



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BEATRIZ GOMES SANTOS MARINHO
THIANA TILLER RILQUIAS GOMES

SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES UTILIZADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO
ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO DA ENERGISA TOCANTINS

PALMAS - TO
2023

BEATRIZ GOMES SANTOS MARINHO

THIANA TILLER RILQUIAS GOMES

**SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES UTILIZADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO
ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO DA ENERGISA TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Engenheiro(a)
Eletricista do Curso de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal do
Tocantins, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Dr. Márcio Augusto Tamashiro.

PALMAS - TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

M337s Marinho, Beatriz Gomes Santos
 SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES UTILIZADOS EM
 REDES DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO DA
 ENERGISA TOCANTINS / Beatriz Gomes Santos Marinho, Thiana
 Tiller Rilíquias Gomes. – Palmas, TO, 2023.
 64 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Márcio Augusto Tamashiro

1. Sistemas e meios de comunicação. 2. Telecomunicações. 3.
Automação de sistemas elétricos. I. Gomes, Thiana Tiller Rilíquias. II.
Tamashiro, Márcio Augusto III. . . IV. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

BEATRIZ GOMES SANTOS MARINHO

THIANA TILLER RILQUIAS GOMES

**SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES UTILIZADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO
ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO DA ENERGISA TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Engenheiro(a)
Eletricista do Curso de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal do
Tocantins, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Dr. Márcio Augusto Tamashiro.

Aprovado em: 19/06/23

BANCA EXAMINADORA



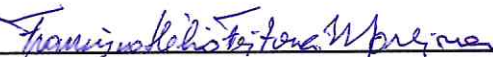
Prof. Dr. Márcio Augusto Tamashiro

Orientador



Prof. Dr. Kaison Teodoro de Souza

Membro da banca



Prof. Dr. Francisco Hélio Feitosa Moreira

Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus pelas nossas vidas e por nos ajudar a vencer todas as barreiras encontradas ao longo desta jornada.

Aos nossos familiares: Regina, Rosana, Janaína, Otoniel, Yasmim, Carlos Átila pela paciência, compreensão e incentivo neste período longo e turbulento.

Aos nossos parceiros de vida: Hadailton e Aristóteles Jr por andar conosco e nos apoiarem em todos momentos.

Agradecemos a Energisa pela experiência engrandecedora. A toda equipe DMSL e em especial ao Werneck Lebre Dias, pelas informações cedidas e pelo período de estágio repleto de oportunidades de aprendizagem e desenvolvimento que tanto contribuiu para as profissionais e pessoas que somos hoje. Agradecemos a equipe de telecom: a engenheira Karol Dias Medeiros, John Paul Albino Lopes e Galttierre Barreira Lustosa pelos conhecimentos compartilhados e o esforço em conjunto para um mesmo objetivo.

Agradeço a minha equipe de trabalho pela compreensão, paciência e colaboração em especial ao meu gestor André Massaru Murakami e minhas amigas de trabalho: Thaynara, Hyzhabel, Haika, Denise, Marilane, Carulline e Amanda.

Aos nossos amigos: Bernardo, Bruno, Iago, Isaías, Janaina, Jhones, Thiago, Esmeralda, Ezequiel, Matheus Ávilla, Ana Cristina, Áurea, Maelly e as meninas da célula Dunamis.

Agradecemos ao professor Márcio Augusto Tamashiro pela dedicação, orientação, paciência e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho. Aos membros da banca Kaison Teodoro Souza e Francisco Hélio Feitosa Moreira pela disponibilidade e pelas grandes contribuições para este trabalho.

A nossa parceria, que sem ela este trabalho teria sido mais difícil, triste e solitário. Agradecemos por tantas risadas em meio as madrugadas que passamos juntas acordadas, aos surtos quando não sabíamos o que fazer, a parceria e apoio indescritível e, principalmente, por não termos desistido quando pensamos inúmeras vezes na hipótese.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte das nossas formações, o nosso muito obrigada!

RESUMO

Garantir o fornecimento eficiente de energia elétrica é fundamental no mundo moderno, sendo uma das principais preocupações das concessionárias de energia. Deste modo, a automação é uma ferramenta importante para proteger, controlar e supervisionar sistemas elétricos por meio do uso de dispositivos telecomandados que possibilitam a reconfiguração automática do sistema em caso de alteração das condições de operação. Do ponto de vista regulatório, os indicadores de qualidade, definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estimam os padrões de qualidade na prestação do serviço e condicionam a manutenção dos contratos de concessão do serviço público de distribuição de energia elétrica. Assim, para que toda essa tecnologia funcione em condições adequadas é necessário um sistema e meios de comunicações confiáveis a fim de garantir a operabilidade da automação, o monitoramento e a manutenção do sistema elétrico de potência. Por conseguinte, este trabalho reuniu estudos comparativos e abordagens com o propósito de comparar os sistemas de telecomunicações presentes na planta da concessionária Energisa Tocantins, enfatizando o funcionamento, vantagens e limitações de tais sistemas.

Palavras Chave: sistemas e meios de comunicação. qualidade de energia. automação de sistemas elétricos.

ABSTRACT

Ensuring efficient electricity supply is fundamental in the modern world, being one of the main concerns of power utilities. Thus, automation is an important tool for protecting, controlling, and supervising electrical systems through the use of remote-controlled devices that enable automatic reconfiguration of the system in case of operational changes. From a regulatory standpoint, the quality indicators, defined by the National Agency of Electric Power (ANEEL), establish the standards for service quality and are conditional for maintaining the concession contracts of public electricity distribution services. Therefore, in order for all this technology to function under suitable conditions, a reliable system and means of communication are necessary to ensure the operability of automation, monitoring, and maintenance of the power system. Consequently, this work gathered comparative studies and approaches with the purpose of comparing the telecommunication systems present in the Energisa Tocantins utility plant, emphasizing their functionality, advantages, and limitations.

Keywords: systems and means of communication. power quality. automation of electrical systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro de frequência	21
Figura 2 - Representação simplificada de um enlace satelital.....	22
Figura 3 - Tipos de órbita	23
Figura 4 - Mapa de enlace do backbone aviat estabelecido no Tocantins	31
Figura 5 - Composição estrutural de uma fibra convencional sílica	33
Figura 6 - Sistema genérico de comunicação óptica	33
Figura 7 - Modos de propagação do fluxo no interior do cabo	34
Figura 8 - Seção reta do cabo OPGW.....	37
Figura 9 - Localização do OPGW nas linhas de transmissão.....	38
Figura 10 - Localização das repetidoras no Estado do Tocantins	40
Figura 11 - Religador e Regulador de tensão.....	41
Figura 12 - DMSL em Palmas/TO	43
Figura 13 - Determinação de Causas.....	45
Figura 14 - Número de ocorrência por causa	46
Figura 15 - Número de ocorrências por região	47
Figura 16 - DEC e FEC por região	47
Figura 17 - DEC e FEC por comunicação	48
Figura 18 - Número de ocorrência por comunicação	48
Figura 19 - DEC e FEC por comunicação da região norte	50
Figura 20 - Número ocorrências por comunicação da região norte.....	50
Figura 21 - IDU.....	51
Figura 22 - ODU	51
Figura 23 - Antena de telecomunicação	53
Figura 24 - Relevo do estado do Tocantins.....	54
Figura 25 - Cisco ASR920.....	55
Figura 26 - Expansão do <i>backbone</i> no Tocantins	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de frequência de subida e descida em telecomunicações satelitais.	25
Tabela 2 - Faixas de atuação	28
Tabela 3 - Distribuição dos sistemas e meios de comunicação do Estado do Tocantins	42
Tabela 4 - Média de valores dos componentes.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CLP – Controlador Lógico Programável

COI – Centro de Operação Integrado

DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

DMSL – Departamento de manutenção e subestações e Linhas

ETO – Energisa Tocantins

EUA – Estados Unidos da América

FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

GEO – *Geosynchronous Earth Orbit*

IDU - Unidade Interna Ultracompacta

IED – *Intelligent Eletronic Devices*

LAN – *Local Area Network*

LD – Laser

LED – Diodo Emissor de Luz

LT – Linha de transmissão

LTC – *Load Tap Changer*

ODU - Unidade Exterior Universal

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

OPGW – *Optical Ground Wire*

RX – Receptor

SCADA – sistemas de controle, supervisão e aquisição de dados

SE – Subestação

SEP – Sistema Elétrico de Potência

TC – Transformador de corrente

TCC – Trabalho de conclusão de curso

TP – Transformador de potencial

TX – Transmissor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Considerações Gerais	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos Gerais.....	15
1.4	Objetivos Específicos	15
1.5	Estrutura do Trabalho.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Evolução do Sistema de Automação e Comunicação	17
2.2	Impacto da Comunicação em um Sistema Elétrico de Potência (SEP)....	18
2.3	Sistemas de Telecomunicação	20
2.3.1	Satélite	20
2.3.1.1	Funcionamento básico do sistema	21
2.3.1.2	Órbitas.....	22
2.3.1.3	Tipos de satélites	24
2.3.1.4	Bandas de operação	24
2.3.1.5	Vantagens e desvantagens	25
2.3.2	Comunicação via rádio	26
2.3.2.1	Funcionamento.....	27
2.3.2.2	Vantagens e desvantagens	29
2.3.3	Backbone	30
2.3.3.1	Backbone no Tocantins	30
2.3.3.2	Vantagens e desvantagens	32
2.4	Meios De Comunicação	32
2.4.1	Fibra óptica.....	32
2.4.1.1	Modos de propagação.....	34
2.4.1.2	Utilização da fibra óptica nos sistemas de comunicação	35

2.4.1.3	Vantagens e desvantagens	35
2.4.2	<i>OPTICAL GROUND WIRE (OPGW)</i>	36
2.4.2.1	Vantagens e desvantagens	38
2.5	Arquiteturas e Características Básicas do Sistema Adotado pela Energisa Tocantins.....	39
3	ESTUDO DE CASO	43
3.1	Apresentação do Departamento de Manutenção de Subestação e Linhas – DMSL.....	43
3.2	Levantamento de Dados.....	44
3.3	Escolha da Região	46
3.4	Escolha Do Sistema De Comunicação.....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1	Comparação <i>Backbone</i> e Satélite.....	49
4.2	Instabilidades De Comunicação Na Região Norte	53
4.3	Ações Mitigatórias	55
4.4	Custos.....	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	60
	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

A eletricidade é um insumo essencial para o funcionamento da sociedade atual. Para que os consumidores tenham energia disponível quando ligam um interruptor ou um aparelho elétrico na tomada é necessário que um vasto aparato – composto por centenas de centrais geradoras, linhas de transmissão, subestações, linhas e transformadores de distribuição – esteja apropriado para operar de forma coordenada. (DE SOUSA, 2018).

Assim, a continuidade do fornecimento é o fator determinante na qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica. Desta forma, para uma melhor eficiência operacional e confiabilidade do sistema, as distribuidoras têm investido massivamente em dispositivos telecomandados capazes de seccionar trechos afetados por faltas e ainda restaurar trechos saudáveis da rede garantindo uma maior agilidade e confiabilidade na operação do sistema (HARTWRIGHT, COFFEY, 1995).

Outro fator preponderante para o foco dos investimentos por parte das concessionárias são os indicadores de qualidade como Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora - DEC e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora - FEC, estabelecidos pelos órgãos reguladores, sendo cada vez mais restritos. Com isso, um dos principais desafios das distribuidoras é a procura por respostas que amplie a eficiência de entrega do serviço ao consumidor, dado que tais indicadores são condicionantes para a manutenção dos contratos de concessão do serviço público de distribuição de energia elétrica.

Diante dessas perspectivas, um dos pilares para o funcionamento do sistema de automação e seu monitoramento pelas distribuidoras é um sistema de telecomunicação adequado para a realização de manobras e transferências de carga de maneira a garantir a continuidade do fornecimento em níveis aceitáveis.

A partir disso, surge a necessidade de análises e estudos para o investimento adequado, por parte da concessionária, em um sistema de telecomunicação robusto em termos técnicos e econômico-financeiros, considerando os custos de operação e manutenção a fim de proporcionar uma operação de melhor qualidade do sistema de

automação e monitoramento do sistema elétrico.

1.2 Justificativa

Segundo relatos da distribuidora Energisa Tocantins (ETO), há um forte indício de que em momentos de contingenciamento, as realizações de manobras estão sendo prejudicadas pela constante falha no sistema de comunicação, consequentemente aumentando o DEC e FEC da empresa.

Desta forma, a fim de criar condições para que o fornecimento de energia seja ininterrupto e a concessionária consiga cumprir com indicadores como DEC e FEC, surge a necessidade de análises e estudos para investimento adequado em um sistema de telecomunicação robusto em termos econômico-financeiro considerando os custos de operação e manutenção a fim de proporcionar a operabilidade da automação e monitoramento do sistema elétrico.

Assim, este trabalho tem como foco apresentar um estudo dos sistemas de telecomunicações já instalados nas regiões de atuação da concessionária Energisa Tocantins, realizando um comparativo de desempenho entre eles, enfatizando as suas vantagens e desvantagens a fim de indicar possíveis instalações inadequadas.

1.3 Objetivos Gerais

Este trabalho tem por objetivo principal comparar os sistemas de telecomunicações existentes na planta da concessionária Energisa Tocantins, verificando a viabilidade técnica e econômica da tecnologia de comunicação vigente, bem como os seus impactos tanto no sistema de automação e monitoramento da rede como nos indicadores de continuidade da distribuidora em questão.

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar o levantamento dos principais sistemas de telecomunicações instalados na distribuidora Energisa Tocantins;
- Realizar a análise comparativa dos dois sistemas mais utilizados na ETO;

- Estimar a viabilidade técnica e econômica dos dois sistemas comparados vigentes na concessionária;
- Exibir limitações da utilização dos sistemas comparados de telecomunicação em determinada região de atuação da ETO.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em 5 capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a introdução, sendo constituída por considerações gerais e justificativa. O segundo capítulo, fundamentação teórica, é dividido em 4 grandes subcapítulos, sendo eles: impacto da comunicação no SEP; Sistemas de comunicação; Meios de comunicações e Arquitetura e características do sistema adotado - Energisa Tocantins, com o objetivo de trazer e analisar a literatura existente sobre o tema, explicando seus conceitos e definições. Também é propósito deste capítulo mapear os sistemas e meios de comunicação presentes na concessionária de estudo.

O terceiro capítulo, estudo de caso, é dividido em 4 subcapítulos apresentado informações sobre o local de estudo e os dados que foram levantados para a realização deste trabalho. Já no quarto foi demonstrado os resultados das análises realizadas a partir das amostras coletadas.

