

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES
CAMPUS PATOS DE MINAS

Alexandre Andriani Leandro

**PARAMETRIZAÇÃO DE ERROS EM SWITCHES DE
TELECOMUNICAÇÕES**

Patos de Minas - MG

2025

Alexandre Andriani Leandro

**PARAMETRIZAÇÃO DE ERROS EM SWITCHES DE
TELECOMUNICAÇÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
requisito parcial de avaliação da disciplina de
PFC2 da graduação em Engenharia Eletrônica
e de Telecomunicações, da Faculdade de
Engenharia Elétrica, da Universidade Federal
de Uberlândia, Campus Patos de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini

Patos de Minas - MG

2025

Alexandre Andriani Leandro

PARAMETRIZAÇÃO DE ERROS EM SWITCHES DE TELECOMUNICAÇÕES

Trabalho de conclusão de curso como requisito parcial de avaliação da disciplina de PFC2 da graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Patos de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini

Patos de Minas, 03 de setembro de 2025.

Prof. Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini, FEELT/UFU

Prof. Dra. Karine Barbosa Carbonaro, FEELT/UFU

Prof. Dr. Júlio Cézar Coelho, FEELT/UFU

Patos de Minas - MG

2025

AGRADECIMENTO

Quero expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que desempenharam um papel fundamental na minha jornada acadêmica e na minha vida. Em primeiro lugar, aos meus queridos professores, cuja dedicação e paixão pelo ensino foram uma inspiração constante. Suas orientações e conhecimentos moldaram o meu caminho, e sou imensamente grato por todas as lições valiosas que compartilharam.

À UFU, quero agradecer por me proporcionar um ambiente de aprendizado enriquecedor e desafiador. Foi aqui que pude expandir meus horizontes e crescer como indivíduo. As oportunidades que a universidade ofereceu foram inestimáveis.

Minha família merece um agradecimento especial. Sem o apoio inabalável, o incentivo e o amor que recebi de vocês, eu não teria alcançado tantos sucessos. Vocês foram meu alicerce e força motriz ao longo dessa jornada.

E, por último, mas definitivamente não menos importante, minha namorada. Sua compreensão, paciência e apoio inabalável foram meu refúgio durante os momentos desafiadores. Ter você ao meu lado tornou a melhor coisa que eu já tive em minha vida, e agradeço por ser uma parte tão valiosa da minha vida.

A todos amigos, minha sincera gratidão. Cada um de vocês desempenhou um papel vital na minha jornada, e sou verdadeiramente abençoado por tê-los em minha vida. Obrigado por tudo.

RESUMO

A parametrização de erros em switches de telecomunicações desempenha um papel central na detecção de falhas na rede, perdas de pacotes, congestionamentos e variações de latência. Ao definir parâmetros específicos, torna-se possível agilizar a resposta a incidentes, aumentando a confiabilidade da rede e minimizando interrupções no serviço. Neste contexto, o projeto busca enfrentar o desafio da crescente demanda na gestão de redes, priorizando a coleta e a análise de dados sobre falhas em switches em todo o território nacional. São considerados fatores como fabricante, localização, frequência e natureza dos problemas, permitindo uma visão ampla e detalhada do cenário. A análise evidenciou maior concentração de eventos nos períodos da manhã e da tarde, influenciada por fatores como o tráfego intenso de veículos de grande porte capazes de danificar cabos aéreos, o uso intensivo da rede em horário comercial e manutenções programadas. No panorama mensal, os picos ocorreram em janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, possivelmente em razão de instabilidades climáticas e maior volume de atividades operacionais. Entre março e junho, a incidência foi menor, refletindo maior estabilidade técnica e menor demanda. No recorte regional, destacam-se picos atípicos, como julho no Rio de Janeiro e novembro em Alagoas, relacionados a eventos pontuais, obras de manutenção e condições climáticas locais. Apesar de tendências gerais, as variações sazonais e regionais exercem influência decisiva sobre os indicadores. O objetivo final vai além de reduzir a carga operacional do Centro de Operações de Rede (NOC) por meio da detecção proativa de falhas: busca-se também implementar melhorias que aumentem a eficiência, a confiabilidade e a resiliência da infraestrutura de telecomunicações.

ABSTRACT

The parameterization of errors in telecommunications switches plays a central role in detecting network failures, packet loss, congestion, and latency variations. By defining specific parameters, it becomes possible to accelerate incident response, enhancing network reliability and minimizing service interruptions. In this context, the project aims to address the challenge posed by the growing demand in network management, focusing on the collection and analysis of data related to switch failures across the entire country. Factors such as manufacturer, location, frequency, and the nature of problems are taken into account, providing a broad and detailed view of the scenario. The analysis revealed a higher concentration of events during the morning and afternoon, influenced by factors such as heavy vehicle traffic capable of damaging aerial cables, intensive network usage during business hours, and scheduled maintenance activities. From a monthly perspective, peaks were observed in January, February, August, September, October, November, and December, possibly due to climatic instabilities and increased operational activity. Between March and June, the incidence was lower, reflecting greater technical stability and reduced demand. On a regional scale, atypical peaks stand out, such as in July in Rio de Janeiro and November in Alagoas, linked to isolated events, maintenance works, and local weather conditions. Although general trends exist, seasonal and regional variations exert a decisive influence on the indicators. The ultimate goal goes beyond reducing the operational workload of the Network Operations Center through proactive fault detection: it also seeks to implement improvements that enhance the efficiency, reliability, and resilience of the telecommunications infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Equipamento responsável por emissão de laser.....	14
Figura 2: Mecanismo para fabricação de fibra.....	20
Figura 3 : Estrutura com corte transversal sobre uma fibra óptica.....	22
Figura 4 : Demonstração da reflexão do laser na fibra óptica.....	23
Figura 5 : Exemplo sobre multiplexação via FDM	26
Figura 6 : Funcionamento da multiplexação utilizando CDM	26
Figura 7 : Ilustração da multiplexação por SDM	27
Figura 8 : Utilização da multiplexação por TDM	28
Figura 9 : Reflexão dos sinais de luzes	28
Figura 10 : Mapeamento de uma parte da rede DWDM no Brasil.....	29
Figura 11 : Processamento digital de sinal na fibra óptica.....	30
Figura 12 : Topologia de Anel	32
Figura 13 : Mapeamento da rede PON.....	33
Figura 14 : Comunicação residencial via PON	34
Figura 15 : Compartilhamento de comunicação PON em várias residências	34
Figura 16 : Equipamento terminal de linha óptica com várias portas PON	36
Figura 17 : Demonstração da comunicação da OLT até a residência.	36
Figura 18 : Ilustração de uma CTO	37
Figura 19 : Estrutura física de uma SFP e SFF	38
Figura 20 : Transmissão de dados em direção downstream e upstream.....	40
Figura 21 : Aplicação de uma GBIC em um equipamento de porta PON	41
Figura 22 : Protocolo ICMP em uma topologia de anel.....	42
Figura 23 : Número de Ocorrências por Estados - Todos Alarmes.....	49
Figura 24 : Número de Ocorrências por Intervalo do Dia - Todos Alarmes.....	50
Figura 25 : Número de Ocorrências por Estados - PortDown.....	52
Figura 26 : Número de Ocorrências por Intervalo do Dia - PortDown.....	52
Figura 27 : Número de Ocorrências por Estados - SwitchDown	53
Figura 28 : Número de ocorrências por intervalo do dia – SwitchDown	54
Figura 29 : Número de ocorrências por estados – Problemas de equipamento	55
Figura 30 : Número de ocorrências por intervalo do dia – Problemas de equipamento.....	55
Figura 31 : Número de ocorrências por estados – OSPF	56
Figura 32 : Número de ocorrências por intervalo do dia – OSPF	57
Figura 33 : Número de ocorrências por estados – Temperatura.....	58

Figura 34 : Número de ocorrências por intervalo do dia – Temperatura	58
Figura 35 : Histograma de horas necessárias para normalização de alarmes.....	61
Figura 36 : Alarmes normalizados no período de 1 a 4 horas após o início.....	62
Figura 37 : Alarmes normalizados no período de 5 a 8 horas após o início.....	63
Figura 38 : Alarmes normalizados no período de 9 a 12 horas após o início.....	64
Figura 39 : Alarmes normalizados no período de 13 a 16 horas após o início.....	65
Figura 40 : Alarmes normalizados no período de 17 a 20 horas após o início.....	65
Figura 41 : Alarmes normalizados no período de 21 a 24 horas após o início.....	66
Figura 42 : Alarmes normalizados no período acima de 24 horas após o início.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDM	<i>Code Division Multiplexing</i>
CO	<i>Operations Center</i>
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>
EDFA	<i>Erbium-Doped Fiber Amplifier</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
GFP	<i>Generic Framing Protocol</i>
GPON	<i>Gigabit Passive Optical Network</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LEDs	<i>Light Emitting Diode</i>
NAP	<i>Network Access Points</i>
NOC	<i>Network Operations Center</i>
ODN	<i>Optical Distribution Network</i>
OLT	<i>Optical Line Terminal</i>
ONT	<i>Optical Network Terminal</i>
ONU	<i>Optical Network Units</i>
DSP	<i>Digital Signal Processing</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
SDM	<i>Space Division Multiplexing</i>
SFF	<i>Small Form-Factor</i>
SFP	<i>Small Form-Factor Pluggable</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
WDM	<i>Wavelength Division Multiplexing</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDM	<i>Multiplexação por Divisão de Código</i>
CO	<i>Centro de Operações</i>
DWDM	<i>Multiplexação Densa por Divisão de Comprimento de Onda</i>
EDFA	<i>Amplificador de Fibra Óptica Dopada com Érbio</i>
FDM	<i>Multiplexação por Divisão de Frequência</i>
GFP	<i>Protocolo de Enquadramento Genérico</i>
GPON	<i>Rede Óptica Passiva Gigabit</i>
ICMP	<i>Protocolo de Mensagens de Controle da Internet</i>
ISP	<i>Provedor de Serviços de Internet</i>
LAN	<i>Rede de Área Local</i>
LEDs	<i>Diodo Emissor de Luz</i>
NAP	<i>Ponto de Acesso à Rede</i>
NOC	<i>Centro de Operações de Rede</i>
ODN	<i>Rede de Distribuição Óptica</i>
OLT	<i>Terminal de Linha Óptica</i>
ONT	<i>Terminal de Rede Óptica</i>
ONU	<i>Unidade de Rede Óptica</i>
DSP	<i>Processamento Digital de Sinais</i>
PON	<i>Rede Óptica Passiva</i>
SDM	<i>Multiplexação por Divisão de Espaço</i>
SFF	<i>Fator de Forma Pequeno</i>
SFP	<i>Conectável de Fator de Forma Pequeno</i>
TDM	<i>Multiplexação por Divisão de Tempo</i>
TDMA	<i>Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo</i>
WDM	<i>Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1 INTRODUÇÃO	13
1.2 TEMA DO PROJETO.....	16
1.3 PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESES.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.4.1 Objetivos Gerais	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 JUSTIFICATIVAS	18
CAPÍTULO 2	19
2.1 Fundamentos da fibra óptica	19
2.2 Fabricação de fibra óptica	20
2.3 Princípio de Funcionamento	21
2.4 Estruturas de uma fibra óptica.....	22
2.5 Modulação sobre o processo de transmissão.....	23
2.6 Demodulação sobre o sinal na recepção	24
2.7 Multiplexação.....	25
2.8 Processamento Digital de Sinais	30
2.9 Topologia de Anéis	31
2.10 Redes Ópticas Passivas.....	33
2.11 Terminal de Linha Óptica (OLT).....	35
2.12 Rede Óptica Passiva Gigabit.....	39
2.13 Categorização alarmística	41
CAPÍTULO 3	44
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS	44
CAPÍTULO 4	46
4.1 DISCUSSÕES.....	46
4.2 <i>Port Down</i>	47

4.3 <i>Switch Down</i>	47
4.4 <i>OSPF Down</i>	48
4.5 Problemas de Equipamento.....	48
4.6 Temperatura	49
4.7 Análise Gráfica.....	49
CAPÍTULO 5	69
CONCLUSÃO, TRABALHOS FUTUROS E CONTRIBUÇÕES.....	69
REFERÊNCIAS	71

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

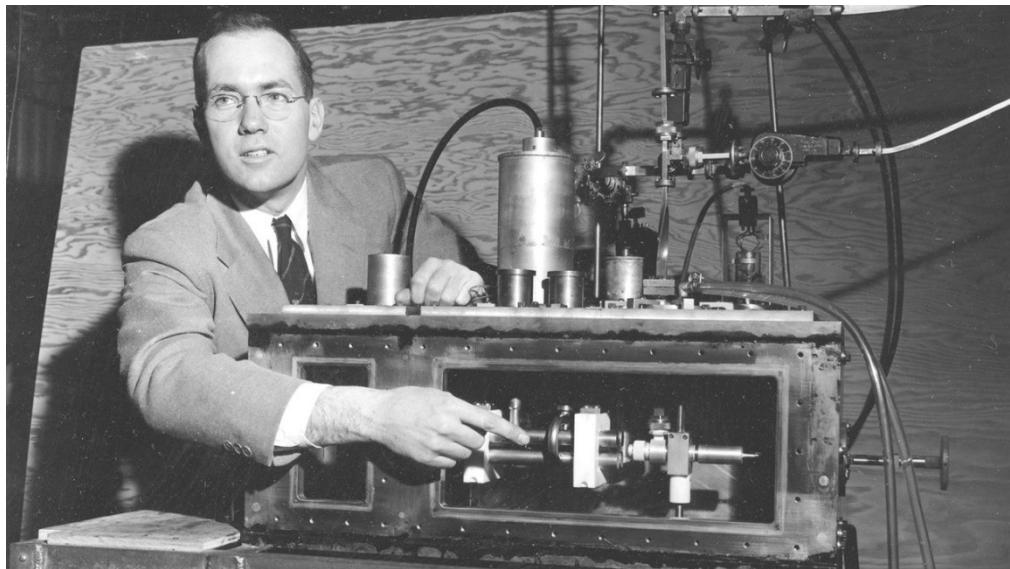
Após tempos conturbados durante a pandemia, muitas pessoas tiveram que adaptar o seu trabalho e até mesmo seu estilo de vida para que se aperfeiçoassem à uma maneira atípica que nunca tínhamos vivenciado anteriormente. Todavia, tais mudanças também acarretaram diversas transformações que evoluíram nossa infraestrutura de comunicação. Tal necessidade criou um interesse no desenvolvimento de sistemas de comunicação com uma maior capacidade de envio de mensagens, vídeo conferências e até mesmo serviços de *streaming*. Dentre as várias abordagens que foram exploradas, os meios de comunicação baseados em óptica se destacaram e ainda permanecem como meio de comunicação mais eficiente para proporcionar altas taxas de transmissão nos dias hoje, principalmente por não apresentar grandes limitações que outros meios ofereciam em nosso passado.

Em tempos pretéritos, um dos primeiros modos de comunicação reconhecidos, teve início por meio da utilização de sinais de fumaça, onde os gregos empregaram essa técnica cerca de oito séculos antes de Cristo para transmitir alertas, pedidos de ajuda e até mesmo como um indicativo de conflito entre povos. Melhorias que na época se tornaram algo fascinante, pois proporcionava uma comunicação que nenhum outro povo pensou que poderia ter sido desenvolvido. (Cuomo, 2007)

Tempos se passaram após essa criação e novas tecnologias surgiram junto a comunicações e idiomas, abordando uma grande vantagem e evolução para nossa sociedade. Entretanto, muitas ideias que eram tratadas como inovadoras em escolas, universidades, não poderiam ser desenvolvidas em virtude das limitações tecnológicas do seu período.

Apesar disso, para a área de comunicações ópticas, poucos avanços apresentaram tanta significância quanto a invenção do laser, criado no início dos anos de 1960 e gratificado pelo prêmio Nobel da física em 1964 à Charles Hard Townes (mostrado na Figura 1 junto com seu experimento) e a outros dois físicos que também estavam trabalhando de forma simultânea e independente. (Cuomo, 2007)

Figura 1 : Equipamento responsável por emissão de laser.



Fonte: (GIZ MODO UOL, 2015)

Em seu experimento, Charles conseguiu computar que as frequências ópticas geradas por tal fonte de luz alcançaram patamares de 500THz, excedendo patamares das micro-ondas. Além do crescimento da frequência, esse experimento demonstrou para a sociedade a importância da modulação de uma onda portadora opticamente coerente em frequências elevadas. Contudo, como na sua época o preço para seu desenvolvimento era de maneira tão exorbitante e seu funcionamento tinha um decaimento muito alto em ambientes naturais, como chuva, neve, poeira, o projeto da comunicação por laser se tornou algo inviável para aquele tempo, caso não houvesse uma maneira de isolar essa atenuação do exterior.

Com isso, pouco tempo se passou e a sociedade começou a buscar ideias para se isolar essa reflexão da luz que existia dentro daquele meio, dentre elas a isolação por uma camada de refração e diversos materiais de revestimento, podendo assim alcançar a maneira mais confiável de se transmitir uma informação, pois ela não estaria sujeita a nenhuma condição ambiental.

Apesar disso, mesmo com todo o esforço, parte da ideia acabou fracassando, pois as perdas de sinal acabaram alcançando a distância de 1000 dB/km, fazendo que tal comunicação se tornasse inviável e o projeto congelasse novamente até que a causa do problema fosse encontrada e sanada.

Após aproximadamente 2 anos isso acabou mudando, pois em 1966 uma nova teoria sobre o assunto havia revolucionado novamente o mercado de telecomunicações, mais especificamente na área de fibra óptica. Kao e Hockman, dois pesquisadores descobriram que

as perdas de sinal ocorriam por conta das impurezas dos materiais da fibra e por conta desse motivo, as perdas poderiam ser reduzidas de maneira significativa, trazendo novamente uma esperança para pesquisadores e investidores que estavam envolvidos com a tecnologia óptica. Entretanto tal reconhecimento só chegou em 2009, quando o prêmio Nobel de física concedido a Charles K. Kao reconheceu suas contribuições fundamentais para o campo das comunicações ópticas, em particular, pelo desenvolvimento da fibra óptica.

Tal conhecimento alavancou tanto o mercado, que em 1970 fabricou-se a primeira fibra óptica do mercado, somente quatro anos após sua predição. Além disso, boa parte da indústria começou a observar e permitiram-se a planejar como no futuro “sistemas de comunicação por luz” poderiam ser utilizados. Contudo, para os donos de grandes riquezas e investidores dessa tecnologia, não bastava apenas isso, precisava-se de um exemplo prático onde ela poderia usada. Até que em 1978, projetos paralelos começaram a surgir em outras partes do mundo, mas nenhum havia alcançado tanta inovação, quanto os sistemas nas quais operavam na região do infravermelho próximo ao espectro eletromagnético, tornando assim, o primeiro projeto de transmissão viável para aquele momento. (IEEE Spectrum, 2009)

Por conta disso, a introdução generalizada da fibra óptica revolucionou as operações empresariais em diversas frentes. Proporcionando comunicações de alta velocidade, redes mais eficientes e acesso rápido a grandes volumes de dados, a fibra óptica transformou a maneira como as empresas conduzem suas operações diárias.

Essa tecnologia essencial sustentou o crescimento de setores como finanças, saúde e entretenimento, viabilizando transações eletrônicas instantâneas, impulsionando a telemedicina, e facilitando serviços de *streaming* de alta qualidade. Além disso, seu papel fundamental em redes corporativas e infraestruturas de internet de alta velocidade contribuiu para a agilidade operacional e colaboração remota, impactando positivamente uma ampla gama de indústrias e setores. Entretanto, como toda tecnologia, seu processo necessita ser monitorado e observado quando surge imprevistos em seu dia a dia, podendo assim focar em soluções em curto prazo de tempo. Por isso, grandes empresas de telecomunicações criam instalações onde equipes monitoram, gerenciam e mantêm a infraestrutura de redes de uma provedora de serviços.

Considerando que uma empresa de telecomunicações atinge diversos estados e milhares de clientes, sua central de monitoramento apresenta alta demanda e por parte disso, parte de seus serviços de manutenção se tornam demorados e repetitivos para o cotidiano.

1.2 TEMA DO PROJETO

O nosso projeto é concebido como uma resposta à alta demanda de trabalho e ao gargalo enfrentado pela gestão de redes, com foco específico na coleta e análise de informações relacionadas a falhas em *switches*. A estratégia abrange várias etapas fundamentais para aprimorar a eficiência operacional e a confiabilidade da infraestrutura de rede.

Inicialmente, focar na coleta de dados de todo o Brasil onde a empresa apresenta clientes, podendo planejar e implementar um sistema robusto capaz de reunir informações detalhadas sobre falhas em *switches*. Essa coleta abrangerá diversos parâmetros, incluindo o fabricante do equipamento, a localização na rede, a periodicidade das falhas e os tipos de problemas observados.

Em seguida, nossa abordagem incorpora técnicas avançadas de estatística multivariada para analisar os dados coletados. Esse processo permitirá identificar padrões complexos e correlações que podem não ser prontamente perceptíveis através de métodos tradicionais. O objetivo é extrair *insights* valiosos sobre o desempenho da rede, especialmente no que diz respeito às falhas em *switches*.

Ao aprofundar a análise, o projeto visa identificar padrões específicos de falhas. Isso inclui a consideração de diversos fatores, como o fabricante dos *switches*, a localização geográfica, a frequência e o tipo de falha. A compreensão desses padrões proporcionará uma base sólida para a previsão e a prevenção proativa de futuras falhas, contribuindo para a redução da carga operacional do Centro de Operações de Rede (NOC).

1.3 PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESES

A problematização central que instiga este projeto está intrinsecamente vinculada à frequência de falhas observadas em nossos *switches* no cotidiano operacional da rede. A recorrência dessas falhas não apenas impõe um desafio considerável à eficiência e estabilidade da infraestrutura, mas também gera uma carga operacional significativa para as equipes de gestão de rede. Diante desse cenário, surge a necessidade de uma abordagem inovadora para mitigar essas falhas de maneira mais eficaz.

