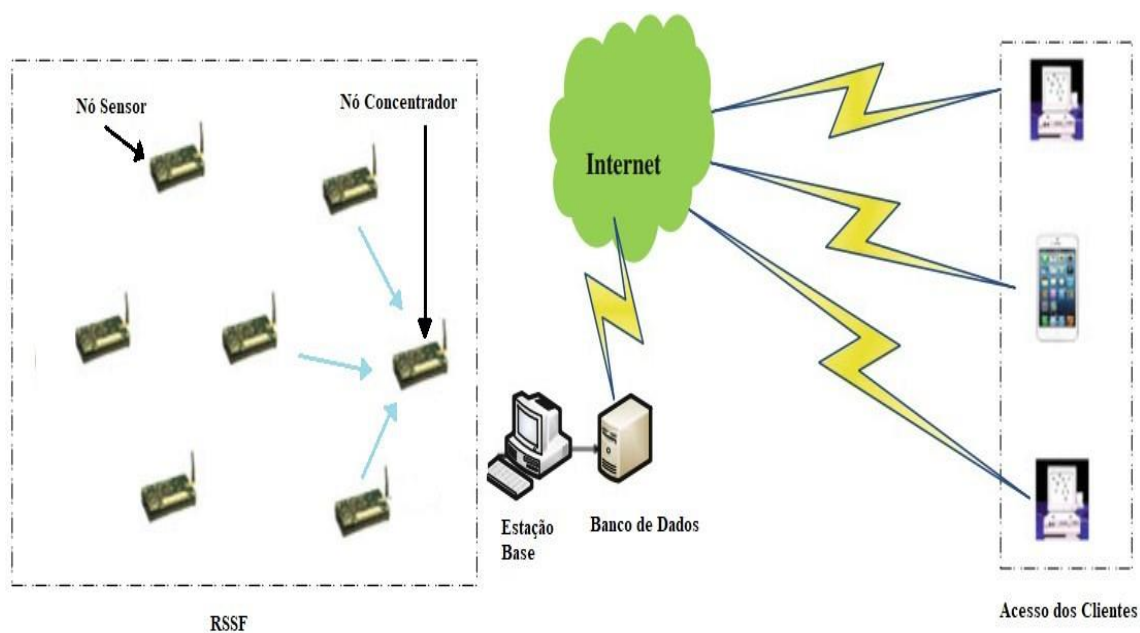
As RSSFs têm tido um grande crescimento com aplicações diversas em várias áreas dentre estas o monitoramento industrial. Segundo Leontiadis et al, (2013), as redes de sensores sem fio são ideais para grandes cenários, estruturas que precisam ser monitoradas para fins de segurança ou manutenção. Ainda segundo o autor, essa lista está longe de estar completa, sensores podem ser implantados nas estradas para monitorar o tráfego, em postes de iluminação para observar os níveis de poluição, contudo, sem a necessidade de modificar o ambiente a ser monitorado. Para Elhoseny e Hassanien, (2019), as RSSFs podem ser usada na indústria para monitorar a fadiga do material, qualidade do produto, túneis de vento, orientação para robôs, diagnóstico de máquinas, entre outros.

2.2 FUNCIONAMENTO E HARDWARE

As RSSFs têm como características principais a comunicação sem fio, possibilitando aos nós enviarem seus dados colhidos do fenômeno desejável no ambiente.

Na Figura 1, observa-se como é feita a transmissão de dados dos nós constituintes de uma RSSF, um nó concentrador responsável por receber os dados, uma estação base responsável por colher e organizar os dados e um banco de dados responsável pelo armazenamento e visualização.

Figura 1 – Arquitetura de uma RSSF.



Fonte: Adaptado de Patnaik et al, (2015, p. 26).

Especificamente, um nó sensor é constituído de elementos básicos: como sensor (unidade de detecção), unidade de processamento, unidade transceptora (radiofrequência), unidade de potência (capacitores, baterias, afim de filtrar e manter o sistema energizado), e outros, que dependem da aplicação, como um sistema de localização, mobilizador (FAHMY, 2016). O tamanho pequeno e o baixo custo do nó, facilitam no processo de instalação (BENHADDOU; AL-FUQAHA, 2015).

Segundo Forster (2016), para entender sobre o hardware do nó sensor é necessário conhecer umas das propriedades mais importantes, seu consumo de energia. Um nó deve conter elementos que consuma pouca energia, possibilitando a ter baixíssimo consumo da mesma, pois esta é altamente restrita e fornecida por baterias on-board (recarregáveis ou não recarregáveis), que apesar de fornecer pequenas correntes elétricas com o intuito de manter o funcionamento parcial ou incessantemente dos dispositivos (em alguns casos, o suficiente), não se mantém constante por um longo período, acarretando custos futuros e empecilhos de logística em suas devidas trocas.

Há anos, pesquisadores vêm demonstrando técnicas de colheita energética de fontes ambientais, porém, com a baixa eficiência da conversão de energia e uma maior exigência de energia por partes das aplicações eletrônicas, a *Energy Harvesting* não atraiu atenção suficiente no passado, mas com os recentes avanços em dispositivos eletrônicos (redução considerável no

tamanho e na utilização de energia), a área vem alcançando maior destaque nos últimos anos (RAFIQUE, 2018).

A grande variedade de meios de colheita de energia nos permite utilizá-las em um vasto campo de possibilidades, locais sem acesso à rede elétrica e ineficiente para a instalação de mini aerogeradores ou painéis solares são promissores para o desenvolvimento dessa nova tecnologia e mesmo que a energia captada seja relativamente baixa para alimentar um dispositivo, torna-se suficiente para manter a integridade de uma bateria, que tornou-se um dos principais problemas em RSSFs. Devido à capacidade limitada da bateria, chamado de problema de escassez de energia (ZHANG et al., 2017), a vida útil do nó é restrita de acordo com a duração da mesma (SHARMA; PUGHAT, 2018).

Portanto a colheita de energia tem como um dos principais objetivos prolongar a sua vida útil, limitando manutenções preventivas em curto período de tempo e principalmente diminuindo custos com logísticas na troca delas em locais remotos. A Figura 2, mostra a estrutura de um nó sensor energeticamente autônomo.

Figura 2 – Esquemático do gerenciamento de energia do nó.



Fonte: Adaptado de Briand (2015, p. 8).

Como mostrado na figura, o coletor deve fornecer potência elétrica suficiente para manter o funcionamento do nó sensor. Pesquisas desenvolvidas por alguns autores citados neste

trabalho, demonstram que o consumo típico de um dispositivo nó sensor fica entorno de mW, potência geralmente alcançada pelos módulos coletores de energia.

Em geral, a potência a ser fornecida pelo transdutor precisa ser condicionada antes de ser consumida pelo nó, esse passo é dado por circuitos eletrônicos compactos que tem como meta minimizar a potência dissipada pelos componentes do sistema de gerenciamento de energia. Para isso, é de fundamental importância conhecer a fonte de colheita, saber a aplicação ou a carga a ser alimentada (SANTOS, 2015). A etapa de armazenamento pode ser constituída por baterias ou supercapacitores, visando a alimentação do nó de modo ininterrupto.

Algumas fontes de colheita de energia e seu desempenho em função da densidade de potência, podem ser conferidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Densidade de potência de algumas colheitas de energia.

Técnica de colheita de energia	Densidade de Potência	Características
Fotovoltaico	15mW/cm ²	Luz direta; ambiente externo
Termoelétrico	1 a 10mW/cm ²	Ambiente industrial
Piezoelétrico	250μW/cm ³	-
Radiofrequência (RF)	0,1μW/cm ²	GSM 900/1800MHz
Eólica	3,5mW/cm ²	Vento a 8,5 m/s
Indução Magnética	4mW/cm ³	Corrente de 1A

Fonte: Adaptado de Moreira., (2017, p. 22).

Como pode ser observado na Tabela 1, a fonte de colheita de energia com maior densidade de potência é a fotovoltaica em ambiente externo. Segundo Moreira (2017), o que é consenso entre os autores na literatura é que não existe uma solução única para todas as aplicações e ambientes. Por isso, diante das diversas fontes de energias disponíveis, é importante destacar que a aplicação e o ambiente, geralmente, definem a fonte a ser utilizada (SANTOS, 2015), contudo para baixas potências não há necessidade de áreas muito grandes, portanto o módulo coletor é o mais viável e competitivo a esse ponto.

2.3 COLETOR DE ENERGIA

Coletar energia está no ato de captar a energia já existente em um ambiente, seja ela de que forma for. Os módulos coletores de energia, sejam em forma de vibrações, variação de temperatura, luminosidade, deslocamento de ar, são dimensionados conforme a necessidade, alguns bastante compactos usados em situações de pequenos espaços e que os convém a pouca demanda de energia e outros que precisam de áreas de tamanho razoável influenciando na geração energética.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS TIPOS DE COLETORES

Somos cercados por energias de diferentes fontes, formas e intensidades, isso nos abre uma ampla forma de captar essa energia. Hoje temos uma grande variedade de módulos coletores de energia em seus diferentes tamanhos e capacidade energética.

Logo abaixo veremos alguns tipos de módulos coletores de energia.

2.4.1 Coletor piezoelétrico

A energia cinética na forma de vibrações mecânicas é considerada a mais atrativa no domínio da microescala, devido ao seu poder de densidade, versatilidade e abundância. Na Tabela 1, podemos ver a densidade de potência de algumas colheitas de energia dentre elas, a do coletor piezoelétrico em $\mu\text{W}/\text{cm}^3$. Vibrações potencialmente adequadas para a captação de energia podem ser encontradas em vários aspectos da experiência humana, incluindo eventos naturais (movimento sísmico, vento, marés), bens domésticos comuns (geladeiras, ventiladores, máquinas de lavar, fornos de micro-ondas, etc.), equipamentos de instalações industriais, corpos humanos e animais, entre outras (BRIAND et al., 2015).

2.4.2 Coletor solar

A energia solar, como vemos está disposta a todo globo terrestre em horários e intensidades diferentes, a captação de energia fotovoltaica é o processo de conversão de fótons de fontes como luz solar ou artificial em eletricidade, porém, sua potência gerada e a eficiência

do sistema dependem fortemente da disponibilidade de luz e das condições ambientais e é adequado para sistemas de coleta de energia em grande escala. São especialmente utilizadas em áreas remotas sem acesso a eletricidade e pela versatilidade e tamanho mínimo vem demonstrando um bom desempenho em densidade de potência, a Tabela 1 mostra a densidade de potência dessa forma de colheita de energia em mW/cm^2 .