No quinto capítulo são trazidas as considerações finais sobre o trabalho além de possuir, logo após, um tópico não numerado como capítulo em que estão contidas as referências bibliográficas organizadas em ordem alfabética.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução do Sistema de Automação e Comunicação

Os avanços da microeletrônica na década de 1970 fez com que novas tecnologias fossem amplamente difundidas. Segundo Lastres (1999) o microprocessador é o fator-chave para o novo conjunto interligado de inovações em computação eletrônica, engenharia de software, sistemas de controle, circuitos integrados e telecomunicações.

Nesse contexto, o setor elétrico também passou por mudanças. Durante o mesmo período, começou a ser introduzido o Controlador Lógico Programável - CLP, que permitia o controle e a supervisão de processos de forma programável e flexível. Essa nova tecnologia substituiu os sistemas de controle que eram baseados em relés e painéis elétricos tradicionais.

Pode-se dizer que o setor elétrico foi marcado por duas evoluções. A primeira estando voltada para um sistema de automação baseado em relés eletromecânicos interligados com muitos cabos, onde os operadores observavam instrumentos analógicos, lâmpadas e faziam o controle manualmente, aumentando e diminuindo tensões e correntes, abrindo e fechando disjuntores e válvulas através de chaves e botoeiras eletromecânicas. Essa realidade foi alterada com o advento dos microprocessadores, que tornaram os circuitos lógicos programáveis e mais simples. A segunda evolução está ligada a rede de comunicação aplicada na planta do setor elétrico. Essa evolução se deu com o aprimoramento e uso das redes de dados, primeiro foram instaladas redes no nível de estação para supervisão e controle do processo, usando os computadores. Depois as redes chegaram ao nível da unidade e de processo, integrando a aquisição de dados e a atuação. Junto desta evolução surge a utilização do Sistema de Aquisição de Dados e Controle Supervisório (*Supervisory Control and Data Acquisition* - SCADA) que fez com que as concessionárias olhassem para o aprimoramento dos sistemas de comunicação presentes nas empresas.

A partir da década de 1960, as concessionárias de energia já utilizavam sistemas de telecomunicação com o uso de linhas telefônicas convencionais para comunicação entre as centrais elétricas e os pontos de distribuição. Posteriormente, em 1970, a utilização de sistemas de rádio foi integrada à comunicação do setor elétrico, permitindo

a transmissão de informações sem fio entre as estações de geração, subestações e pontos de distribuição. Nas décadas de 1980 e 1990, com o avanço e a redução de custos das tecnologias embarcadas, surgiu a necessidade de transmitir grandes volumes de dados em alta velocidade, o que impulsionou o uso de fibras óticas.

Atualmente, a grande evolução presente no setor elétrico é a inserção da *Smart Grid*, termo mencionado pela primeira vez em um artigo chamado "*Toward a Smart Grid*", publicado em 2005 na revista Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE, escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg (AMIN; WOLLENBERG, 2005). Até o momento, muitas foram as definições para este termo, mas todas elas têm em sua essência a aplicação de novas tecnologias digitais e de comunicação nas redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, com o objetivo de ampliar o nível de controle e operação dos agentes responsáveis, através de uma série de dados enviados em tempo real aos mesmos (BRASIL, 2010).

2.2 Impacto da Comunicação em um Sistema Elétrico de Potência (SEP)

A automação e monitoramento real dentro da indústria está cada vez mais presente, sobretudo em processos mais complexos e de grande impacto comercial, mas essa tecnologia está se expandindo para todas as áreas e dentro do sistema elétrico de potência não é diferente. Nos últimos tempos tem se visto os processos de distribuição, medição, proteção e monitoramento cada vez mais modernos.

Desta forma, surgiu a inserção do conceito de redes inteligentes no sistema de potência, com a convergência da infraestrutura da geração até a distribuição, com a infraestrutura de comunicações digitais e processamento de dados (JUNIOR, ZIMMER, 2014).

Inicialmente, a tecnologia de redes inteligentes era voltada basicamente para atividades operacionais e suporte para as atividades de manutenção e de engenharia. Posteriormente, com o passar do tempo, o controle remoto e o supervisionamento em tempo real ganhou mais força e espaço para mudar esse cenário.

As grandes motivações, para essa inserção dentro do setor elétrico, são indicadores de qualidade e continuidade cada vez mais restritos por parte dos órgãos reguladores e consumidores mais exigentes, o que requer uma infraestrutura que atenda

aos requisitos de confiabilidade e eficiência. Por esse motivo, foi fundamental investir na automação e telecomunicações dos sistemas elétricos.

Fazendo uma cronologia geral da necessidade da automação, inicialmente os operadores almejavam apenas supervisionar e controlar. Com o tempo, tornou-se necessário o gerenciamento de alarmes e controle avançado. Posteriormente, houve também a necessidade de documentar a produção e de ter uma interface com os sistemas administrativos e gerenciais. E por fim, a evolução com relação a comunicação nos sistemas através do uso de redes de dados (FONSECA MENDES e ANTONIO JARDINI, 2009). Deste modo, a partir dessa última evolução foi possível realizar a integração dos equipamentos inteligentes instalados em campo com os centros de controle e supervisionamento remotos das concessionárias.

Conforme Falcão (2010), para a implantação das redes inteligentes é necessário a elaboração de procedimentos importantes como a implantação da infraestrutura de dispositivos inteligentes, equipamentos de comunicações, sistemas de integração que possibilitam a interoperabilidade, disponibilização de ferramentas analíticas e por fim a otimização operativa.

Trazendo para a realidade da concessionária Energisa Tocantins, alguns sistemas e equipamentos são integrados nesta infraestrutura, possibilitando o funcionamento dessas redes inteligentes, como o *SCADA* e *ELIPSE GATEWAY* que são sistemas e *softwares* complementares que servem para acompanhar os processos, configurar, armazenar dados e disponibilizar recursos para realizar manobras tanto locais como remotas. Além de coletar os dados, o sistema supervisor também permite a visualização e supervisão dessas informações.

Além disso, tem-se inserido na planta da concessionária equipamentos inteligentes, como *Intelligent Electronic Devices* - IEDs, religadores automáticos, disjuntores, chaves seccionadoras, sensores de indicadores de corrente de falta, TCs e TPs nas subestações e ao longo dos ramais de alimentação que permitem o aumento da confiabilidade da transmissão e distribuição da energia. E como consequência a concessionária identifica os locais em que houve queda de energia com maior rapidez e eficiência, e os consumidores ficam o menor tempo possível sem energia elétrica.

Deste modo, soluções em telecomunicações são fundamentais na implantação e

desempenho dos sistemas de equipamentos inteligentes e automatização do SEP que impactam diretamente no sucesso ou fracasso do seu funcionamento. Independentemente da tecnologia utilizada, é primordial um sistema de telecomunicação robusto com alta confiabilidade para que os equipamentos supracitados que compõem a malha da concessionária consigam se comunicar com os dispositivos de controle, e estes por sua vez com o sistema SCADA para uma atuação assertiva do Centro de Operação Integrado - COI (MOREIRA, 2014).

2.3 Sistemas de Telecomunicação

Existem vários tipos de sistemas de telecomunicação, cada um com suas características e finalidades. Esses sistemas são classificados em: redes cabeadas que utilizam cabos físicos para transmitir informações de comunicação, por exemplo: ethernet, telefonia, fibra óptica e carrier. E redes não cabeadas também conhecidos como sistemas de telecomunicações sem fio que não dependem de cabos físicos para transmitir sinais de telecomunicação, são exemplos dessa tecnologia: rádio, celular, satélite e wi-fi. A seguir, serão detalhados os sistemas e meios de comunicação mais utilizados pelas concessionárias de energia e presente na planta da Energisa Tocantins.

2.3.1 Satélite

Dentro do sistema elétrico de potência, as concessionárias de transmissão e distribuição de energia elétrica têm aumentado, com o decorrer do tempo, o investimento no segmento de telecomunicação, no intuito de buscar soluções mais amplas para a implantação de uma rede mais confiável em suas áreas de concessão.

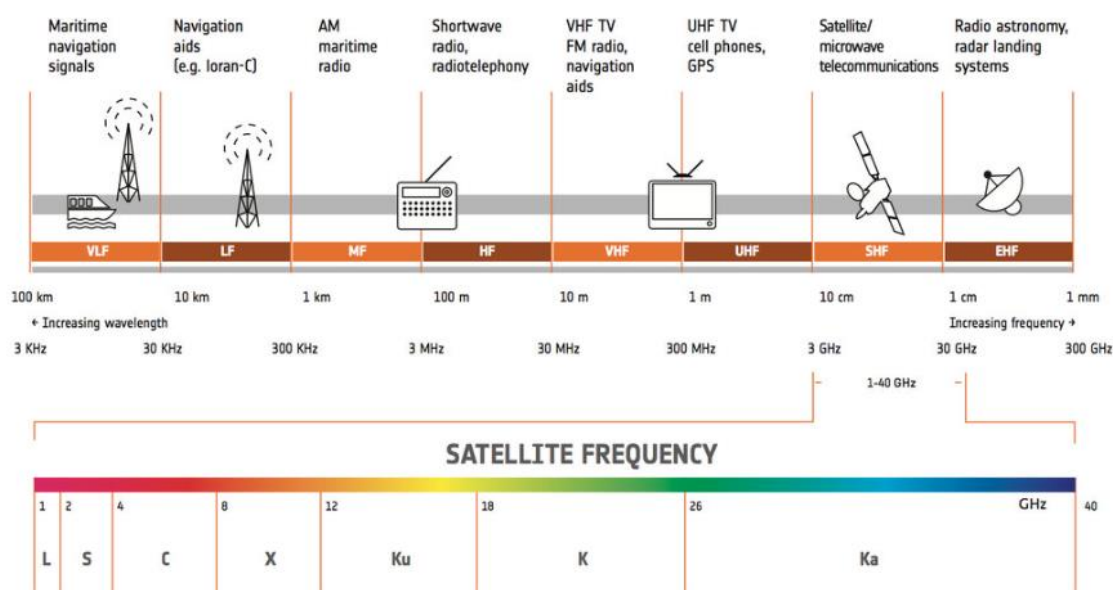
Nesta perspectiva, surge a necessidade de canais de telecomunicações confiáveis e disponíveis que assegurem uma conectividade de alto desempenho e o adequado trânsito de informações entre os participantes do sistema. Diante dessa conjuntura a tecnologia de comunicações por satélite desempenha um importante papel na estrutura do sistema de comunicação da ETO visto que estado do Tocantins apresenta uma geografia territorial extensa o que torna esta tecnologia mais atrativa para a comunicação dentro do sistema de potência.

No Brasil, o agente principal do estado, a Agência Nacional de Telecomunicações

- ANATEL, exerce o controle e concede o direito de utilização de faixas de frequências para as empresas da área que desejam oferecer serviços de telecomunicações para diversas aplicações no mercado.

A ANATEL definiu as distâncias e potências de cada faixa de frequência, como pode ser observado na figura 1, sendo que cada sistema trabalha dentro de uma faixa de frequência pré-estabelecida, utilizando como referência as frequências dos raios gama, de Micro-ondas, os raios X, e os infravermelhos.

Figura 1 - Espectro de frequência



Fonte: ESA (2022)

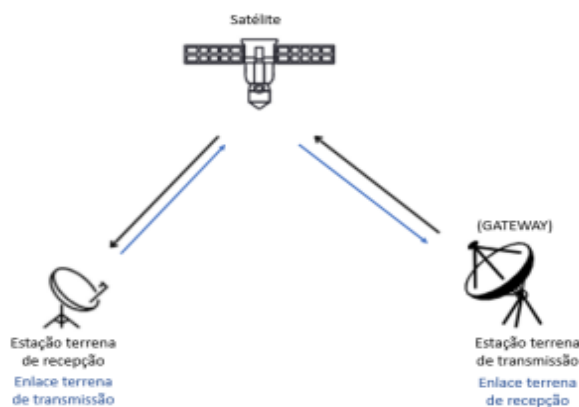
2.3.1.1 Funcionamento básico do sistema

Para estabelecer uma conexão entre um ponto satelital e um geográfico, são indispensáveis a aplicação, de forma correta, de equipamentos e frequência.

Na imagem a seguir, pode-se observar uma representação simplificada de como é formado um enlace de satélites. Onde se nota que o enlace depende das estações terrenas, no qual o sinal é transmitido na direção do satélite, e posteriormente é recebido quando o sinal é enviado de volta para a Terra. Esses dois eventos são conhecidos como enlace de subida ou *uplink* e enlace de descida ou *downlink* respectivamente. Aplicações como radiodifusão operam em um único sentido, onde se tem uma estação transmissora,

a qual envia a informação ao satélite e este reenvia para as estações receptoras.

Figura 2 - Representação simplificada de um enlace satelital



Fonte: Macieira (2022)

Contudo, existem aplicações, como transmissão de dados em banda larga em que ora a comunicação se dá numa direção, ora em outra, como pode ser visto na Figura 2, que exemplifica um esquema de comunicação via satélite com um enlace de retorno, permitindo que a estação remota também possa transmitir e receber o sinal.

A unidade responsável pela retransmissão do sinal é conhecida como transponder, que são dispositivos que operam em diferentes faixas de frequências e processam o sinal recebido da Terra utilizando filtros passa-faixas e amplificadores de potência (possivelmente regenerando o sinal), para após isto enviá-lo à Terra. O transponder pode ser utilizado em diferentes larguras de banda, sendo esta característica definida na construção do satélite, bem como em qual banda de frequências irá operar.

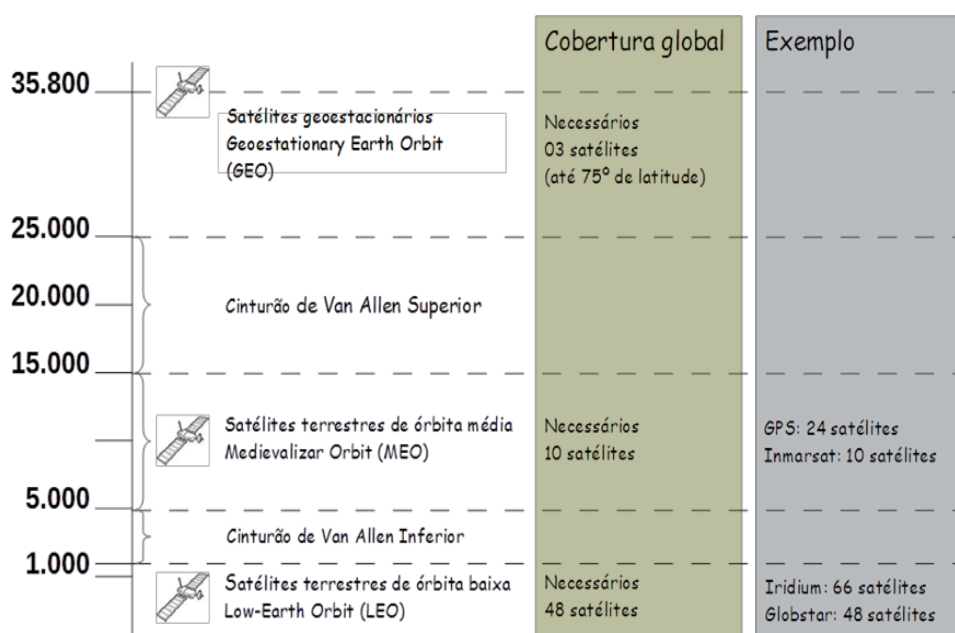
2.3.1.2 Órbitas

Atualmente, existem dois cinturões de Van Allen na órbita, o superior e o inferior, que possuem partículas altamente carregadas que são aprisionadas pelo campo magnético da Terra. Um satélite que orbita nessas áreas seria rapidamente destruído (TANENBAUM, 2003).