Uma das principais hipóteses que se destaca como proposta de solução é a existência de padrões subjacentes às falhas identificadas nos *switches*. Postulamos que, por meio de uma análise detalhada de grandes volumes de dados, será possível identificar padrões de forma mais precisa e eficiente do que por métodos convencionais. O processamento estruturado dessas

informações pode revelar correlações complexas entre diversos fatores associados às falhas, como fabricantes, localizações e tipos de incidentes.

Assim, a hipótese central do projeto é que a aplicação de uma abordagem sistemática de análise possibilitará a identificação de padrões específicos de falhas, oferecendo uma base sólida para a proposição de estratégias preventivas e corretivas. Ao final, a verificação e validação dessa hipótese contribuirão não apenas para a resolução do problema em questão, mas também para o avanço do conhecimento e das práticas na gestão proativa de redes complexas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos Gerais

Dentre os vários intutos deste trabalho acadêmico, apresentamos objetivo de filtrar e elaborar uma análise, a partir dos dados fornecidas por uma empresa de telecomunicação na área de sistema ópticos. Podendo assim, nos informar qual os switches apresentam os melhores índices e quais equipamentos de fabricantes podem ser substituídos por apresentar frequente intermitência de defeitos, baseando em nosso banco de dados.

Cabe destacar que, ao longo das análises, qualquer comparação entre fabricantes deve ser interpretada com cautela. Isso porque a quantidade de alarmes observada reflete apenas os registros absolutos, sem considerar o número de equipamentos em operação por marca. Assim, não é possível, neste trabalho, estabelecer uma relação direta de desempenho ou qualidade entre os fabricantes avaliados.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1. Efetuar a coleta de dados relacionada aos incidentes verificados em switches;
2. Realizar a análise dos dados provenientes do nosso banco de dados, adaptando-os conforme necessário para possibilitar interpretações mais precisas e efetivas;
3. Identificar padrões de defeitos, levando em consideração os dados que nos forem disponibilizados;
4. Discernir padrões de falhas, sendo possível encontrar quais fabricantes tem um índice alto de defeitos e identificar épocas do ano que apresentam um maior índice na rede.
5. Documentar todo o desenvolvimento e trazer de forma visual e didática as informações coletadas.

1.5 JUSTIFICATIVAS

Dentre as diferentes importâncias para o meio corporativo de telecomunicações, este projeto tem uma das principais vantagens conseguir identificar padrões, permitindo a implantação de ações que possam auxiliar a regressão de casos que acontecem na rede óptica que são responsáveis por atenuações ou interrupções a cliente.

Os dados utilizados neste projeto foram fornecidos por uma empresa parceira, cuja identidade será mantida em sigilo. A análise desse banco de dados de alarmes permitirá identificar os switches com maior incidência de falhas e apoiar decisões sobre a escolha de fabricantes com melhor custo-benefício para operações futuras.

CAPÍTULO 2

2.1 Fundamentos da fibra óptica

Este trabalho foi utilizado a base literária do autor Gerd Keiser, responsável pela criação do livro Comunicações por Fibras Ópticas, onde apura o início da criação da fibra de vidro por Charles K. C. Kao e sua utilização como meio de transmissão de dados e seus esforços para o desenvolvimento de fibras ópticas que apresentassem uma baixa atenuação. (KEISER, 2014)

Todavia, durante a pesquisa sobre materiais que apresentassem baixas perdas na fibra óptica, descobriu-se que existem inúmeros variedades dentro do mercado, por isso começou-se uma pesquisa sobre quais compostos químicos atenderiam para uma melhor criação de uma fibra.

Dentre as principais características químicas, o material precisaria (KEISER, 2014):

1. Ser possível fazer fibras longas, finas e flexíveis com esse respectivo material;
2. Apresentar uma transparência óptica em um comprimento de onda particular, para que a fibra guie a luz de forma eficiente;
3. Haver uma disponibilidade ou compatibilidade física com outras materiais com índices de refração ligeiramente diferentes para o núcleo e a casca externa.

Onde a maior parte das fibras é composta por vidro, que pode ser constituído de sílica ou de um silicato. A gama de opções de fibras de vidro disponíveis é bastante ampla, indo desde fibras com perda moderada e núcleos de grande tamanho, utilizadas para transmissões de curta distância, até fibras altamente transparentes de baixa perda, que são empregadas em aplicações de longa distância, como veremos adiante. (KEISER, 2014)

Por outro lado, também existem fibras plásticas, embora sejam menos comuns devido à sua atenuação significativamente maior em comparação com as fibras de vidro. As fibras plásticas são principalmente usadas em aplicações de curta distância, geralmente abrangendo algumas centenas de metros, e podem ser preferíveis em ambientes particularmente agressivos devido à maior resistência mecânica que oferecem em relação às fibras de vidro. Isso confere uma vantagem notável ao uso de fibras plásticas nessas situações específicas. (KEISER, 2014)

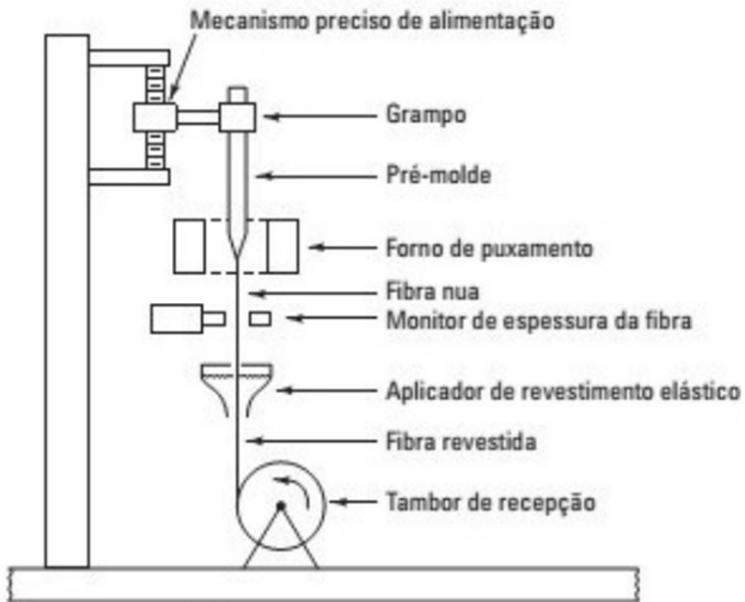
2.2 Fabricação de fibra óptica

O método de fusão direta segue os métodos convencionais de fabricação do vidro, onde as fibras ópticas são produzidas diretamente a partir do estado fundido de componentes purificados de vidros de silicato. No processo de oxidação em fase de vapor, vapores extremamente puros de halogenetos metálicos reagem com o oxigênio, resultando na formação de um pó branco composto por partículas de SiO_2 . (KEISER, 2014)

Onde as partículas são coletadas sobre a superfície de um *bulk metallic glasses* ou vidro de volume metálico (material de volume maior que a separação entre suas moléculas ou átomo constituintes), fazendo ser possível utilizar o método de sinterização para transformar a massa homogênea do vidro por aquecimento. (KEISER, 2014)

Após esta etapa, é formado por uma haste, denominada como pré-molde pelas indústrias, apresentando um comprimento de 60 a 120 cm e um diâmetro nominal em torno de 10 a 25mm, onde serão fabricadas as fibras a partir desse pré-molde construído. (KEISER, 2014)

Figura 2: Mecanismo para fabricação de fibra.



Fonte: (KEISER, 2014)

Imediatamente após, o pré-molde é inserido através de um alimentador em um aquecedor circular conhecido como *drawing furnace* ou forno de puxamento. Neste processo, a extremidade do pré-molde é gradualmente aquecida até atingir o ponto em que pode ser delicadamente esticada, formando um filamento extremamente fino que se transforma na nossa

fibra óptica. A velocidade de rotação do tambor localizado na parte inferior da torre de puxamento desempenha um papel crucial na determinação da rapidez com que a fibra será esticada. Essa velocidade, por sua vez, influenciará diretamente a espessura da fibra óptica final, tornando essencial a manutenção de uma velocidade de rotação extremamente precisa. (KEISER, 2014)

Para avaliar esse procedimento, emprega-se um monitor de espessura da fibra óptica para controlar o sistema de regulação de velocidade. No entanto, é importante ressaltar que o sistema de produção pode ser suscetível à contaminação se não houver uma proteção externa adequada. Portanto, uma camada elástica é aplicada à fibra óptica imediatamente após o processo de resfriamento, garantindo assim sua integridade. (KEISER, 2014)

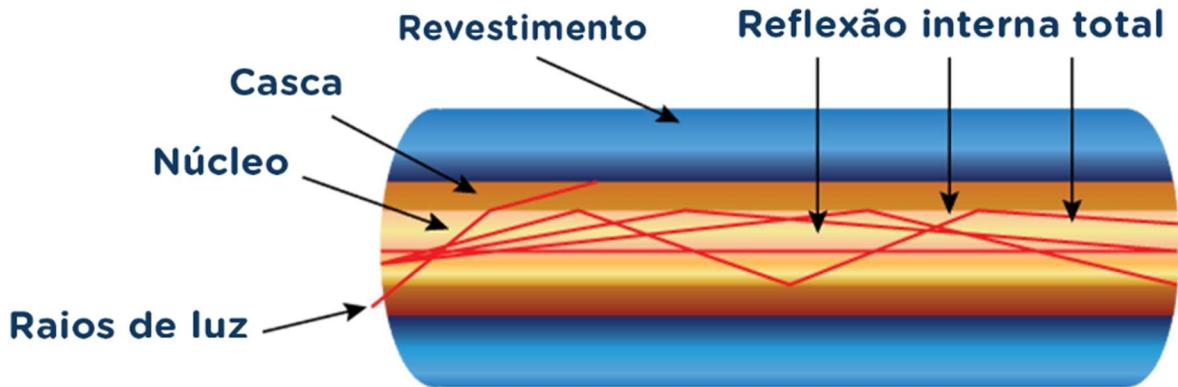
Contudo, para garantir a integridade estrutural dessa fibra óptica e protegê-la contra potenciais danos ou interferências externas, é essencial incorporá-la a uma estrutura ao longo de todo o comprimento do cabo. No entanto, a configuração do cabo pode variar consideravelmente, dependendo do local de instalação. O cabo pode ser passado por dutos internos em edifícios ou subterrâneos, enterrado diretamente no solo, fixado em postes ao ar livre ou até mesmo submerso na água. (KEISER, 2014)

Conforme as orientações dos fabricantes, a instalação de cabos de fibra óptica deve seguir as mesmas práticas e precauções de instalação adotadas para os cabos de fio tradicionais. Isso implica na necessidade de projetos de cabos específicos, devido às propriedades mecânicas das fibras de vidro. (KEISER, 2014)

2.3 Princípio de Funcionamento

As fibras ópticas operam com base no fenômeno da reflexão total interna, um princípio fundamental da óptica. Quando a luz viaja de um meio de maior índice de refração para um meio de menor índice de refração, ocorre uma reflexão total interna na interface entre esses dois meios. Isso significa que a luz é refletida completamente de volta para o núcleo, em vez de propagar para fora da fibra. Esse fenômeno permite que os sinais luminosos sejam guiados ao longo da fibra por meio de múltiplas reflexões internas, tornando possível a transmissão de informações a velocidades impressionantes. (KEISER, 2014)

Figura 3 : Estrutura com corte transversal sobre uma fibra óptica.



Fonte: (Maxdicas, 2021)

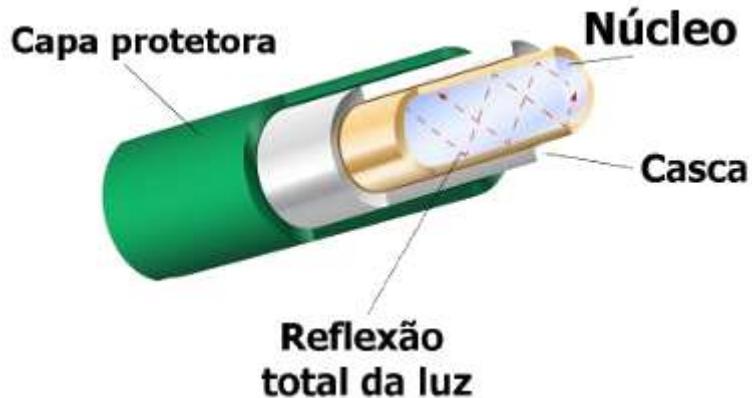
A reflexão total interna é essencial para a transmissão de dados em fibras ópticas, pois garante que os sinais luminosos permaneçam confinados na fibra, minimizando as perdas de sinal ao longo de longas distâncias. Isso torna as fibras ópticas ideais para aplicações de comunicação de alta velocidade, como redes de internet e sistemas de telecomunicações. (KEISER, 2014)

2.4 Estruturas de uma fibra óptica

A estrutura de uma fibra óptica é projetada com precisão para maximizar a eficiência da transmissão da luz. Ela consiste em três camadas principais (KEISER, 2014):

1. Núcleo: Parte central da fibra, onde a luz viaja. É geralmente feito de vidro ou plástico de alta qualidade e possui um índice de refração maior em comparação com o revestimento. Esse alto índice de refração no núcleo é o que permite a reflexão total interna, mantendo a luz confinada dentro da fibra;
2. Revestimento: Envolve o núcleo e é feito de um material com um índice de refração menor do que o núcleo. Isso cria a condição necessária para a reflexão total interna, pois a luz passa do núcleo para o revestimento e é refletida de volta para o núcleo, permitindo que a luz viaje ao longo da fibra;
3. Capa Protetora: É a camada externa da fibra óptica, projetada para proteger a fibra contra danos mecânicos, umidade e outros fatores ambientais. É feita de material plástico resistente e ajuda a garantir a durabilidade da fibra em diferentes condições de instalação e uso.

Figura 4 : Demonstração da reflexão do laser na fibra óptica



Fonte: (BLOG IPV7, 2018)

A combinação dessas três camadas permite que as fibras ópticas transmitam sinais luminosos com eficiência, garantindo que a luz permaneça confinada no núcleo da fibra e alcance seu destino com o mínimo de perda de sinal. (BLOG IPV7, 2018)

2.5 Modulação sobre o processo de transmissão

A modulação é um processo fundamental que converte sinais elétricos em sinais ópticos para transmissão em fibras ópticas. Isso é alcançado por meio de dispositivos de transmissão, como diodos emissores de luz (LEDs) ou lasers. Os sinais elétricos, que representam informações digitais, são usados para modular a intensidade da luz emitida por esses dispositivos. (KEISER, 2014)

1. *Light emitting diode (LEDs)*: São amplamente utilizados em aplicações de curta distância, como redes locais. Eles funcionam emitindo luz incoerente quando uma corrente elétrica passa por eles. A intensidade da luz é controlada pela corrente elétrica, criando pulsos luminosos que representam os dados a serem transmitidos; (KEISER, 2014)
2. *Lasers*: São preferidos em comunicações de longa distância devido à sua coerência e maior potência. Eles operam em um modo mais controlado, produzindo luz coerente em um único comprimento de onda. Isso resulta em sinais ópticos mais intensos e estreitos, permitindo que eles percorram distâncias maiores com menos dispersão. (KEISER, 2014)

A modulação precisa dos sinais elétricos para controlar a intensidade da luz é essencial para a transmissão confiável de dados em fibras ópticas, e a escolha entre LEDs e lasers depende das exigências específicas de uma aplicação. Entretanto, a propagação da luz em fibras ópticas é governada pelo princípio da reflexão total interna. À medida que a luz viaja pelo núcleo da

fibra, ela atinge a interface entre o núcleo e o revestimento. Nesse ponto, a luz é refletida de volta para o núcleo, em vez de escapar para o revestimento devido à diferença de índices de refração.

Manter a integridade do sinal durante a propagação é essencial para a eficácia das fibras ópticas. Para isso, várias considerações e técnicas são aplicadas (PINHEIRO, 2017) (KEISER, 2014):

1. Atenuação: É a diminuição da intensidade da luz à medida que ela percorre a fibra óptica. Isso ocorre devido a vários fatores, como absorção e dispersão da luz. As fibras ópticas são projetadas para minimizar a atenuação, permitindo que os sinais percorram distâncias significativas sem perdas significativas.
2. Dispersão: É a propagação do pulso de luz ao longo da fibra. Para manter os pulsos nítidos e evitar que se sobreponham, são utilizadas técnicas de compensação de dispersão, como a dispersão cromática e a dispersão modal.
3. Amplificação: Amplificadores ópticos, como o amplificador de *erbium-doped fiber* (EDFA), são usados para reforçar o sinal óptico durante a transmissão. Isso permite que os sinais viajem por distâncias ainda maiores sem perda significativa de intensidade.

A combinação dessas técnicas permite que os sinais luminosos percorram as fibras ópticas com alta eficiência e integridade, tornando a tecnologia ideal para transmissões de longa distância, junto a utilização do DWDM, equipamento que será visto à frente. (PINHEIRO, 2017)

2.6 Demodulação sobre o sinal na recepção

Após a transmissão pelos fios ópticos, os sinais ópticos precisam ser demodulados para converter novamente em sinais elétricos, que podem ser processados e interpretados. A demodulação é um processo crucial no qual a luz óptica é transformada em sinais elétricos. (KEISER, 2014)

O componente-chave para a demodulação é o fotodetector, que é colocado na extremidade receptora da fibra óptica. Existem vários tipos de fotodetectores, como fotodiodos de avalanche e foto transistores, que são projetados para detectar luz e transformá-la em corrente elétrica ou tensão. (KEISER, 2014)

Após a detecção da luz, os sinais elétricos gerados pelo fotodetector são submetidos a processos adicionais, como amplificação e filtragem, para recuperar os dados originais transmitidos. A demodulação precisa é fundamental para garantir que os dados sejam recuperados com precisão e fidelidade. (KEISER, 2014)

2.7 Multiplexação

A multiplexação é uma técnica que permite transmitir vários sinais em uma única fibra óptica, aumentando significativamente a eficiência do sistema de comunicação. Em fibras ópticas com vários núcleos, cada núcleo é usado para transportar um conjunto separado de sinais, aumentando significativamente a capacidade de transmissão da fibra. Além disso, em fibras multimodo, vários modos de propagação podem ser usados para transportar sinais independentes. (KEISER, 2014)

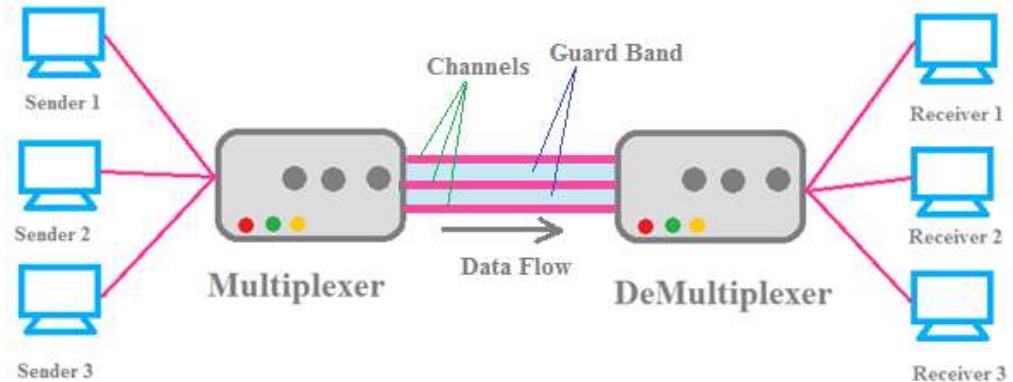
Essas técnicas de multiplexação são fundamentais em sistemas de comunicação por fibras ópticas, e a escolha da técnica depende das necessidades específicas de uma aplicação, incluindo largura de banda, distância de transmissão e complexidade do sistema. Cada técnica oferece uma maneira única de aumentar a capacidade de transmissão e eficiência espectral em sistemas de comunicação baseados em fibras ópticas. Dentre as várias técnicas que existem no mercado, podemos citar alguns importantes como:

1. Multiplexação por Divisão de Frequência (FDM)

A FDM é uma técnica que permite a transmissão de vários sinais simultaneamente em uma única fibra óptica, cada um ocupando uma faixa de frequência distinta. Cada sinal é modulado em uma frequência diferente, e essas frequências são combinadas na fibra para transmissão. (KEISER, 2014).