2.4.3 Coletor de radiofrequência (RF)

A energia de radiofrequência é o processo de conversão de ondas eletromagnéticas em eletricidade e é captada do ar através da antena (como é chamado o conjunto da antena, filtros e circuito retificador). Segundo Basagni et al (2013), esse tipo de energia pode ser obtido de ambiente de fontes como transmissão de rádio e televisão, telefones celulares, comunicações WiFi e microondas ou de sinais eletromagnéticos (EM) gerados em um comprimento de onda específico. Embora haja uma grande quantidade de energia potencial de RF no ambiente, a energia das ondas EM existentes é extremamente baixa porque a energia diminui rapidamente à medida que o sinal se espalha para mais longe da fonte. Essa coleta de energia de RF é capaz de fornecer com eficiência uma potência variando de μW a alguns mW , dependendo da distância entre o transmissor de RF e o módulo coletor. Observa-se na Tabela 1 a densidade de potência desse dispositivo sendo em $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ em frequências GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis) que variam de 900/1800MHz.

A quantidade de energia disponível varia claramente de uma fonte para outra. Por outro lado, o consumo de energia dos sensores sem fio foi bastante reduzido nos últimos anos, graças à eletrônica de ultrabaixa potência.

2.5 MÓDULO COLETOR MAGNÉTICO

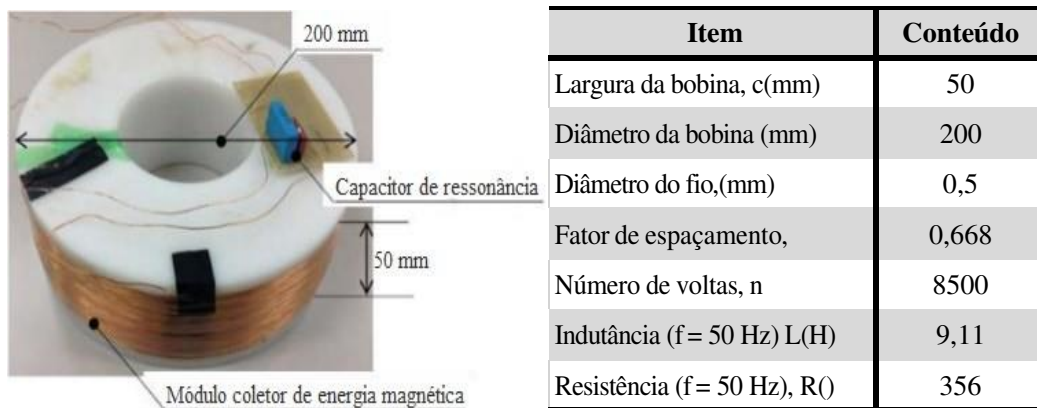
Diversos tipos de módulos coletores de energia magnéticas são estudados com objetivo de obter resultados expressivos e de baixo custo.

Observa-se abaixo alguns módulos coletores de energia magnética desenvolvidos e analisados pelos autores Itoh et al (2017), Zhuang et al (2017), a partir desses módulos coletores, experimentos foram desenvolvidos com variação de cargas e circuitos, que controlam a energia gerada dos módulos coletores visando obter a melhor eficiência. Esses circuitos

variam com base no seu módulo coletor e também na capacidade de energia de fornecimento demandada.

Na Figura 3, um módulo coletor magnético desenvolvido por Itoh et al (2017), uma bobina de Brocks focada na frequência de fluxo magnético comercial de 50Hz, com um capacitor de ressonância de $1,1\mu\text{F}$, que pode ser conectado se a frequência de ressonância for de 50Hz. Podemos obter outras características na tabela ao lado.

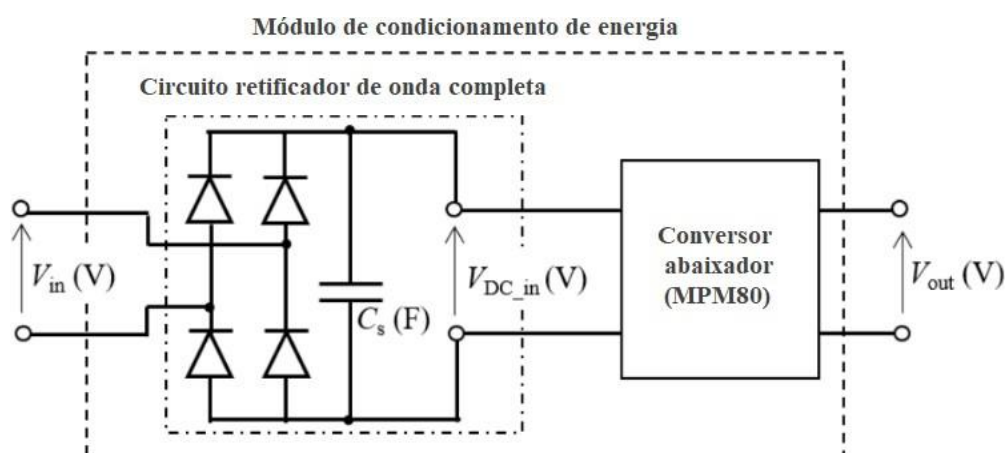
Figura 3 – Módulo de coleta de energia magnética e suas especificações.



Fonte: Adaptado de Itoh et al, (2017).

Para obter dos dados, Itoh et al (2017) usou acoplado ao módulo coletor um circuito retificador juntamente com um conversor abaixador, Figura 4, este circuito, segundo Itoh, tem por finalidade obter uma tensão de saída CC (Corrente Contínua) de 3,3 V e uma potência alvo de 90 mW.

Figura 4 – Esquemático do módulo de condicionamento de energia.



Fonte: Adaptado de Itoh et al, (2017).

Segundo Itoh et al (2017), a potência de 104 mW poderiam ser colhidas quando uma resistência de carga de 100 Ohms fosse conectada. Portanto, considerou-se que o valor alvo de 90 mW pode ser obtido. Quando conectada a resistência de 100 Ohms, foi possível obter um

valor próximo da tensão de saída de 3,3 V.

Zhuang et al (2017), desenvolveram estudos com um novo método para aumentar a energia colhida de um condutor de alta corrente com um núcleo saturado, inclui a módulo de colheita (bobina esmaltada enrolada no núcleo) com um núcleo de alta permeabilidade (núcleo toroidal de material ferromagnético em forma de anel) e o circuito de gerenciamento de energia.

O núcleo toroidal em forma de anel é mostrado na Figura 5. Um cabo elétrico com corrente CA (Corrente Alternada) alta passa pelo núcleo, um campo magnético alternado é gerado. Uma tensão CA será induzida na bobina esmaltada enrolada no núcleo.

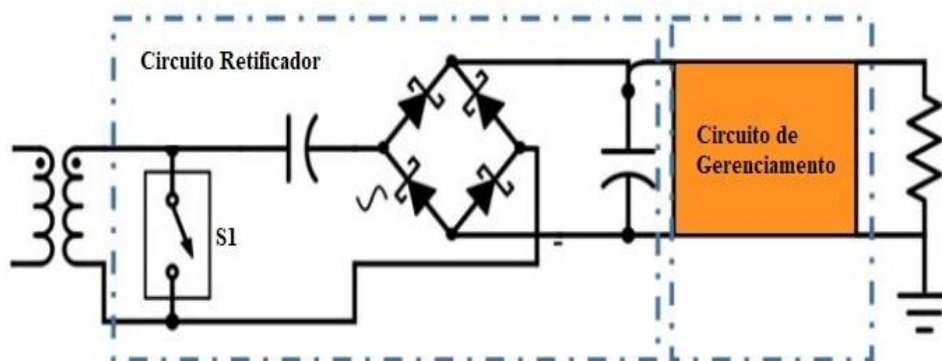
Figura 5 – Bobina em um núcleo ferromagnético.



Fonte: Zhuang et al, (2017).

A energia colhida é convertida em CC (Corrente Contínua) por um circuito de ponte, Figura 6, sendo também um circuito de controle para mitigar o efeito de saturação. No segundo estágio, um circuito de gerenciamento de energia é usado para fornecer maior potência para a carga com um ciclo de trabalho.

Figura 6 – Esquemático do circuito de captação de energia.



Fonte: Adaptado de Zhuang et al, (2017).

Em teoria, potência relevantes para o funcionamento do circuito pode ser colhida se o núcleo tiver uma alta permeabilidade. No entanto, a maioria dos materiais magnéticos irá saturar a um nível de vários Tesla. Diante desse fato, para aumentar o tempo de não-saturação,

Zhuang et al, (2017) propõe uma chave, mostrado como S1 na Figura 6, que pode ser adicionado em paralelo com a bobina de colheita. A chave é fechada por um curto período quando o núcleo está saturado. A densidade do fluxo magnético cairá para um nível menor. Então a chave se abre até que o núcleo esteja novamente saturado.

Os resultados medidos mostram que o circuito original pode colher 250 mW de uma linha de alimentação de corrente de 10A. Adicionando da chave como mostrado, o circuito proposto pode colher 317 mW, ou seja, 27% maior que o original.

A resistência da carga é de 20 Ohms, o pico de tensão na carga é de 6 V, o que significa que o circuito pode fornecer uma potência de pico de 1,8 W.

O importante a se destacar é que todos os autores procuram métodos de obter um nível energético colhido mais significativo, que possibilitem o uso de diversos tipos de cargas, sensores e procuram não só a destacar o carregamento das baterias ou outro tipo de armazenamento, mas também a substituí-las com potência favorável para muitas aplicações que exigem um alto poder operacional, para isso reduzir a duração da saturação do fluxo magnético pode maximizar a energia extraída.

2.6 MÓDULO COLETOR TOROIDAL NANOCRISTALINO

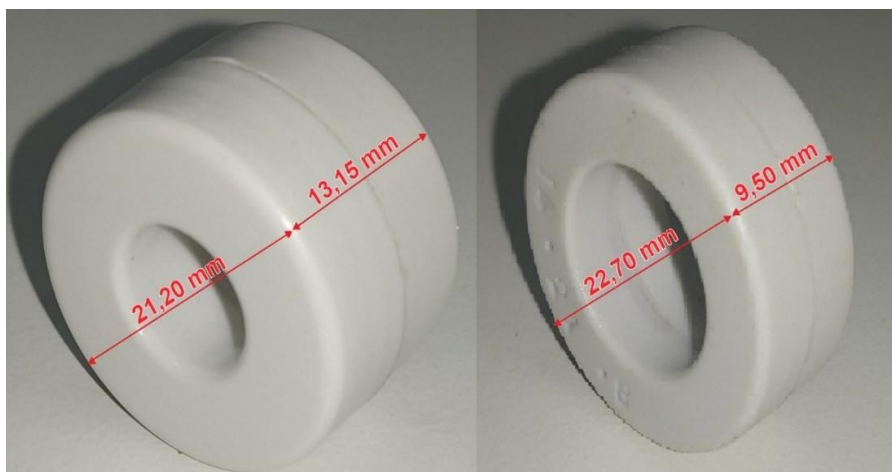
Entre os tipos de módulos coletores de energia citados, temos também o módulo coletor de energia magnética nanocristalino (nome dado conforme a dimensão dos grãos), Figura 7, material de estudo deste trabalho, em forma de anel (toróide). Esse pequeno objeto é fruto do avanço tecnológico em combinações de ligas ferrosas obtido através da técnica de *melt spinning* e apresentam um conjunto de propriedades aplicáveis a eletrônica. Esses núcleos são geralmente utilizados como transformadores de corrente (TC) para baixa e alta tensão, filtros de linhas e tem como vantagens maior sensibilidade a indução magnética, redução das dimensões do equipamento (peso/volume em até 60%), melhor eficiência energética (baixas perdas em comparação aos ferrites convencionais) e apresenta melhor relação custo/benefício para aplicações de baixa frequência (~60Hz) (Magmattec, 2021).