Em decorrência dessas camadas, os satélites possuem quatro regiões que os mesmos podem ocupar na órbita do nosso planeta, sendo elas: *Low Earth Orbit*, *Medium*

Earth Orbit, *Highly Elliptical Orbit* e por fim a órbita *Geosynchronous Earth Orbit* (GEO) que apresenta uma distância típica de 35.786 km e são geralmente utilizadas para orbitar satélites geoestacionários, frequentemente presentes em sistemas de comunicações dos equipamentos inseridos nas concessionárias elétricas. Uma peculiaridade dessa órbita em relação às demais é que ela permite que os satélites permaneçam parados relativamente à superfície da Terra (ABRASAT, 2012).

Figura 3 - Tipos de órbita



Fonte: Tanenbaum (2003)

Existe também o cinturão de Clark que se refere ao conceito de emprego de satélites em órbita sobre o equador terrestre, a uma altitude de aproximadamente 36.000 km, com um período de revolução de aproximadamente 24 horas. Essa configuração permite que os satélites acompanhem a rotação diária da Terra, permanecendo sempre no mesmo ponto em relação a um observador fixo no solo.

Esses satélites em órbita geossíncrona, como são chamados, têm uma posição fixa em relação à superfície da Terra. O cinturão de Clark é especialmente útil para aplicações que permanecem comunicações estáveis e contínuas, como transmissão de TV via satélite, comunicações por satélite em áreas remotas e operações de telecomunicações em geral. Essa configuração oferece uma ampla cobertura de

comunicação e uma conexão estável para uma variedade de aplicações modernas (ARAÚJO, 2017).

2.3.1.3 Tipos de satélites

Basicamente existem três classificações de satélites, sendo elas: Satélite de órbita média, Satélite Geoestacionários e Satélite órbita baixa.

Para comunicação o tipo mais utilizado são os Satélites Geoestacionários, possuem uma órbita circular equatorial, a uma altitude de cerca de 35.800 km estando assim localizado na órbita GEO.

Sua ampla utilização na comunicação se dá por não precisarem ser rastreados, tendo em vista que seu posicionamento é fixo, além de possuir uma grande área de cobertura (*footprint*). (TANENBAUM, 2003).

2.3.1.4 Bandas de operação

Dentre as várias destinações de usos de frequências, encontram-se as frequências utilizadas nas operações com satélites, podendo ser essas de cunho comercial ou não. As frequências utilizadas para comunicações via satélite estão na faixa de Micro-ondas do espectro de frequências, indo de 1 GHz a 40 GHz (ESA, 2022). Para aplicações comerciais, as principais faixas de frequências estão na banda C, Ku e Ka. A escolha de uma ou outra dependerá do serviço que será fornecido.

Desta forma, consultando a concessionária Energisa Tocantins, as bandas satelitais utilizadas em seu parque de comunicação são as bandas C e Ku, que são disponibilizadas pela operadora contratada pela própria empresa. Conforme os analistas da concessionária, atualmente tem-se a preferência pela utilização da banda Ku por conta do seu baixo custo.

Na Tabela 1, são apresentadas as frequências de cada banda, dando-se a distinção entre os sinais do enlace de subida (*uplink*) e descida (*downlink*).

Tabela 1 - Faixas de frequência de subida e descida em telecomunicações satelitais

Banda	Uplink (GHz)	Downlink (GHz)
C	5,92 a 6,42	3,7 a 4,2
Ku	14,0 a 14,5	11,7 a 12,2
Ka	27,5 a 30,5	17,7 a 21,7

Fonte: ESA (2022) (Adaptado pelo autor)

2.3.1.5 Vantagens e desvantagens

Grande parte dos empreendimentos de geração e transmissão de energia estão localizados em regiões remotas ou periféricas que sofrem com a precariedade da infraestrutura da rede de telecomunicações. Assim, a tecnologia de comunicação via satélite apresenta-se como a única e/ou a melhor alternativa disponível. O satélite tem grande flexibilidade diante dos demais meios de comunicação. Sua implantação é extremamente rápida, seja onde for, e permite entregar um excelente canal de comunicação, respeitando todos os requisitos técnicos do ONS.

Na ótica do sistema de distribuição de energia eléctrica, a telecomunicação por satélite ainda encontra justificativa pela sua capacidade ímpar de disponibilizar rapidamente imensas áreas de cobertura, principalmente em regiões de grande extensão territorial.

Ao analisar a geografia do estado do Tocantins, esse tipo de comunicação se torna cada vez mais viável tecnologicamente e economicamente na transmissão de dados da concessionária.

Visto que uma das principais vantagens dessa tecnologia é que praticamente não há limites e barreiras geográficas. Os satélites podem cobrir uma vasta área com uma pequena porcentagem de perda comparado com os meios de comunicação físico. Além disso, um único satélite pode cobrir duas regiões diferentes, utilizando uma otimização como a utilização de duas bandas diferentes (Exemplo: banda Ku e C ao mesmo tempo).

Outra vantagem da telecomunicação via satélite é que através dela pode-se receber sinais de banda larga em qualquer lugar na Terra, independentemente de quão longe o equipamento esteja. Sendo sobretudo conveniente para equipamentos instalados em regiões rurais.

Além dos benefícios já citados anteriormente, juntamente da simplificação da instalação das antenas, tanto para estações terrestres quanto para equipamentos específicos da distribuição como um religador, faz com que esse tipo de comunicação se torne cada vez mais atraente para o sistema elétrico de potência.

Todas essas facilidades proporcionam à concessionária uma redução dos custos operacionais, dado que esse tipo de tecnologia tem uma estação simples e apresenta baixa manutenção.

Por fim, a comunicação por satélite se torna viável até mesmo nos centros urbanos onde podem existir “pontos cegos”, ou seja, locais em que o sinal da rede de telefonia celular não chega ou é instável. Nesses casos, com a instalação de equipamentos de comunicação satelital nas viaturas é possível acessar a cobertura via satélite e fazer a chamada para o centro de operações.

Já as desvantagens que esse tipo de comunicação apresenta são:

- Conexão lenta: Tendo em vista que o sinal deve viajar cerca de 35.500 km para chegar até o satélite e retornar à Terra, pode existir alguma demora ou latência entre a solicitação de dados e a resposta. O período médio de latência para a internet via satélite é entre 500 a 900 milissegundos. (LEAF GROUP MEDIA, 2022)
- Instabilidade meteorológica: A comunicação via satélite poderá ser afetada por instabilidades meteorológicas. A chuva não bloqueará a alimentação ou os sinais, mas poderá desencadear uma interferência denominada "sombra da chuva", que pode tornar as conexões instáveis.

2.3.2 Comunicação via rádio

A necessidade de aprimorar a automatização do sistema elétrico de potência tem crescido significativamente nos últimos anos. Esse fato decorre de diversas razões, sendo uma delas a necessidade de novas estratégias de controle do sistema elétrico

devido à alta exigência de disponibilidade e qualidade de energia que as concessionárias vêm sofrendo tanto por parte dos órgãos reguladores quanto pelos consumidores.

Diante dessa perspectiva, as soluções de telecomunicações ganham uma grande importância nesta área, uma vez que são primordiais na implantação e funcionamento no monitoramento e restabelecimento automático do sistema.

Independentemente da tipologia da rede de transmissão e distribuição elétrica, é fundamental um arranjo de comunicação robusto com alta confiabilidade para que por exemplo os IEDs espalhados pela rede consigam se comunicar com os dispositivos de controle, e estes por sua vez com o sistema *SCADA* para uma atuação assertiva do COI. (MOREIRA, 2014).

Neste contexto, a telecomunicação via rádio foi uma das primeiras tecnologias implantada no sistema elétrico de potência, e ainda permanece no mercado, por ter um baixo custo, e apresenta uma segurança na transmissão de dados, em comparação com as muitas outras opções disponíveis, chegando a ser preferida por muitas concessionárias brasileiras.

2.3.2.1 *Funcionamento*

O funcionamento do Rádio se dá pela utilização de ondas eletromagnéticas que se propagam pelo espaço.

Normalmente os sistemas de radiocomunicação são compostos por dois componentes básicos: o Transmissor (TX), no qual disponibiliza a potência necessária para amplificar o sinal elétrico, no caso os rádios, e um receptor (RX) que recebe estes sinais (CARVALHO, BADINHAN, 2011).

Para que ocorram essas transmissões, é necessário dispor de uma estrutura que depende do tipo e finalidade de comunicação que se deseja realizar. Esse tipo de comunicação apresenta uma estrutura básica composta por um transdutor, um modulador, um amplificador e uma antena.

Deste modo, o conjunto desses equipamentos possibilita a conversão do sinal que contém a informação, em sinal elétrico, que, por sua vez, modulam outros sinais com faixas de frequência das ondas de rádio.

O Rádio é o equipamento que realiza a conversão das ondas eletromagnéticas

em sinal, e operam com uma variedade de tipos de comprimentos de ondas. Além da tecnologia citada, há alguns modelos de rádios que possuem portas de comunicação serial, podendo ser RS-485 e RS-232 ou porta ethernet RJ-45. Este complemento contribui para que o equipamento possa trabalhar na faixa de 384 a 470 MHz, além das diferentes faixas que variam dependendo do fabricante e da topologia projetual que se deseja desenvolver (MARQUES, 2018).

Para fins de controle e supervisão, a faixa de frequência licenciada para o rádio é de 452 a 454 MHz (SOUZA, 2014) podendo ser flexível quanto ao seu uso, desde que comprovadas tecnicamente (MARQUES, 2018).

As frequências mais utilizadas no sistema de radiofrequência são: a HF, VHF e a UHF, sendo que todas dispõem de faixas próprias de atuação, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Faixas de atuação

Faixa de atuação	
Frequência	Faixa
HF	3 a 30 MHz
VHF	30 a 300 MHz
UHF	300 a 3.000 MHz

Fonte: Neto; Petrucci; Teixeira (2002) (Adaptado pelo autor)

Assim, são utilizadas as faixas HF para distâncias acima de 100 km com potência máxima de 100 Watts. Para as faixas VHF e UHF, são empregados para distâncias inferiores a 100 e 50 km com potência máxima de 45 e 25 Watts respectivamente. (MARQUES, 2018).

Diferentes topologias podem ser aplicadas nos sistemas elétricos de potência. A topologia mais simples é denominada ponto-a-ponto, onde são utilizados um par de

rádios para comunicação bidirecional sendo desejável que haja visada direta entre as duas antenas. Outra topologia é a ponto-multiponto, onde um rádio concentrador operando como mestre que se comunica de forma bidirecional com diversos rádios operando como escravos.

2.3.2.2 *Vantagens e desvantagens*

A utilização desse meio de telecomunicação destaca-se pela alta taxa de transferência de dados e a autonomia do suprimento de eletricidade.

Outra vantagem é a não utilização de fio e cabos, o que barateia o sistema, em algumas aplicações, manutenção e expansão.

A cobertura que a comunicação via Rádio proporciona, também se mostra como um ponto atraente para este tipo de sistema, visto que através do conjunto de antenas, as conexões são capazes de cobrir uma grande área, além de permitir que a rede alcance lugares onde os fios não poderiam chegar.

Por fim, a flexibilidade que o sistema apresenta tanto quanto a diversidade de configurações disponíveis quanto a sua fácil instalação.

Como principais desvantagens, esse tipo de comunicação apresenta uma grande instabilidade, problema bastante comum, visto que os rádios trabalham com ondas eletromagnéticas, o que faz com que esta conexão sofra interferências de obstáculos físicos na transmissão do sinal como edificações, relevo e até mesmo árvores que estejam obstruindo a visada do equipamento (DE PAULO, 2018).

Além da desvantagem já citada, outra problemática que esta comunicação apresenta é a dependência do posicionamento dos seus equipamentos dado que a distância entre as antenas, ou o seu mau posicionamento pode interferir na transmissão da informação.

Por fim, a comunicação via Rádio apresenta uma qualidade de serviço provido menor que das redes cabeadas, visto que são utilizados neste meio pequena banda passante devido às limitações da radiotransmissão e a alta taxa de erro devido à interferência.

2.3.3 Backbone

O backbone (ou “espinha dorsal” em tradução livre) é a parte da infraestrutura de comunicação responsável por interconectar diferentes redes e fornecer um meio para troca de dados entre elas, ou seja, refere-se a forma como as redes são interconectadas e como administram a forma como os pacotes de dados se deslocam de uma rede para outra. É a estrutura mais importante de um sistema que fornece o suporte central para que diversas redes se conectem e conversem umas com as outras (BINÁRIO, 2021).

Segundo Anderson Nascimento (2014) “essa grande espinha dorsal é dividida em partes menores com a finalidade de impedir que o tráfego e a transmissão sejam lentos”. Entretanto, por ser a rede principal, o backbone é responsável por fazer a conexão de todas as redes menores, sendo possível por meio dele acessar qualquer rede.

Existem formas infinitas pela qual os projetistas podem construir backbones, mas na prática existem três arquiteturas imprescindíveis que podem ser combinadas de diversas formas. Tais arquiteturas são: backbones comutados (são switches que transportam pacotes baseados nos endereços da camada de enlace), Local Area Network - LANs virtuais (são switches que transportam pacotes através de LANs virtuais, não usando a localidade física) e backbones roteador (roteadores que transportam pacotes com base nos endereços das camadas de rede). Todas essas arquiteturas são utilizadas para construir conjuntos de backbones que formam uma grande rede de comunicação (BINÁRIO, 2021).

Essa infraestrutura responsável pelo tráfego de dados é construída de forma redundante para evitar indisponibilidades, ela utiliza diferentes rotas para um mesmo ponto para garantir que o serviço sempre esteja ativo e disponível, mesmo havendo falhas ou interrupções em algum ponto desse processo de transmissão (NETWORK, 2018).