Por exemplo, em sistemas FDM, diferentes canais de televisão podem ser transmitidos simultaneamente em uma única fibra óptica, com cada canal ocupando uma banda de frequência específica. Isso é semelhante à maneira como diferentes estações de rádio ocupam diferentes faixas de frequência no espectro eletromagnético. (KEISER, 2014)

Figura 5 : Exemplo sobre multiplexação via FDM



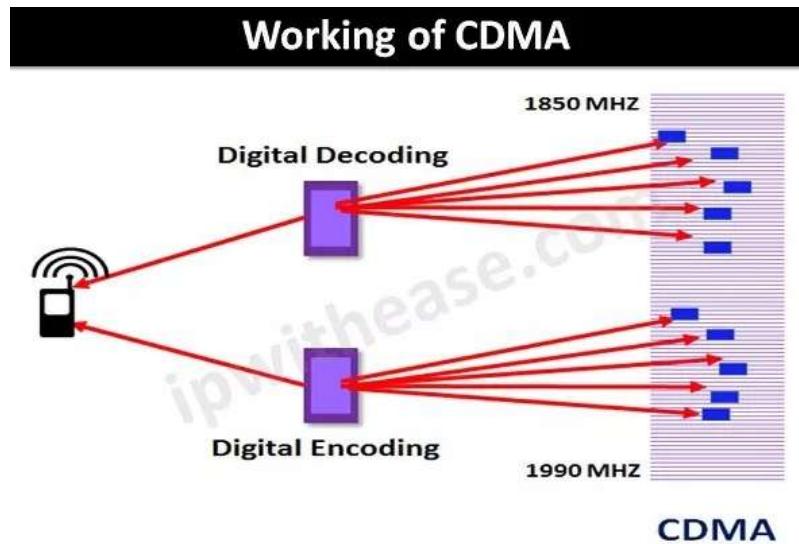
Frequency Division Multiplexing

Fonte: (ADAPTAÇÃO DE CALIBRAÇÕES IME, 2021)

2. Multiplexação por Divisão de Código (CDM)

A CDM é uma técnica que permite que sinais sejam transmitidos simultaneamente na mesma frequência, mas usando códigos de sequência diferentes. Cada sinal é modulado com um código de sequência exclusivo que permite a separação e identificação dos sinais na extremidade receptora. (PINHEIRO, 2017)

Figura 6 : Funcionamento da multiplexação utilizando CDM



Fonte: (Rashmi Bhardwaj, 2020)

O CDM é frequentemente usado em sistemas de comunicação móvel, como CDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Código), onde vários dispositivos compartilham a mesma frequência, mas usam códigos de sequência diferentes para evitar interferências e permitir a comunicação simultânea. (KEISER, 2014)

3. Multiplexação por Divisão Espacial (SDM)

A SDM é uma técnica que explora a estrutura interna de fibras ópticas que têm múltiplos núcleos ou modos de propagação. Cada núcleo ou modo é considerado um caminho de comunicação independente, permitindo que vários sinais sejam transmitidos em paralelo através da mesma fibra. (KEISER, 2014)

Figura 7 : Ilustração da multiplexação por SDM



Fonte: (Space Division Multiplexing, 2011)

SDM é uma abordagem promissora para aumentar significativamente a capacidade de transmissão em fibras ópticas. Por exemplo, em fibras multicore, cada núcleo pode transportar um conjunto separado de sinais, aumentando a largura de banda total da fibra. (PINHEIRO, 2017)

4. Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM)

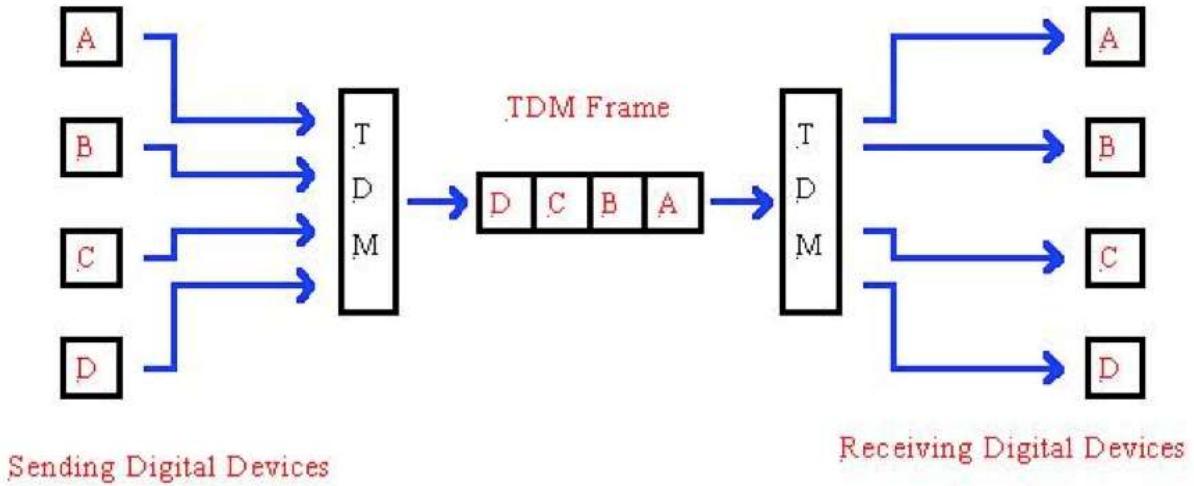
A TDM é uma técnica em que vários sinais compartilham a mesma frequência, mas são transmitidos em intervalos de tempo diferentes. Cada sinal é atribuído a um intervalo de tempo específico, e os sinais são transmitidos sequencialmente, um após o outro. (PINHEIRO, 2017)

Por exemplo, em sistemas de telefonia TDM, várias chamadas telefônicas podem ser transmitidas em uma única linha em intervalos de tempo discretos. Cada chamada ocupa um slot de tempo específico. (PINHEIRO, 2017)

Entretanto, para o nosso trabalho, focaremos mais na comunicação utilizando a multiplexação por divisão de comprimento de onda densa, conhecida como DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). O DWDM é uma técnica avançada de multiplexação usada em sistemas de comunicação por fibras ópticas para transmitir vários sinais em diferentes comprimentos de onda de luz simultaneamente. É uma extensão do WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) que emprega uma maior densidade de comprimentos de onda para

aumentar significativamente a capacidade de transmissão em uma única fibra. (PINHEIRO, 2017)

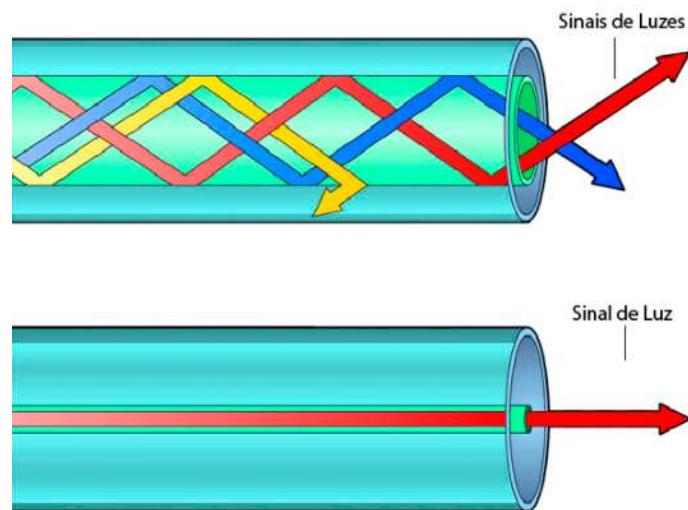
Figura 8 : Utilização da multiplexação por TDM



Fonte: (Gordo Stuff, 2011)

No DWDM, múltiplos sinais são transmitidos através de uma única fibra óptica, cada um em um comprimento de onda de luz diferente e os seus comprimentos de onda de luz utilizados são muito próximos uns dos outros, com espaçamento em intervalos estreitos, geralmente na ordem de 0,8 nanômetros (nm) a 0,4 nm. (PINHEIRO, 2017)

Figura 9 : Reflexão dos sinais de luzes



Fonte: (Tecnet, 2021)

Cada comprimento de onda carrega dados independentes, como em sistemas WDM convencionais, mas a grande diferença é que o DWDM permite o uso de um comprimento de onda fora do convencional, às vezes mais de 80 ou até centenas, em uma única fibra, fazendo

possível atingir grandes distâncias, como podemos observar na figura abaixo. (PINHEIRO, 2017)

Figura 10 : Mapeamento de uma parte da rede DWDM no Brasil



Fonte: (Padtec, 2023)

Essa alta densidade de comprimentos de onda permite uma capacidade de transmissão extremamente alta, o que é essencial para atender à crescente demanda por largura de banda em redes de comunicação modernas. (PINHEIRO, 2017)

Sua principal vantagem é a sua capacidade de aumentar substancialmente a largura de banda disponível em uma única fibra óptica. Permitindo que as empresas economizem em custos de infraestrutura, uma vez que podem transmitir uma grande quantidade de dados através de uma única fibra, em vez de instalar várias fibras separadas. Todavia o DWDM também melhora a eficiência espectral, ou seja, como o espectro de luz é utilizado de forma eficaz, reduzindo a necessidade de novos cabos de fibra. (PINHEIRO, 2017)

Contudo, nenhuma tecnologia apresenta apenas benefícios, a sua utilização exige componentes ópticos de alta precisão, como lasers, moduladores, demoduladores e filtros, para operar em várias frequências com alta exatidão. A manutenção e ajuste de sistemas DWDM podem ser complexos devido ao grande número de comprimentos de onda envolvidos. (PINHEIRO, 2017)

Relembrando que também existe causadores externos, por isso a gestão de interferências e a compensação da dispersão cromática (variação na velocidade da luz em diferentes comprimentos de onda) também são considerações críticas em sistemas DWDM. (PINHEIRO, 2017)

No geral, o DWDM é uma tecnologia essencial para atender às crescentes demandas por largura de banda em redes de comunicação, permitindo uma capacidade de transmissão de dados significativamente maior em infraestruturas de fibras ópticas existentes. Por isso as empresas mais emergentes do mercado utilizam tal tecnologia em seus sistemas e suas infraestruturas. (PINHEIRO, 2017)

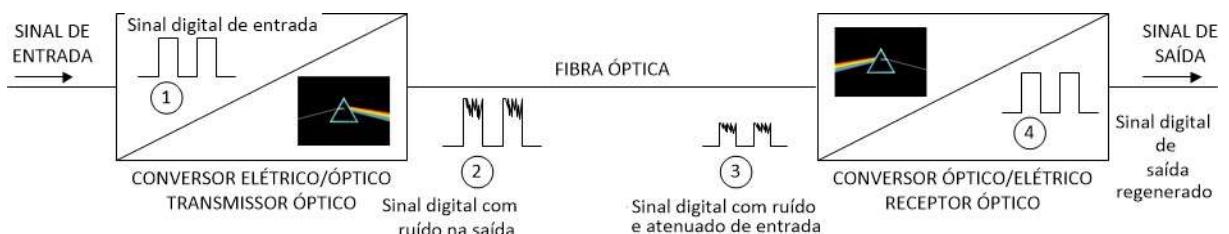
2.8 Processamento Digital de Sinais

O processamento digital de sinais (PDS) é uma parte fundamental dos sistemas de comunicação por fibra óptica. Nesses sistemas, o PDS desempenha um papel crítico na transmissão eficiente de informações através de fibras ópticas de longa distância envolvendo DWDM como vimos anteriormente. Uma das principais funções do PDS é a modulação óptica, que converte sinais digitais em sinais ópticos. Isso é alcançado através da variação de propriedades da luz, como amplitude, fase ou frequência. Essa técnica permite a representação e transmissão eficaz de dados digitais. (PINHEIRO, 2017)

As fibras ópticas podem introduzir distorções nos sinais devido a efeitos como dispersão cromática e dispersão modal. Para corrigir essas distorções, o PDS é usado na equalização de sinal. Ele ajusta os sinais recebidos para corresponder ao sinal original, garantindo a integridade dos dados. Além disso, a compensação de dispersão é uma técnica essencial que usa o PDS para corrigir os efeitos da dispersão na transmissão de dados em fibras ópticas. Isso é crucial para manter a qualidade da comunicação em longas distâncias. (PINHEIRO, 2017)

O PDS também desempenha um papel importante na amplificação óptica, controlando amplificadores ópticos, como os de fibra dopada com érbio. Onde isso garante que os sinais ópticos sejam amplificados de maneira uniforme e sem distorções. Todavia, podemos dizer que o PDS é usado para suprimir o ruído que pode ser introduzido durante a transmissão. Isso melhora a qualidade do sinal e reduz erros de transmissão. (PINHEIRO, 2017)

Figura 11 : Processamento digital de sinal na fibra óptica



Fonte: (ISPBLOG, 2019)

A recuperação de *clock* e sincronização é outra função crítica do PDS em sistemas de fibra óptica. Ele garante que o relógio de sincronização seja recuperado com precisão e que os dados sejam interpretados corretamente no receptor. (PINHEIRO, 2017)

Outro ponto que podemos citar seria o processamento de sinal adaptativo, onde é usado para ajustar continuamente os parâmetros do sistema, como ganho, equalização e compensação de dispersão, para otimizar o desempenho da comunicação, adaptando-se às condições variáveis da fibra óptica. (PINHEIRO, 2017)

De forma geral, o PDS desempenha um papel central na garantia da eficiência e do desempenho dos sistemas de comunicação por fibra óptica, superando desafios como distorção, dispersão e ruído, permitindo a transmissão confiável de dados em longas distâncias e tornando esses sistemas fundamentais para a infraestrutura de comunicação moderna. (PINHEIRO, 2017)

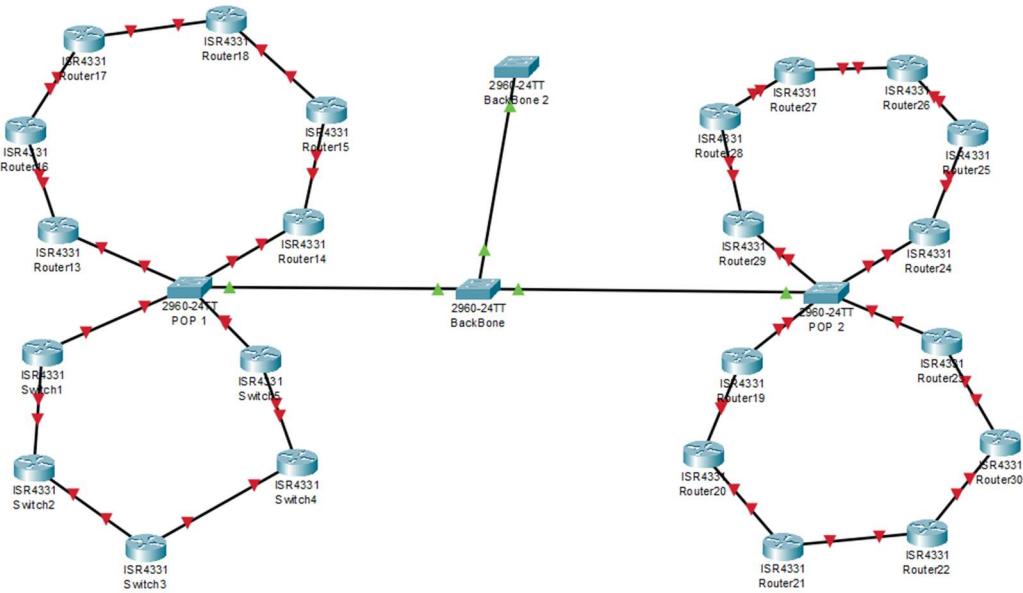
2.9 Topologia de Anéis

A comunicação pela topologia de anel é uma das tecnologias físicas mais utilizadas em redes de telecomunicações para conectar dispositivos e permitir a troca de informações. Nesse tipo de topologia, os dispositivos são interconectados em um loop fechado, formando um anel. A comunicação ocorre de forma sequencial, onde cada dispositivo na rede recebe os dados, os processa conforme necessário e encaminha-os para o próximo dispositivo no anel até que os dados atinjam seu destino. (PINHEIRO, 2017)

A topologia de anel opera com base em princípios específicos que são fundamentais para o seu funcionamento. A comunicação ocorre de maneira sequencial, e cada dispositivo no anel recebe os dados e verifica se o destino é ele próprio ou o próximo dispositivo no anel. Se o dispositivo não for o destino, ele retransmitirá os dados para o próximo dispositivo, seguindo a ordem pré-determinada. (PINHEIRO, 2017)

Uma implementação comum da topologia de anel é a passagem de *token*. Nesse caso, um pacote especial chamado *token* circula continuamente no anel. Somente o dispositivo que detém o *token* tem permissão para transmitir dados na rede. Quando um dispositivo deseja transmitir, ele espera até que o *token* chegue até ele e em seguida coloca seus dados no anel. (PINHEIRO, 2017)

Figura 12 : Topologia de Anel



Fonte: Autor

Existem vantagens e desvantagens na utilização da topologia de anel. Entre as vantagens, estão a eficiência no uso da largura de banda, pois os dados circulam em um único sentido no anel quanto não existe nenhuma ruptura no anel, e a previsibilidade do acesso à rede, uma vez que a ordem de transmissão é bem definida. (PINHEIRO, 2017)

No entanto, a topologia de anel também apresenta desafios. Uma falha em dois pontos do anel pode tornar toda a rede inoperante até que a falha seja identificada e corrigida. Além disso, a implementação, especialmente com a passagem de token, pode ser mais complexa do que outras topologias, como a topologia de estrela. (PINHEIRO, 2017)

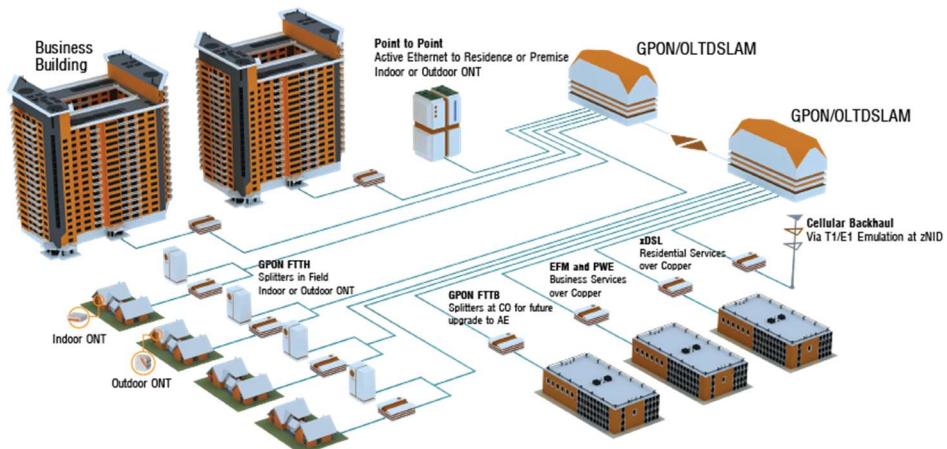
Em termos de aplicação, a topologia de anel costuma ser usada em redes metropolitanas e de longa distância, como as redes de telecomunicações. Ela também é encontrada em algumas redes locais (LAN) antigas, embora tenha sido em grande parte substituída por topologias de estrela em LAN modernas devido à sua maior tolerância a falhas e facilidade de gerenciamento. (PINHEIRO, 2017)

2.10 Redes Ópticas Passivas

Ao enfrentar o desafio de modernizar as redes de acesso antigas, que se estendem até os usuários e utilizam cabos metálicos ou coaxiais como seus principais meios de transmissão, é fundamental conduzir uma análise minuciosa. Essa necessidade surge devido às notáveis limitações encontradas nesses sistemas, tanto em termos de capacidade de transmissão quanto no que diz respeito aos custos envolvidos na implementação de novas tecnologias e serviços. (PINHEIRO, 2017)

Os custos associados à infraestrutura, aliados aos desafios inerentes à migração dos equipamentos ativos já em operação, representam os principais obstáculos para investimentos e o desenvolvimento de novos projetos. Como estratégia de implementação, a adoção das redes ópticas passivas se apresenta como uma solução viável para otimizar a infraestrutura de cabos metálicos pré-existentes nas redes de acesso, permitindo, assim, uma modernização tecnológica. (PINHEIRO, 2017)

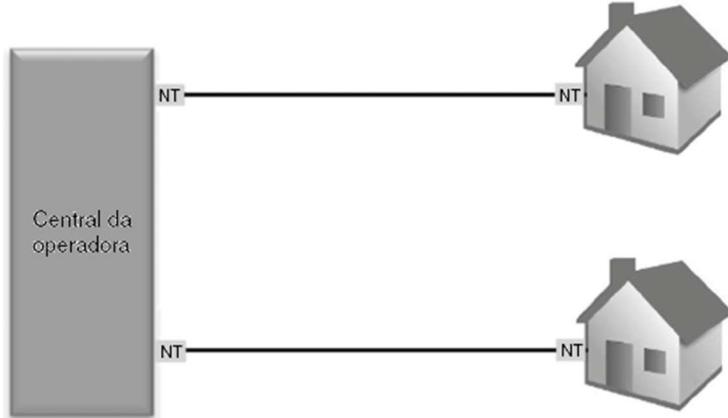
Figura 13 : Mapeamento da rede PON



Fonte: (Bradel, 2017)

A tecnologia da Rede Óptica Passiva (PON) se baseia na utilização de comprimentos de onda através de DWDM e transmissão bidirecional em uma única fibra óptica. Em sua configuração, não há componentes ativos entre a central de equipamentos e as instalações dos usuários finais. Apenas elementos passivos são incorporados na rede para direcionar os sinais ópticos em comprimentos de onda específicos, estabelecendo a comunicação entre a central de equipamentos e os terminais dos usuários. (PINHEIRO, 2017)

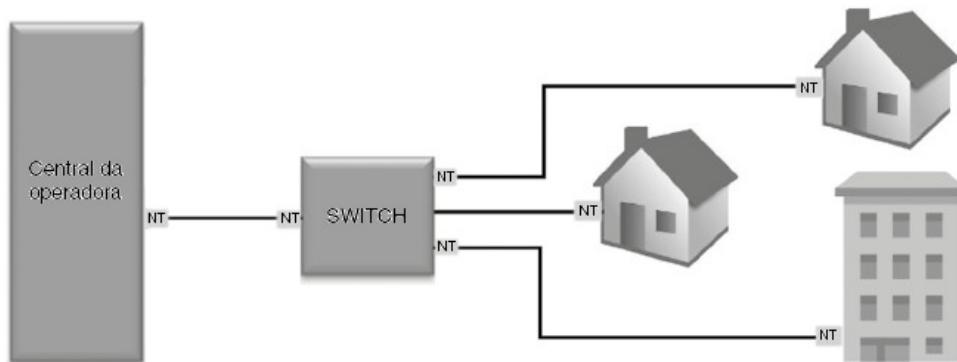
Figura 14 : Comunicação residencial via PON



Fonte: (PINHEIRO, J.M.S, 2017)

Atualmente, a distância física da transmissão pela rede óptica, da central de equipamentos até os usuários finais pode chegar a até 20 km. Ao contrário das conexões diretas ponto a ponto, a recepção dos pacotes de dados pode variar dependendo das diferentes posições dos usuários na rede. Essas variações são aceitáveis, desde que a distância até a central de equipamentos não ultrapasse esse intervalo, ou que a distância entre o usuário mais próximo da central e o usuário mais afastado, ambos conectados a um divisor de potência óptica comum, esteja em torno de 20 km. (PINHEIRO, 2017)

Figura 15 : Compartilhamento de comunicação PON em várias residências



Fonte: (PINHEIRO, J.M.S, 2017)

Onde a principal vantagem da arquitetura PON reside na economia nos custos de instalação e manutenção, já que os componentes de rede responsáveis pela distribuição do sinal são passivos, o que significa que não necessitam de energia elétrica para operar. Uma vez que esses dispositivos passivos não requerem alimentação elétrica ou processamento de sinais elétricos, eles demonstram uma notável longevidade, com um período médio prolongado entre falhas. (PINHEIRO, 2017)

Outra vantagem está na expansão da capacidade de banda larga disponível sem a necessidade de aumentar o número de componentes ativos na rede. Através de um roteamento óptico flexível, é possível ajustar o número de terminais ópticos que compartilham um canal de comprimento de onda, adequando a capacidade disponível por terminal óptico às demandas de tráfego. Essa rota pode ser estabelecida por roteadores ajustáveis que realizam a distribuição dos comprimentos de onda nos pontos de divisão da rede. Quando as demandas de tráfego entre os terminais ópticos sofrem alterações, as configurações de roteamento podem ser adaptadas para otimizar continuamente o compartilhamento do canal de comprimento de onda. (PINHEIRO, 2017)