Segundo a Würth Elektronik (2021), o material nanocristalino possui valores de indutância altos e estáveis até 150 °C e podem operar com desempenho estável em temperaturas entre -40 °C a + 125 °C capacitando-o a ter melhor eficiência térmica.

O dispositivo de colheita eletromagnético é baseado nos fenômenos de indução eletromagnética, ou seja, na produção de uma tensão através de um condutor quando ele é exposto a um campo magnético variável. A Figura 7 abaixo, mostra os núcleos toroidais nanocristalinos denominado de NX e NY nesta ordem, usados nos experimentos para obtenção dos dados deste trabalho. Esses núcleos são envoltos por uma capa plástica e possuem diâmetros internos, externos e altura diferentes, foram escolhidos conforme sua dimensão física,

parâmetro importante para a aplicação intitulada no trabalho.

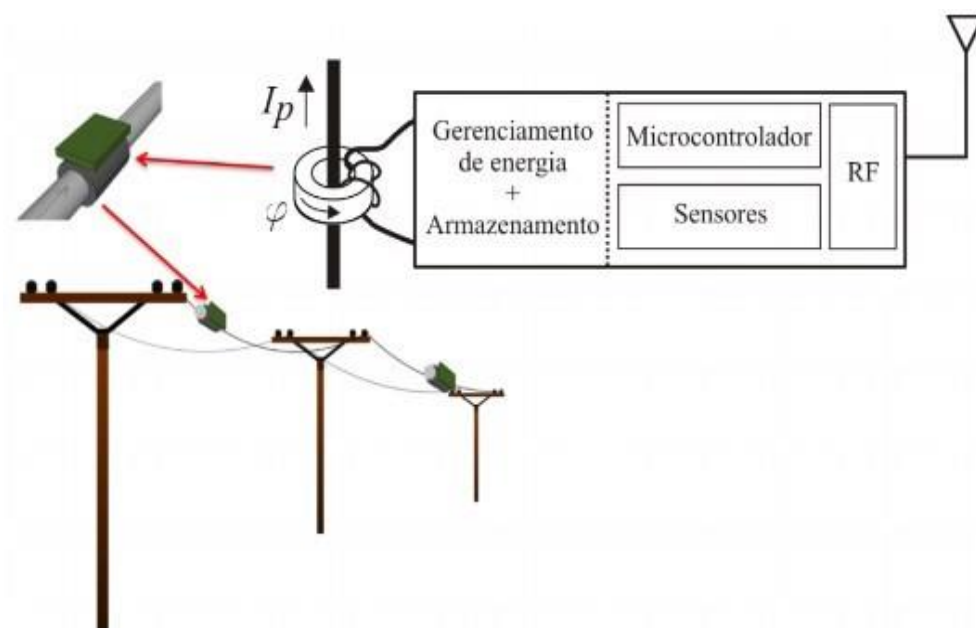
Figura 7 – Núcleos Nanocristalinos NX e NY.



Fonte: Autor (2021).

Como já mencionado, devido ao seu desempenho promissor em linhas de potência, a utilização desses núcleos em nós sensores pode desempenhar papéis fundamentais no monitoramento de fenômenos diversos junto às suas RSSF's. A Figura 8, demonstra o módulo coletor magnético e seu nó sensor conectado ao longo da linha de transmissão.

Figura 8 – Nó sensor com colheita por indução magnética em linha de potência.



Fonte: Moreira (2017, p. 23).

A estrutura do módulo coletor magnético geralmente utilizado, é baseada no princípio do transformador elétrico, especificamente, um transformador de corrente (TC), esses transformadores são utilizados para suprir aparelhos que apresentam baixa resistência elétrica. A estrutura de um típico transformador de corrente é constituída por um núcleo magnético de alta permeabilidade, na forma de toróide enrolado por várias voltas de fio de cobre (bobina),

sendo que o primário é a linha de potência ao qual o coletor se encontra acoplado.

A tensão coletada por esse núcleo conectado as resistências podem ser utilizadas para o cálculo da potência, sendo este meio um fator determinante para o bom funcionamento de um módulo de colheita de energia. De acordo com a seguinte função:

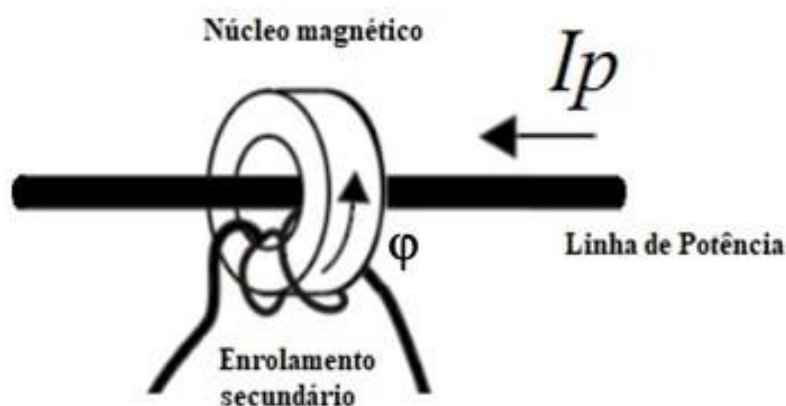
$$P = \frac{V^2}{R_L} \quad \text{Eq. 1 —}$$

Temos:

P = Potência; V = Tensão colhida pelo módulo; RL = Carga Resistiva.

A Figura 9, exibe a estrutura do coletor magnético.

Figura 9 – Coletor magnético toroidal, baseado em transformador de corrente (TC), em linha de potência.



Fonte: Adaptado de Moreira (2017, p. 23).

No entanto, é consenso entre diversos autores observados na literatura que o desempenho do coletor baseado em indução apresenta resultados muito diferentes de acordo com o material do núcleo magnético. No desenvolvimento de uma aplicação (módulo coletor) para geração de energia elétrica a partir de campos magnéticos, deve-se considerar as características dos materiais magnéticos utilizados na construção dos dispositivos, particularmente, na construção dos núcleos magnéticos, pois podem influenciar nas dimensões e no desempenho do mesmo, portanto, é importante investigar as propriedades dos diferentes materiais magnéticos para a construção desses núcleos (VIEIRA et al., 2016). Ainda segundo os autores um dos principais parâmetros que caracterizam um núcleo é sua permeabilidade magnética.

Segundo Magmattec os núcleos nanocristalinos possuem características magnéticas diferenciadas tais como: alta magnetização de saturação, alta permeabilidade (até 280.000), indução magnética (até 1,25T, possibilitando uma relação menor de espiras por volt, reduzindo o volume do transformador e as perdas no condutor), baixa coercividade, boa estabilidade térmica que levam a redução significativa de tamanho e peso dos núcleos magnéticos, bem

como menores perdas em comparação aos ferrites convencionais, especialmente em altas frequências.

Estudos comparativos realizados por Santos (2015), mostram que o núcleo com liga nanocristalina apresenta uma maior eficiência em densidade de potência que a ferrita, pois a liga contém uma maior permeabilidade magnética que facilita a concentração das linhas de fluxo magnético no interior do transdutor, aumentando assim, o campo magnético interno no transdutor.

A densidade de potência é um fator muito importante de desempenho e é uma das características que contribui mais na escolha dentre outros diversos tipos de módulos coletores, pode ser obtida por unidade de volume, área ou massa. Neste trabalho é obtida a parti da seguinte função:

$$DP = \frac{mW}{cm^3} \quad \text{Eq. 2}$$

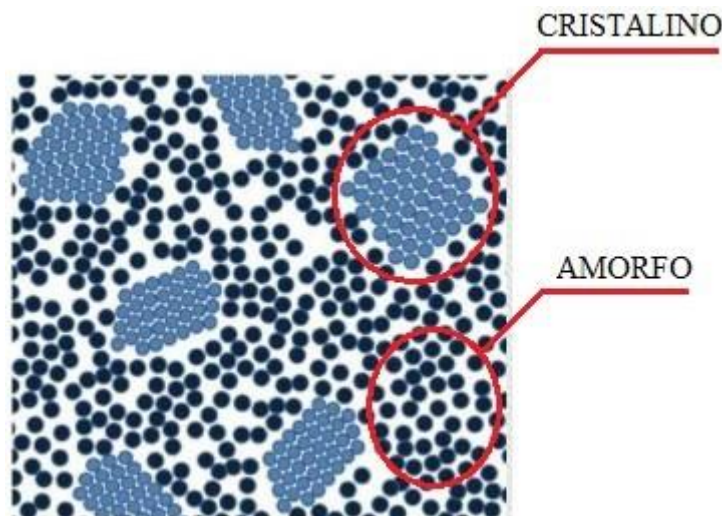
Temos:

DP = Densidade de Potência; mW = Potência colhida pelo módulo; cm³ = Volume do módulo.

2.7 ESTRUTURA NANOCRISTALINA

Segundo Magmattec, os núcleos nanocristalinos são fabricados a partir de ligas ferrosas produzidas com alta tecnologia, conferindo um conjunto de propriedades singulares a estes materiais. O diferencial está na microestrutura amorfa destas ligas, isto é, uma microestrutura semelhante ao do vidro, que é obtida através da técnica de *melt spinnig*. Os núcleos nanocristalinos obtém uma estrutura refinadíssima de grãos magnéticos nanométricos dispersos em uma matriz metálica amorfa.

Para enterdemos sobre o material nanocristalino precisamos conhecer os matérias cristalinos e amorfos.

Figura 10 – Estrutura Nanocristalina.

Fonte: Adaptado do Catálogo Magmattec.

Após observarmos a Figura 10, notamos que a estrutura cristalina tem seus átomos organizados e uma estrutura ordenada e periódica, são fabricados ou criados a partir de um resfriamento rápido que lhes confere uma estrutura bem ordenada de átomos ao qual torna o material mais resistente, já a estrutura amorfa não contempla ordem de longo alcance na sua estrutura atômica, os átomos estão dispostos aleatoriamente (estrutura desordenada).

Para a criação dos materiais amorfos, esses passam por um processo controlado onde se consegue pontos adequados de estrutura ordenada. Materiais nanocristalinos são compostos basicamente de grãos cristalinos de tamanho nanométrico imersos em um material amorfo.

Para obtermos a liga nanocristalina é utilizada a técnica de *melt-spinning* que consiste em levar o material a seu ponto de fusão e conduzi-lo, na forma de jato, sobre uma roda (de alta condutividade térmica) que fica girando a velocidades em torno de 60 m/s na superfície. Desta forma o material é resfriado rapidamente, produzindo liga em formato de fitas de metal rígidas com cerca de 10 a 40 μm de espessura, Figura 11.