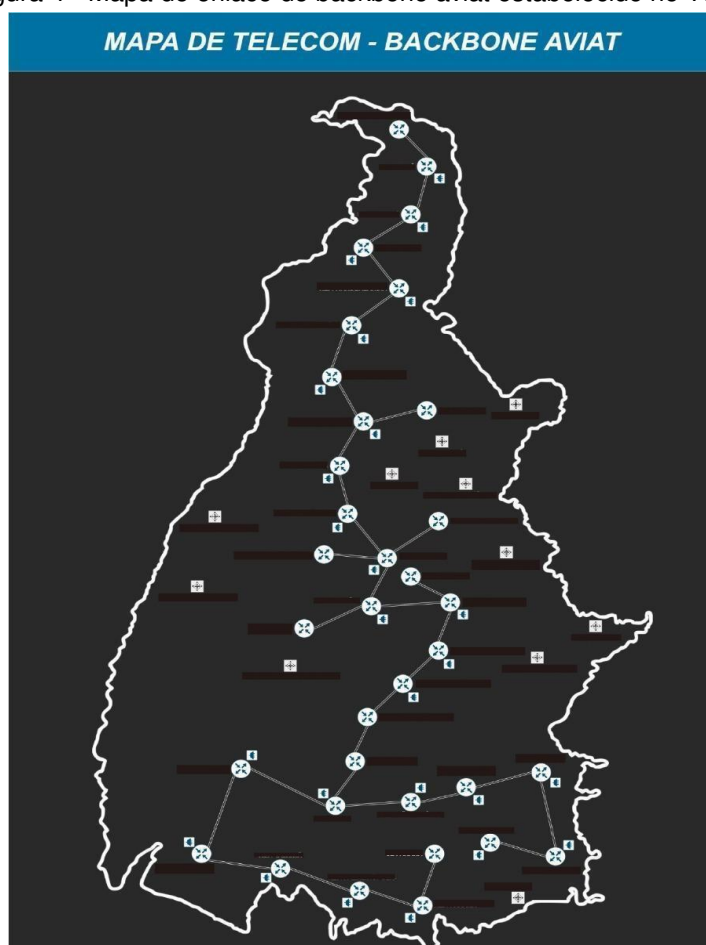
2.3.3.1 Backbone no Tocantins

A infraestrutura do *backbone* é usada principalmente em sistemas de médio e grande porte já que, como dito anteriormente, é uma rede que interconecta várias outras redes de pequeno e médio porte formando a espinha dorsal.

Na ETO, o sistema de comunicação *backbone* é estabelecido por rádios Aviat diferente das formas utilizadas para comunicação mundial onde geralmente se usa a fibra óptica. Segundo os analistas da concessionária, a utilização do rádio Aviat no *backbone* se deu devido ao baixo custo que o mesmo proporcionou à empresa no tocante a estrutura física do sistema, uma vez que o estado do Tocantins apresenta uma grande extensão territorial. Na figura 4 temos o mapa de telecom que mostra os caminhos do enlace por *backbone* Aviat gerenciado e constituído pela concessionária Energisa Tocantins.

A espinha dorsal corta o estado de norte a sul, ramificando para as regiões remotas para que sempre haja comunicação. Esse *backbone* é constituído de enlaces ponto-a-ponto e enlaces multiponto, onde as subestações e repetidoras emitem sinais e recebem mensagens pelo rádio Aviat.

Figura 4 - Mapa de enlace do backbone aviat estabelecido no Tocantins



Fonte: Energisa TO (2022)

2.3.3.2 Vantagens e desvantagens

Analisando o *backbone* atuante no estado do Tocantins, as principais vantagens são:

- Maior cobertura de comunicação nas regiões mais remotas;
- Custo-benefício na manutenção e instalação se comparado aos *backbones* de fibra;
- Durabilidade do sistema visto que o meio de transmissão não é físico;
- Segurança na transmissão de dados já que o sistema é redundante;
- Flexibilidade na expansão da ramificação da linha dorsal se comparado às redundâncias por fibra;

As desvantagens dessa forma de comunicação são as mesmas vistas no caso do rádio, pois o sistema sofre mais interferências, o que prejudica a qualidade da comunicação. Outra grande desvantagem é a sensibilidade do rádio Aviat, o que torna o equipamento suscetível a danos, arriscando a perda da comunicação na linha dorsal.

2.4 Meios De Comunicação

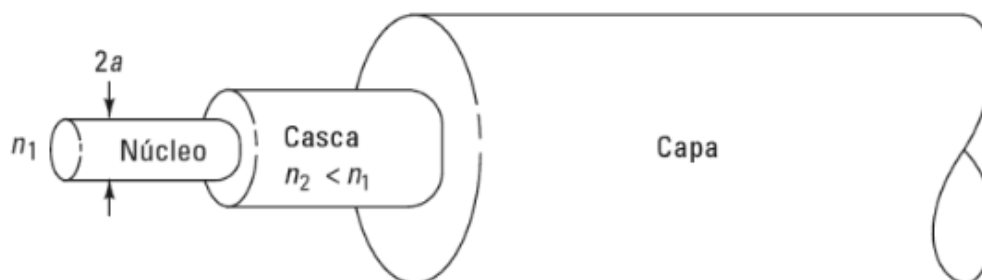
2.4.1 Fibra óptica

Trata-se de um dos meios de comunicação que apresenta maior confiabilidade, garantindo uma maior taxa de transmissão de dados com uma taxa pequena de distorção. A fibra óptica surge como um dos investimentos de mais alto custo, no tocante a telecomunicação para as concessionárias. No caso da Energisa Tocantins, a utilização de fibra óptica como meio de telecomunicação é utilizada apenas na capital do estado, visto a importância que o local apresenta para a concessionária tanto em quantidades de clientes quanto de ponto estratégico de transferência de carga.

Assim, uma fibra óptica é geralmente constituída por sílica ou plástico, que são materiais dielétricos. Possuem formato cilíndrico e estruturalmente é formada por uma região central denominada de núcleo, envolvida por uma casca que também é composta por material dielétrico. O material é transparente e flexível, dimensionalmente comparável a um fio de cabelo. Cada um dos elementos possui índices de refração

distintos, de forma que a luz percorre o núcleo refletindo na divisão com a casca (KEISER, 2014).

Figura 5 - Composição estrutural de uma fibra convencional sílica



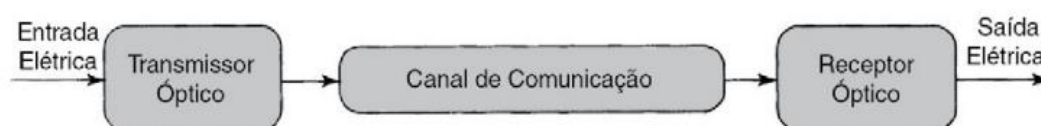
Fonte: Keiser (2014)

Agrawal (2014, p. 21) informa que “o papel de um canal de comunicação é transportar o sinal óptico do transmissor ao receptor...”. Partindo deste princípio podemos dizer que o princípio básico de uma rede de comunicação é levar o sinal através da fibra até um receptor.

Agrawal (2014) explica ainda que o papel de um transmissor é “o de converter o sinal elétrico à forma óptica de lançar o resultante sinal na fibra óptica” e o receptor óptico “converte o sinal óptico recebido na saída da fibra óptica de volta ao sinal elétrico original”, ou seja, o transmissor elétrico faz a conversão do sinal elétrico para óptico e o receptor faz o contrário, convertendo o sinal óptico para elétrico.

Um sistema de comunicação óptica consiste basicamente em um transmissor, um canal de comunicação e um receptor. Esses são os elementos comuns a todos os tipos de comunicação.

Figura 6 - Sistema genérico de comunicação óptica



Fonte: Agrawal (2014)

O diodo laser (LD) ou o diodo emissor de luz de semicondutores (LED) são usados como transmissores ópticos, enquanto o receptor consiste de um acoplador, um

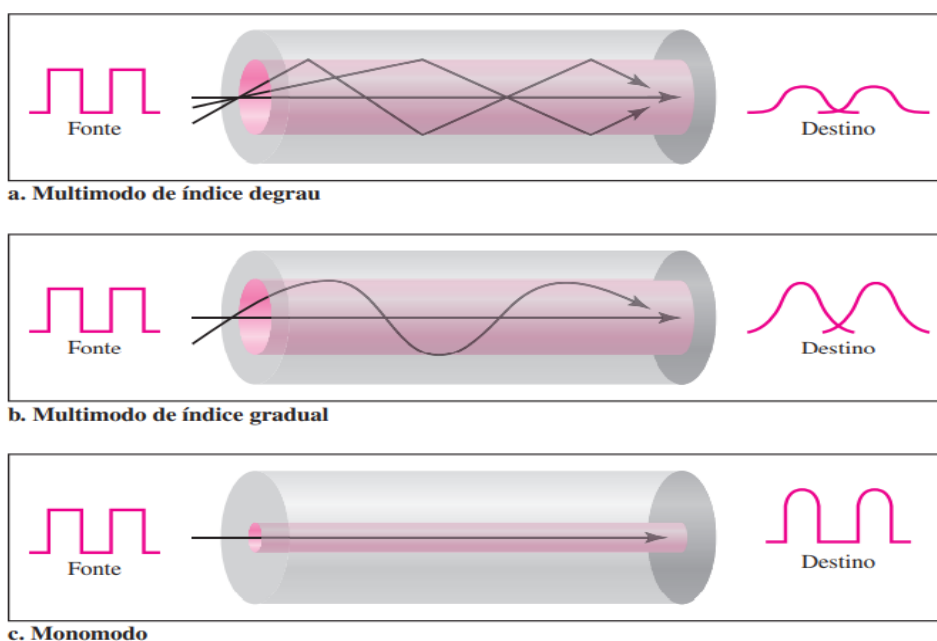
fotodetector e um demodulador. O cabo de fibra óptica é o canal de comunicação, o caminho entre o transmissor e o receptor (AGRAWAL, 2014).

A propagação da informação na fibra óptica se dá através de uma luz pulsante que é convertida através de um switch (conversor óptico) a partir de sinais elétricos. Mesmo limitada a um meio físico, a luz que é transmitida pela fibra proporciona taxas de transmissão (velocidades) elevadíssimas, de 10^9 a 10^{10} bits por segundo (cerca de 40 Gbps), com taxa de atenuação por quilômetro baixa. Entretanto, a taxa de transmissão total factível ainda não foi alcançada com os meios existentes.

2.4.1.1 Modos de propagação

Forouzan (2010, p. 198), informa que na comunicação por fibra óptica existem dois meios para propagação da luz ao longo de canais ópticos, sendo o multimodo, que pode ser implementado de duas formas: índice degrau e índice gradual. Possui esse nome pois os diversos fluxos da fonte de luz se dispersam ao longo do núcleo usando caminhos distintos. Essa movimentação de fluxo dentro do cabo depende diretamente da estrutura do núcleo, conforme representado na imagem a seguir:

Figura 7 - Modos de propagação do fluxo no interior do cabo



Fonte: Forouzan (2010)

Enquanto na *monomodo*, são utilizadas fibras de índice degrau e uma fonte de luz que limita de forma bastante eficaz os fluxos a um pequeno intervalo de ângulo, próximos da horizontal. Vale ressaltar que esta forma de propagação está presente no anel de fibra da concessionária em Palmas.

Este tipo de fibra é fabricado com um diâmetro de núcleo consideravelmente menor se comparado com fibra multimodo e com o índice de refração substancialmente menor (densidade). Forouzan (2010, p. 198) elucida que “A diminuição na densidade resulta em um ângulo crítico próximo de 90° , que faz que a propagação dos fluxos ocorra praticamente na horizontal.” Desta forma, a dispersão de fluxos com ângulos é praticamente idêntica e os retardos desprezíveis. Os fluxos chegarão juntos ao destino e podem ser recombinados com uma pequena distorção do sinal.

2.4.1.2 *Utilização da fibra óptica nos sistemas de comunicação*

Apesar da fibra óptica ser relativamente recente, ela possui uma grande lista de aplicações dentro do setor elétrico. Destaca-se a aplicação nas redes de distribuição dando condições para a automação dos alimentadores, seccionando e isolando falhas permitindo a recomposição de cargas de forma remota. Além disso, permite a supervisão da operação, incluindo medições e estado dos elementos de seccionamento, balanceamento de cargas entre transformadores, telecomando sobre as instalações, incluindo atuação no *load tap changer* (LTC) e interligação entre os IEDs presentes nas SEs bem como os painéis de proteção com os equipamentos do pátio, dentre outros.

Em cada aplicação desenvolvida para redes de fibra óptica dentro do setor elétrico, primeiramente é preciso determinar as necessidades técnicas para cada arranjo para então decidir a forma de comunicação da fibra.

2.4.1.3 *Vantagens e desvantagens*

A primeira vantagem que podemos citar é a maior capacidade de transmissão, como as fibras são mais finas se comparadas aos fios de cobre, mais fibras do que fios podem ser colocadas juntas em um cabo de determinado diâmetro, com isso tem-se uma redução no custo de interligação de subestações e repetidoras ao COI. Possibilitam uma menor degradação do sinal, considerando que não sofrem com interferência

eletromagnética, o que resulta numa melhor confiabilidade de monitoramento em tempo real da rede e assertividade em manobras de equipamentos automatizados. Fibras possuem sinais luminosos, ao contrário do que ocorre com os sinais elétricos transmitidos pelo fio de cobre, os sinais luminosos não interferem com o sinal de outra fibra contidas no mesmo cabo, o que conseqüentemente em casos de repetidoras de voz não há interferências, deixando conversas ao rádio entre a equipe de campo e o COI mais nítidas. As fibras degradam-se menos, ao invés de usar transmissores elétricos de alta tensão necessários para fios de cobre, as fibras podem usar transmissores de menor potência, o que conseqüentemente deixa o consumo de energia mais baixo. Fibras são adequadas para a transmissão da informação digital, o que é de grande vantagem nas redes de computadores. Não possuem risco de incêndio já que não possuem eletricidade circulando através delas. Ocupam menos espaços e são consideravelmente mais leves se comparados ao fio de cobre (HAJAFIBRA, 2010).

Uma das maiores desvantagens da fibra óptica está ligada ao custo alto de instalação e manutenção, já que dependem de mão-de-obra especializada para tais serviços. No caso do estado do Tocantins onde a extensão territorial é ampla, o uso da fibra como meio de comunicação torna o custo de instalação elevado, visto que muitas subestações e repetidoras estão instaladas em locais de difícil acesso e distantes do COI. São materiais bastante frágeis, que se não trabalhados com as devidas precauções se rompem com facilidade. Devido à sua dimensão ser pequeníssima, a dificuldade de ligação da fibra se torna uma desvantagem, por este motivo o manuseio deste equipamento demanda um conjunto de procedimentos e dispositivos de alta precisão para suas ligações (HAJAFIBRA, 2010).

2.4.2 OPTICAL GROUND WIRE (OPGW)

Os cabos *Optical Ground Wire* (OPGW) ou fio de aterramento óptico em tradução livre, são especificamente utilizados em linhas de transmissão aérea de energia elétrica, projetados de forma que comporta em seu núcleo fibras ópticas que são capazes de transmitir dados e voz.