2.11 Terminal de Linha Óptica (OLT)

Do ponto de vista físico, as estruturas de redes PON apresentam variações notáveis na transição entre a infraestrutura de fibra óptica da empresa de telecomunicações e a rede local que serve o consumidor final. Diversos atores, tais como empresas de telecomunicações, provedores de serviços de Internet (ISP) e empresas que oferecem soluções para condomínios, clubes, rodovias e outros, têm demonstrado interesse em aprimorar esses sistemas ópticos. (PINHEIRO, 2017)

A infraestrutura na parte externa é essencialmente composta por elementos ópticos passivos que conectam o Terminal de Linha Óptica (OLT), localizado na central de equipamentos, ao Terminal de Rede Óptica (ONT) presente nas instalações do usuário final, ou à Unidade de Rede Óptica (ONU) localizada em postes ou armários de rua. Esse link é estabelecido através da rede principal via *backbone* e da Rede Óptica de Distribuição (ODN). (PINHEIRO, 2017)

Onde a sua infraestrutura da ODN é responsável por encaminhar o sinal de luz a partir dos pontos de agregação, que incluem armários e pontos de junção, até o ponto onde se conecta com a rede de acesso. Ela funciona como o canal de transmissão óptica entre o OLT e as unidades ópticas. (PINHEIRO, 2017)

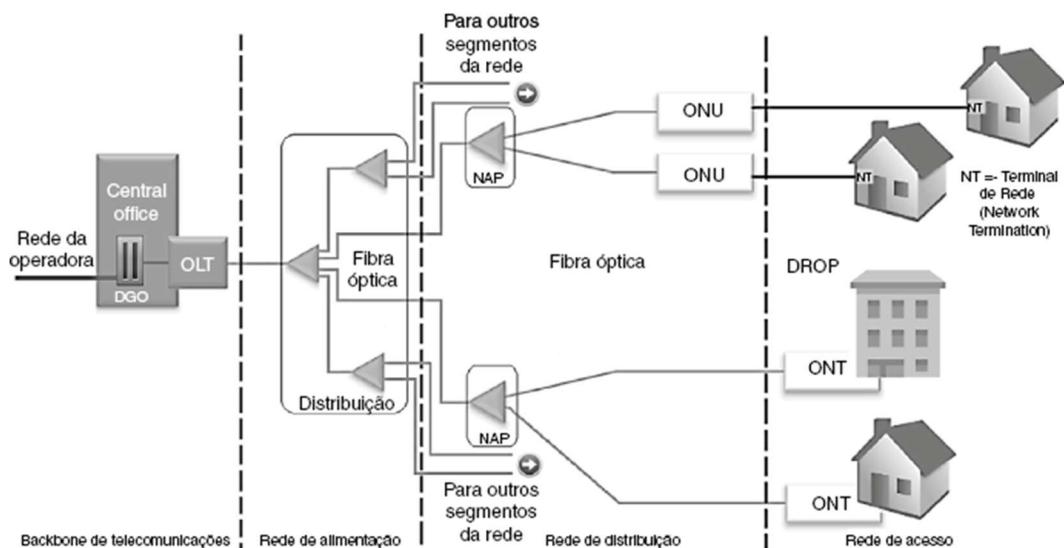
Figura 16 : Equipamento terminal de linha óptica com várias portas PON



Fonte: (CeletiSmart, 2023)

O ODN é composto por componentes passivos, como fibras ópticas, cabos metálicos, divisores e conectores. Caixas de junção e derivação de fibras são utilizadas em conjunto com os cabos para uma distribuição mais eficaz do sinal para os diversos setores da rede. Caixas de junção e terminação, conhecidas como *Network Access Points* (NAP), são estrategicamente colocadas para efetuar a transição do fluxo de energia da rede principal para a rede de acesso. Entretanto, a fim de otimizar a utilização das fibras ópticas, as PON tipicamente seguem uma estrutura em forma de estrela. Nesse arranjo, os pontos de distribuição dividem o sinal de luz em áreas mais afastadas em relação ao centro de operações, diminuindo assim a quantidade de fibras ópticas necessárias para atender esses locais de acesso. (PINHEIRO, 2017)

Figura 17 : Demonstração da comunicação da OLT até a residência.



Fonte: (PINHEIRO, J.M.S, 2017)

Figura 18 : Ilustração de uma CTO



Fonte: (Reddit, 2018)

Por conta disso, o OLT é geralmente instalada na central de equipamentos da operadora de serviços de telecomunicações. Sua função é de extrema importância, pois serve como a interface crítica entre o núcleo da rede de telecomunicações e a rede de acesso. Dentro dessa função, o OLT executa diversas tarefas essenciais que incluem a conversão de sinais entre formatos ópticos e elétricos, permitindo a comunicação eficaz entre o núcleo e as unidades ópticas localizadas nas instalações dos usuários. (PINHEIRO, 2017)

O OLT é responsável pelo gerenciamento da transmissão bidirecional de dados. Na direção do fluxo de informações em direção aos usuários, conhecido como canal de *downstream*, o OLT desempenha o papel de transmitir o sinal óptico para distribuição. Isso é feito através do uso de divisores ópticos passivos que distribuem serviços como voz, dados e vídeo para os diversos assinantes da rede. Além disso, para garantir a segurança dos dados no canal de *downstream*, o padrão ITU-T G.984 é empregado, codificando os sinais de forma a permitir que apenas o Terminal de Rede Óptica (ONT) decifre essas informações, com a ajuda de um sistema de chaves de criptografia assimétrica. (PINHEIRO, 2017)

No sentido *upstream*, em direção ao núcleo da rede, o OLT desempenha um papel crucial ao aceitar e distribuir vários tipos de tráfego de voz e dados gerados pelos usuários da rede. Para garantir um fluxo de dados eficiente e evitar colisões de quadros de *upstream*, o OLT utiliza um processo de escalonamento que se baseia na distância lógica entre o OLT e cada ONT/ONU. Esse processo de escalonamento permite a localização eficiente dos acopladores

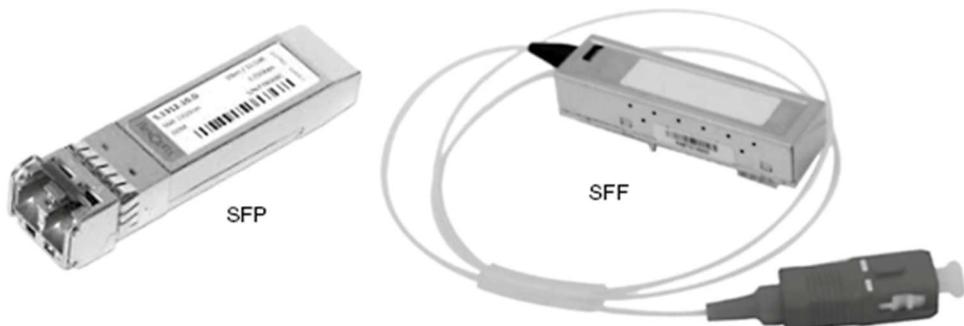
ópticos e das ONU dentro do alcance do OLT, e ele é atualizado periodicamente para manter a eficiência da rede. (PINHEIRO, 2017)

Além de suas funções técnicas, o OLT desempenha um papel importante na gestão da comunicação com os equipamentos terminais que conectam os usuários finais à rede da operadora de telecomunicações. Esses equipamentos terminais, frequentemente instalados o mais próximo possível dos usuários, são responsáveis pela conversão do sinal óptico em sinal elétrico e vice-versa. Portanto, o OLT deve suportar distâncias de transmissão significativas, que podem alcançar até 20 km por meio da ODN e deve fornecer uma interface eficiente com o restante da rede de telecomunicações, desempenhando um papel central na entrega dos serviços aos assinantes. (PINHEIRO, 2017)

Entretanto, para que tal funcionamento ocorra da melhor forma, uma SFP (*Small Form-Factor Pluggable, Plugável de fator de forma pequeno*) é utilizada, que representa um tipo de módulo de transceptor que desempenha um papel crucial em redes de comunicação. Esses módulos compactos e *hot-swappable* são projetados para permitir a transmissão e recepção de dados em equipamentos de rede, facilitando a conexão entre diferentes interfaces ópticas ou elétricas. As SFPs são amplamente utilizadas em redes de fibra óptica, mas também podem ser empregados em conexões de cobre. (PINHEIRO, 2017)

Uma das principais vantagens dos SFPs é sua versatilidade. Eles estão disponíveis em várias variantes, como SFP SX para curtas distâncias, SFP LX para longas distâncias, SFP+ para velocidades mais elevadas, e outras, o que os torna adequados para diversas necessidades de transmissão de dados. Além disso, os SFPs são conhecidos por sua capacidade de troca a quente, o que significa que podem ser substituídos sem interromper o funcionamento do equipamento, tornando a manutenção de redes mais eficiente. (PINHEIRO, 2017)

Figura 19 : Estrutura física de uma SFP e SFF



Fonte: (PINHEIRO, J.M.S, 2017)

Por outro lado, podemos também utilizar uma SFF(*Small Form-Factor, Fator de forma pequeno*), que representa um padrão mais amplo de encapsulamento compacto usado em diversos dispositivos eletrônicos, incluindo módulos de transceptor. Diferentemente dos SFPs, os módulos SFF não seguem um padrão tão rígido, e a nomenclatura pode variar significativamente dependendo do fabricante e da aplicação específica. (PINHEIRO, 2017)

Os módulos SFF podem ser projetados para acomodar uma variedade de tipos de conectores, como LC (comum em redes de fibra óptica), RJ-45 (utilizado em Ethernet de cobre) e outros. Portanto, o termo SFF é mais genérico e flexível em comparação com SFP. Ele engloba a ideia geral de encapsular componentes de comunicação em um formato compacto, permitindo a adaptação a diferentes requisitos e tecnologias. (PINHEIRO, 2017)

Em resumo, a escolha entre SFP e SFF depende das necessidades específicas da rede e da compatibilidade com os dispositivos utilizados. Os SFPs são altamente padronizados, oferecendo flexibilidade e troca a quente, enquanto SFF é um termo mais amplo que engloba diversas abordagens para encapsulamento compacto em dispositivos eletrônicos, com menos rigidez de padrões. (PINHEIRO, 2017)

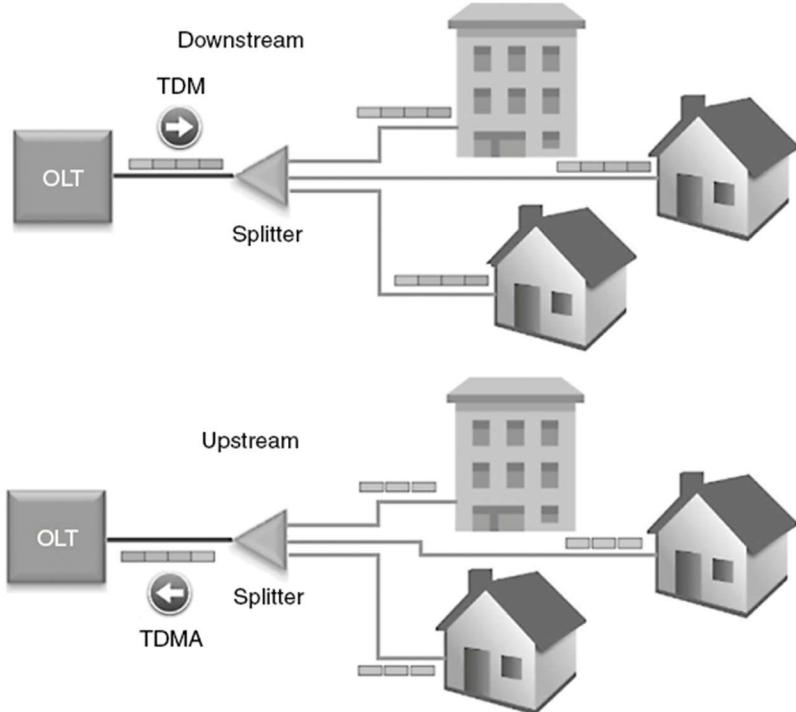
2.12 Rede Óptica Passiva Gigabit

A arquitetura *Gigabit Passive Optical Network* (GPON), ou Gigabit PON, representa uma evolução nas redes de acesso de banda larga. Ela é a segunda geração de recomendações da ITU-T, que foram publicadas pela primeira vez em 2003 sob o nome G.984. Essas recomendações são fundamentais para estabelecer as diretrizes de como as redes de fibra óptica passivas podem fornecer serviços de alta velocidade e alta qualidade. (PINHEIRO, 2017)

GPON baseia-se no *Generic Framing Protocol* (GFP), que é projetado para encapsular e transportar pacotes IP sobre redes SONET/SDH. O GFP é altamente flexível, permitindo o envio de pacotes de diferentes tamanhos e é adequado para aplicações em redes de alta velocidade. (PINHEIRO, 2017)

A arquitetura GPON é caracterizada por sua eficiência na transmissão de dados em duas direções: downstream, que seria do provedor de serviços para o cliente e upstream, do cliente de volta ao provedor. No sentido downstream, os pacotes são transmitidos em broadcast a partir da OLT e distribuídos para as unidades de rede óptica dos assinantes através de divisores de rede. Isso permite que várias ONUs acessem os mesmos dados simultaneamente. (PINHEIRO, 2017)

Figura 20 : Transmissão de dados em direção downstream e upstream.



Fonte: (PINHEIRO, J.M.S, 2017)

Na direção de upstream, a técnica de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) é empregada. Ela aloca intervalos de tempo específicos para cada ONU transmitir seus dados de volta para o OLT. Isso garante que não haja conflitos de dados ao enviar informações dos clientes de volta à central.

A arquitetura GPON é altamente eficiente, alcançando taxas de utilização de cerca de 93% para o sentido upstream e 94% para o sentido downstream, tornando-a uma escolha eficaz para redes de acesso de alta velocidade.

Embora a distância máxima de transmissão seja especificada em 20 km, a chamada "distância lógica" pode ser estendida a 60 km, o que permite a implementação de sistemas de longo alcance com grande largura de banda. No entanto, a qualidade e capacidade da fibra óptica utilizada podem afetar o alcance real da rede.

Além disso, o GPON utiliza diferentes comprimentos de onda para transmitir dados e vídeo. O downstream de dados utiliza um comprimento de onda de 1.490 nm com uma taxa de transferência de 2.488 Gbps, enquanto o downstream de vídeo utiliza 1.550 nm. O upstream de dados opera em um comprimento de onda de 1.310 nm com uma taxa de transferência de 1.244 Gbps.

Figura 21 : Aplicação de uma GBIC em um equipamento de porta PON



Fonte: (Infra News Telecom, 2020)

Os padrões GPON permitem distâncias de até 60 km a partir do equipamento central, com um limite de 20 km entre quaisquer duas unidades a ONU. Embora uma única porta óptica GPON possa, teoricamente, atender até 128 assinantes, é mais comum recomendar a utilização de até 32 ONU por porta do OLT, considerando a possibilidade de sobreposição da transmissão de vídeo em um comprimento de onda separado. Isso é importante para garantir uma qualidade de serviço adequada, especialmente em distâncias curtas, onde a taxa de divisão pode ser estimada em 1:64, com uma capacidade de banda larga compartilhada entre os usuários finais.

2.13 Categorização alarmística

A categorização alarmística em uma rede de fibra óptica refere-se à classificação e gerenciamento de alarmes e problemas que podem surgir nesse tipo de infraestrutura de comunicação. Os sistemas de fibra óptica são fundamentais para a transmissão de dados em alta velocidade, sendo amplamente utilizados em telecomunicações, redes de internet e aplicações empresariais. No entanto, problemas podem ocorrer e, por isso, é importante categorizá-los para uma rápida identificação e resolução. Dentre esses problemas, existem vários tipos de problemas típicos que podem afetar a rede de fibra óptica, incluindo:

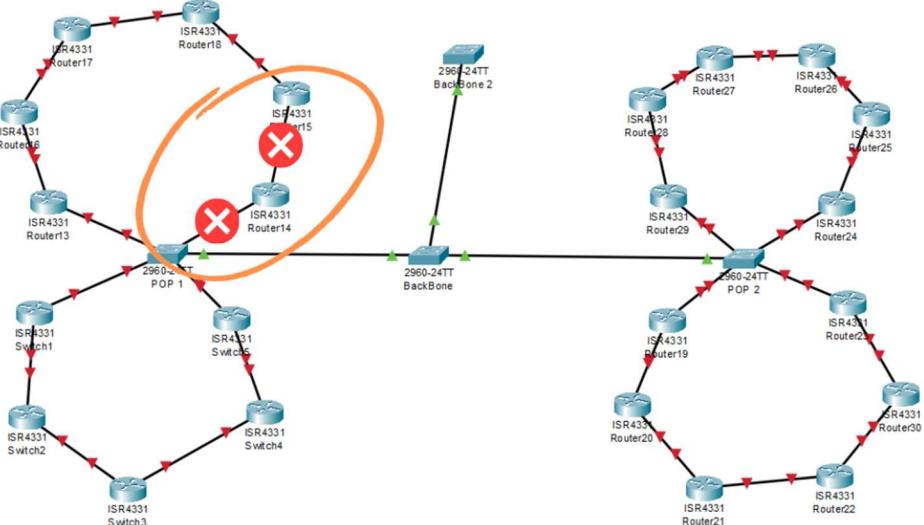
- Interrupções físicas e rompimentos, cortes ou danos nas fibras ópticas podem ocorrer devido a escavações acidentais, desastres naturais ou deterioração ao longo do tempo. Essas interrupções causam perda de conectividade e devem ser prontamente reparadas.

- Atenuação na fibra: a atenuação é a redução da intensidade do sinal à medida que ele percorre a fibra óptica. Isso pode ocorrer devido a curvas acentuadas na instalação da fibra, conexões soltas ou sujeira nas extremidades da fibra.
- Sobrecarga de capacidade: a medida que a demanda por largura de banda aumenta, a rede de fibra óptica pode ficar sobrecarregada, resultando em congestionamentos e desaceleração do tráfego de dados.

Tais obstáculos, podem acarretar diversos problemas, dentre os principais deles:

O *Internet Control Message Protocol* (ICMP) é um protocolo de controle de rede usado para comunicações de diagnóstico, detecção de erros e gerenciamento de roteamento em redes baseadas no Protocolo de Internet (IP). Ele desempenha um papel fundamental na manutenção e na solução de problemas em redes IP. Quando tal protocolo está fora de funcionamento em um respectivo equipamento, diagnosticamos como um switch down, ou seja, o switch que tinha esse protocolo, não está apresentando um retorno em sua conectividade, estando fora de funcionamento.

Figura 22 : Protocolo ICMP em uma topologia de anel.



Fonte: Autor

Tal protocolo de ICMP costuma ocorrer em virtude de um *port down* (porta inativa), situação em que uma porta de rede, como uma porta Ethernet em um switch, roteador ou dispositivo de rede, não está funcionando ou não está mais ativa. Isso significa que a porta não está transmitindo dados ou não está em um estado operacional. Quando uma porta está "down," ela não é capaz de transmitir dados, o que pode afetar a conectividade de dispositivos

conectados a essa porta. Resolver um problema de *port down* geralmente envolve a identificação da causa raiz do problema, seja verificando a conexão física, configurando corretamente o dispositivo ou fazendo reparos no hardware, conforme apropriado. A reativação da porta é essencial para restaurar a conectividade e o funcionamento normal da rede.

O *Storm Control* (controle de tempestades) é um recurso de gerenciamento de tráfego em switches de rede que visa prevenir ou controlar tempestades de broadcast, multicast ou unicast desconhecido que podem sobrecarregar a rede e causar problemas de desempenho. Tempestades de tráfego ocorrem quando uma grande quantidade de tráfego de difusão, multicast ou tráfego unicast desconhecido é gerada e propagada na rede, resultando em congestionamento e interferência. Podendo ser uma medida de segurança para evitar essas tempestades e é geralmente configurado em switches Ethernet. Ele funciona monitorando o tráfego na rede e, quando detecta que um determinado limiar de tráfego específico for excedido em uma porta ou em uma VLAN, o switch toma medidas para controlar ou suprimir o tráfego em excesso.

CAPÍTULO 3

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de dados deste projeto foi realizada no setor de Centro de Operações de Rede (NOC - Network Operations Center) de uma empresa de telecomunicações. Esse setor desempenha um papel estratégico, pois concentra as atividades de monitoramento e gestão da infraestrutura de rede, garantindo desempenho, disponibilidade e resposta a incidentes em tempo real.

Convém salientar que a análise por fabricante foi conduzida exclusivamente a partir do número absoluto de falhas registradas. Como não há informações sobre a proporção de dispositivos de cada marca presentes na rede, não é viável inferir que determinado fabricante apresente equipamentos mais ou menos confiáveis. O volume de ocorrências pode simplesmente refletir a predominância quantitativa de uma marca em relação às demais.

Esta coleta de dados representou uma etapa fundamental do trabalho, uma vez que os dados extraídos desse setor desempenham um papel significativo na consecução dos objetivos do projeto. Os dados coletados serviram de base para a análise detalhada realizada, na qual foram aplicadas técnicas analíticas e metodologias apropriadas para examinar as informações com profundidade. A análise dos dados do setor NOC permitiu identificar tendências, padrões e possíveis áreas de melhoria. Esse processo mostrou-se crucial para a compreensão do comportamento da rede, auxiliando na proposição de recomendações que podem beneficiar a empresa de telecomunicações e contribuir para o aprimoramento da eficiência operacional.

As ferramentas de processamento de dados tiveram papel essencial nessa análise. Foi utilizado um computador de alto desempenho, equipado com recursos de processamento avançados, permitindo lidar com grandes volumes de informações de maneira eficaz. Além disso, foram empregados softwares básicos de análise de dados, como o Excel e o LibreOffice, para análises iniciais e organização das informações. Reconhece-se, entretanto, que a área de telecomunicações está sujeita a uma complexidade significativa, exigindo métodos e ferramentas de análise mais elaborados para identificar padrões e tendências de forma consistente. Essa abordagem possibilitou alcançar uma visão mais apurada dos dados, fornecendo insights relevantes e recomendações aplicáveis à melhoria da infraestrutura de rede.