Figura 11 – Representação do material nanocristalino em fita.



Fonte: Catálogo Magmattec.

Na prática, dependendo da composição química e da taxa de resfriamento, é possível obter uma grande variedade de microestruturas, entre amorfas, nanocristalinas e microcristalinas, possibilitado o desenvolvimento de novos materiais com propriedades especiais.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios de Automação Industrial II e de Máquinas e Comandos Elétricos do IFPB-*Campus* Cajazeiras, visto que neles são propícios aos testes por conterem os insumos necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

Inaugurado em 4 de dezembro de 1994, quando o Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *Campus* Cajazeiras, ainda era denominado Escola Técnica Federal da Paraíba (ETFPB), Unidade de Ensino Descentralizada da Paraíba (UnED).

3.2 COLETA DE DADOS E PROCEDIMENTOS

Como parâmetros de pesquisa, foram utilizadas fontes de informação como a Biblioteca do IFPB-*Campus* Cajazeiras, *Scientific Eletronic Library Online (Scielo)*, Google, dentre outras. Após o levantamento das referências bibliográficas necessárias, livros, artigos, revistas,

TCC's, dissertações, sites, iniciou-se a leitura e seleção dos textos, antigos e atuais, para a fundamentação do assunto abordado e modelagem do trabalho.

Durante o procedimento de testes realizados nos laboratórios de Automação Industrial II e em Máquinas Elétricas, foram seguidos à risca a questão da segurança em manusear todos os equipamentos e utensílios no decorrer dos testes, afim de manter a integridade do graduando e dos equipamentos utilizados como forma de respeito a instituição e aos demais alunos que viram partilhar dos mesmos meios (equipamentos) para a obtenção de algum dado em posteriores trabalhos acadêmicos.

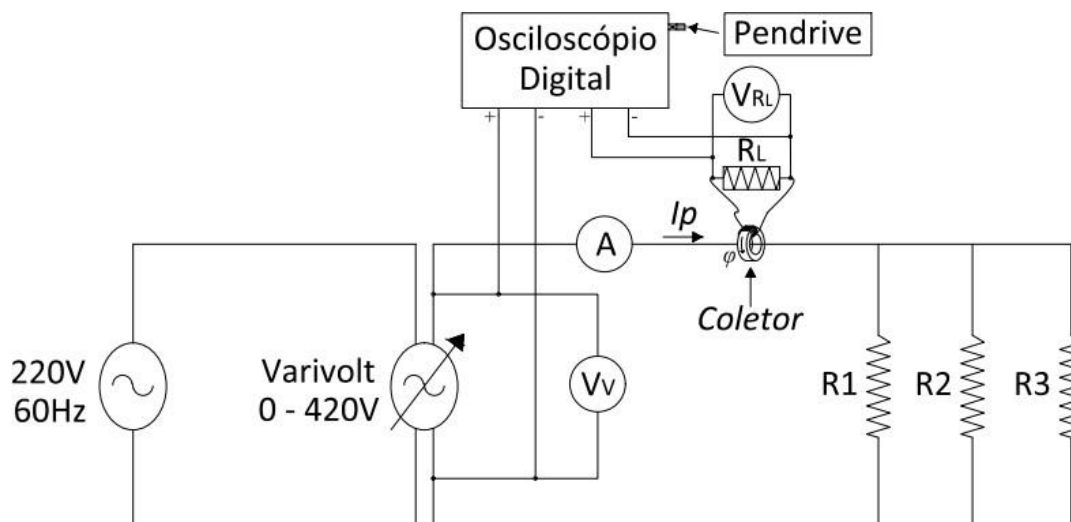
Por meio das pesquisas realizadas, foi desenvolvido o circuito elétrico possibilitando a montagem das bancadas, também foram fontes importantes para a compreensão de quais dados eram importantes e relevantes para o trabalho com a finalidade de obter a potência gerada e a densidade de potência pelo módulo coletor.

As tensões geradas pelos módulos, Apêndice A e B, é parte importante das equações ao qual nos possibilita a conhecermos as potências geradas, essas calculadas a partir da variação da tensão ao quadrado colhida pelo módulo, dividido pela resistência da carga acoplada. A densidade de potência de cada núcleo, depende apenas da potência gerada pelo módulo, dividido pelo seu volume. As equações 1 e 2 mostradas, são base para conhecermos essas características.

3.3 EQUIPAMENTOS DE COLETA DE DADOS

O circuito elétrico, Figura 12, foi desenvolvido para auxiliar na montagem do protótipo de teste dos núcleos toroidais nanocristalinos, com ele pudemos montar as bancadas de testes com mais objetividade, sem riscos à saúde ou de danificar os equipamentos utilizados.

Figura 12 – Circuito Elétrico da Bancada Resistiva de Potência.

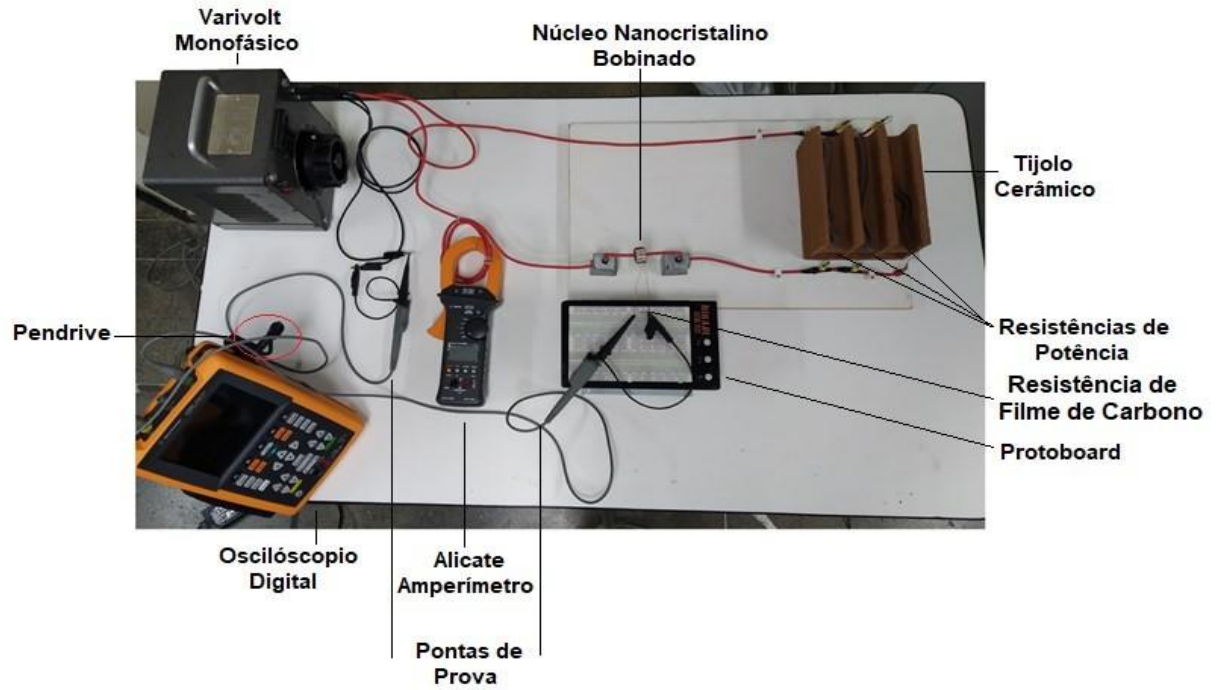


Fonte: Autor (2021).

As Figuras 13 e 14 nos mostra os protótipos do circuito elétrico montado, temos então duas bancadas de testes, essas com o mesmo princípio de utilização e com apenas com uma modificação expressiva, a troca do variômetro.

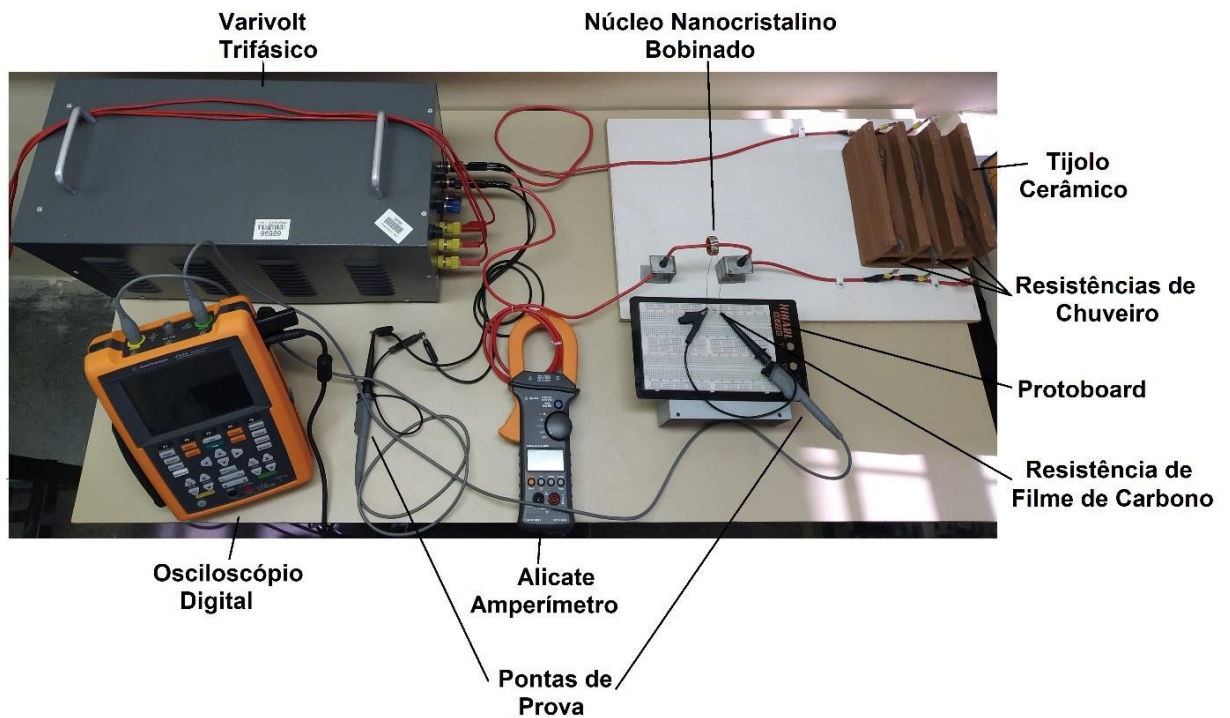
Na bancada da Figura 13, temos um variômetro monofásico, esse com limite máximo de potência suportada de 1,5kVA, já na bancada da Figura 14, temos um variômetro trifásico que suporta até 5,5 kVA. Com a troca do variômetro obteve-se correntes elétricas maiores no condutor, chegando a 10,01A e estimulando ainda mais os módulos coletores, possibilitando uma maior faixa de coleta de dados.

Figura 13 – Bancada Resistiva de Potência 1.