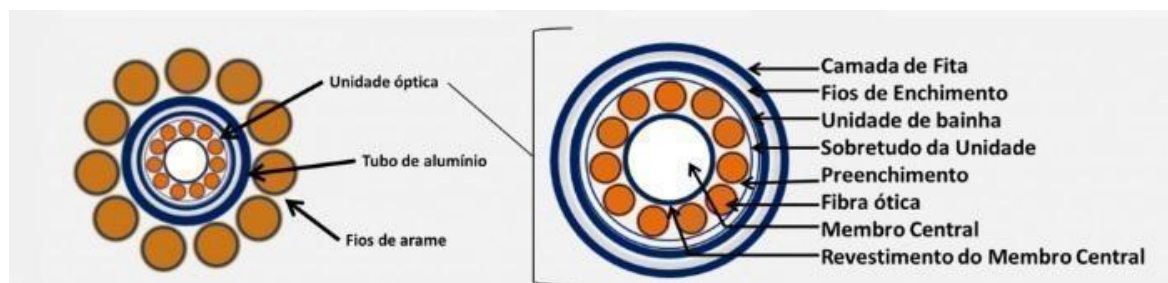
O cabo OPGW é vastamente utilizado pelas empresas brasileiras de transmissão de energia, como por exemplo, Furnas com 6.666 km, CHESF com 5.486 km e

ELETRONORTE com 6.570 km de cabos instalados (OHLWEILER, 2016).

Apesar da grande utilização deste meio nas transmissoras de energia elétrica, na ETO este meio é pouco utilizado tendo apenas três linhas que ligam: SE Colinas à SE Bernardo Sayão com 66,92 km, da SE Palmas I à SE Palmas IV com 8,47 km e da transmissora Dianópolis 230 kv à SE Dianópolis com 21,22 km de rede. Segundo informações concedidas pela concessionária, há projetos para os anos de 2024 à 2026 da construção de três linhas de OPGW.

Estruturalmente, os cabos OPGW são constituídos por fios de alumínio localizados em seu exterior, responsável pela funcionalidade para-raios do cabo, conforme demonstrado na figura abaixo. No seu interior, obtém-se um tubo de alumínio para proteção mecânica das fibras ópticas que estão localizadas no núcleo do cabo. Tal proteção é de extrema importância para que as fibras não sejam danificadas durante o transporte, instalação, manutenção e ações naturais ocasionadas pela exposição do cabo ao tempo (HT CABOS, 2021).

Figura 8 - Seção reta do cabo OPGW



Fonte: Eletronet (2017)

Uma das utilizações do cabo OPGW é para a proteção das linhas contra descargas elétricas, uma vez que as mesmas precisam de proteções contra as descargas atmosféricas para que se mantenha a estabilidade e segurança do sistema. Com o objetivo de evitar este fenômeno, são instalados nas LTs cabos para-raios, funcionalidade que está presente e é atendida pelo OPGW com a mesma eficácia que os cabos convencionais, mas com especificações distintas, como a bitola do cabo por exemplo.

Outra utilização deste meio, é a alta velocidade de comunicação e qualidade na transmissão de dados. Nos dias atuais, a alta demanda comunicativa mais avançada é

inevitável, isso acontece, pois as empresas de distribuição de energia necessitam cada vez mais de recursos tecnológicos e por consequência obtenham tempo de resposta cada vez mais rápidos. O OPGW garante a entrada do sinal com índices mínimos de perda (atenuação) para o melhor aproveitamento confiável e eficiente do sistema de dados. A partir disto, são possíveis ações como: transferência de dados operacionais e administrativos, teleproteção, telesupervisão, telecomando, todas estas ações a longas distâncias e elevada confiabilidade entre transmissoras, unidades geradoras, escritórios administrativos, áreas industriais remotas e o Centro Operacional Integrado - COI. (POWER ENGENHARIA, 2016)

Deste modo, o OPGW está situado na parte mais alta das torres de transmissão, atendendo assim a sua função de proteção contra raios, suportando panes, descargas atmosféricas ao mesmo tempo que transmite dados. (ELETRONET, 2018).

Figura 9 - Localização do OPGW nas linhas de transmissão



Fonte: Eletronet (2018)

2.4.2.1 Vantagens e desvantagens

As principais vantagens do cabo OPGW:

- Absorção de descargas atmosféricas e correntes de curto-circuito;
- Benefícios de instalação em relação a outros cabos;
- Vida útil prolongada;
- Maior largura de banda.

As principais desvantagens do cabo OPGW em relação a estrutura metálica são:

- Rompimento parcial dos fios da armação ou total do cabo;
- Ruptura das fibras ópticas;

- Deslocamento das fibras dentro das caixas de emenda, devido à falta ou excesso de fibras ópticas;
- Corrosão nos fios da armação e tubo que protege as fibras;
- Alto custo de instalação.

Já olhando somente para a fibra, parte interna do cabo, as desvantagens se assemelham às da fibra óptica, já citada anteriormente.

2.5 Arquiteturas e Características Básicas do Sistema Adotado pela Energisa Tocantins

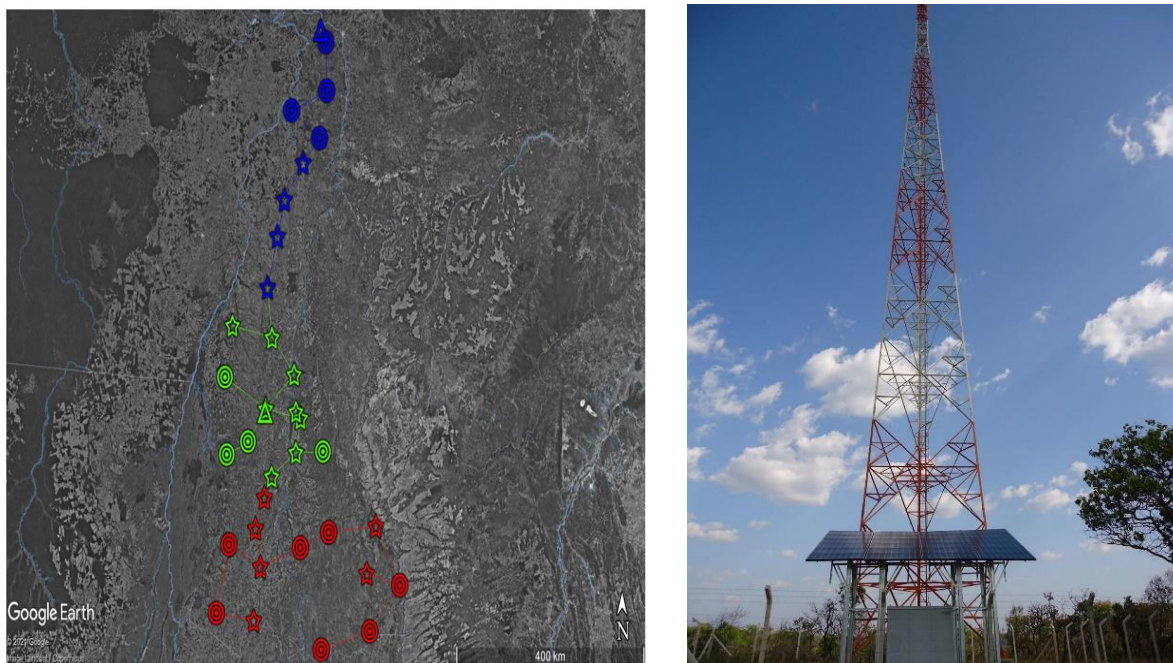
Atuando em 11 estados do País, o grupo Rede, opera no setor elétrico há 116 anos, oferecendo serviços de transmissão, distribuição, soluções e comercialização, além de geração distribuída e energias renováveis. (Energisa)

No estado do Tocantins, o Grupo presta o serviço de distribuição e subtransmissão, com níveis de tensão de 13,8 a 138 KV. Segundo dados da ANEEL, a Energisa Tocantins atende a 643.502 unidades consumidoras, totalizando uma média de 1.555.229 pessoas. São 98.615 km de rede de Média e Baixa Tensão e 2.825 km de rede de alta tensão, com 109 subestações totalizando uma potência instalada de 1.571 MVA.

Nesta perspectiva, visando a disponibilidade de forma confiável do serviço aos consumidores por se tratar de um bem essencial à sociedade, junto do objetivo de atingir indicadores como DEC e FEC. A concessionária Energisa Tocantins, investe em tecnologia de automação e telecomunicação, no intuito de garantir a disponibilidade requerida das linhas, subestações, equipamentos da rede e telecomunicações com confiabilidade.

Deste modo, a distribuidora conta com 37 repetidoras dispostas estrategicamente ao longo do estado, que possibilitam a cobertura das regionais Norte, Centro e Sul com os serviços de rádio comunicação, tráfego de dados da rede operativa e corporativa, supervisão de IEDs, subestações, bem como serviços de telemedição remota de clientes grupo A. A Figura 10 demonstra a distribuição destas repetidoras ao longo do estado.

Figura 10 - Localização das repetidoras no Estado do Tocantins



Fonte: Autoral (2022)

Além disso, a distribuidora possui 69 “Mestres”, instalados ao longo de suas 37 repetidoras que realizam a comunicação dos IEDs, nomeados como “Escravos”. Sua principal função é comandar os equipamentos escravos ligados a ele para que os mesmos executem a transferência de carga quando necessário, diminuindo o tempo de interrupção do serviço aos clientes.

Ademais, a concessionária possui um parque de equipamentos especiais conforme representado na figura 11, composto por 1006 religadores automáticos e 109 reguladores de tensão. Esses equipamentos possibilitam manobras remotas, realizam a proteção de ramais e linhas e a regulação dos níveis de tensão, e por isso, possuem impacto direto nos indicadores de qualidade de energia da ETO. Devido a sua importância, os analistas da concessionária informam que a meta para indisponibilidade destes equipamentos é de até 3%, que engloba equipamentos fora de operação e com falha de comunicação.

Figura 11 - Religador e Regulador de tensão



Fonte: Autoral (2022)

Por fim, a Energisa Tocantins dispõe de 37 repetidoras de voz que estão distribuídas ao longo do estado a fim de garantir a comunicação por voz dos rádios entre equipes de campo e o centro de operações integrado - COI, contribuindo para a execução com segurança das atividades do cotidiano e permitindo a centralização das informações do sistema em tempo real.

Diante do exposto, toda essa tecnologia apresentada acima depende de sistema de comunicação robusto e confiável, de tal forma que, este sistema de telecomunicação permita a automação e operação dos equipamentos de forma segura e ininterrupta. Assim, os sistemas e meios de telecomunicações aplicados na malha da concessionária são: Rádio, satélite, fibra óptica, rede de *backbone* e telecomunicação por OPGW.

Em suma, a disposição dos sistemas e meios de comunicação na malha da concessionária são:

Tabela 3 - Distribuição dos sistemas e meios de comunicação do estado do Tocantins

Sistema de comunicação	Meio de comunicação	Quantidade
Satélite	Ar	98 Subestações
		16 Repetidoras
		951 Religadores
		109 Reguladores
		40 Mestres
Backbone Aviat	Ar	6 Subestações
		21 Repetidoras
		29 Mestres
		50 Religadores
Terrestre	Fibra Óptica	4 Subestações
		5 Religadores
Linha de Subtransmissão	OPGW	1 Subestação
		2 Linhas de Subtransmissão

Fonte: Autoral (2022)

A escolha de cada meio de comunicação, passa por algumas variáveis como fator econômico, disposição geográfica do local, número de clientes inserido no sistema em questão e pontos estratégicos de transferências em situação de contingenciamento.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Apresentação do Departamento de Manutenção de Subestação e Linhas – DMSL

Atuando há cerca de 9 anos no estado do Tocantins, o grupo Energisa apresenta em sua estrutura operativa o Departamento de Manutenção de Subestação e Linha – DMSL, área responsável pela manutenção, operação local e gestão de ativos do sistema de Transmissão, Automação e Telecomunicações. Tendo como principal objetivo, garantir a disponibilidade requerida das linhas, subestações, equipamentos da rede e telecomunicações com confiabilidade.

Diante disso, o departamento realiza o acompanhamento das ocorrências provenientes da transmissão, automação e telecomunicação, registrando e classificando cada uma após análises de eventos do ocorrido. A partir deste registro, pôde-se elaborar o estudo de caso executado neste trabalho de conclusão de curso, onde foi filtrado, tratado e tabulado as informações concedidas.

Figura 12 - DMSL em Palmas/TO



Fonte: Autoral (2023)

3.2 Levantamento de Dados

A Energisa Tocantins, tem como controle de qualidade e assertividade a segregação dos seus indicadores, a fim de destinar para cada departamento metas e uma visão do impacto que cada um tem nos indicadores gerais da concessionária. Diante desta visão gerencial, a empresa cria o indicador interno chamado “DEC e FEC automação”.

O indicador surge com o registro de ocorrências que geraram DEC e FEC para a concessionária, em consequência de manobras de transferências malsucedidas por falha dos equipamentos especiais (Religadores) ou equipamentos implantados dentro das Subestações da empresa.

Após o término das ocorrências, os operadores da concessionária registram notas com a descrição da falha, o número do equipamento e a data e hora que foi realizada a tentativa de manobra remota do equipamento em questão. Essas notas são encaminhadas para o DMSL junto de uma base de dados contendo o valor de DEC e FEC atribuída a cada ocorrência para que os analistas do departamento estudem cada caso e intervenham no equipamento a fim de sanar o problema em questão.

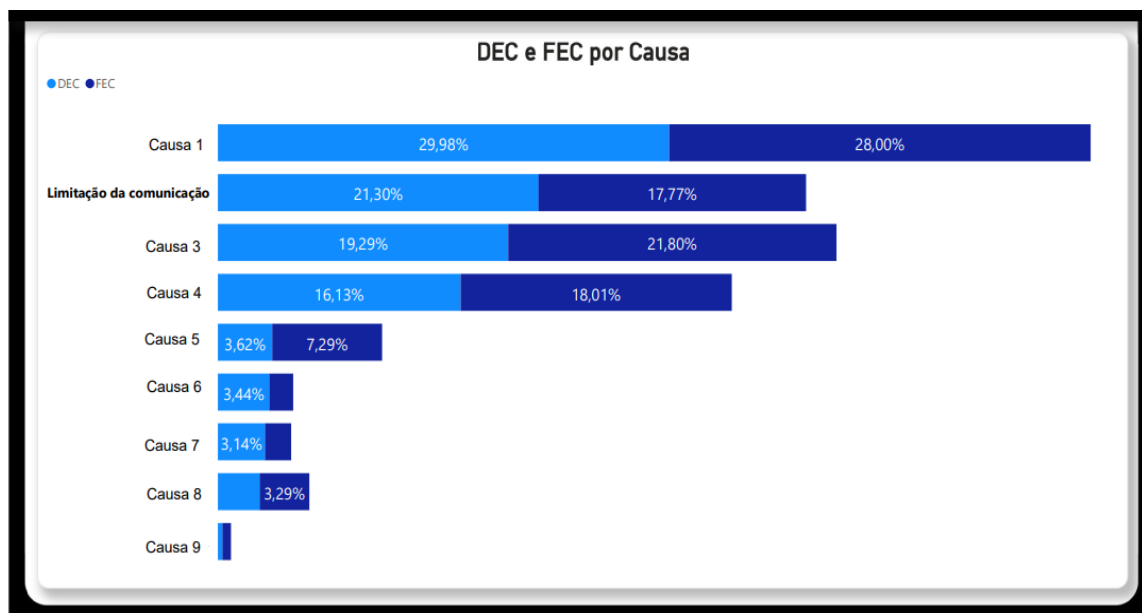
Os analistas do departamento, fazem as análises das ocorrências classificando uma causa e subcausa para cada uma.