Para a elaboração dos gráficos, os dados filtrados foram organizados e processados em dois programas, com o objetivo de gerar representações visuais adequadas. Para os gráficos de número de ocorrências por estados, utilizou-se o Microsoft Excel, em virtude de apresentar uma maior variedade de cores em seu catálogo, facilitando a diferenciação das regiões. Já para o histograma e a análise do tempo necessário para normalização dos alarmes, optou-se pelo Matlab, por oferecer maior flexibilidade e complexidade na modelagem dos dados.

Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), foi necessário garantir a anonimização das informações utilizadas. A empresa, então, disponibilizou um arquivo bruto contendo mais de 300 mil registros de alarmes relacionados a falhas ocorridas em seus equipamentos no período do ano de 2023.

Após a obtenção do banco de dados, foi realizado um processo de filtragem para exclusão de informações incompletas ou inconsistentes, a fim de garantir a integridade da análise. As exclusões ocorreram conforme os seguintes critérios:

- Foram removidas 33.310 linhas nas quais não havia informação sobre o fabricante do equipamento;
- Foram excluídas 346 linhas referentes à fabricante A, por não conterem o modelo do equipamento;
- Foram descartadas 885 linhas que não apresentavam a localização do equipamento;
- Foram também eliminadas 7 linhas relacionadas a equipamentos que se encontravam em modo *by-pass*. Isto é, equipamentos que, por estarem operando em um estado alternativo ou de contingência, não estavam atuando diretamente no tráfego normal da rede. Nesses casos, os alarmes registrados podem não refletir com precisão o comportamento real da infraestrutura, tornando os dados inadequados para a análise proposta.

CAPÍTULO 4

4.1 DISCUSSÕES

Nesse estudo busca-se por uma padronização de incidências de falhas e defeitos em equipamentos de telecomunicações, focado nos switches e considerando variações diárias ao longo de um ano. Além disso, a análise não será somente na frequência e natureza das falhas, mas na taxa de ocorrências associada a diferentes fabricantes. A compreensão e a definição de tais padrões desempenham um papel fundamental na antecipação de possíveis eventos, permitindo a implementação de medidas proativas para minimizar interrupções nos serviços e assegurar a integridade da infraestrutura de rede.

A capacidade de prever potenciais falhas com base em dados históricos pode facilitar a implementação de estratégias preventivas e de manutenção preditiva, contribuindo para a melhoria contínua da confiabilidade e eficiência das operações de telecomunicações. Por meio da análise abrangente e sistemática dos dados coletados, pretende-se fornecer insights valiosos para aprimorar não apenas a confiabilidade dos equipamentos, mas também a eficácia das operações de manutenção e gestão de rede, com o intuito de garantir a prestação de serviços estáveis e de alta qualidade para os clientes e usuários finais.

Inicialmente, para a realização da coleta de dados, foi solicitado a uma empresa do setor de telecomunicações a autorização para a utilização de informações internas de forma anônima, sem qualquer intuito de divulgação que pudesse comprometer ou denegrir a imagem da referida empresa. O objetivo da solicitação foi à pesquisa acadêmica, visando analisar o comportamento da rede, identificar possíveis falhas futuras nos sistemas de telecomunicações e, assim, contribuir para a redução de defeitos e a melhoria da qualidade dos serviços oferecidos aos clientes.

Logo em seguida, verificou-se a necessidade de agrupar os alarmes presentes no banco de dados, uma vez que muitos deles, apesar de representarem eventos equivalentes na rede, estavam registrados com nomes distintos. Essa duplicidade semântica poderia comprometer a análise estatística e a identificação de padrões relevantes, visto que alarmes tecnicamente idênticos seriam contabilizados como ocorrências diferentes. Diante disso, foi realizado um processo de padronização e agrupamento lógico dos alarmes, organizando-os conforme categorias funcionais e equivalência operacional, conforme descrito a seguir:

4.2 *Port Down*

O alarme *Port Down* é gerado quando uma interface de rede, geralmente em um equipamento como switch ou roteador, apresenta perda total de conectividade no nível físico, indicando que a porta está em estado operacional inativo. Essa condição pode ser provocada por uma série de fatores, dentre os quais se destacam os problemas relacionados à infraestrutura óptica. Rompimentos de fibra óptica, causados por escavações, impactos acidentais ou falhas na instalação, são uma das principais origens desse tipo de alarme (CISCO, 2020; AGRAWAL, 2012; FURUKAWA, 2023).

Além disso, atenuações elevadas, provocadas por emendas mal-feitas, conectores contaminados, ou curvaturas acentuadas podem degradar o sinal óptico a ponto de comprometer a recepção, gerando falhas intermitentes ou a completa perda de sinal. Essa situação pode ser diagnosticada por instrumentos como o OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*), que permitem localizar e caracterizar a falha ao longo do enlace óptico. Portanto, o alarme *Port Down* representa não apenas uma falha de camada física, mas também um possível indicador de degradação estrutural do meio de transmissão óptico, sendo essencial que as análises considerem a integridade do cabeamento como parte fundamental do diagnóstico (CISCO, 2020; AGRAWAL, 2012; FURUKAWA, 2023).

4.3 *Switch Down*

De maneira semelhante, o alarme *Switch Down* ocorre quando um equipamento de rede, como um switch, deixa de responder completamente a protocolos de gerenciamento (como SNMP ou ICMP), indicando que o equipamento está fora de operação. Ao contrário do alarme anterior, este não se limita a uma porta específica, mas abrange toda a unidade. Isso pode ser causado por falhas críticas no sistema operacional do equipamento, problemas de energia, superaquecimento ou ainda por falhas de conectividade severas que afetam suas interfaces principais (NOKIA, 2021; DPS TELECOM, 2022; FIBRAIN, 2019).

Quando há múltiplos enlaces ópticos conectados ao switch, a perda simultânea de sinais, seja por rompimento de fibra, falhas em conectores ópticos ou excesso de atenuação pode isolar o equipamento da rede, levando ao alarme de *Switch Down*. Em casos assim, mesmo que o switch esteja fisicamente alimentado, a perda de todas as interfaces de *uplink* impede a sua comunicação com os sistemas de supervisão, sendo interpretado como inoperante. Além disso, alarmes como esse também podem estar relacionados a falhas na fonte de alimentação, no plano

de controle ou até em módulos ópticos defeituosos, que exigem substituição (NOKIA, 2021; DPS TELECOM, 2022; FIBRAIN, 2019).

4.4 OSPF Down

O alarme OSPF Down refere-se à perda da vizinhança entre roteadores configurados com o protocolo OSPF (*Open Shortest Path First*), geralmente sinalizada quando um roteador deixa de receber mensagens "Hello" de um vizinho dentro do tempo estipulado pelo *dead interval* com valor padrão de 40 segundos. Essa falha pode indicar uma queda na interface de comunicação, falhas na camada física ou problemas de roteamento (STALLINGS, 2020; CISCO, 2023).

Do ponto de vista do comportamento da rede, a perda de uma adjacência OSPF acarreta um novo cálculo de rotas na topologia, o que pode causar instabilidade momentânea ou, em casos graves, a perda de conectividade para determinados destinos. Embora esse tipo de alarme costume estar mais relacionado a falhas de configuração, instabilidade de enlaces ou mudanças de estado na rede, também pode ser indiretamente provocado por atenuações elevadas em links ópticos, levando à instabilidade da comunicação entre roteadores (STALLINGS, 2020; CISCO, 2023).

4.5 Problemas de Equipamento

Já os alarmes classificados como Problemas de Equipamento abrangem falhas de hardware e software que comprometem o funcionamento do dispositivo. Isso inclui falhas em módulos de rede, placas de interface, ventoinhas, fontes de alimentação ou travamentos do sistema operacional do equipamento. Em ambientes críticos, como data centers e redes metropolitanas, esses alarmes são classificados por níveis de severidade, como *Minor*, *Major* e *Critical*, e podem afetar significativamente a continuidade dos serviços. Esses eventos geralmente são registrados nos logs internos dos dispositivos e requerem ações corretivas específicas, como substituição de componentes, atualização de *firmware* ou reinicialização forçada do sistema. Em equipamentos mais modernos, é possível utilizar protocolos como o *Syslog*, *SNMP traps* ou monitoramento via Interface de Linha de Comando (CLI) para antecipar tendências de falha, melhorando a previsibilidade da manutenção (NOKIA, 2021; CISCO, 2020; ITU-T X.733, 2017).

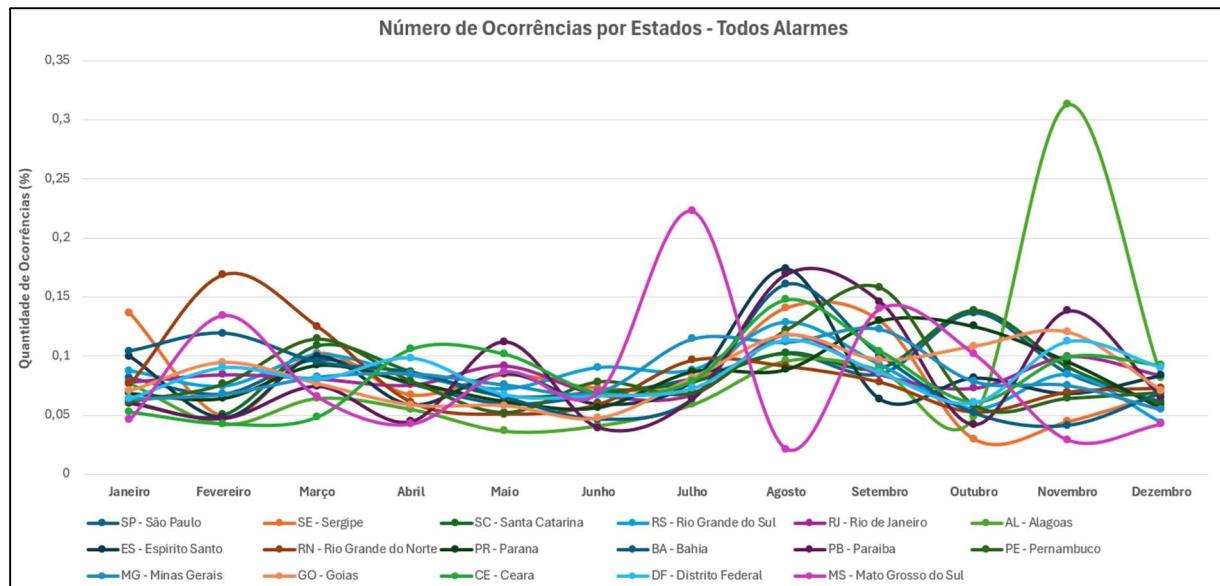
4.6 Temperatura

Por fim, o alarme de temperatura é um dos principais indicadores ambientais nos sistemas de telecomunicações. Equipamentos como switches, roteadores e transmissores ópticos possuem sensores internos responsáveis por monitorar constantemente a temperatura de operação. Quando os limites operacionais são ultrapassados, seja por superaquecimento causado por falhas nos sistemas de ventilação, ambientes inadequadamente climatizados ou obstrução do fluxo de ar, o equipamento emite um alarme que pode variar de *Minor* até *Critical*, dependendo do grau de risco identificado (FURUKAWA, 2023; CISCO ENVIRONMENTAL MONITORING, 2022).

Altas temperaturas aceleram a degradação de componentes eletrônicos, como capacitores e processadores, e podem levar ao desligamento automático do equipamento como medida de proteção. Da mesma forma, temperaturas muito baixas, embora menos comuns, podem afetar o desempenho de cristais osciladores ou displays. A manutenção preventiva dos sistemas de refrigeração e a instalação de sensores de ambiente externos integrados ao sistema de alarme são estratégias essenciais para evitar esse tipo de falha (FURUKAWA, 2023; CISCO ENVIRONMENTAL MONITORING, 2022).

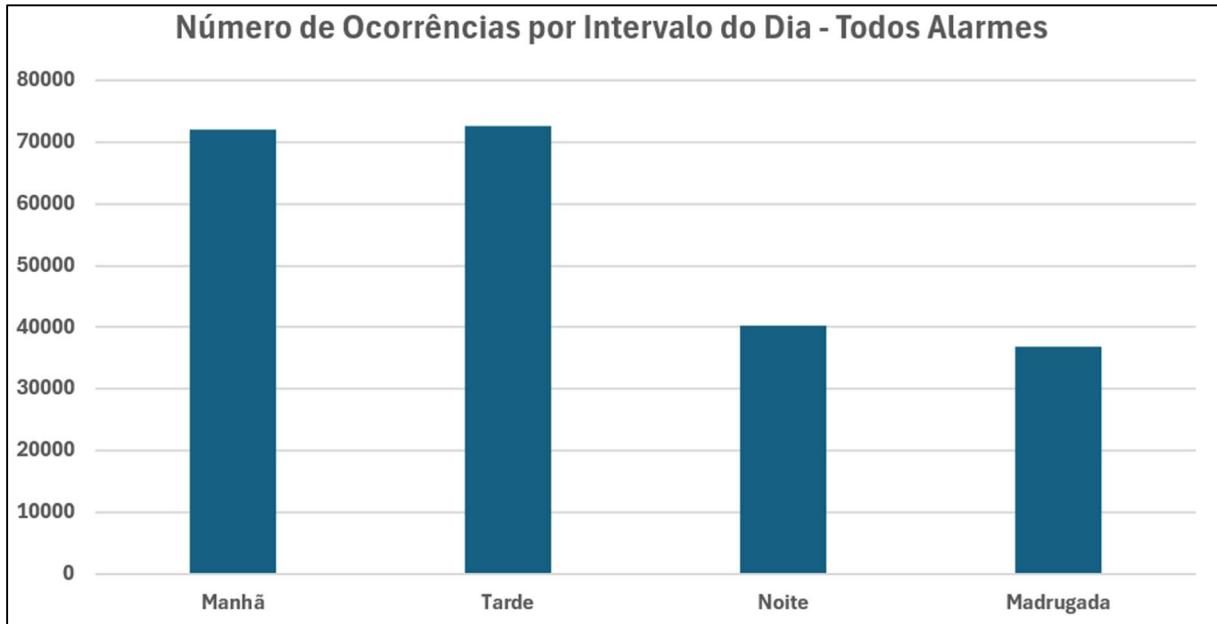
4.7 Análise Gráfica

Figura 23 : Número de Ocorrências por Estados - Todos Alarmes



Fonte: Autor

Figura 24 : Número de Ocorrências por Intervalo do Dia - Todos Alarmes



Fonte: Autor

A análise conjunta da Figura 23 e da Figura 24 revela um sistema dual de comportamento das ocorrências, expondo, de um lado, um padrão de risco operacional diário altamente previsível e, de outro, um perfil de risco estratégico anual que se mostra volátil, assimétrico e intensamente regionalizado. A Figura 24, em particular, detalha a anatomia de um dia útil, demonstrando que a esmagadora maioria dos eventos se concentra nos períodos diurnos. A maior incidência ocorre durante a tarde, com aproximadamente 72.500 eventos, um volume muito próximo ao do período da manhã, que regista cerca de 72.000.

Em forte contraste, os períodos de menor atividade humana apresentam uma redução drástica, com a noite e a madrugada somando volumes de aproximadamente 40.000 e 37.000, respectivamente. Juntos, os períodos diurnos somam mais de 144.000 ocorrências, um volume quase duas vezes superior ao total de aproximadamente 77.000 eventos registrados nos períodos noturnos, o que evidencia a forte correlação entre os alarmes e a atividade comercial.

Essa distribuição quantitativa permite uma qualificação mais precisa dos riscos ao longo do dia. A alta concentração matinal pode ser interpretada como o risco de transição, um momento propenso ao erro humano durante procedimentos de desarme. O pico vespertino, por sua vez, representa o risco de exposição máxima, quando o auge da atividade operacional e do fluxo de pessoas aumenta a probabilidade de disparos acidentais. Em contrapartida, a drástica redução no volume noturno confere um peso qualitativo maior a cada evento. Um alarme

ocorrido na madrugada, embora estatisticamente mais raro, carrega uma presunção muito maior de ser uma intrusão real e qualificada, exigindo um protocolo de resposta de prioridade máxima.

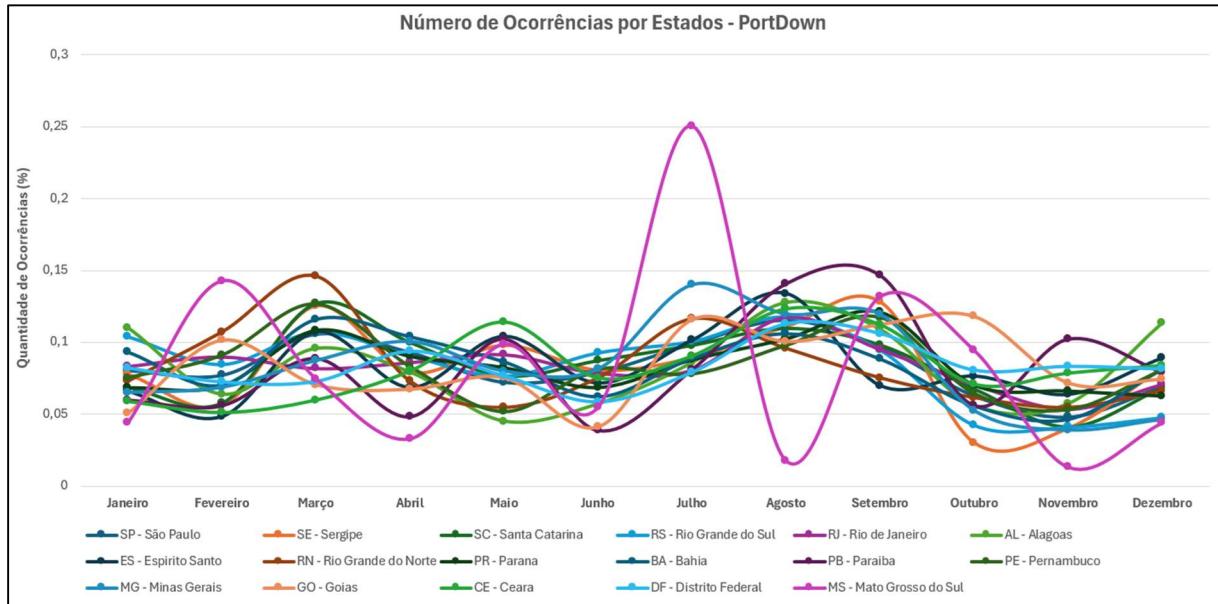
Ao expandir a análise para a dimensão anual e geográfica através da Figura 23, o cenário se torna exponencialmente mais complexo e alarmante. Este gráfico refuta qualquer abordagem de segurança unificada, com a maioria dos estados flutuando dentro de uma faixa controlada de 5% a 15% das ocorrências, mas com anomalias regionais de enorme magnitude que se destacam.

O exemplo mais gritante é o aumento em um dos estados durante novembro, atingindo um impressionante pico superior a 30% do total de ocorrências, um valor que representa o dobro do teto da flutuação normal para a maioria das outras regiões. Outras anomalias de grande impacto também são evidentes, como o pico superior a 20% registrado em julho por outro estado, e a elevação para aproximadamente 17% em fevereiro por um terceiro, sinalizando a influência avassaladora de fatores sazonais específicos.

A síntese desses dois perfis de risco, fundamentada por dados quantitativos, comanda uma evolução da postura de segurança, de puramente reativa para preditiva e segmentada. A disparidade entre os mais de 144.000 eventos diurnos e os 77.000 noturnos justifica a criação de um sistema de priorização de risco, no qual a criticidade de um alarme seja calculada dinamicamente.

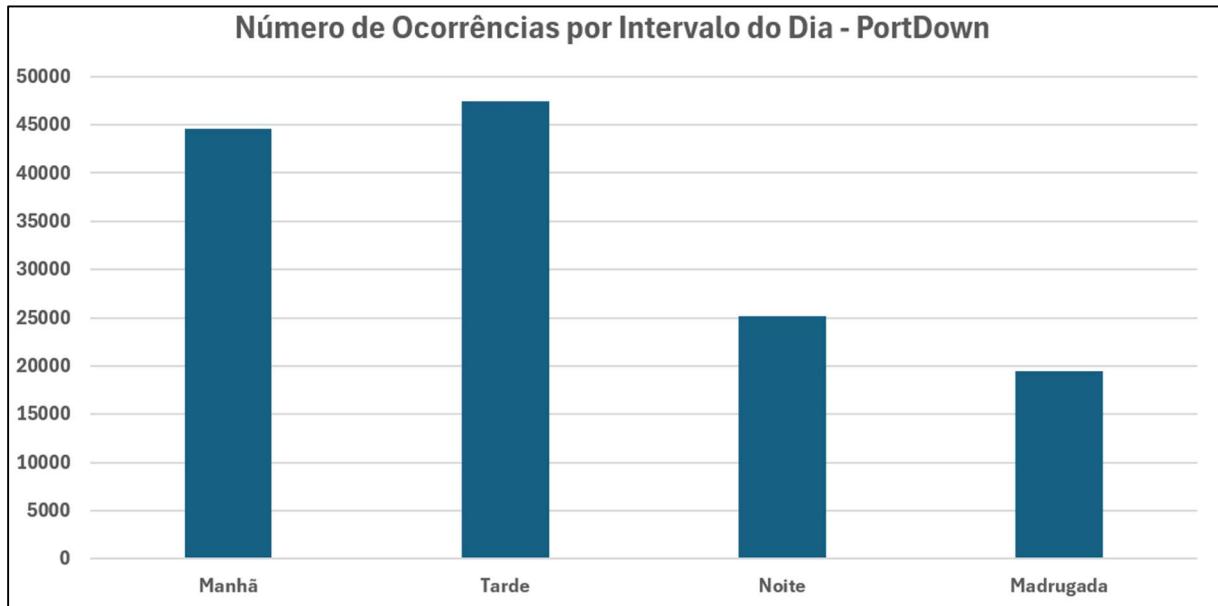
Adicionalmente, a existência de picos regionais tão expressivos, como o de mais de 30% em novembro, válida a necessidade urgente de se investir em inteligência preditiva que incorpore dados externos para antecipar essas sazonais. Anomalias de tamanha magnitude devem ser objeto de uma profunda e imediata análise de causa-raiz, pois representam eventos críticos que podem revelar falhas sistêmicas, novas e significativas vulnerabilidades de mercado ou a ação de ameaças em larga escala.