Fonte: Autor (2021).

Figura 14 – Bancada Resistiva de Potência 2.



Fonte: Autor (2021).

As bancadas de testes foram desenvolvidas de maneira prática e objetiva para melhor obtenção dos dados, a alimentação do sistema é feita pela rede de energia 220V/60Hz monofásico e trifásico.

Bancadas constituídas principalmente pelo osciloscópio digital com dois canais de medição de tensão, um dos canais alimentado pela tensão do varivolt (Vv) e o outro canal alimentado pela tensão fornecida pelo módulo coletor nanocristalino (V_{RL}), conectado a resistência (R_L) na protoboard, um alicate amperímetro indicador de corrente elétrica (A) e por um pendrive conectado ao osciloscópio com finalidade de obter os dados das tensões medidas por ele.

Como vemos, as bancadas também se caracterizam por um tijolo cerâmico responsável por isolar as resistências de potência, essas sendo de chuveiro e que mesmo fora d'água desempenham um bom funcionamento e também por um fio condutor de 4 mm saindo dos varivolts, responsável por conduzir as correntes primárias (I_p) que variam de 0,51 A à 10,01 A.

Observamos também que nas Figuras 13 e 14, a pinça do alicate amperímetro se encontra envolvida por três voltas do fio condutor, concentrando o campo eletromagnético gerado pela passagem da corrente elétrica para melhor aquisição da intensidade. Isso nos garante uma boa resolução de medição da corrente, pois ela será amplificada três vezes e para obtermos a corrente real apenas dividimos o resultado medido por três, assim chegamos à corrente elétrica real no condutor.

3.4 MEDIÇÃO DAS RESISTÊNCIAS

Todas as resistências foram medidas com um único aparelho multímetro, Figura 15. É importante frisar que a medição dessas resistências aconteceu no mesmo ambiente e no mesmo horário, com o aparelho devidamente carregado e em bom estado de conservação.

Figura 15 – Multímetro digital.



Fonte: Autor (2021).

Foram utilizados resistores de filme de carbono, conforme observado no Quadro 1 a faixa de valores de resistência foi arbitrada considerando a operação do núcleo nanocristalino alimentando possíveis nós sensores de diferentes impedâncias equivalentes.

Quadro 1 – Valores medidos das resistências.

Resistências de Filme de Carbono R_L (Ohms)															
1,6	2	3,4	5,6	6,8	10	19,9	55,4	98,4	212,8	326,1	432,1	547,9	698,1	851,2	1000

Fonte: Autor (2021).

Para obtermos a resistência média das resistências de potência foram realizadas duas etapas de medição, a primeira com as resistências frias, a segunda com as mesmas aquecidas, visto que são resistências constituídas por uma liga metálica com alta resistividade e com o aquecimento o valor nominal da resistência altera-se. A potência suportada por essas resistências, segundo o fabricante é de 3,2 kW. Nas Tabelas 2 e 3, observamos as medições das resistências realizadas frias e aquecidas até 7 A. O limite de 7 A estabelecido para as medições, foram com base na potência máxima fornecida pelo varivolt monofásico e o conhecimento dessas resistências agrega na verificação da corrente elétrica do condutor primário (I_p).

Tabela 2 – Medições 1 das Resistências de Potência.

Medições	Medições das Resistências Frias (Ohms) CA 7A			Medições das Resistências Aquecidas (Ohms) CA 7A		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Medição 1	6,8	6,9	6,8	7,1	6,9	6,8
Medição 2	6,8	6,9	6,9	6,9	7,1	6,9
Média	6,85			6,93		

Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 – Medições 2 das Resistências de Potência.

Medições	Medições das Resistências Frias (Ohms) CA 7A			Medições das Resistências Aquecidas (Ohms) CA 7A		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Medição 1	6,8	6,9	6,9	7,0	7,1	6,9
Medição 2	7,0	7,1	6,8	7,1	6,9	6,8
Média	6,92			6,98		

Fonte: Autor (2021).

Com os resultados obtidos das resistências, pudemos então, termos mais segurança nos dados e sabermos a capacidade de corrente suportada afim de não danificar as resistências no decorrer dos testes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme observa-se os dados obtidos nas figuras e tabelas abaixo, ficara nítido a importância da segurança, a corrente elétrica utilizada nas bancadas com resistências de potência chegou a 10,01A, o calor emitido pelas resistências é relevante, visto que as mesmas nessa amplitude de corrente ficavam incandescentes, isso torna-se um problema quando não se tem o isolamento adequado e conhecimento do funcionamento dos equipamentos.

4.1 BOBINAMENTO DOS NÚCLEOS TOROIDAIS NANOCRISTALINOS

Antes de todo o processo de realização dos testes, os núcleos nanocristalinos precisaram ser bobinados, uma quantidade de voltas expressivas com fios de cobre esmaltado transformou

o toróide em um típico transformador de corrente (TC). As características do fio de cobre juntamente com sua resistência e as dimensões físicas dos núcleos estão dispostas no Tabela 4.

Tabela 4 – Características dos núcleos.

Núcleos Toroidais Nanocristalinos (Com acabamento em capa plástica)							
Núcleos	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Altura (mm)	Nº Fio AWG	Capacidade (A)	Número de Espiras	Resistência Medida (Ω)
Toróide NX	21,2	8,3	13,15	22	0,92	35	0,3
Toróide NY	22,7	12,5	9,5	22	0,92	53	0,3

Fonte: Autor (2021).

As dimensões físicas dos toróides foram medidas com um paquímetro analógico nos seguintes parâmetros: diâmetro externo, diâmetro interno e altura. As dimensões medidas aproximam-se das constadas no catálogo Magmattec salientado o acabamento em capa plástica, a fita nanocristalina tem sua estrutura isolada por esse acabamento e é enrolada no formato de toróide. Atribuindo-se desse conhecimento temos por base o número de espiras em volta dos toróides Figura 16, e o comprimento do fio de cobre a ser utilizado.

O fio AWG 22 (American Wire Gauge) utilizado, foi obtido de forma que se mantivesse parâmetros básicos de baixa resistência elétrica com um número suficientes de espiras que cobrisse o interior dos módulos. Com um fio de diâmetro maior, teria-se poucas voltas entorno dos toróides acarretando baixa tensão induzida, e um fio com o diâmetro menor poderia ter várias voltas ocasionando uma alta resistência e contribuindo para o aumento do peso do módulo, sendo assim, obteve-se uma melhor relação a utilização do fio AWG 22. Como características pertinentes, o fio é esmaltado e cobre toda a superfície interna do toróide, possui uma seção circular de $0,33 \text{ mm}^2$ e capacidade de corrente elétrica de 0,92 A. Já os núcleos estudados foram escolhidos conforme sua dimensão física, pois, também como base desse trabalho a sua implementação em dispositivos compactos (nós sensores) requer dimensões mínimas e pouca massa, demonstrando melhor viabilidade na sua implementação.

Figura 16 – Núcleos Nanocristalino bobinados NX e NY.



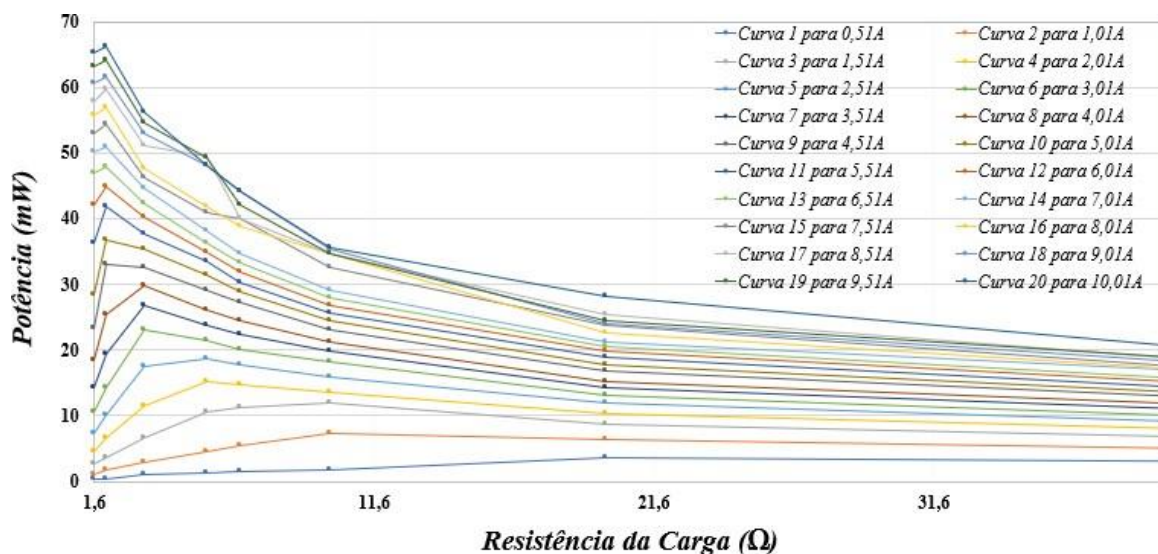
Fonte: Autor (2021).

4.2 CURVAS DE POTÊNCIA DOS MÓDULOS DE COLHEITA NX E NY

Os experimentos realizados destituem-se em dois ao qual originou-se as curvas de potências e as curvas de densidade de potência. O primeiro teve como estudo o módulo coletor toroidal nanocristalino NX, Apêndice A, já o segundo com o módulo coletor toroidal nanocristalino NY, Apêndice B. Foram mais de 650 testes dentre estes 640 com dados uteis e outros 10 para verificação dos dispositivos usados no sistema e configuração das resoluções de escala dos equipamentos.

Observando as Figuras 17 e 18, nestas obtêm-se as potências colhidas pelos módulos NX e NY em função das cargas resistivas nas crescentes amplitudes de correntes. Foram realizados 320 testes para cada módulo coletor na finalidade de obtermos as informações disposta nas figuras, com um crescimento gradual padrão na corrente elétrica fornecida pelo varivolt.