Para a elaboração do Trabalho em questão, foi coletada uma amostra de um período de 6 meses, sendo os meses de setembro de 2022 a fevereiro de 2023. A escolha dos meses se deu em consoante a variação climática do estado do Tocantins, onde o estado está sobre o domínio do clima tropical, tendo os meses de agosto a outubro o período de seca, e o chuvoso de novembro a abril sendo janeiro o mais chuvoso. Assim pode-se observar o impacto das duas estações predominantes no estado sobre os meios de comunicações instalados na ETO. (Sonda, 2021)

Na amostra coletada, foram observados 10 tipos de causas e 31 subcausas. A partir dessa amostra representada na figura 13, pode-se notar que entre as causas determinadas, a Limitação da Comunicação ocupa o segundo lugar, comprovando que

o sistema de telecomunicação tem um impacto nos indicadores de qualidade da empresa.

Figura 13 - Determinação de Causas

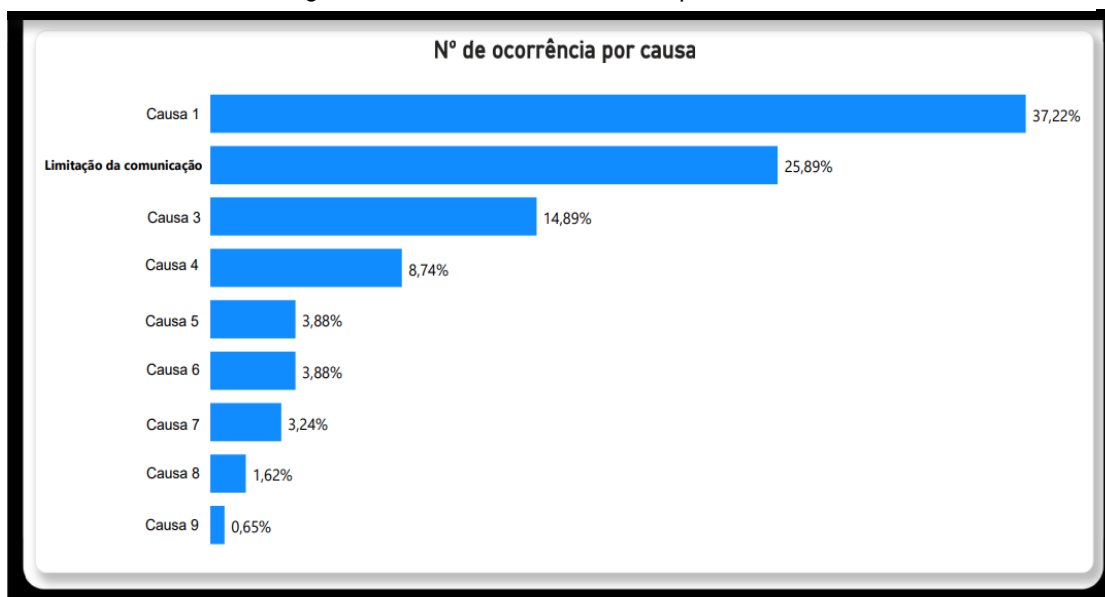


Fonte: Autoral (2023)

Outro ponto constatado foi que para uma conclusão mais assertiva do trabalho, seria necessário a análise dos dados por duas vertentes. Sendo a primeira por valor do DEC e FEC onde as ocorrências são contabilizadas por tempo de duração da falha. E a segunda por número de ocorrência, onde são levados em consideração a quantidade de vezes que determinado equipamento falhou, independente do tempo de duração.

De modo geral, ao analisar as duas vertentes apresentadas, pode se notar que o cenário já descrito não se altera, conforme demonstrado na figura 14.

Figura 14 - Número de ocorrência por causa



Fonte: Autoral (2023).

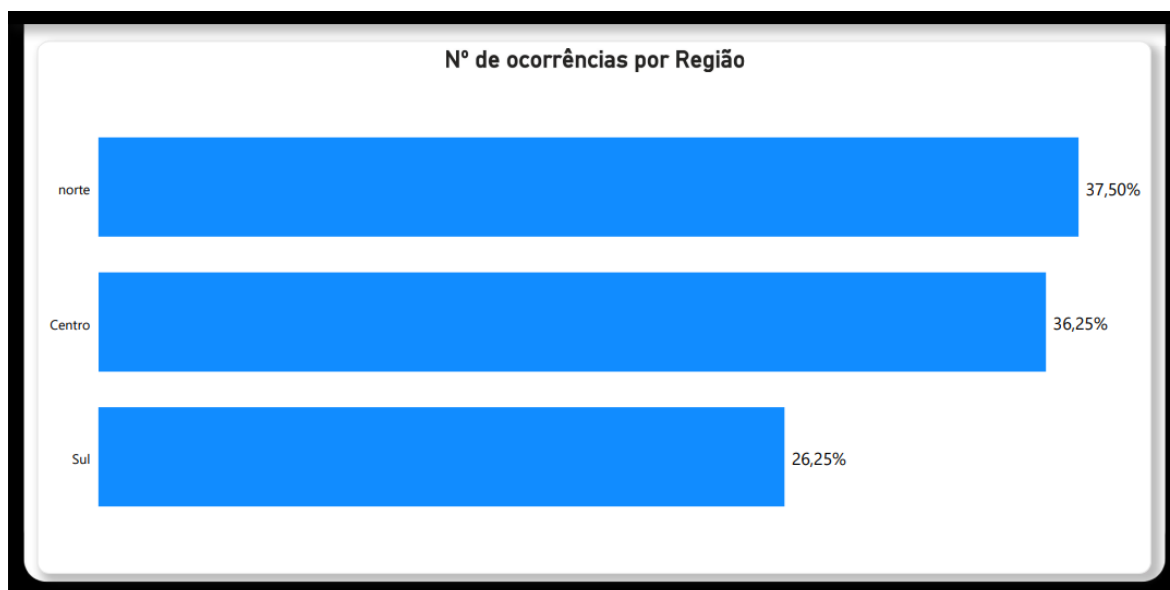
No tocante aos equipamentos, foi escolhido para o estudo deste trabalho os equipamentos especiais (reguladores e religadores), dado que dentro da amostra selecionada o mesmo aparece em um volume maior que os equipamentos de subestação.

3.3 Escolha da Região

A fim de ter uma maior eficiência em logística, a Energisa Tocantins separou o estado em 3 Polos: Norte, Centro e Sul, tendo como município de fronteira do Norte com o Centro a cidade de Tabocão, e do Centro com Sul a cidade de Natividade.

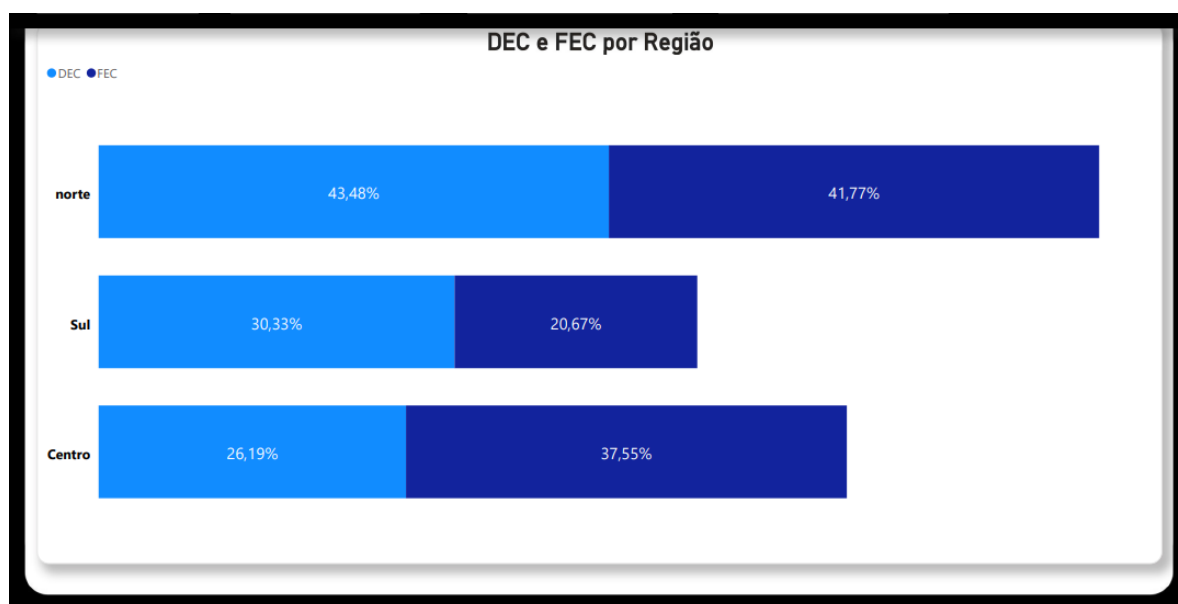
A partir disso, dividiu-se a base de dados de forma que a cidade em que foi verificada a falha fosse representada pela sua região correspondente. Posteriormente, tornou-se possível fazer o filtro das ocorrências considerando somente a limitação da comunicação, obtendo-se assim, a região Norte sendo a mais afetada por esta causa, como pode ser observado nos resultados representados pela figura 15 e figura 16.

Figura 15 - Número de ocorrências por região



Fonte: Autoral (2023).

Figura 16 - DEC e FEC por região



Fonte: Autoral (2023)

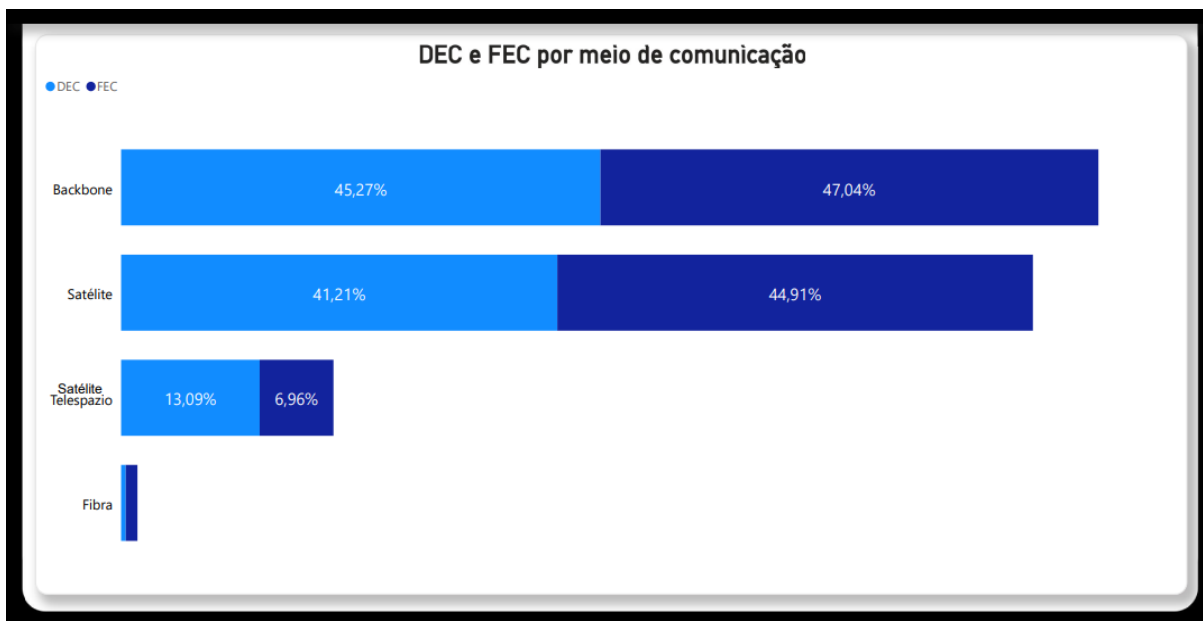
3.4 Escolha Do Sistema De Comunicação

Analisando a arquitetura da ETO nota-se que os principais meios de comunicação implantados na rede são o Satélite e o *Backbone*, como visto na tabela 3 já apresentada anteriormente. O que se nota ao examinar a amostra coletada é que estes meios também

se sobressaem tanto na vertente DEC e FEC (Figura 17), quanto na quantidade de ocorrências (Figura 18).

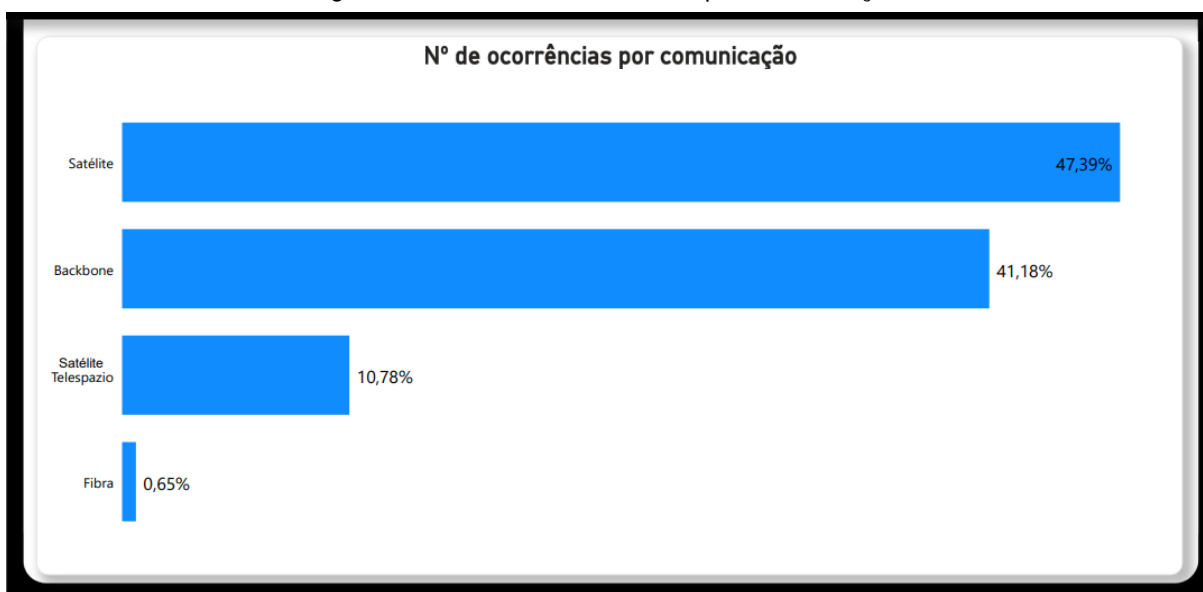
Desta forma, os meios adotados para o aprofundamento deste trabalho serão o *backbone* e satélite:

Figura 17 - DEC e FEC por comunicação



Fonte: Autoral (2023)

Figura 18 - Número de ocorrência por comunicação



Fonte: Autoral (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma análise comparativa dos sistemas de telecomunicações já foi apresentada anteriormente. Assim, a seguir serão aprofundados somente a viabilidade técnica desses sistemas, examinando as limitações da utilização no contexto atual do sistema implantado na ETO e pôr fim a análise econômica e financeira.