Figura 25 : Número de Ocorrências por Estados - PortDown



Fonte: Autor

Figura 26 : Número de Ocorrências por Intervalo do Dia - PortDown



Fonte: Autor

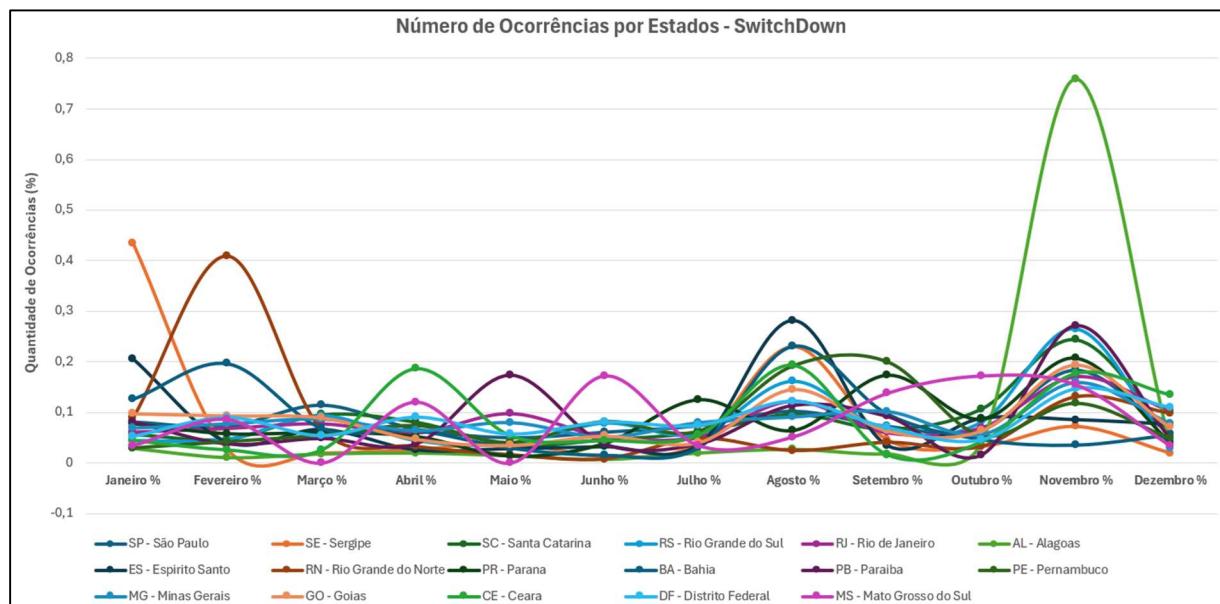
A análise da Figura 25, que detalha as ocorrências do tipo PortDown por estado, revela uma altíssima volatilidade e a presença de anomalias regionais de grande magnitude. A observação mais significativa é o pico extremo registrado pelo estado de Mato Grosso do Sul, que em julho atinge um valor massivo de 25% do total de ocorrências, destoando completamente de todos os outros estados. Este evento se mostra ainda mais atípico ao se notar que, nos meses seguintes, como agosto e novembro, a participação do mesmo estado cai

drasticamente para perto de 1%. Outros picos secundários também são relevantes, como o do Rio Grande do Norte, que atinge quase 15% em março, e o da Paraíba, que alcança 15% em setembro. Fora esses eventos extremos, a grande maioria dos estados apresenta uma flutuação mais contida, geralmente operando na faixa de 5% a 12% ao longo do ano.

A Figura 26 complementa a análise ao distribuir o total de eventos PortDown pelos intervalos do dia, mostrando uma forte concentração nos períodos de maior atividade comercial. O período da Tarde lidera com o maior número de ocorrências, somando aproximadamente 47.500 eventos, seguido de perto pela manhã, com cerca de 44.500. Em conjunto, os períodos diurnos totalizam 92.000 ocorrências, um volume que é mais que o dobro do total noturno, que soma 44.500 eventos, sendo 25.000 na noite e 19.500 na madrugada.

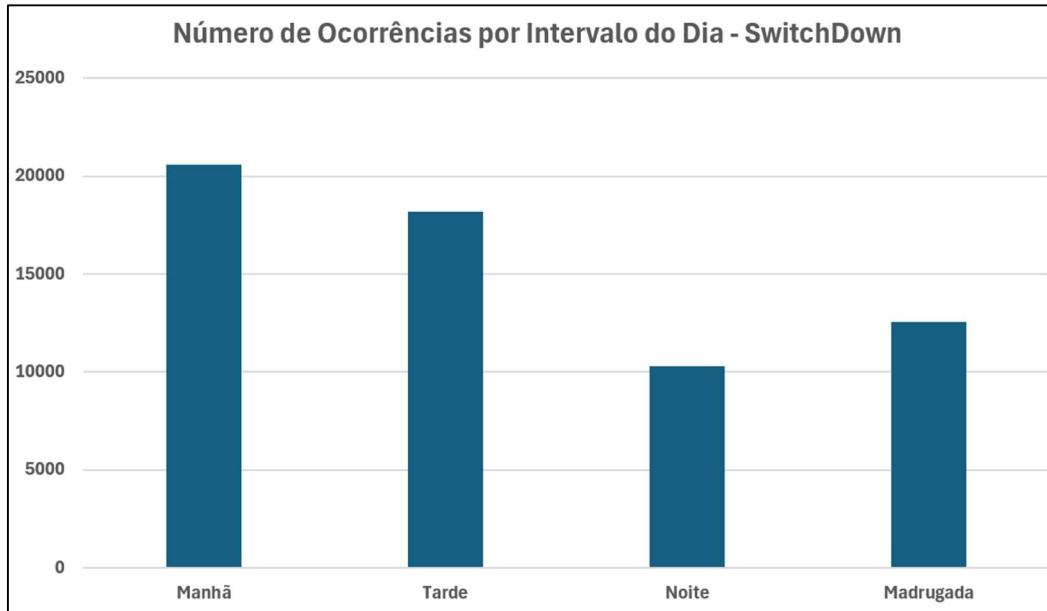
Em termos percentuais, a tarde e a manhã são responsáveis por aproximadamente 34,8% e 32,6% dos casos, respectivamente. Isso significa que mais de dois terços de todas as ocorrências do tipo PortDown acontecem durante o dia.

Figura 27 : Número de Ocorrências por Estados - SwitchDown



Fonte: Autor

Figura 28 : Número de ocorrências por intervalo do dia – SwitchDown



Fonte: Autor

A Figura 27 apresenta a distribuição mensal de ocorrências do tipo switch down por estado, caracterizada por picos regionais extremamente acentuados e uma volatilidade ainda maior que a dos eventos analisados anteriormente. O destaque absoluto é o estado de Pernambuco, que dispara em novembro, atingindo um pico massivo de aproximadamente 75% do total de ocorrências, um valor extraordinariamente anômalo.

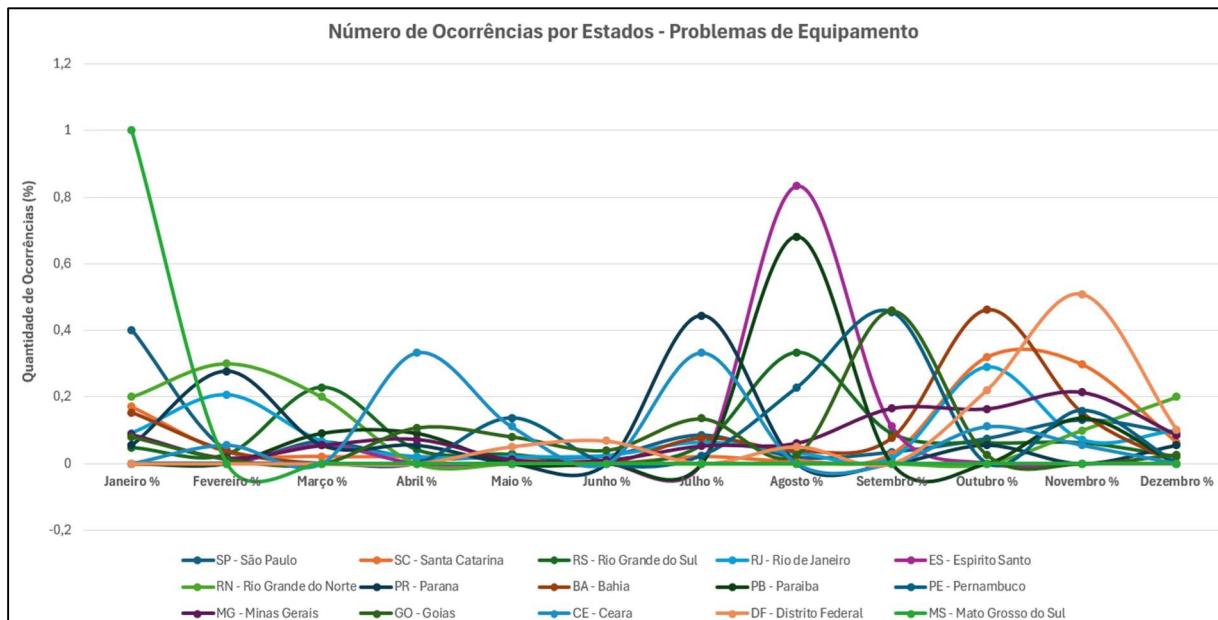
Outros estados também exibem picos notáveis, embora de menor magnitude, como Goiás que atinge cerca de 44% em janeiro, e Rio Grande do Norte, com um pico superior a 40% em fevereiro. O estado de São Paulo também se destaca com um pico em agosto, chegando perto de 30%. Fora esses eventos extremos, a maioria dos outros estados flutua em uma faixa muito mais baixa, geralmente abaixo de 15%, evidenciando que os eventos switch down são dominados por surtos localizados e de altíssimo impacto.

A Figura 28 mostra a distribuição dessas ocorrências ao longo do dia, que, diferentemente dos outros tipos de alarme, apresenta um padrão peculiar com o maior volume de eventos no período da manhã.

Onde a manhã concentra o maior número de ocorrências, com aproximadamente 20.500 eventos, o que corresponde a cerca de 40% do total de 51.500 casos. O período da tarde segue com um número significativo, mas menor, de aproximadamente 18.000 ocorrências, 35% do total. Juntos, os períodos diurnos somam 38.500 eventos, mais de 74% do total.

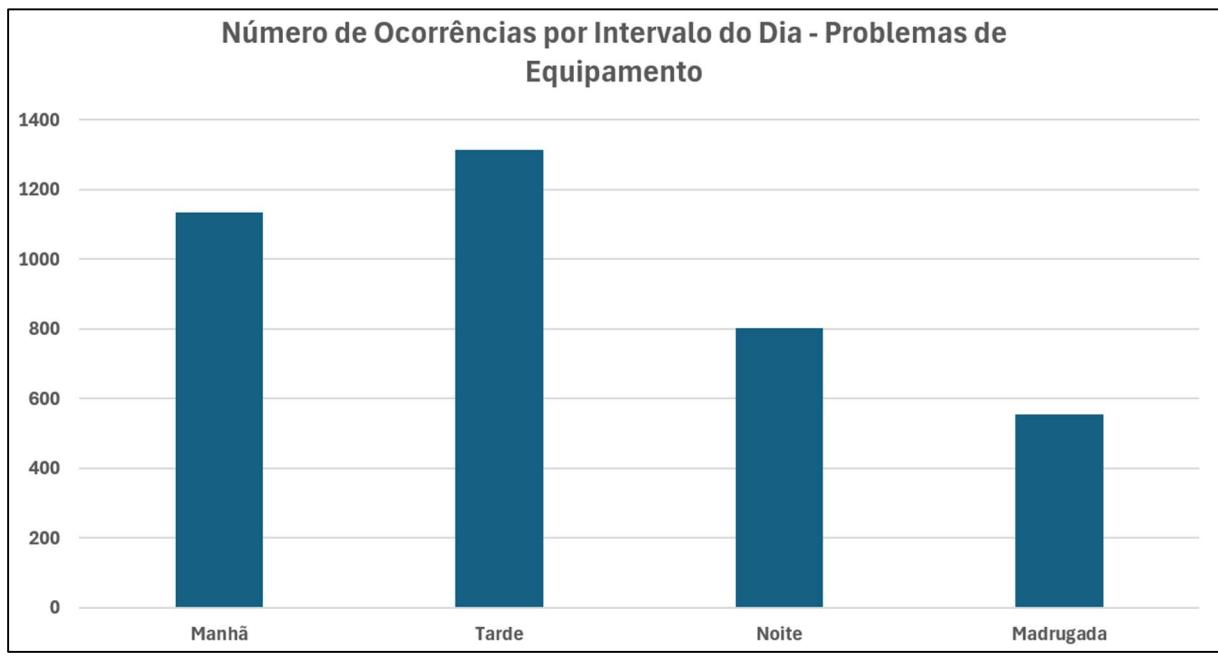
Uma característica interessante é que a madrugada, com cerca de 12.500 ocorrências, registra um volume superior ao da Noite, que tem o menor índice, com aproximadamente 10.000 eventos.

Figura 29 : Número de ocorrências por estados – Problemas de equipamento



Fonte: Autor

Figura 30 : Número de ocorrências por intervalo do dia – Problemas de equipamento



Fonte: Autor

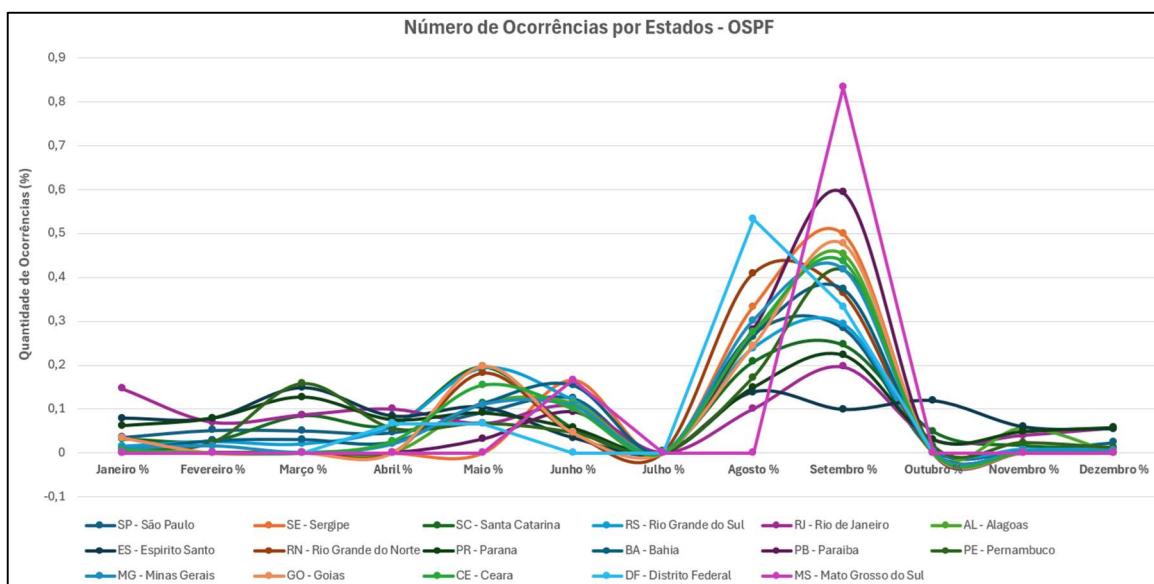
A Figura 29, que ilustra as ocorrências de problemas de equipamento por estado, demonstra a existência de picos regionais extremamente altos e pontuais. O evento mais anômalo ocorre em janeiro com o estado de Santa Catarina, cuja linha verde dispara para 100% do total de ocorrências, indicando um possível evento em massa ou uma falha sistêmica localizada. Outros picos de grande relevância são observados em agosto, com destaque para o estado da Paraíba, que atinge um pico de aproximadamente 84%, seguido de perto por Pernambuco, que no mesmo mês alcança quase 70%.

O estado de Goiás também apresenta picos notáveis, chegando a cerca de 50% em outubro e novembro. A maioria dos demais estados permanece em patamares muito inferiores, geralmente abaixo de 20%, reforçando que os problemas de equipamento, assim como as outras categorias de alarmes, são fortemente influenciados por eventos localizados.

A Figura 30 detalha a distribuição diária dessas ocorrências, que segue um padrão similar ao de outros alarmes ao concentrar a maior parte dos eventos no período comercial. O intervalo da Tarde lidera com o maior volume de problemas registrados, somando aproximadamente 1.320 eventos, seguido de perto pela manhã, com cerca de 1.140 ocorrências.

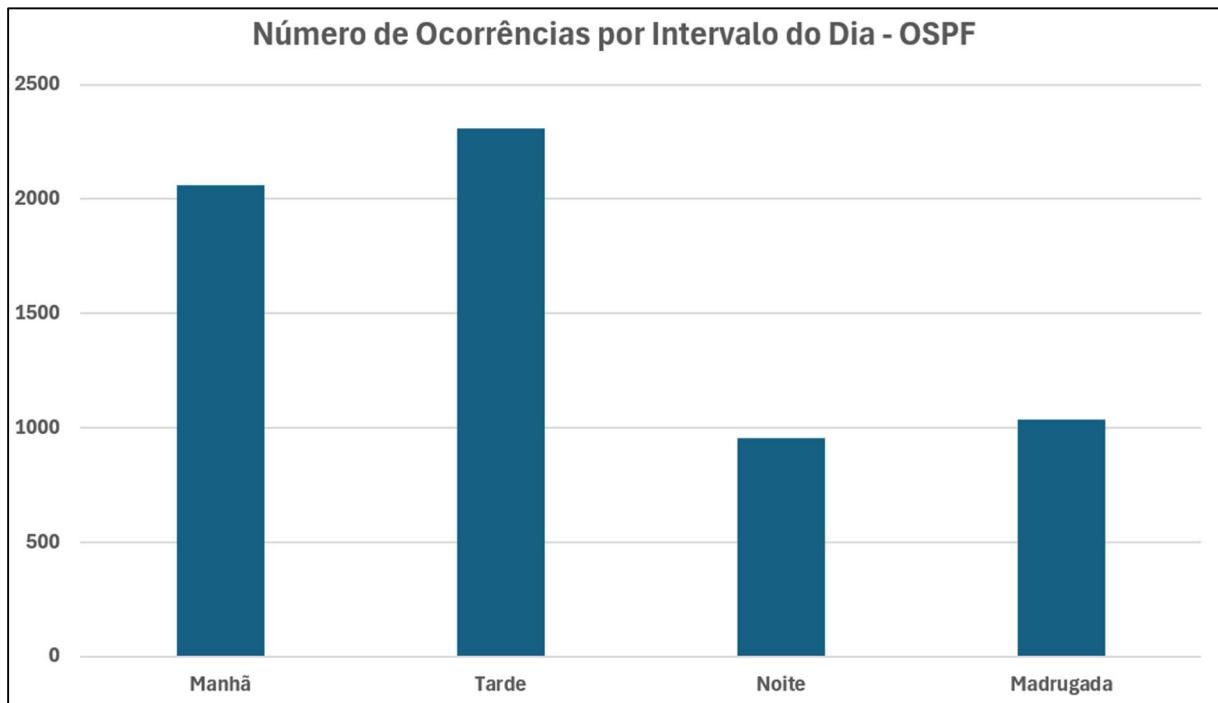
Juntos, estes períodos diurnos totalizam 2.460 eventos, o que representa cerca de 64% do total de 3.820 ocorrências, em forte contraste com os volumes consideravelmente menores dos períodos da noite e da madrugada, que registram aproximadamente 800 e 560 eventos, respectivamente.

Figura 31 : Número de ocorrências por estados – OSPF



Fonte: Autor

Figura 32 : Número de ocorrências por intervalo do dia – OSPF



Fonte: Autor

A Figura 31 demonstra um comportamento sazonal extremamente concentrado para as ocorrências do tipo OSPF, com a vasta maioria dos eventos ocorrendo em um curto período de três meses. A atividade é mínima ou inexistente na maior parte do ano, até que em agosto e, principalmente, em setembro, os volumes disparam.

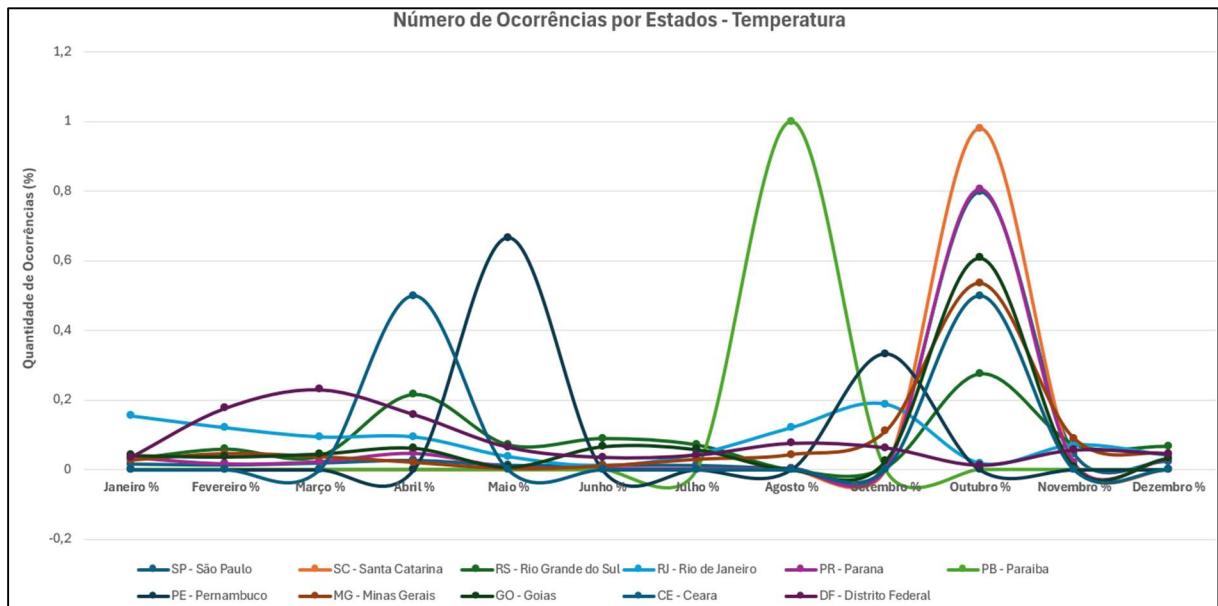
O pico absoluto ocorre em setembro, liderado de forma proeminente pelo estado de Mato Grosso do Sul, que atinge um patamar extraordinário de aproximadamente 84% do total de ocorrências. No mesmo mês, diversos outros estados também registram seus picos anuais, como Paraíba com cerca de 60%, Goiás com 51%, e Pernambuco com aproximadamente 45%.