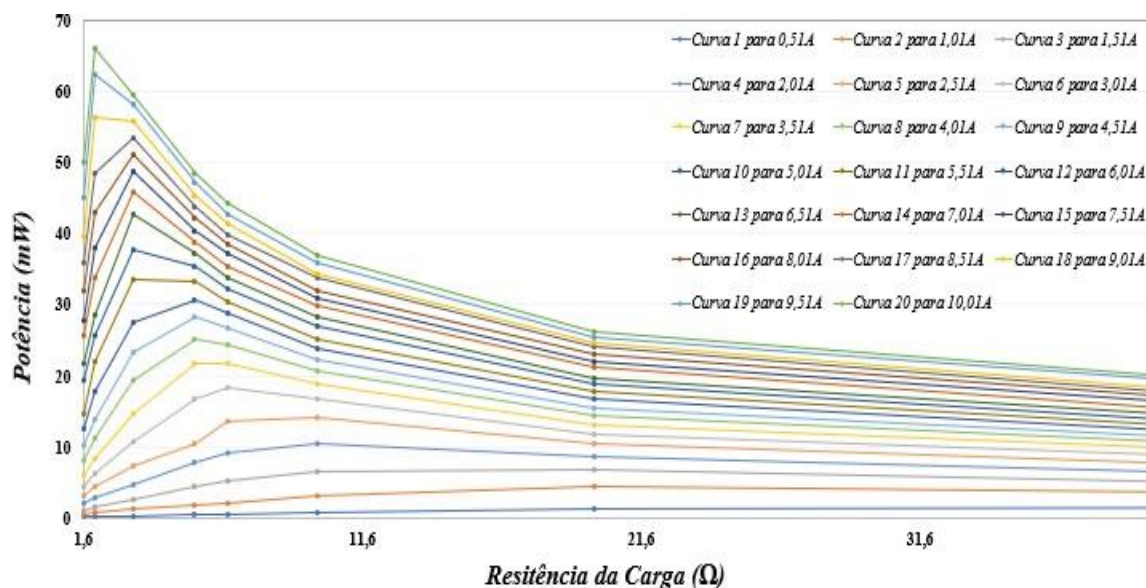
Figura 17 – Curva de Potência Módulo Coletor Toroidal NX.



Fonte: Autor (2021).

Na Figura 17, observa-se uma deformidade na curva de potência nos últimos seis testes, essa ocorreu devido a variação de tensão. Nos últimos seis testes, houve a troca do variavolt monofásico 220V/60Hz para um trifásico com tensão e frequência iguais, troca essa, devido a limitação de corrente elétrica (mencionado no item 3.3), pois o variavolt monofásico não suporta correntes acima de 7 A devido a sua potência nominal de 1,5 kVA.

Figura 18 – Curva de Potência Módulo Coletor Toroidal NY.



Fonte: Autor (2021).

Observando as Figuras 17 e 18, notamos que a faixa de carga resistiva altera-se conforme o crescimento da corrente elétrica e também tende a diminuir com esse crescimento.

Observa-se também as potências máximas colhidas com os módulos NX e NY, as amplitudes das potências são similares, ambas aproximadamente 66,1 mW, porém a quantidade de espiras é diferente entre os núcleos, pois o módulo NY tem 18 espiras a mais que o módulo NX.

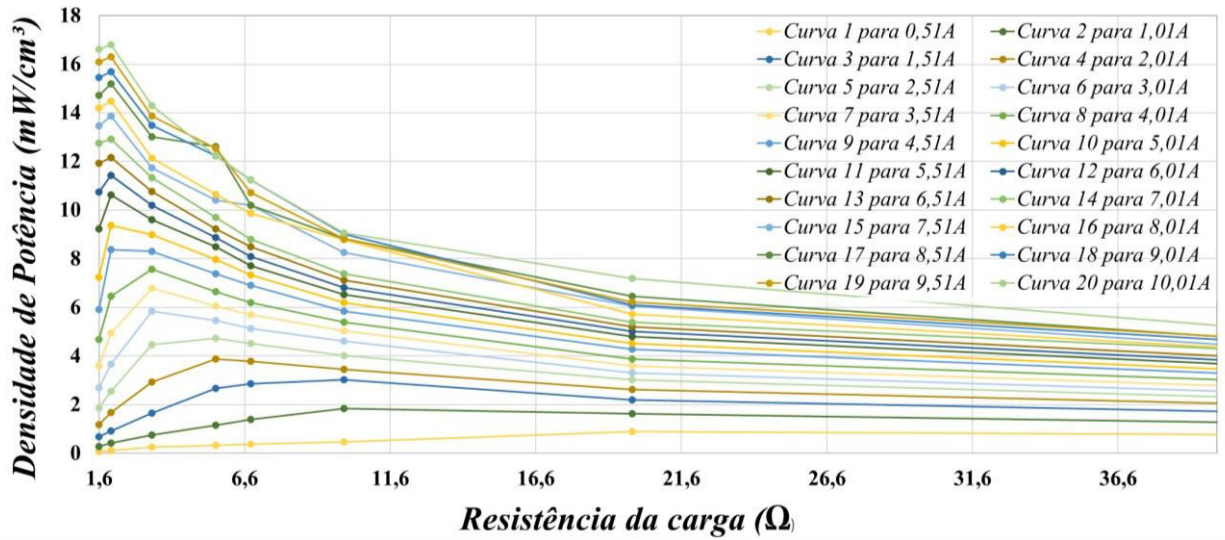
Tendo em vista uma faixa de valores mínimos de correntes elétricas para acoplagem dos módulos em um condutor ao qual podemos colher potências significativas, as faixas consideráveis de carga resistiva para os módulos, visando máximas potências, de acordo com os dados obtidos são; de 2 à 3,4 Ohms para as correntes de 4,51 à 5,51 A (Curva 9 a 11) e de 1,6 à 2 Ohms para as correntes entre 6,01 e 10,01 A (Curva 12 a 20), para o módulo coletor NX. Para o módulo coletor NY temos, 5,6 a 6,8 Ohms para as correntes de 4,51 e 5,01 A (Curvas 9 e 10), de 3,4 à 5,6 Ohms para correntes entre 5,51 e 7,51 A (Curvas 11 a 15) e de 2 à 3,4 Ohms para correntes entre 8,01 e 10,01 A (Curvas 16 a 20).

4.3 DENSIDADE DE POTÊNCIA

A densidade de potência desses módulos varia conforme suas dimensões físicas, o núcleo denominado NX, possui um volume de 3,93 cm³, já o núcleo denominado NY, 2,68 cm³. Em acordo com Moreira (2017), quanto maior a densidade de potência, maior a quantidade de energia coletada em um menor espaço/volume e isso de fato é importante para que todo o sistema do dispositivo, principalmente baterias, não sofram com falta de energia. Segundo Basagni et al (2013), as unidades de medidas encontradas na literatura para a densidade são geralmente W/cm² e W/cm³.

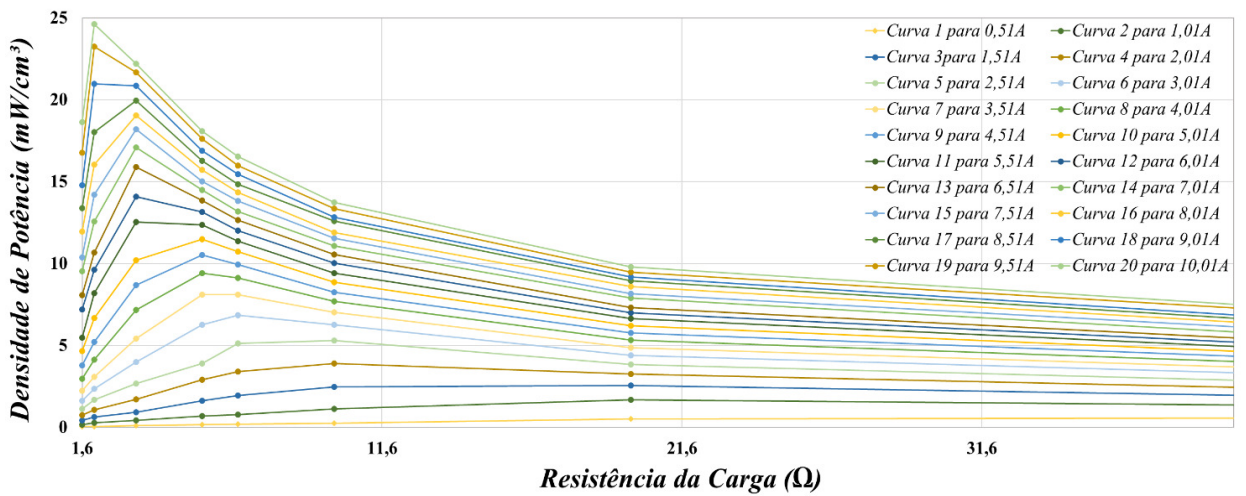
Observa-se as Figuras 19 e 20, nestas temos a densidade de potência dos módulos de colheita de energia em mW/cm³. Com os dados obtidos, visualizamos os pontos de maior densidade de potência, esses pontos são expressivos para núcleos de dimensões pequenas e são relevantes, pois uma das vantagens dos materiais nanocristalinos são a alta permeabilidade magnética.

Figura 19 – Densidade de Potência do Módulo Coletor Toroidal NX.



Fonte: Autor (2021).

Figura 20 – Densidade de Potência do Módulo Coletor Toroidal NY.



Fonte: Autor (2021).

Nas Figuras 19 e 20, também se observa a diferença entre as densidades de potência do módulo NX e NY, podemos visualizar a eficiência do módulo NY, com o menor volume, tendo a maior densidade de potência chegando a aproximadamente a 25mW/cm³, isso se torna relevante na utilização em nós sensores, pois com seu baixo volume e eficiência, minimiza os espaços ocupados no nó sensor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o avanço da tecnologia e crescimento exponencial dos dispositivos sem fios autônomos inteligentes, há a necessidade de obtermos formas de energias que viabilizem a instalação desses objetos proporcionando maior durabilidade em seu funcionamento.

Visando a aplicação do coletor de energia magnética em nós sensores com o objetivo de monitoramento de condições ambientais por meio das redes de sensores sem fio, o estudo do núcleo toroidal nanocristalino em colheita de energia de linhas de potência no intuito de captar o campo magnético induzido gerado, traz expectativas promissoras para uma nova tecnologia.

Os resultados obtidos são relevantes, a potência coletada apesar de ser mínima, tem capacidade de manter a integridade das baterias dos nós sensores, além de possibilitar a diminuição dos gastos com recursos humanos: alocação de equipe para realizar a troca das baterias, custos operacionais de execução da troca (materiais, veículos, etc), custos periódicos de aquisição de baterias para reposição/troca e redução do impacto ambiental na diminuição das mesmas. Também foi possível conhecer a faixa de resistência ao qual os módulos de colheita têm seu maior desempenho.

A densidade de potência dos núcleos é algo relevante, temos por base que um nó sensor precisa de elementos que possam minimizar diversos parâmetros, dentre estes, o peso, o volume e principalmente o desperdício de energia. Por meio da liga nanocristalina vemos a eficiência do núcleo NY em relação ao módulo NX, o que o torna promissor em RSSFs.

Devido a pandemia do Covid 19, acarretou problemas com vários outros testes, outros módulos de colheita nanocristalinos de diferentes tamanhos poderiam ser testados, juntamente com outros tipos de fios AWG e com uma maior quantidade de espiras. Diante dessas dificuldades, trabalhos posteriores poderiam seguir a linha de comparativos entre os módulos citados e outros novos módulos nanocristalino, com fios de diferentes diâmetros, amplitude de corrente elétrica maior no condutor principal, mantendo o aumento gradual padronizado, o desenvolvimento e utilização de um nó sensor compacto com circuito de gerenciamento desenvolvido para as características do módulo de colheita toroidal nanocristalino.

REFERÊNCIAS

AL-TURJMAN, F. **Wireless Sensor Networks: Deployment strategies for outdoor monitoring**. Nova York: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2018.