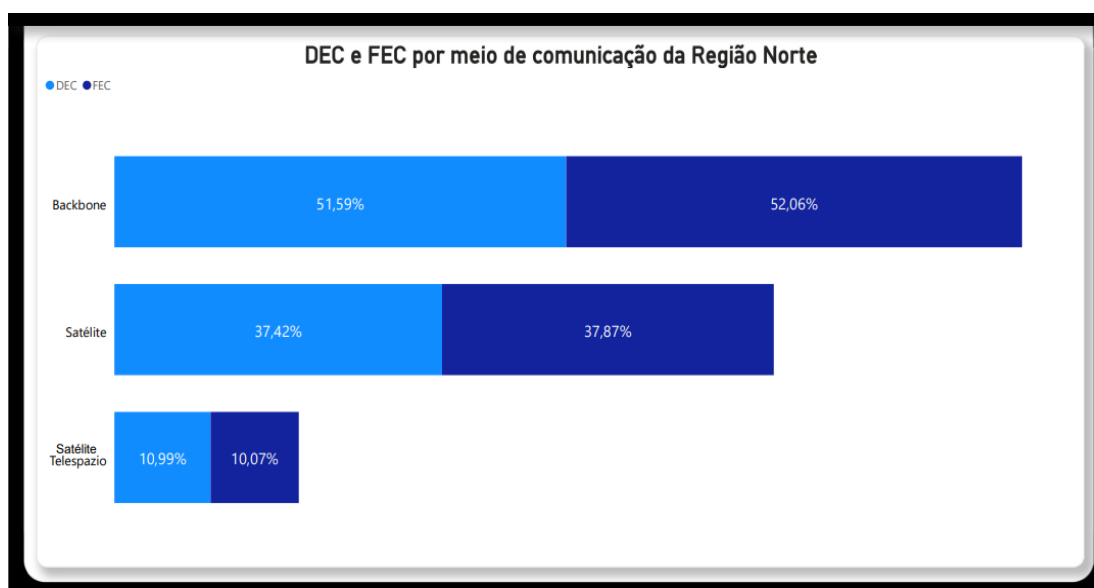
4.1 Comparação *Backbone* e Satélite

O sistema *backbone*, conhecido como "espinha dorsal" ou "rede de transporte", em português, é o principal sistema de telecom da concessionária de estudo. Atualmente foram investidos cerca de R\$10.000.000,00 (dez milhões de reais) para uma estrutura que compreende cerca de 2000 km de enlaces de Micro-ondas utilizando o equipamento Aviat.

Já o sistema de Satélite, hoje um dos sistemas predominantes na planta da ETO, é gerenciado pela empresa Embratel, podendo se apresentar de forma terrestre ou aérea. São em média 100 pontos espalhados pelo estado que atende a empresa com uma banda de 15MBps. Além do apresentado, também fazem parte os satélites gerenciados pela Telespazio, utilizado apenas na comunicação de 78 religadores de poste, com enlace ponto a ponto.

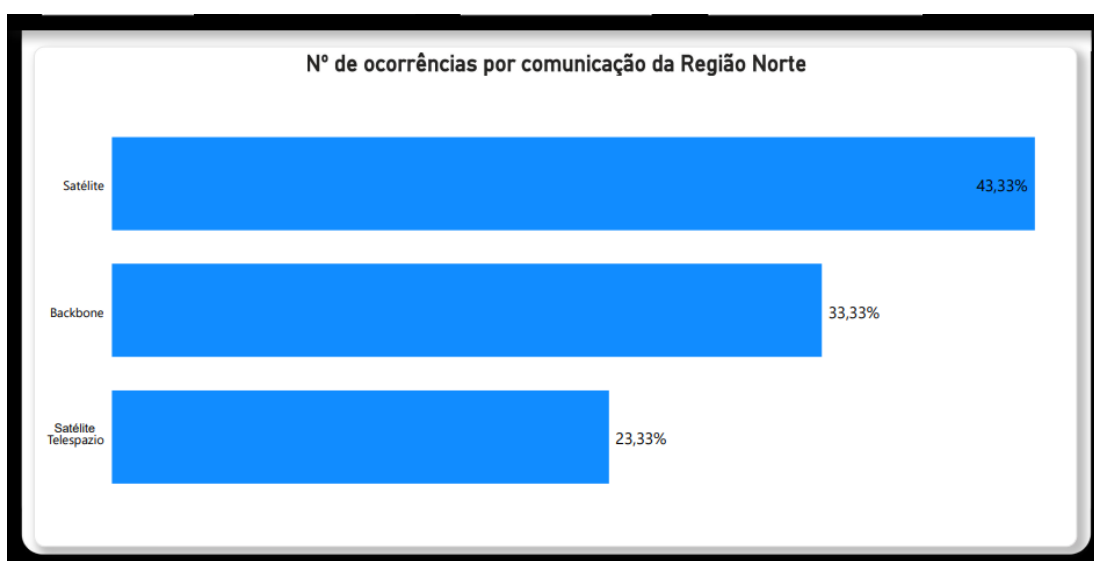
Comparando os dois sistemas com base nas amostras coletadas com referência na região Norte, é visto que o satélite ocupa a primeira posição levando em consideração o número de ocorrências. Por outro lado, ao analisar por valor do DEC o *backbone* ocupa o primeiro lugar.

Figura 19 - DEC e FEC por comunicação da região norte



Fonte: Autoral (2023).

Figura 20 - Número ocorrências por comunicação da região norte



Fonte: Autoral (2023)

Com isso, a impressão inicial de que o *backbone* é um sistema estável com alta qualidade de transmissão, tendo-se a ideia de que os equipamentos que fazem parte dessa comunicação apresentam o mínimo de falhas de transmissão entra em contradição.

Diante deste cenário, foi necessário aprofundar os estudos sobre as especificações técnicas dos equipamentos que compõem as estruturas destes sistemas de telecomunicações.

Em conversas com os analistas do DMSL, foi informado que um enlace de Micro-ondas Aviat é formado por um par de IDU (Unidade Interna Ultracompacta), ODU (Unidade Exterior Universal) e antenas. Onde a IDU (Figura 21) é um roteador de Micro-ondas com um sistema de gerenciamento integrado, responsável por fechar enlaces que dependendo de seu modelo, consegue sincronizar até 8 enlaces modulares. Já a ODU (Figura 22) é um modelo de rádio com amplificador de potência presente nas torres de transmissão, que possibilitam o ajuste de frequência e potência através de licenças, viabilizando a flexibilidade no sistema. Por este motivo, as antenas que são integradas a esta tecnologia, apresentam um tamanho menor.

Figura 21 - IDU



(AVIAT, 2023)

Figura 22 - ODU



(AVIAT, 2023)

Diante disso, nota-se que a tecnologia escolhida pela concessionária, apresenta uma alta eficiência técnica, o que garante a qualidade do sistema, apesar de não utilizar fibra óptica como a maioria dos *backbones*. Contudo, por utilizar o rádio como meio propagador do sinal, as desvantagens que ele apresenta como: obstáculos físicos e a dependência de posição acabam sendo atribuídas a esse sistema. Além destes

problemas, a tecnologia Aviat apresenta uma sensibilidade a variações de tensões, travamento com manuseio inadequado e uma especificidade técnica, o que consequentemente aumenta o tempo de resolução de uma ocorrência quando ele é o causador da instabilidade da comunicação. Impactando assim, o DEC da empresa.

Em contrapartida, no que diz respeito ao Satélite, a impressão inicial, era que este sistema seria o responsável pelo aumento dos indicadores de DEC e FEC e número de ocorrências, uma vez que o sistema apresenta como desvantagens a interferência com a variação meteorológica e conexão lenta, problemas que acontecem com frequência no cotidiano, considerando que são fenômenos que fogem do controle humano. Contudo, como apresentado na figura 20, o satélite se apresenta apenas como um sistema instável, provocando quedas recorrentes na comunicação com baixa duração de tempo.

Esta instabilidade em algumas vezes não impacta em grandes proporções no DEC da empresa, visto que na sua maioria não ultrapassam 3 minutos de duração. Contudo, o sistema torna-se não confiável, podendo prejudicar manobras de transferências importantes. Outro ponto a ser considerado é o desgaste que essa problemática gera nos analistas responsáveis pela manutenibilidade da rede de telecom e os operadores que monitoram a rede da ETO, devido ao volume de reporte de falhas curtas.

Ademais, ao estudar a estrutura física do satélite instalado na planta da ETO, é constatado que este sistema é composto por uma antena, componentes menores fixos na antena e um modem da Embratel. Onde a antena é a responsável por emitir e captar ondas eletromagnéticas do satélite e o modem por receber a requisição de dados e repassar para a antena. Vale mencionar que, a manutenção destes equipamentos é realizada apenas por técnicos da Embratel, dificultando em determinados momentos o restabelecimento em ocorrências.

Figura 23 - Antena de telecomunicação



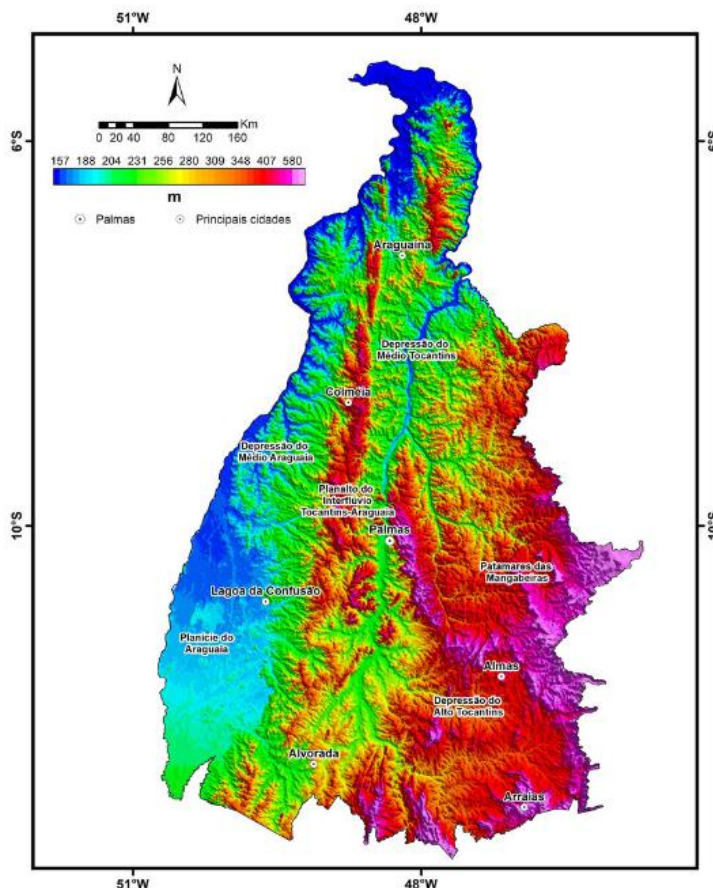
Fonte: Autoral (2023)

4.2 Instabilidades De Comunicação Na Região Norte

O relevo do estado do Tocantins é formado, predominantemente, por planaltos. Por se localizar na porção centro-sul da região do Planalto Central, encontram-se muitos morros, serras e chapadas, onde grande parte da unidade federativa tem altitudes menores que 500m (PACIEVITCH, 2023).

Há algumas áreas de planícies na porção oeste-sul, nas proximidades do Rio Araguaia e na região central do Rio Tocantins. A região norte do estado também apresenta essa unidade de relevo, principalmente no encontro do Rio Tocantins e Araguaia, no Bico do Papagaio (UOL, 2023).

Figura 24 - Relevo do estado do Tocantins



Fonte: Silva (2021)

Como pode-se observar na figura 24, a região norte delimitada pela Energisa não é uma região montanhosa, o que entra em contradição com as limitações do sistema *backbone* visto que um dos seus principais ofensores seria os altos relevos que prejudicam a visada dos enlaces.

Em se tratando do clima do estado, o predominante é o Tropical. A extensão territorial do estado faz com que existam duas regiões climáticas. Ao norte, predomina o tropical úmido, com temperaturas médias de 24°C a 28°C. Isso com índices pluviométricos de 1.500mm a 2.100mm. Já ao sul, predomina o clima tropical de inverno seco. No período de seca, o ar seco e as queimadas são mais comuns (ARAÚJO, 2020).

Diante do exposto, é percebido que altos índices pluviométricos afetam a região norte determinada pela empresa. O que reforça a informação de que o satélite sofre grandes interferências por conta das chuvas que chegam em grandes proporções no

norte do estado.

4.3 Ações Mitigatórias

Apesar de todas as problemáticas apresentadas, a empresa possui ações mitigatórias e estudos para possíveis melhorias. Uma dessas ações são as expansões dos pontos de redundância de enlaces no *backbone*, que em momento de contingenciamento um equipamento inteligente de controle de enlace (Figura 25) realiza a mudança para outro enlace que tenha a mesma direção para onde se quer mandar o comando.

Outra redundância que a empresa utiliza é a comutação de sistemas através do Cisco ASR920 realizando a troca do *backbone* para o satélite em possíveis falhas do sistema de Micro-ondas. É importante ressaltar que este sistema de comutação está instalado nos principais pontos de interligação do *backbone* devido ao alto custo que esta solução apresenta.

Apesar de todas as ações mitigatórias expostas, não é garantido que o sistema permanecerá em funcionamento em ocasiões de falhas, uma vez que a comutação de ambas as soluções é realizada através de um equipamento físico que pode falhar.

Figura 25 - Cisco ASR920



Fonte: Cisco (2023)

4.4 Custos

O planejamento e instalação de um sistema de Telecom robusto e estável, não envolve apenas o conhecimento técnico, mas também uma análise aprofundada do econômico financeiro que esta comunicação custará para a empresa.

Em muitas ocasiões nem sempre o sistema ideal será o viável, dado que toda a

tecnologia utilizada para o funcionamento deste sistema de telecom apresenta um alto valor agregado.