Em agosto, um pico precursor é notado, com o Distrito Federal atingindo cerca de 54%, a partir de outubro, as ocorrências caem drasticamente, retornando aos níveis próximos de zero, o que sugere que este tipo de evento está ligado a um fator sazonal muito específico que afeta múltiplos estados de forma quase simultânea.

A Figura 32, que apresenta a distribuição diária dos eventos OSPF, mantém o padrão de maior concentração no período comercial, totalizando 4.400 ocorrências diurnas, o que representa mais de 69% do total de aproximadamente 6.350 eventos. Essa concentração é liderada pelo período da tarde, com cerca de 2.350 ocorrências, seguido pela manhã, com 2.050.

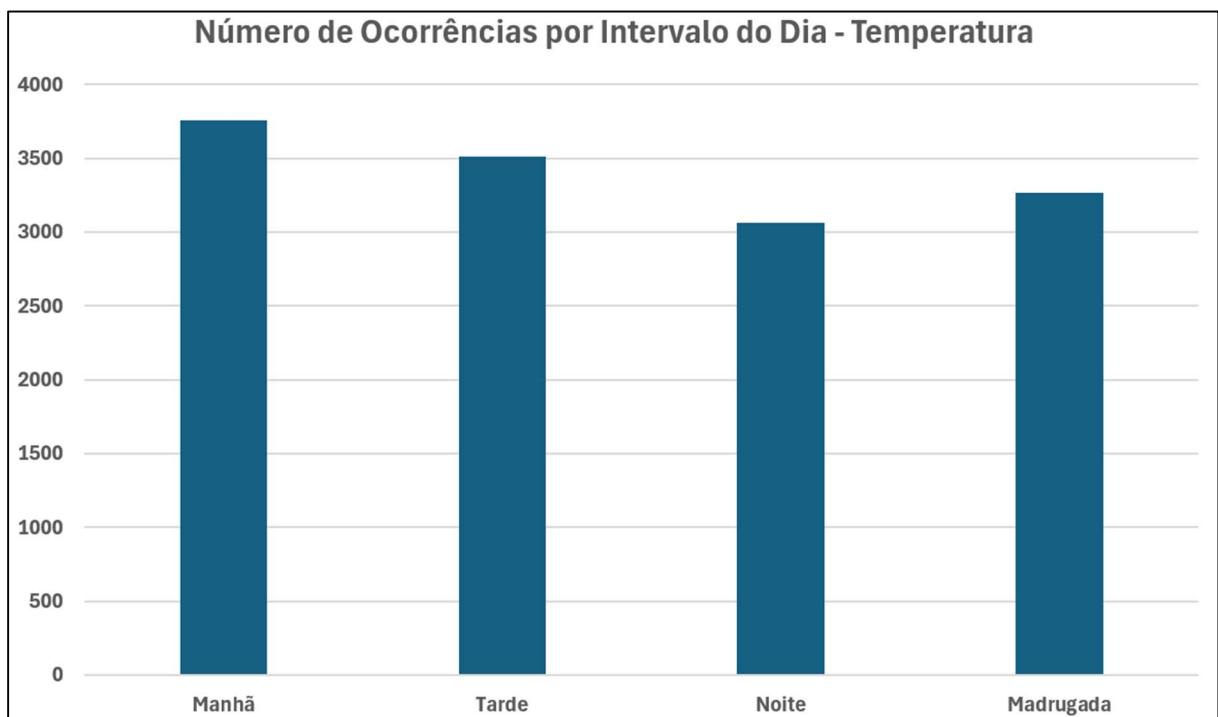
A análise se completa com os períodos de menor atividade, onde, de forma particular, a madrugada, com 1.050 eventos, apresenta um volume ligeiramente superior ao da noite, que registra o menor índice do dia, com aproximadamente 950 eventos.

Figura 33 : Número de ocorrências por estados – Temperatura



Fonte: Autor

Figura 34 : Número de ocorrências por intervalo do dia – Temperatura



Fonte: Autor

A Figura 33 revela um padrão de ocorrências de temperatura com picos sazonais extremamente pronunciados e específicos para cada região, indicando uma forte influência de fatores climáticos ou operacionais localizados. O destaque mais significativo ocorre em agosto, quando o estado da Paraíba atinge um pico massivo de 100% do total de eventos, sugerindo uma condição climática extrema ou uma falha sistêmica concentrada. Outros picos de grande magnitude são observados em Santa Catarina, que alcança quase 100% em outubro, e em São Paulo, que exibe dois picos importantes, um de aproximadamente 67% em maio e outro superando 80% em outubro. A maioria dos outros estados permanece em níveis muito mais baixos durante quase todo o ano, reforçando que os alertas de temperatura são eventos pontuais e de altíssimo impacto em localidades específicas.

A distribuição diária desses eventos, apresentada na Figura 34, exibe um comportamento notavelmente distinto dos demais tipos de ocorrência, com uma distribuição de volumes muito mais equilibrada ao longo das 24 horas. O período da Manhã lidera com o maior número, aproximadamente 3.750 ocorrências, seguido de perto pela Tarde, com cerca de 3.500. Diferentemente de outros alarmes, os períodos noturnos mantêm volumes elevados, com a Madrugada registrando 3.250 eventos e a Noite, o menor volume, com 3.050. Essa distribuição homogênea, com uma diferença de apenas 700 eventos entre o máximo e o mínimo, sugere que as causas das ocorrências de temperatura, como falhas em sistemas de refrigeração ou ar-condicionado, são processos contínuos que não dependem diretamente do ciclo de atividade comercial.

Ao analisarmos todas as categorias de alarmes que comentamos anteriormente, identificamos uma concentração significativa de eventos no período da manhã e da tarde. Esse comportamento pode estar associado a diversos fatores. Em primeiro lugar, durante esse horário há um maior tráfego de veículos de grande porte, como caminhões, carretas e tratores, os quais podem causar rompimentos de cabos de fibra óptica, especialmente em áreas onde a infraestrutura é aérea e exposta. A altura desses veículos pode atingir diretamente os cabos, gerando falhas físicas na rede e, consequentemente, alarmes nos switches.

Além disso, é nesse intervalo de tempo que ocorre o maior uso da rede, especialmente em ambientes corporativos e urbanos. A alta demanda por serviços, o aumento do tráfego de dados e a utilização simultânea de recursos podem provocar sobrecarga em equipamentos de telecomunicações, resultando em alarmes relacionados a consumo de CPU, perda de pacotes, ou problemas nas interfaces de rede.

Outro fator relevante são as atividades operacionais programadas para o horário comercial, como manutenções, alterações de configuração e ativações de novas conexões. Essas intervenções, ainda que planejadas, podem gerar alarmes temporários, queda de conexões, mudanças de topologia e variações de latência. A combinação desses aspectos físicos, operacionais e de uso intenso da rede explica o maior número de alarmes registrados durante o dia.

Já ao analisar a distribuição dos alarmes ao longo dos meses, identificamos uma concentração mais elevada nos períodos de janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. Em contrapartida, os meses de março a junho apresentaram os menores índices de ocorrência, enquanto julho registrou um comportamento intermediário. Embora ainda não haja uma hipótese consolidada para esse padrão, é possível que fatores como instabilidades climáticas sazonais, incluindo chuvas intensas ou variações térmicas acentuadas, impactem diretamente a infraestrutura da rede, sobretudo em regiões com cabeamento aéreo.

Além disso, os meses com maior volume de alarmes costumam coincidir com períodos de maior atividade operacional e econômica, marcados por um aumento nas manutenções programadas, ativações e intervenções técnicas.

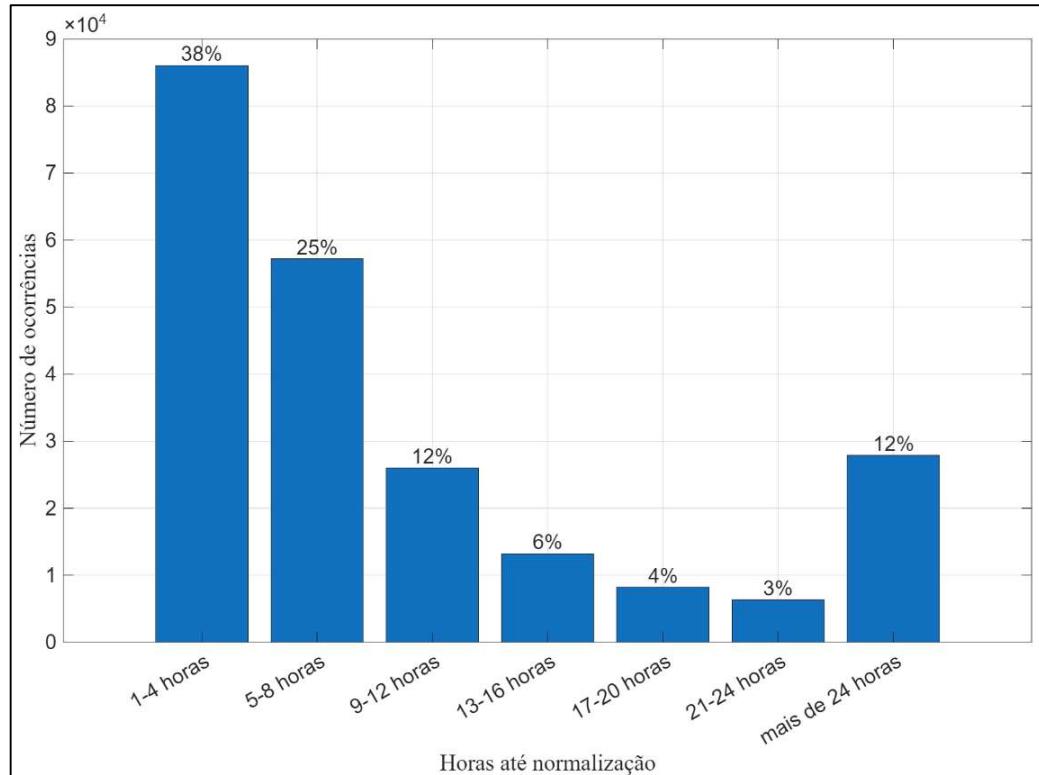
Por outro lado, os meses com menor atividade podem refletir não apenas uma redução na demanda por serviços de rede, mas também condições ambientais e operacionais mais estáveis, o que favorece a diminuição dos eventos registrados. Esse comportamento sugere uma correlação entre os períodos de menor movimentação no calendário técnico-operacional e a estabilidade dos indicadores de alarme.

Ao aprofundarmos a análise para a distribuição por estado, é possível identificar oscilações relevantes ao longo do ano, com picos mais acentuados nos meses de julho, agosto e novembro, contrastando com a estabilidade observada entre março e junho. Alguns estados se destacam por comportamentos atípicos, como o Rio de Janeiro, que apresentou um pico expressivo em julho, e Alagoas, com uma elevação significativa em novembro.

Esses aumentos podem estar associados a eventos pontuais na infraestrutura local, como falhas sistêmicas, obras de manutenção ou impactos climáticos regionais. Já nos meses centrais do ano, como abril e maio, observa-se uma baixa incidência de alarmes em praticamente todas as localidades, reforçando a hipótese de um período de maior estabilidade técnica. Essa análise demonstra que, embora haja uma tendência geral, as particularidades regionais desempenham

um papel importante, tornando essencial considerar fatores locais e sazonais na interpretação dos dados de alarme.

Figura 35 : Histograma de horas necessárias para normalização de alarmes



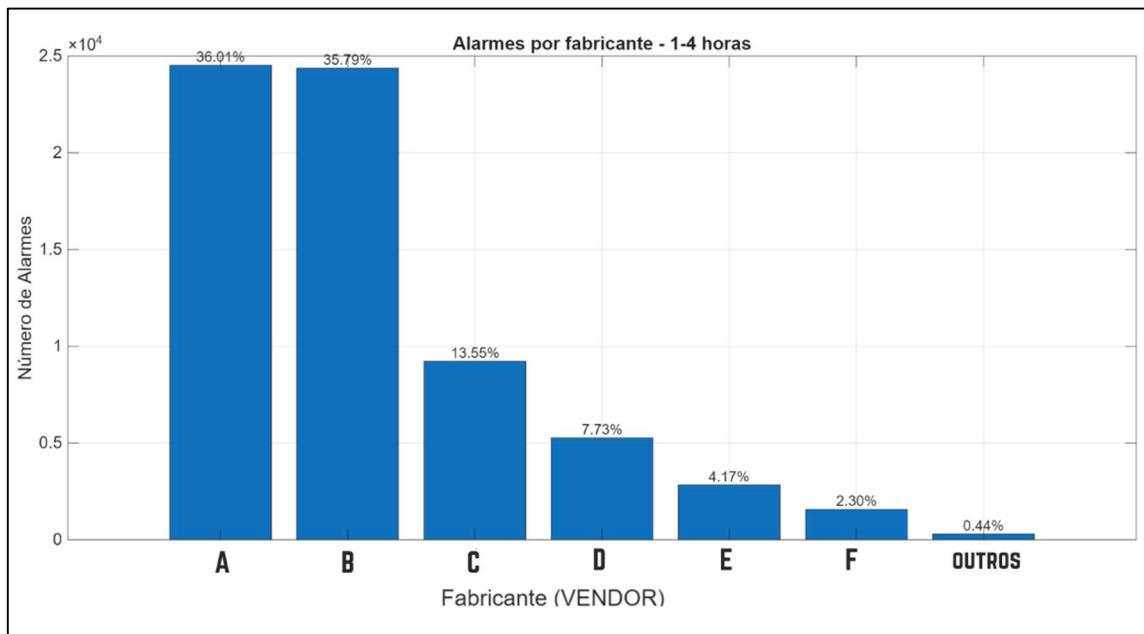
Fonte: Autor

A análise do histograma referente ao tempo necessário para a normalização dos alarmes, representada pela Figura 35, revela que a maior parte das ocorrências é resolvida em até 4 horas, indicando um tempo de resposta relativamente ágil para uma parcela significativa dos eventos. Em seguida, observamos uma redução progressiva no número de ocorrências à medida que o tempo de normalização aumenta: 25% entre 5 e 8 horas, 12% entre 9 e 12 horas, e percentuais menores para faixas superiores, como 6% entre 13 e 16 horas e 4% entre 17 e 20 horas.

Um dado relevante é que 12% dos alarmes levaram mais de 24 horas para serem normalizados, o que pode indicar casos mais complexos, possivelmente associados a falhas físicas graves, dependência de terceiros ou restrições logísticas. Esse comportamento sugere que, embora a maioria dos alarmes seja tratada de forma rápida, existe uma parcela não negligenciável de eventos que demandam atenção prolongada, o que pode impactar diretamente a qualidade do serviço e os indicadores de desempenho operacional.

Diante desse cenário, recomenda-se a adoção de políticas de priorização mais eficientes, com foco em alarmes críticos e recorrentes, além do investimento em ferramentas de automação e diagnóstico remoto, que podem acelerar a identificação e a resolução de falhas. Também é recomendável a criação de indicadores específicos para alarmes com tempo de resolução superior a 24 horas, permitindo um acompanhamento mais próximo dessas ocorrências. Por fim, ações preventivas nas regiões ou elementos com maior reincidência de lentidão na normalização podem contribuir significativamente para a redução dos tempos médios de resposta e para a melhoria da rede como um todo.

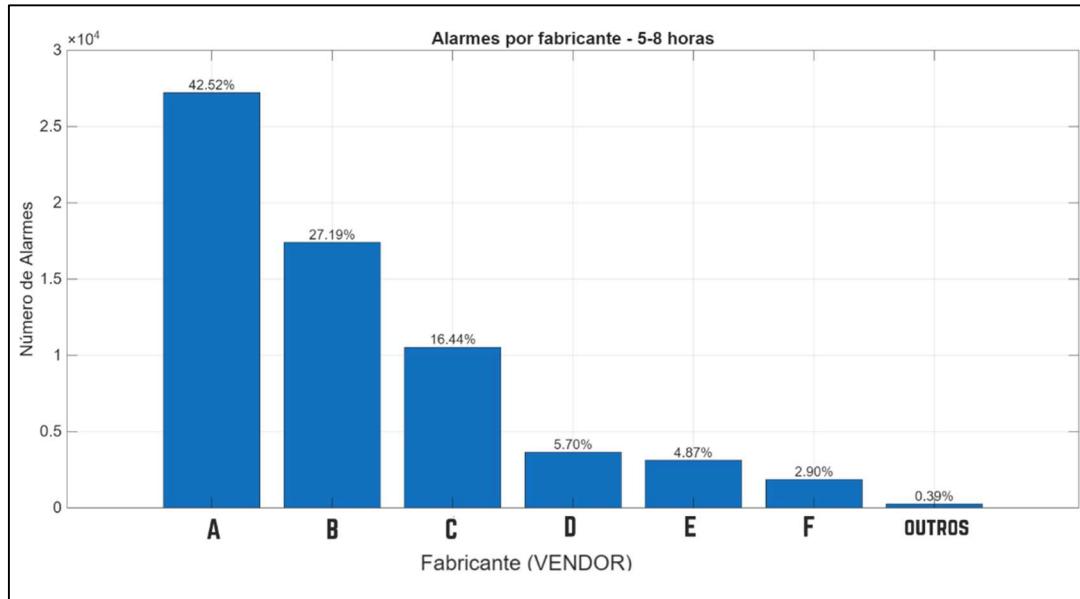
Figura 36 : Alarmes normalizados no período de 1 a 4 horas após o início.



Fonte: Autor

A Figura 36, que detalha a distribuição de alarmes por fabricante, revela uma concentração massiva de eventos em apenas duas marcas, fabricantes A e B, que juntas somam mais de 71% do total de ocorrências. A fabricante A lidera com uma participação de 36,01%, aproximadamente 24.500 eventos, seguida muito de perto pela fabricante B, com 35,79%. Após essa dupla dominante, a distribuição cai drasticamente, com a fabricante C figurando em um distante terceiro lugar ao responder por 13,55% dos alarmes, o que corresponde a cerca de 9.200 eventos. Os demais fabricantes representam fatias progressivamente menores, incluindo fabricante D com 7,73%, fabricante E com 4,17% e fabricante F com 2,30%, enquanto a categoria "Outros" contribui com apenas 0,44%, confirmado que a vasta maioria dos alarmes se origina de um ecossistema de fornecedores altamente concentrado.

Figura 37 : Alarmes normalizados no período de 5 a 8 horas após o início.

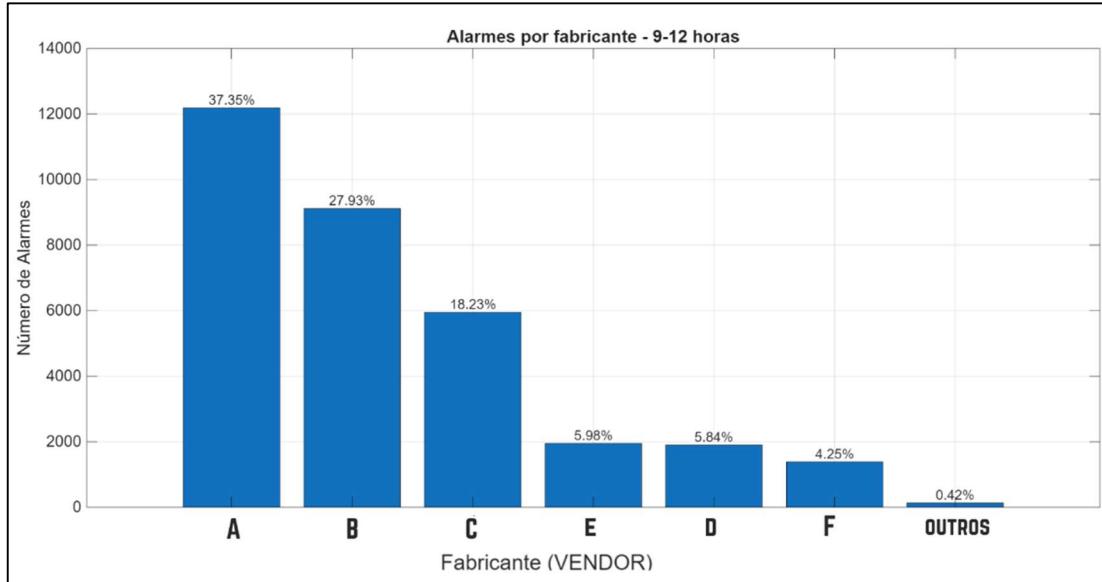


Fonte: Autor

Já na Figura 37, que ilustra a distribuição de alarmes por fabricante no período de 5 a 8 horas, mostra uma mudança no equilíbrio de forças em comparação com o intervalo anterior, com a fabricante A se consolidando como a principal fonte de ocorrências. Neste cenário, a fabricante A é responsável por 42,52% de todos os alarmes, o que corresponde a um volume expressivo de aproximadamente 27.000 eventos.

A fabricante B, embora ainda em segundo lugar, apresenta uma participação significativamente menor, com 27,19% do total. Juntas, essas duas marcas ainda respondem por quase 70% das ocorrências, mas a liderança da fabricante A se torna bem mais pronunciada. A fabricante C mantém a terceira posição com 16,44% dos alarmes, seguida pelas demais fabricantes que representam fatias menores do volume total, como a fabricante D com 5,70%, a fabricante E com 4,87% e a fabricante F com 2,90%, enquanto a categoria "Outros" contribui com apenas 0,39% dos eventos.

Figura 38 : Alarmes normalizados no período de 9 a 12 horas após o início.