BASAGNI, S.; NADERI, M., Y.; PETRIOLI, C.; SPENZA, D. **Wireless sensor networks with energy harvesting**. In: BASAGNI, S. et al. (Ed.). *Mobile Ad Hoc Networking: Cutting Edge Directions*. Second edition. New Jersey, EUA: Wiley-IEEE Press, 2013, (IEEE Series on Digital & Mobile Communication). p. 703–728. ISBN 9781118087282.

BENHADDOU, D.; AL-FUQAHA, A. **Wireless Sensor and Mobile Ad-Hoc Networks: Vehicular and Space Applications**. Nova York: Springer Science+Business Media LLC, 2015.

BRIAND, D.; YEATMAN, E.; ROUNDY, S. **Micro Energy Harvesting**. Weinheim: Wiley-VCH, 2015.

ELHOSEN, M.; HASSANIEN, A. E. **Dynamic Wireless Sensor Networks; Hierarchical and Clustering WSN Models: Their Requirements for Complex Applications**. Vol 165. Cham, Suíça 2019. Springer Nature. Pag. 66, pdf 87.

FAHMY, H. M. A. **Wireless Sensor Networks: Concepts, Applications, Experimentation and Analysis**. [S.l]: Springer Science+Business Media Singapore Pte Ltd. 2016.

FORSTER, A. **Introduction to Wireless Sensor Networks**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016.

ITOH, G.; TASHIRO, K.; WAKIWAKA, H.; KUMADA, T.; OKISHIMA, K. **Prototype of magnetic energy harvesting device as a 3.3 V battery**. Universidade de Shinshu, Nagano, Japão, 2017.

KUILA, P.; JANA, P. K. **Clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Energy Efficient Approaches**. NW: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2018.

LEONTIADIS, I.; FERRANTI, E.; MASCOLO, C.; MCNAMARA, L.; PASZTOR, B.; TRIGONI, N.; WAHARTE, S. **Mobile Ad Hoc Networking; APPLICATION SCENARIOS**. 2013. Pag. 86. Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos. Hoboken, Nova Jersey.

MAGMATTEC. **Soluções em materiais magnéticos macios para as mais diversas aplicações**. Disponível em: < <https://www.magmattec.com.br/home> >. Acesso em: 21 fev. 2021.

MOREIRA, J. F. **Modelagem Não Linear de Núcleos Magnéticos Aplicada à Colheita de Energia por Indução**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, fev. 2017.

PATNAIK, S.; LI, X.; YANG, Y. **Recent Development in Wireless Sensor and Ad-hoc Networks**. India: Springer, 2015.

RAFIQUE, S. **Piezoelectric Vibration Energy Harvesting: Modeling & Experiments**. Cham: Springer Nature, 2018.

SANTOS, M. P. dos. **Sistema eletrônico energeticamente autônomo com colheita de energia por indução magnética**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, mar. 2015.

SHARMA, V.; PUGHAT, A. **Energy-Efficient Wireless Sensor Networks**. NW: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2018.

TAN, L.; TANG, X.; YANG, M.; WANG, H. **A Weighted Voronoi Diagram Based Self-deployment Algorithm for Heterogeneous Mobile Sensor Network in Three-Dimensional Space**. 2019. pp. 19–34. Universidade de Tecnologia e Negócios de Pequim, Pequim, China. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019.

VIEIRA, D. A.; SANTOS, M. P.; COSTA, A. C. F. M.; MEMBER, C. P. S. **Ni-Zn Ferrite Core Characterization for Magnetic-based Energy Harvesting Application.** [S.l.]: IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 9, pág. 4070 - 4075 set. 2016. Disponível em: <http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol14/vol14issue09Sept.2016/14TLA9_22AlbuquerqueVieira.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2018.

WÜRTH ELEKTRONIK. Grupo Würth Elektronik eiSos: **Componentes eletrônicos e eletromecânicos, placas de circuito impresso e sistemas inteligentes de energia e controle.** Disponível em: <https://www.weonline.de/katalog/en/pbs/WECMBNC?_ga=2.44002338.640291853.1619107382-1545736696.1619107228>. Acesso em: 18 abr. 2021.

ZHANG, D.; CHEN, Z.; ZHOU, H.; SHEN, X. (S). **Resource Management for Energy and Spectrum Harvesting Sensor Networks.** Cham: Springer Nature, 2017.

ZHUANG, Y.; XU, C.; YUAN, S.; HE, C.; CHEN, A.; LEE, W. W.; ZHOU, J.; HUANG, Y. **An Improved Energy Harvesting System on Power Transmission Lines.** Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade de Liverpool, Liverpool, Reino Unido e Escola de Ciência da Computação e Engenharia, Universidade de Tecnologia de Zhejiang, China, 2018.

Apêndice A – Dados do Módulo Coletor Toroidal Nanocristalino NX.

R(Ohms)	Ip_rms = 0,51 A		Ip_rms = 1,01 A		Ip_rms = 1,51 A		Ip_rms = 2,01 A		Ip_rms = 2,51 A		Ip_rms = 3,01 A		Ip_rms = 3,51 A		Ip_rms = 4,01 A		Ip_rms = 4,51 A		Ip_rms = 5,01 A	
	Vsec(mV)	P1(mW)	Vsec(mV)	P2(mW)	Vsec(mV)	P3(mW)	Vsec(mV)	P4(mW)	Vsec(mV)	P5(mW)	Vsec(mV)	P6(mW)	Vsec(mV)	P7(mW)	Vsec(mV)	P8(mW)	Vsec(mV)	P9(mW)	Vsec(mV)	P10(mW)
1,6	21,974	0,302	42,949	1,153	65,318	2,667	85,999	4,622	108,333	7,335	130,171	10,590	150,462	14,149	171,796	18,446	192,886	23,253	213,559	28,505
2	28,905	0,418	57,130	1,632	85,162	3,626	114,564	6,562	141,789	10,052	169,558	14,375	197,093	19,423	225,385	25,399	256,639	32,932	271,434	36,838
3,4	57,998	0,989	99,913	2,936	148,780	6,510	197,917	11,521	244,514	17,584	279,509	22,978	301,184	26,680	318,007	29,744	333,171	32,648	346,736	35,361
5,6	83,982	1,259	159,004	4,515	242,733	10,521	292,410	15,269	322,917	18,621	346,892	21,488	365,030	23,794	382,874	26,177	403,167	29,026	419,263	31,390
6,8	98,821	1,436	193,761	5,521	276,385	11,234	317,666	14,840	347,205	17,728	370,195	20,154	390,034	22,372	407,184	24,382	429,490	27,127	442,433	28,786
10	135,721	1,842	269,024	7,237	344,381	11,860	368,137	13,552	397,202	15,777	425,429	18,099	444,878	19,792	460,695	21,224	479,167	22,960	493,886	24,392
19,9	265,165	3,533	356,000	6,369	415,624	8,681	453,574	10,338	486,359	11,887	509,459	13,043	531,148	14,177	550,016	15,202	578,852	16,838	595,119	17,797
55,4	384,148	2,664	470,944	4,003	548,039	5,421	595,119	6,393	626,387	7,082	658,808	7,834	689,706	8,587	721,688	9,401	744,190	9,997	762,625	10,498
98,4	440,959	1,976	538,049	2,942	615,201	3,846	665,363	4,499	714,435	5,187	750,000	5,716	781,736	6,210	806,872	6,616	858,980	7,498	871,521	7,719
212,8	522,082	1,281	636,014	1,901	713,218	2,390	765,466	2,753	839,819	3,314	877,724	3,620	908,104	3,875	931,695	4,079	960,369	4,334	988,212	4,589
326,1	544,065	0,908	690,964	1,464	780,625	1,869	883,883	2,396	925,854	2,629	982,706	2,961	1021,000	3,197	1062,000	3,459	1088,000	3,630	1112,000	3,792
432,1	581,843	0,783	713,218	1,177	793,310	1,456	890,000	1,833	943,269	2,059	977,170	2,210	1026,000	2,436	1072,000	2,660	1117,000	2,888	1141,000	3,013
547,9	609,531	0,678	759,203	1,052	883,883	1,426	949,004	1,644	1021,000	1,903	1062,000	2,058	1112,000	2,257	1160,000	2,456	1197,000	2,615	1241,000	2,811
698,1	622,216	0,555	806,872	0,933	896,076	1,150	960,369	1,321	1026,000	1,508	1078,000	1,665	1127,000	1,819	1151,000	1,898	1188,000	2,022	1334,000	2,549
851,2	640,095	0,481	813,568	0,778	914,059	0,982	993,687	1,160	1052,000	1,300	1097,000	1,414	1132,000	1,505	1179,000	1,633	1334,000	2,091	1366,000	2,192
1000	662,749	0,439	865,273	0,749	960,369	0,922	1052,000	1,107	1102,000	1,214	1174,000	1,378	1224,000	1,498	1267,000	1,605	1413,000	1,997	1458,000	2,126