De um modo geral, a rede de telecomunicação ideal seria formada por fibra óptica, ou OPGW. Contudo, como já foi apresentado, a extensão territorial do estado atrelado a uma mão de obra, equipamentos e projetos especializados inviabiliza a utilização deste meio em determinadas redes de telecom, como por exemplo no *backbone*.

Assim, foi solicitado à concessionária o levantamento financeiro de cada componente que integra os sistemas de telecomunicação do *backbone* e do satélite. As informações repassadas pela equipe técnica da Energisa foi que não seria possível especificar o custo de cada equipamento numa visão macro do sistema, uma vez que a variedade de tipologias projetuais e da possibilidade da existência de uma parte do sistema já instalado faz com que haja uma variação de modelos para determinada situação. Por exemplo, na construção de um novo enlace para o *backbone* onde é necessário uma IDU/ODU e antena em ambas as pontas do enlace. Caso uma das pontas já esteja instalada, o custo de instalação altera devido ao modelo que será utilizado. Ou se o enlace é rota para outros enlaces, o custo varia devido ao modelo de IDU/ODU que será utilizado no projeto.

Em relação aos pontos de satélite a ETO tem o custo apenas com a construção da torre e da antena.

No tocante à manutenção desses sistemas, todas as manutenções necessárias são realizadas por técnicos da concessionária, exceto o satélite, como já citado anteriormente, as manutenções são realizadas pela empresa contratada. Diante do exposto, segue a média de preços dos principais componentes que compõem a estrutura dos sistemas de telecomunicação já citados:

Tabela 4 - Média de valores dos componentes

EQUIPAMENTO	VALOR
IDU	R\$ 15.000 a R\$ 25.000
ODU	R\$ 15.000 a R\$ 40.000
CISCO ASR	R\$ 65.000
TORRE	R\$ 300.000
ALUGUEL DOS PONTOS SATELITAIS	R\$ 500,00

Fonte: Autoral (2023)

É observado na tabela 4 que apesar de todas as limitações apresentadas durante o trabalho, o Rádio se mostra como uma solução mais adequada financeiramente para o sistema de *backbone*. Apesar de não ser explanado sobre o valor da fibra óptica, em consultas com os analistas da concessionária foi informado que a fibra tornaria o projeto inviável financeiramente. Uma vez que, quando foi implantado inicialmente a rede de telecom, a empresa, por motivos de segurança, não permitia a utilização mútua de fibra óptica com empresas de telecomunicações.

Outro ponto é a facilidade e flexibilidade de expansão do *backbone*, sendo possível realizar o crescimento de forma gradual como pode ser visto na figura 27:

Figura 26 - Expansão do *backbone* no Tocantins

Fonte: Autoral (2023)

De forma geral, uma ponta de enlace de Micro-ondas custa em média R\$ 100.000,00 com a tecnologia utilizada pela empresa, considerando que a torre já esteja instalada no local e o ponto em questão não terá comutação de sistema.

Em relação ao satélite, a concessionária tem em média um gasto mensal de R\$ 50.000,00 com aluguel de pontos. Vale ressaltar que o modem (*SkyEdge*) usado para formação deste sistema na planta da ETO, é fornecido pela Embratel.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em consideração o desenvolvimento constante da sociedade e a vitalidade da energia elétrica como fonte de energia no suprimento das necessidades coletivas econômicas e sociais, a procura pela confiabilidade e qualidade do fornecimento da eletricidade tornou-se o objetivo principal das concessionárias de geração, transmissão e distribuição de energia.

É notado no cenário atual que as empresas de distribuição investem em tecnologias visando a melhoria da qualidade e continuidade do serviço prestado, tendo em vista a exigência que a regulação do setor elétrico requer.

Com isso, um dos principais desafios das distribuidoras é a procura por respostas que ampliem a eficiência de entrega do serviço ao consumidor.

Diante dessas perspectivas, grande parte do direcionamento dos investimentos está em uma rede de automação e monitoramento eficiente, sendo necessário um sistema de telecomunicação adequado para a realização de manobras e transferências de carga de maneira a garantir a continuidade do fornecimento em níveis aceitáveis.

A instalação de equipamentos inteligentes ao longo dos ramais alimentadores que saem das subestações permite o aumento da confiabilidade destas redes de distribuição.

Posto isto, o estudo realizado na concessionária Energisa Tocantins evidenciou que a instalação e o funcionamento eficiente do sistema de telecomunicação vai além de conceitos técnicos, sendo necessário um estudo aprofundado do local e uma análise econômico-financeira visando a flexibilidade do sistema, de tal forma que o mesmo proporcione a fácil expansão tornando possível o crescimento em paralelo a expansão do consumo.

Uma exemplificação disso, é o *backbone* formado por rádio Aviat, que apesar do impacto que o mesmo apresenta sobre o DEC e FEC, por ser tratar de um sistema que utiliza o rádio como meio propagador do sinal, assim essa tecnologia se apresenta eficiente e viável financeiramente para a empresa. Como foi discorrido no trabalho, o projeto utilizando Fibra óptica ou OPGW para construção de todo o *backbone* tornou-se inviável economicamente, isso está ligado diretamente com a extensão territorial do estado, a inflexibilidade do meio e uma mão de obra, equipamentos e projetos especializados.

Outro exemplo é o sistema de satélite da ETO. Ao analisar apenas os aspectos técnicos, era esperado que ele fosse o responsável pelo aumento dos indicadores de DEC e FEC e pela quantidade de ocorrências. Isso ocorre devido às desvantagens do sistema, como interferência com a variação meteorológica e conexão lenta, problemas que ocorrem com frequência no cotidiano e fogem do controle humano.

Contudo, como foi mostrado no trabalho, o sistema apresenta falhas curtas em sua maioria, o que resulta em uma certa instabilidade para concessionária. Apesar dessa não confiabilidade, ao analisar o aspecto financeiro, percebe-se que ele é vantajoso por ser um sistema de aluguel, sem custos de manutenção.

O projeto futuro da concessionária é substituir de forma gradual e planejada, a maioria dos pontos de satélite pelo sistema de *backbone* o que trará maior estabilidade e controle, reduzindo a dependência de fatores externos.

A empresa vem estudando formas de minimizar os impactos dos sistemas de telecomunicações em uso sobre o DEC e FEC. Uma das soluções já implementadas foi a introdução de redundância nos principais enlaces, por meio de roteadores inteligentes que possibilitam uma comutação automática em caso de falhas no sistema, garantindo maior segurança e estabilidade na comunicação.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Algumas propostas são colocadas para possíveis trabalhos futuros, são elas:

- Análise dos sistemas de telecomunicações levando em consideração a influência da geografia do local;
- Análise dos sistemas de telecomunicações levando em consideração o clima da região;
- Estudo de implantação de novas redundâncias no sistema existente.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABRASAT. TIPOS DE ÓRBITAS E SEUS SATÉLITES. **Abrasat**, 2012. Disponível em: <<https://abrasat.org.br/satelite/os-tipos/>>. Acesso em: 8 outubro 2022.

AGRAWAL, G. P. **Sistemas de Comunicação por Fibra Óptica**. 4^a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., v. 1, 2014.

AMIN, S.; WOLLENBERG, B. **Toward a smart grid: power delivery for the 21st century**. **Power and Energy Magazine**, IEEE, v. 3, n. 5, p.34-41, 2005.

ARAÚJO, I. Geografia do Tocantins. **Escola Educação**, 2020. Disponível em: <<https://escolaeducacao.com.br/geografia-do-tocantins/>>. Acesso em: 10 maio 2023.

ARAÚJO, Sérgio Fellipe Ferreira de. **Antena da banda Ku (60cm) com emprego na banda C.2017**. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2017.

AVIAT. roteador de micro-ondas CTR 8500. **Aviat**, 2023. Disponível em: <<https://aviatnetworks.com/ctr-8500-microwave-routers/>>. Acesso em: 10 maio 2023.

BARBOSA,. **Atlas Aerogeofísico do Estado do Tocantins**. Resertchgate, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Topografia-do-estado-do-Tocantins-SRTM-Shuttle-Radar-Topography-Mission_fig3_357573843>. Acesso em: 10 maio 2023.

Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. **GOV.COM**, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/distribuicao>>. Acesso em: 30 outubro 2022.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes**. Relatório, 2010. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_44_0-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157>. Acessado em: 25 junho. 2023

CARVALHO, Álvaro G. de; BADINHAN, Luiz Fernando da C.; **Eletrônica: Telecomunicações**. Fundação Padre Anchieta, 2011

CISCO. **Roteador Cisco ASR 920**. CISCO, 2023. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/pt_br/support/routers/asr-920-router/model.html>. Acesso em: 10 maio 2023.

DE PAULO, Lucas Folli Fontenele. **Análise Sistêmica da Automação de Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Estudo de Caso Realizado na empresa Elektro Redes**. São Carlos-SP, 2015.

ELETRONET. **Qual a Relação da Transmissão de Energia Elétrica e o Cabo OPGW?**, 2018. Disponível em: <<https://www.eletronet.com/blog/qual-a-relacao-da-transmissao-de-energia-eletrica-e-o-cabo-opgw/>>. Acesso em: 31 Outubro 2022.

ENERGISA. ENERGISA DISTRIBUIDORA. **Energisa**, 2013. Disponível em: <<http://holding.grupoenergisa.com.br/paginas/nossos-negocios/distribuicao.aspx>>. Acesso em: 30 outubro 2022.

ESA. Bandas de frequência de satélite. **The European Space Agency**. Disponível em: <https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands>. Acesso em: 7 outubro 2022.

FALCÃO, D. M. **Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid**. In: III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2010, Belém. SBSE 2010, v.1, p.1.

FONSECA MENDES, M.; ANTONIO JARDINI,. **História da Automação Elétrica e Estado da Arte**. CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION. CLAGTEE: [s.n.]. 2009. p. 10.

FOROUZAN, B. A. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 4ª. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., v. 1, 2010.

HAJAFIBRA , 2010. Disponível em: <<https://hajafibra.blogs.sapo.pt/3712.html>>. Acesso em: 12 Outubro 2022.

HARTWRIGHT, R; COFFEY, J. **The improvement of customer service by system automation. Reliability of Transmission and Distribution Equipment** , 1995. Second International Conference on the IET, p 127-132, 1995.

HT CABOS. **Cabo OPGW: você sabe o que é?**, 2021. Disponível em: <<https://htcabos.com.br/noticias/cabo-opgw-voce-sabe-o-que-e/#:~:text=Os%20cabos%20OPGW%20s%C3%A3o%20compostos,as%20fibras%20%C3%B3pticas%20no%20centro.>>. Acesso em: 31 Outubro 2022.

JUNIOR, M A; ZIMMER F. **Automação Da Distribuição De Energia: Recomposição Automática De Redes De Distribuição**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Elétrica, ênfase em Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cuiabá, 2014

KEISER, G. **Comunicações por Fibras Ópticas**. 4ª. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, v. 1, 2014.

KOBAYASHI,. Como funciona a comunicação por rádio? **Nova Escola**, 2009. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/1085/como-funciona-a-comunicacao-por-radio>>. Acesso em: 12 outubro 2022.

LASTRES, H. M. M.; ALBAGLI, S.; **Informação e Globalização na Era do Conhecimento**. Editora Campus, 1999

LEAF GROUP MEDIA. Vantagens e desvantagens do satélite de banda larga. **Ehow Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.ehow.com.br/vantagens-desvantagens-satelite-banda-larga-lista_261257/>. Acesso em: 7 outubro 2022.

MARQUES, Frizo Conrado. **Radiofrequência Para Comunicação De Rede**

Modbus.2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Elétrica – Unopar, londrina, 2018.

MATA, A. O que é Fibra Óptica e como funciona? **Oficina da Net**, 2019. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-otica-e-como-funciona#:~:text=A%20transmiss%C3%A3o%20da%20luz%20pela,por%20meio%20de%20reflex%C3%B5es%20sucessivas.>>. Acesso em: 10 Outubro 2022.

MOREIRA, Roberto Manrino Marques. **Análise Técnico-Econômica de Estratégias de Self -Healing em Smart Grids**. Porto-Portugal, 2011.

NASSIF, L. N. **Internet via satélite**: as expectativas da comunicação em banda larga e as implicações tecnológicas. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Estudos da Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte, 2001.

OHWEILER, M. Perdas Ópticas em Cabos OPGW (Optical Ground Wire). **Teleco**, 2016. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialopgw/default.asp>>. Acesso em: 20 Novembro 2022.

PACIEVITCH, T. Geografia do Tocantins. **Infoescola**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/geografia/geografia-do-tocantins/>>. Acesso em: 10 maio 2023.

PIRES, L. Energisa assume Celtins e garante a normalidade na relação com o Estado do Tocantins. **Governo do tocantins**, 2014. Disponível em: <<https://www.to.gov.br/secom/noticias/energisa-assume-celtins-e-garante-a-normalidade-na-relacao-com-o-estado-do-tocantins/1ewytlw0wx>>. Acesso em: 10 maio 2023.

POWER ENGENHARIA. **Fibra Óptica/OPGW**, 2016. Disponível em: <<http://powerengenharia.com.br/web/fibra-opticaopgw/>>. Acesso em: 19 Novembro 2022.

SILVA, A. B. Atlas Aerogeofísico do Estado do Tocantins. Researchgate, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/357573843_Atlas_Aerogeofisico_do_Estado_do_Tocantins>. Acesso em: 10 maio 2023.

SONDA. sonda. **Estação de Palmas** - Climatologia Local, 2021. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/palmas_clima.html>. Acesso em: 10 maio 2023.

SOUSA, Paulo Antunes. **Self -Healig Semi-Centralizado e Seus Benefícios para Clientes com Base Instalada**. Campinas-SP, 2015.

SOUZA, Marcos Rocha. **Palestra Gestão Energética – Unidade de Controle e Qualidade do Sistema**. Itabuna-BA, 2018.

TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores**. 4. ed. Amsterdam: Campus, 2003.

TUDE, E. Enlace Digital Ponto a Ponto. **Telecon**, 2004. Disponível em: <https://docs.google.com/document/d/1F-WJDDAYhvo_bMHLvnM287yC4iiDo7Oi1HNprT1ddLk/edit#>. Acesso em: 12 outubro 2022.

UOL. Tocantins. **MundEducação**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/tocantins.htm>>. Acesso em: 10 maio 2023.

VELP TECNOLOGIA. Comunicação via satélite para religadores de energia. **Velp tecnologia**, 2018. Disponível em: <<https://www.velp.com.br/portfolio/comunicacao-via-satelite-para-religadores-de-energia/>>. Acesso em: 8 outubro 2022.

VIEIRA, C. O que é sistema SCADA. **HI Tecnologia**, 2021. Disponível em: <<https://www.hitecnologia.com.br/o-que-e-um-sistema-scada/>>. Acesso em: 6 novembro 2022.

WINTER, O. C. et al. **A conquista do espaço**: do Sputnik à Missão Centenário. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2007.