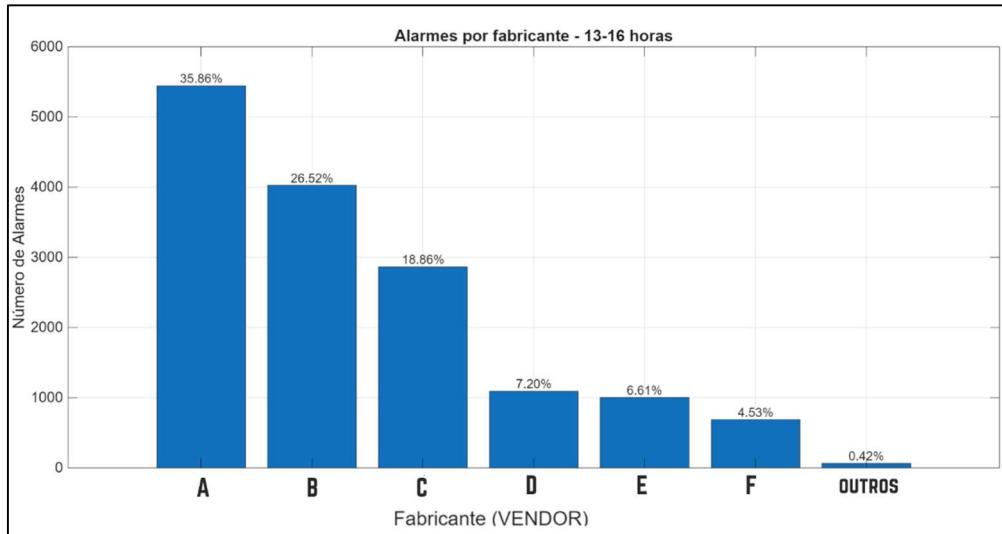


Fonte: Autor

Aprofundando a análise para o intervalo de 9 a 12 horas, a Figura 38 evidencia que a concentração de alarmes nos principais fabricantes permanece como a tendência dominante, embora com uma notável reordenação entre os fornecedores de menor participação. A fabricante A mantém sua liderança, sendo responsável por 37,35% dos eventos, o que corresponde a um total de aproximadamente 12.200 alarmes.

A fabricante B segue na segunda posição com 27,93% das ocorrências, cerca de 9.100 alarmes, enquanto a fabricante C consolida-se em terceiro lugar com 18,23%, somando aproximadamente 6.000 eventos. É notável que esses três principais fabricantes, juntos, respondem por mais de 83% de todos os alarmes neste período. Logo após, a fabricante E e a fabricante D apresentam participações muito próximas, com 5,98% e 5,84% respectivamente, seguidas pela fabricante F com 4,25% e pela categoria "Outros" com os 0,42% restantes.

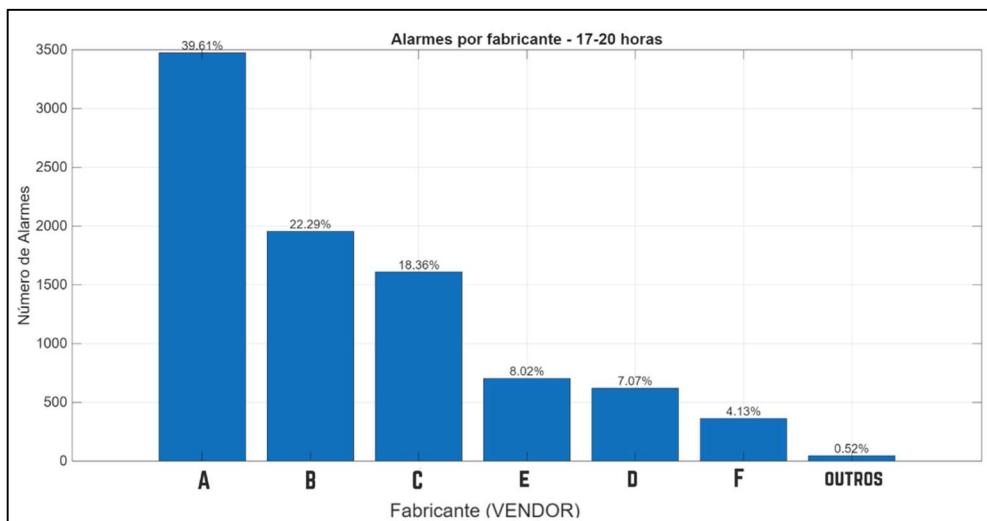
Figura 39 : Alarmes normalizados no período de 13 a 16 horas após o início.



Fonte: Autor

Observando a distribuição de alarmes no período da tarde, entre 13 e 16 horas, a Figura 39 mostra uma ligeira queda na concentração dos três principais fabricantes, embora a estrutura de liderança permaneça a mesma. A fabricante A continua sendo a maior fonte de ocorrências com 35,86% do total, o que corresponde a um volume de aproximadamente 5.400 alarmes. A fabricante B segue com 26,52%, cerca de 4.000 eventos, e a fabricante C registra 18,86%, aproximadamente 2.900 eventos, fazendo com que o trio principal some pouco mais de 81% de participação. A fatia restante é dividida entre fabricante D com 7,20%, fabricante E com 6,61% e fabricante F com 4,53%, enquanto a categoria "Outros" se mantém estável com 0,42% do volume total de alarmes.

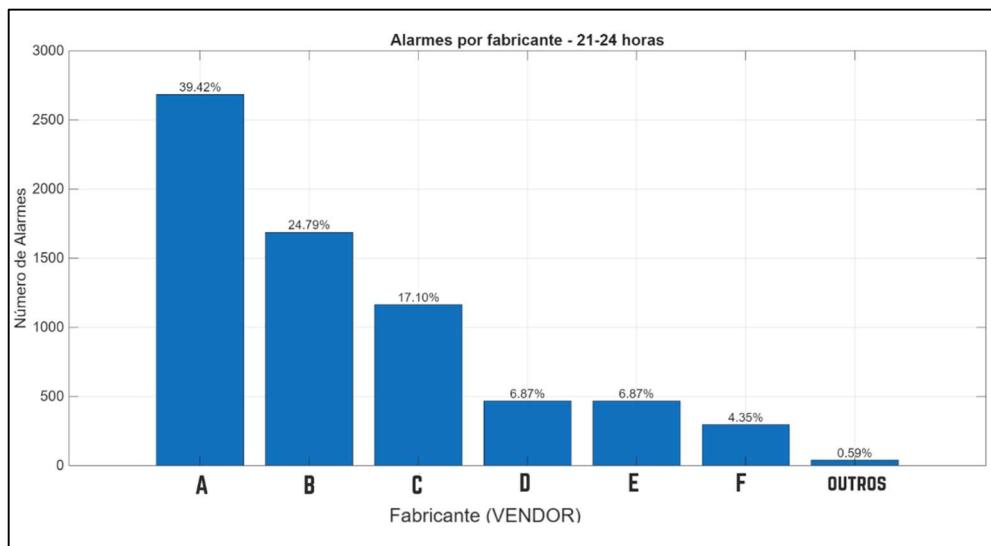
Figura 40 : Alarmes normalizados no período de 17 a 20 horas após o início.



Fonte: Autor

Focando agora no final da tarde e início da noite, a Figura 40 ilustra a distribuição de alarmes entre 17 e 20 horas, período no qual a fabricante A amplia sua dominância. A fabricante passa a responder por 39,61% de todas as ocorrências, um volume de aproximadamente 3.500 eventos. A participação da fabricante B recua para 22,29%, cerca de 1.950 alarmes, enquanto a fabricante C se mantém estável com 18,36%, aproximadamente 1.600 alarmes, solidificando a concentração de mais de 80% dos eventos no trio principal. Na sequência, a fabricante E se destaca com 8,02% das ocorrências, ultrapassando a fabricante D, que registra 7,07%. A fabricante F contribui com 4,13% do total, e a categoria "Outros" finaliza a distribuição com 0,52%.

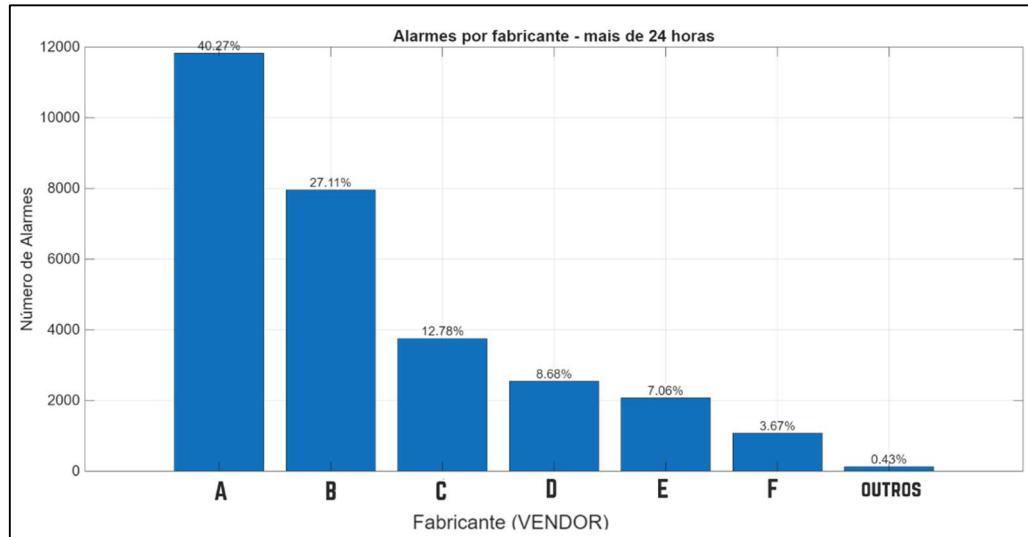
Figura 41 : Alarmes normalizados no período de 21 a 24 horas após o início.



Fonte: Autor

Ao adentrar o período noturno, entre 21 e 24 horas, a Figura 41 revela que a distribuição de alarmes mantém uma estrutura de liderança clara, embora com uma interessante paridade entre dois dos fornecedores secundários. A fabricante A continua a ser a principal fonte de eventos, respondendo por 39,42% do total, o que equivale a um volume de aproximadamente 2.700 ocorrências. A fabricante B segue com uma participação de 24,79%, cerca de 1.700 alarmes, enquanto a fabricante C contribui com 17,10%, aproximadamente 1.150 alarmes. Um dado notável neste intervalo é o empate técnico entre a fabricante D e a fabricante E, com ambas as fabricantes registrando exatamente 6,87% das ocorrências. A fabricante F aparece na sequência com 4,35%, e a categoria "Outros" finaliza a distribuição com 0,59%.

Figura 42 : Alarmes normalizados no período acima de 24 horas após o início.



Fonte: Autor

Concluindo a análise com os alarmes mais persistentes, que permanecem por mais de 24 horas, a Figura 42 revela a consolidação definitiva da fabricante A como a principal fonte de ocorrências de longa duração. Neste cenário, a fabricante A é responsável por 40,27% de todos os alarmes, o que corresponde a um volume de quase 12.000 eventos. A fabricante B segue como a segunda maior fonte, com 27,11%, aproximadamente 8.000 alarmes, enquanto a fabricante C apresenta sua menor participação entre todos os intervalos analisados, com 12,78%, cerca de 3.800 alarmes.

Ao analisar a série completa de gráficos de forma integrada, é possível traçar a jornada de um alarme ao longo do tempo, o que nos permite ir além dos números e formular teorias sobre a natureza dos problemas em cada fabricante. A análise revela um padrão dinâmico fascinante, sugerindo uma distinção clara entre reações imediatas e problemas crônicos.

No primeiro intervalo de 1 a 4 horas, por exemplo, o empate técnico quase perfeito entre fabricante A e fabricante B sugere que a rede reage a uma falha inicial em cadeia, com equipamentos de ambas as marcas, que formam pares na infraestrutura, gerando alarmes simultaneamente. Isso indicaria um reflexo da interdependência da rede, e não necessariamente uma falha inerente a um único fabricante. Contudo, à medida que o tempo avança, a dominância da fabricante A se consolida, especialmente nos alarmes com mais de 24 horas.

Essa persistência pode ser interpretada de duas formas: por um lado, pode indicar que seus equipamentos possuem problemas intrinsecamente mais complexos e de difícil resolução; por outro, de uma forma mais contextual, pode simplesmente refletir uma base instalada muito

maior da fabricante A em posições críticas no núcleo da rede, onde as falhas geram mais alarmes e o tempo de reparo é naturalmente maior.

Em contraste, a participação da fabricante C mostra-se notavelmente estável em todos os intervalos, o que pode indicar que seus equipamentos ocupam uma camada diferente e mais previsível na arquitetura da rede. A presença constante, embora minoritária, de outros fabricantes como fabricante D e fabricante E, evidencia a complexidade de um ambiente heterogêneo.

Portanto, a conclusão mais importante é que uma gestão de rede eficiente não deve apenas focar no volume bruto de alarmes, mas em seu comportamento temporal, pois isso permite distinguir uma falha pontual de um problema crônico na arquitetura, possibilitando uma atuação muito mais estratégica e inteligente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO, TRABALHOS FUTUROS E CONTRIBUÇÕES

Com base na ampla exposição dos conhecimentos fundamentais relacionados à área de telecomunicações, com foco particular no contexto da infraestrutura de fibra óptica, podemos afirmar que foi adquirido uma compreensão abrangente dos desafios e das oportunidades inerentes a esse setor em constante evolução. A análise abrangente das tecnologias e práticas atuais revelou a importância crítica de estratégias de monitoramento, manutenção e previsão de falhas para garantir a confiabilidade e a eficiência operacional contínuas.

A análise realizada ao longo deste trabalho permitiu uma compreensão mais precisa do comportamento dos alarmes gerados em switches de rede, considerando variáveis como horário, período do ano, localização geográfica e fabricante. A partir da visualização e cruzamento desses dados, foi possível identificar padrões consistentes de falhas, bem como fatores que contribuem para o aumento do tempo de normalização dos eventos.

É relevante esclarecer que a análise comparativa entre fabricantes se limitou ao volume absoluto de alarmes observados. A ausência de dados sobre a quantidade de equipamentos de cada marca impossibilita conclusões definitivas sobre a superioridade ou inferioridade entre fabricantes. Portanto, os resultados apresentados devem ser entendidos como um retrato do comportamento da rede, e não como uma avaliação direta de qualidade dos fornecedores.

Observou-se uma concentração significativa de alarmes durante o dia, influenciada por aspectos operacionais, uso intensivo da rede e impactos físicos na infraestrutura, além de uma sazonalidade perceptível nos registros, com alguns meses apresentando maior instabilidade. A análise por fabricante também revelou discrepâncias nos tempos de resolução, oferecendo subsídios relevantes para futuras decisões técnicas e contratuais.

Como trabalhos futuros, sugere-se a ampliação da base de dados com novos atributos, como o tipo específico de alarme, impacto sobre os serviços e dados meteorológicos, permitindo análises ainda mais precisas. A incorporação de ferramentas de inteligência preditiva, aliada ao monitoramento em tempo real, pode contribuir para a antecipação de falhas e a otimização dos recursos de manutenção.

As principais contribuições deste estudo estão na estruturação de uma metodologia prática de análise de alarmes aplicável a ambientes reais de rede, no suporte à definição de

estratégias de priorização e resolução de falhas, e na proposição de melhorias operacionais orientadas por dados. Os resultados aqui apresentados representam um passo relevante para o aprimoramento contínuo da gestão de redes de telecomunicações, com impactos positivos em desempenho, confiabilidade e qualidade dos serviços prestados.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, Govind P. Nonlinear Fiber Optics. Editora Academic Press, 2019.
- AGRAWAL, Govind P. Fiber-Optic Communication Systems. 4. ed. Wiley, 2012.
- AGRAWAL, Govind P. Sistemas de Comunicação por Fibra Óptica. Editora John Wiley & Sons, 2010.
- ALMEIDA, Júlio César Rodrigues de. Comunicações Ópticas. Editora Edgard Blücher, 2009.
- B. Zhu et al., “112-Tb/s Space-division multiplexed DWDM transmission with 14-b/s/Hz aggregate spectral efficiency over a 76.8-km seven-core fiber”, Opt. Express 19 (17), 16665 (2011);
- BLOGBRADEL. Redes Ópticas Passivas (PON). Disponível: <https://blogbradel.wordpress.com/2017/03/31/redes-opticas-passivas-pon/>. Acesso em 01 de novembro de 2023.
- BROWN, Lawrence. Fiber Optics: Principles and Practices. Editora Prentice Hall, 2007.
- CELETISMART. OLT Huawei MA5800-X7 Terminal de Linha Ótica. Disponível: <https://www.celetismart.com.br/olt-huawei-ma5800-x7-terminal-de-linha-otica>. Acesso em 05 de novembro de 2023.
- CRISP, John. Introdução à Fibra Óptica. Editora Butterworth-Heinemann, 2007.
- CISCO Systems. Understanding Interface Operational Status and Port Flapping. 2020.
- CISCO Systems. OSPF Configuration Guide. 2023.
- Cuomo, Serafina. Technology and Culture in Greek and Roman Antiquity. Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0521810739.
- D. J. Richardson, J. M. Fini and L. E. Nelson, “Space-division multiplexing in optical fibers”, Nat. Photonics 7 (5), 354 (2013);
- DPS Telecom. How to Monitor Switch Failures Using SNMP and Syslog. 2022.
- FERNANDO CÉSAR MORELLATO. Blog IPV7. Interferências. Cabos Metálicos x Fibras Ópticas. Disponível: <https://www.blog.ipv7.com.br/interferencias-cabos-fibras-opticas-2/>. Acesso em 05 de outubro de 2023.

- FIBRAIN. Optical Fiber Bending and Attenuation. Technical White Paper, 2019.
- FURUKAWA Electric. Guia Técnico de Redes Ópticas. 2023.
- GORDON STUFF. Digital Multiplexing - Time Division Multiplexing. Disponível: <http://www.gordostuff.com/2011/11/digital-multiplexing-time-division.html>. Acesso em 18 de agosto de 2023.
- GROBE, Klaus. Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda: Um Guia de Engenharia Prática. Editora John Wiley & Sons, 2002.
- GUILHERME BARBOSA. MAX DICAS. O Que É Fibra Óptica? Entenda Como Essa Tecnologia Funciona. Disponível: <https://maxdicas.com.br/o-que-e-fibra-optica-entenda-como-essa-tecnologia-funciona/>. Acesso em 03 de outubro de 2023.
- IEEE Spectrum. Optical Fiber Pioneer Shares Physics Nobel. Outubro de 2009. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/optical-fiber-pioneer-shares-physics-nobel>, Acesso em 01 de outubro de 2023.
- IFEACHOR, Emmanuel C.; JERUCHIM, Michel C. Fiber Optic Communications Systems. Editora Wiley-Interscience, 2002.
- ITU-T X.733. Information Technology - Open Systems Interconnection - System Management: Alarm Reporting Function. Genebra, 2017.
- KAMINOW, Ivan P.; LI, Tingye; WILLNER, Alan E. (Editores). Comunicações por Fibras Ópticas (Volumes I, II e III). Editora Academic Press, 2013.
- KARTALOPOULOS, Stamatios V. Tecnologia e Aplicações de WDM (Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda). Editora CRC Press, 2000.
- KEISER, Comunicações por fibras ópticas, 4^a Edição, Editora: McGraw-Hill, 2014 ISBN-10: 8580553970.
- KUMAR, R. Fiber Optic Communications: Fundamentals and Applications. Editora PHI Learning Pvt. Ltd., 2013.
- MATT NOVAK, Giz Modo UOL. Morre Charles Townes, inventor do laser e ganhador do Nobel. Disponível: <https://gizmodo.uol.com.br/morre-charles-townes-lase>. Acesso em 01 de outubro de 2023.

- MORAES, José Carlos. Comunicação por Fibra Óptica: Princípios, Tecnologias e Aplicações. Editora Érica, 2019.
- MUKHERJEE, Biswanath. Redes Ópticas WDM. Editora Springer, 2017.
- NOKIA. Network Alarm Management Guidelines. White Paper, 2021.
- OLIVEIRA, Evandro Ottoni de; VON DER WEID, Jean Pierre. Fibras Ópticas: Fundamentos e Aplicações. Editora Érica, 2014.
- PADTEC. Padtec ilumina redes DWDM da Solução Network em três estados brasileiros. Disponível: <https://www.padtec.com.br/padtec-ilumina-redes-dwdm-da-solucao-network-em-tres-estados-brasileiros/>. Acesso em 12 de outubro de 2023.
- PEDRO, José João da Rocha. Fibras Ópticas e Comunicações Ópticas. Editora Lidel, 2011.
- PINHEIRO, J.M.S. Redes ópticas de acesso em telecomunicações. 1.ed. - Rio de Janeiro:Elsevier, 2017.
- RASHMI BHARDWAJ. ipwithease. What is CDMA? Mobile Technology. Disponível: <https://ipwithease.com/what-is-cdma-mobile-technology/>. Acesso em 20 de agosto de 2023.
- REINALDO VIGNOLI. Ispblog. Evolução das Fibras Ópticas aplicadas em Data Centers. Disponível:<https://www.ispblog.com.br/2019/04/10/evolucao-das-fibras-opticas-aplicadas-em-data-centers/>. Acesso em 01 de novembro de 2023.
- RONALDO COUTO. Infranewstelecom. Você quer um GBIC? Tem certeza?. Disponível:<https://www.infranewstelecom.com.br/voce-quer-um-gbic-tem-certeza/>. Acesso em 20 de setembro de 2023.
- SHENAI, Krishna B. Introduction to Fiber Optics. Editora Cambridge University Press, 2020.
- STALLINGS, William. Roteamento e Comutação de Redes de Computadores. 2. ed. Pearson, 2020.
- SIMPSON, John R. Optical Fiber Communications: Principles and Practice. Editora Prentice Hall, 2015.
- TECNET SOLUÇÕES. Tec Net BR. FIBRA ÓPTICA. Disponível: <https://www.tec.net.br/infraestrutura/fibra-optica/>. Acesso em 01 de outubro de 2023.

Y. Jung et al., “First demonstration and detailed characterization of a multimode amplifier for space division multiplexed transmission systems”, Opt. Express 19 (26), B952 (2011);