R(Ohms)	Ip_rms = 5,51 A		Ip_rms = 6,01 A		Ip_rms = 6,51 A		Ip_rms = 7,01 A		Ip_rms = 7,51 A		Ip_rms = 8,01 A		Ip_rms = 8,51 A		Ip_rms = 9,01 A		Ip_rms = 9,51 A		Ip_rms = 10,01 A	
	Vsec(mV)	P11(mW)	Vsec(mV)	P12(mW)	Vsec(mV)	P13(mW)	Vsec(mV)	P14(mW)	Vsec(mV)	P15(mW)	Vsec(mV)	P16(mW)	Vsec(mV)	P17(mW)	Vsec(mV)	P18(mW)	Vsec(mV)	P19(mW)	Vsec(mV)	P20(mW)
1,6	240,938	36,282	259,791	42,182	273,822	46,862	283,172	50,116	290,922	52,897	298,833	55,813	304,231	57,848	311,631	60,696	318,178	63,273	323,253	65,308
2	289,051	41,775	299,739	44,922	309,184	47,797	318,689	50,781	330,062	54,470	337,539	56,966	345,639	59,733	351,090	61,632	358,127	64,127	363,540	66,081
3,4	358,279	37,754	369,315	40,116	379,315	42,318	389,199	44,552	396,244	46,179	402,897	47,743	417,187	51,190	424,407	52,977	430,500	54,509	437,004	56,168
5,6	432,511	33,405	441,942	34,877	450,694	36,272	462,106	38,132	478,714	40,923	484,123	41,853	527,046	49,603	518,746	48,053	525,397	49,293	518,746	48,053
6,8	454,052	30,318	464,915	31,786	476,442	33,382	485,019	34,595	522,082	40,084	513,701	38,807	522,082	40,084	548,039	44,169	535,218	42,126	548,039	44,169
10	506,897	25,694	517,489	26,779	528,691	27,951	538,452	28,993	569,783	32,465	587,781	34,549	589,256	34,722	595,119	35,417	589,256	34,722	596,576	35,590
19,9	612,372	18,844	626,387	19,717	637,377	20,415	649,519	21,200	688,446	23,817	669,266	22,508	710,780	25,387	690,964	23,992	697,217	24,428	750,000	28,266
55,4	785,060	11,125	802,557	11,626	822,851	12,222	871,521	13,710	846,254	12,927	852,641	13,123	877,724	13,906	883,883	14,102	902,110	14,690	908,104	14,885
98,4	902,110	8,270	925,854	8,711	954,703	9,263	966,002	9,483	1102,000	12,342	1122,000	12,794	982,706	9,814	988,212	9,924	1010,000	10,367	1021,000	10,594
212,8	1005,000	4,746	1031,000	4,995	1067,000	5,350	1072,000	5,400	1102,000	5,707	1132,000	6,022	1146,000	6,172	1155,000	6,269	1169,000	6,422	1183,000	6,577
326,1	1160,000	4,126	1174,000	4,227	1210,000	4,490	1215,000	4,527	1267,000	4,923	1334,000	5,487	1366,000	5,722	1398,000	5,993	1413,000	6,123	1428,000	6,253
432,1	1169,000	3,163	1179,000	3,217	1197,000	3,316	1350,000	4,218	1366,000	4,318	1382,000	4,420	1413,000	4,621	1428,000	4,719	1458,000	4,920	1488,000	5,124
547,9	1259,000	2,893	1413,000	3,644	1458,000	3,880	1488,000	4,041	1428,000	3,722	1413,000	3,644	1382,000	3,486	1443,000	3,800	1473,000	3,960	1488,000	4,041
698,1	1334,000	2,549	1366,000	2,673	1382,000	2,736	1428,000	2,921	1443,000	2,983	1473,000	3,108	1488,000	3,172	1517,000	3,297	1559,000	3,482	1573,000	3,544
851,2	1398,000	2,296	1428,000	2,396	1443,000	2,446	1473,000	2,549	1517,000	2,704	1531,000	2,754	1545,000	2,804	1573,000	2,907	1627,000	3,110	1627,000	3,110
1000	1517,000	2,301	1531,000	2,344	1559,000	2,430	1600,000	2,560	1573,000	2,474	1614,000	2,605	1640,000	2,690	1667,000	2,779	1693,000	2,866	1705,000	2,907

Apêndice B – Dados do Módulo Coletor Toroidal Nanocristalino NY.

R(Ohms)	Ip_rms = 0,51 A		Ip_rms = 1,01 A		Ip_rms = 1,51 A		Ip_rms = 2,01 A		Ip_rms = 2,51 A		Ip_rms = 3,01 A		Ip_rms = 3,51 A		Ip_rms = 4,01 A		Ip_rms = 4,51 A		Ip_rms = 5,01 A	
	Vsec(mV)	P1(mW)	Vsec(mV)	P2(mW)	Vsec(mV)	P3(mW)	Vsec(mV)	P4(mW)	Vsec(mV)	P5(mW)	Vsec(mV)	P6(mW)	Vsec(mV)	P7(mW)	Vsec(mV)	P8(mW)	Vsec(mV)	P9(mW)	Vsec(mV)	P10(mW)
1,6	14,014	0,123	27,737	0,481	42,645	1,137	56,558	1,999	69,597	3,027	83,333	4,340	98,249	6,033	112,962	7,975	127,612	10,178	141,176	12,457
2	18,458	0,170	38,188	0,729	57,885	1,675	75,691	2,865	94,740	4,488	112,500	6,328	128,425	8,246	149,144	11,122	166,992	13,943	189,228	17,904
3,4	33,072	0,322	63,053	1,169	91,950	2,487	124,652	4,570	156,569	7,210	190,656	10,691	222,439	14,553	255,792	19,244	281,443	23,297	305,121	27,382
5,6	50,518	0,456	102,402	1,873	156,250	4,360	208,854	7,789	242,285	10,483	306,894	16,819	348,608	21,701	376,156	25,267	397,475	28,212	415,101	30,769
6,8	60,811	0,544	118,951	2,081	188,078	5,202	249,130	9,127	305,477	13,723	353,553	18,382	384,148	21,701	407,716	24,446	425,938	26,680	442,433	28,786
10	84,059	0,707	174,304	3,038	257,062	6,608	322,917	10,428	377,308	14,236	409,840	16,797	433,514	18,793	454,052	20,616	470,483	22,135	487,696	23,785
19,9	164,042	1,352	300,824	4,547	370,488	6,898	416,146	8,702	453,574	10,338	485,019	11,821	509,885	13,064	532,780	14,264	554,730	15,464	575,468	16,641
55,4	296,464	1,586	407,184	2,993	471,405	4,011	522,912	4,936	565,194	5,766	612,372	6,769	642,802	7,458	669,266	8,085	694,722	8,712	716,860	9,276
98,4	346,109	1,217	451,175	2,069	524,156	2,792	593,659	3,582	640,095	4,164	679,563	4,693	712,000	5,152	746,520	5,664	775,045	6,105	800,391	6,510
212,8	396,928	0,740	517,070	1,256	610,953	1,754	673,146	2,129	724,086	2,464	767,165	2,766	800,119	3,008	871,521	3,569	896,076	3,773	925,854	4,028
326,1	424,918	0,554	549,621	0,926	648,181	1,288	713,218	1,560	769,424	1,815	839,819	2,163	877,724	2,362	914,059	2,562	949,004	2,762	971,602	2,895
432,1	434,514	0,437	578,852	0,775	669,266	1,037	735,980	1,254	786,441	1,431	865,273	1,733	902,110	1,883	943,269	2,059	977,170	2,210	1005,000	2,337
547,9	447,796	0,366	598,029	0,653	685,920	0,859	793,310	1,149	846,254	1,307	890,000	1,446	937,500	1,604	971,602	1,723	999,132	1,822	1036,000	1,959
698,1	476,897	0,326	615,201	0,542	710,780	0,724	813,568	0,948	871,521	1,088	919,975	1,212	954,703	1,306	999,132	1,430	1031,000	1,523	1067,000	1,631
851,2	485,913	0,277	629,153	0,465	765,466	0,688	833,333	0,816	896,076	0,943	943,269	1,045	988,212	1,147	1026,000	1,237	1062,000	1,325	1102,000	1,427
1000	477,352	0,228	631,906	0,399	772,521	0,597	846,254	0,716	902,110	0,814	954,703	0,911	999,132	0,998	1036,000	1,073	1083,000	1,173	1122,000	1,259

R(Ohms)	Ip_rms = 5,51 A		Ip_rms = 6,01 A		Ip_rms = 6,51 A		Ip_rms = 7,01 A		Ip_rms = 7,51 A		Ip_rms = 8,01 A		Ip_rms = 8,51 A		Ip_rms = 9,01 A		Ip_rms = 9,51 A		Ip_rms = 10,01 A	
	Vsec(mV)	P11(mW)	Vsec(mV)	P12(mW)	Vsec(mV)	P13(mW)	Vsec(mV)	P14(mW)	Vsec(mV)	P15(mW)	Vsec(mV)	P16(mW)	Vsec(mV)	P17(mW)	Vsec(mV)	P18(mW)	Vsec(mV)	P19(mW)	Vsec(mV)	P20(mW)
1,6	153,206	14,670	175,854	19,328	186,048	21,634	202,255	25,567	210,921	27,805	226,548	32,077	239,583	35,875	251,730	39,605	268,217	44,963	282,789	49,981
2	209,631	21,973	227,026	25,770	239,130	28,592	259,582	33,691	275,993	38,086	293,151	42,969	310,934	48,340	335,281	56,207	352,939	62,283	363,242	65,972
3,4	337,860	33,573	358,430	37,786	380,743	42,637	394,735	45,828	407,184	48,764	416,667	51,062	426,448	53,488	436,009	55,913	444,390	58,083	449,730	59,487
5,6	431,003	33,172	444,390	35,265	455,960	37,125	466,313	38,830	474,616	40,225	485,913	42,163	494,325	43,635	503,460	45,263	514,123	47,200	520,833	48,441
6,8	455,484	30,510	467,707	32,169	480,072	33,893	490,358	35,360	502,165	37,084	511,160	38,424	519,999	39,765	530,739	41,424	539,660	42,828	549,226	44,360
10	502,597	25,260	518,327	26,866	531,964	28,299	545,261	29,731	556,683	30,990	564,810	31,901	581,097	33,767	586,672	34,418	598,392	35,807	607,033	36,849
19,9	594,754	17,775	610,953	18,757	625,000	19,629	649,519	21,200	660,124	21,898	677,003	23,032	690,964	23,992	699,702	24,602	710,780	25,387	722,890	26,260
55,4	734,800	9,746	754,615	10,279	776,164	10,874	793,857	11,376	827,060	12,347	841,625	12,786	853,913	13,162	871,023	13,695	914,059	15,081	925,854	15,473
98,4	824,958	6,916	846,254	7,278	890,000	8,050	908,104	8,381	925,854	8,711	949,004	9,153	960,369	9,373	977,170	9,704	988,212	9,924	993,687	10,035
212,8	954,703	4,283	982,706	4,538	1005,000	4,746	1021,000	4,899	1042,000	5,102	1057,000	5,250	1067,000	5,350	1088,000	5,563	1112,000	5,811	1127,000	5,969
326,1	1005,000	3,097	1026,000	3,228	1052,000	3,394	1072,000	3,524	1102,000	3,724	1122,000	3,860	1146,000	4,027	1160,000	4,126	1179,000	4,263	1197,000	4,394
432,1	1042,000	2,513	1067,000	2,635	1093,000	2,765	1127,000	2,939	1146,000	3,039	1169,000	3,163	1188,000	3,266	1215,000	3,416	1237,000	3,541	1250,000	3,616
547,9	1067,000	2,078	1093,000	2,180	1127,000	2,318	1151,000	2,418	1179,000	2,537	1201,000	2,633	1228,000	2,752	1246,000	2,834	1272,000	2,953	1293,000	3,051
698,1	1097,000	1,724	1146,000	1,881	1165,000	1,944	1192,000	2,035	1224,000	2,146	1254,000	2,253	1382,000	2,736	1398,000	2,800	1413,000	2,860	1428,000	2,921
851,2	1136,000	1,516	1165,000	1,594	1197,000	1,683	1219,000	1,746	1250,000	1,836	1382,000	2,244	1398,000	2,296	1443,000	2,446	1458,000	2,497	1473,000	2,549
1000	1151,000	1,325	1188,000	1,411	1215,000	1,476	1250,000	1,563	1398,000	1,954	1413,000	1,997	1443,000	2,082	1443,000	2,082	1458,000	2,126	1502,000	2,256

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de Conclusão de Curso com FC e Correções da Banca

Assunto: Trabalho de Conclusão de Curso com FC e Correções da Banca
Assinado por: Jailton Ferreira
Tipo do Documento: Dissertação
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Documento Original

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jailton Ferreira Moreira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - CAIND-CZ**, em 07/10/2021 11:24:38.

Este documento foi armazenado no SUAP em 07/10/2021. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 341335

Código de Autenticação: 1ed7f4f741

