

# Uma Proposta de Metodologia de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações

Eloi Pereira Fontoura

2025

Eloi Pereira Fontoura

## **Uma Proposta de Metodologia de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentando ao Departamento de Sistema de Informação do Campus de Coxim da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Sistema de Informação.

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Curso de Sistemas de Informação (CPCX)

Orientador: Prof. Dr. Ekler Paulino de Mattos

Coxim MS

2025

Eloi Pereira Fontoura

## **Uma Proposta de Metodologia de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentando ao Departamento de Sistema de Informação do Campus de Coxim da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Sistema de Informação.

---

**Prof. Dr. Ekler Paulino de Mattos**  
Orientador

Coxim MS  
2025

*Este trabalho é dedicado as pessoas que se inspiram nas tecnologias embarcada em eletrônicas.*

# Agradecimentos

Quero expressar meus sinceros agradecimentos a todos os docentes que desempenharam um papel fundamental na minha formação durante estes quatro anos de intenso aprendizado. O conhecimento adquirido nas disciplinas ministradas, contribuiu significativamente para minha trajetória acadêmica. Em especial, gostaria de estender minha gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Ekler Paulino de Mattos, cujo comprometimento na orientação e expertise foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação em compartilhar conhecimento que foi essencial para minha formação. Também não posso deixar de agradecer aos meus colegas de jornada, cuja colaboração e troca de experiências enriqueceram meu percurso acadêmico. A vivência conjunta de desafios e conquistas fortaleceu nosso vínculo, tornando essa jornada mais significativa. À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul UFMS, expresso minha gratidão pela oportunidade de fazer parte desta instituição renomada. A estrutura acadêmica e o ambiente proporcionando à aprendizagem foram elementos chave na minha formação. Por fim, dedico um agradecimento especial a todos os mestrados e doutorados que, com seu apoio e motivação mútua, tornaram possível enfrentar os desafios inerentes à pesquisa acadêmica. O intercâmbio de ideias e o estímulo constante foram essenciais, tornando este trabalho mais enriquecedor e menos árduo. Expresso minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico.

# Resumo

A crescente complexidade das redes de telecomunicações, impulsionada pela constante evolução tecnológica, demanda uma análise aprofundada dos elementos pertinentes ao sincronismo. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) propõe uma metodologia de sincronização em redes de transporte de telecomunicações, tendo como estudo de caso a Rede CINDACTA — uma infraestrutura destinada ao controle do tráfego aéreo brasileiro — e utilizando a Operadora VTAL, Rede Neutra de Telecomunicações, com foco na otimização do fluxo de dados e na melhoria da eficiência operacional. O objetivo é não apenas compreender, mas também antecipar e resolver os desafios associados à sincronização. O trabalho também realiza uma investigação sobre o sincronismo em ambientes de redes de transporte, a partir de um estudo de caso da Rede CINDACTA — uma rede responsável pelas comunicações do tráfego aéreo no Brasil. Além disso, apresenta uma visão dos fatores que influenciam a sincronização, como os protocolos de comunicação. *Transmission Control Protocol sobre Internet Protocol (TCP/IP)*, *User Datagram Protocol (UDP)*, *Precision Time Protocol (PTP)*, *Global Positioning System (GPS)*, *Network Time Protocol (NTP)*. Como resultados deste trabalho, apresentamos uma metodologia de testes de sincronização de equipamentos da rede, em que foram aplicados em um estudo de caso para o entendimento sobre o processo de sincronização e apresentar soluções práticas para otimizar o desempenho das redes de transporte em telecomunicações. Este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser considerado como uma contribuição significativa para a comunidade científica e profissional da área de telecomunicações. A proposta visa aprimorar os conhecimentos sobre os processos de sincronização em redes de transporte, apresentando perspectivas teóricas e práticas aplicáveis a um cenário dinâmico e altamente exigente como as redes de transporte, caracterizado pela crescente demanda por desempenho, confiabilidade e precisão temporal.

**Palavras-chave:** Sincronização de Redes; Sistemas de Telecomunicações; Relógio de Referência baseado em GPS.

# Lista de ilustrações

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Metodologia de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações. . . . .                                                                                                                        | 20 |
| Figura 2 – Mapa da rede CINDACTA . . . . .                                                                                                                                                                         | 23 |
| Figura 3 – Detalhamento da topologia da rede do CINDACTA II, em Curitiba com conexão ao site B em Coxim MS. . . . .                                                                                                | 24 |
| Figura 4 – Instrumental VIAVI MTS-5822. . . . .                                                                                                                                                                    | 26 |
| Figura 5 – Instrumental MTS-5800. . . . .                                                                                                                                                                          | 27 |
| Figura 6 – Antena GPS. . . . .                                                                                                                                                                                     | 27 |
| Figura 7 – Satellite. . . . .                                                                                                                                                                                      | 28 |
| Figura 8 – GTM+3. . . . .                                                                                                                                                                                          | 28 |
| Figura 9 – Teste de Voz. . . . .                                                                                                                                                                                   | 29 |
| Figura 10 – PESQ. . . . .                                                                                                                                                                                          | 30 |
| Figura 11 – G-729 . . . . .                                                                                                                                                                                        | 30 |
| Figura 12 – Tráfego 12h. . . . .                                                                                                                                                                                   | 31 |
| Figura 13 – NMS. . . . .                                                                                                                                                                                           | 33 |
| Figura 14 – SONET/SDH . . . . .                                                                                                                                                                                    | 34 |
| Figura 15 – ETHERNET . . . . .                                                                                                                                                                                     | 34 |
| Figura 16 – Topologia MPLS . . . . .                                                                                                                                                                               | 35 |
| Figura 17 – Sincronização. . . . .                                                                                                                                                                                 | 36 |
| Figura 18 – Teste de Voz. . . . .                                                                                                                                                                                  | 38 |
| Figura 19 – DM 705. . . . .                                                                                                                                                                                        | 39 |
| Figura 20 – Ativação. . . . .                                                                                                                                                                                      | 40 |
| Figura 21 – Resultado do Teste de Tráfego no equipamento MTS-5800. . . . .                                                                                                                                         | 41 |
| Figura 22 – Todos Resultados dos Testes com equipamento MTS-5800. . . . .                                                                                                                                          | 42 |
| Figura 23 – Resultados detalhados dos testes realizados no equipamento MTS-5800.<br>A) Detalhamento do teste de vazão partindo do sitio remoto Coxim-MS.<br>B) Detalhamento do teste de vazão CINDACTA II. . . . . | 42 |
| Figura 24 – Jitter. . . . .                                                                                                                                                                                        | 44 |
| Figura 25 – Tráfego. . . . .                                                                                                                                                                                       | 45 |

# Lista de abreviaturas e siglas

|        |                                                                      |
|--------|----------------------------------------------------------------------|
| ATM    | Asynchronous Transfer Mode                                           |
| CIR    | Committed Information Rate                                           |
| CISCEA | Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo       |
| CoS    | Class of Service                                                     |
| CPU    | Central Processing Unit                                              |
| DSCP   | Differentiated Services Code Point – campo de 6 bits no cabeçalho IP |
| DWDM   | Dense Wavelength Division Multiplexing                               |
| E1     | Padrão Europeu digital de transmissão de dados (2.048 Mbps)          |
| FD     | Frame Delay                                                          |
| FDV    | Frame Delay Variation                                                |
| FLR    | Frame Loss Rate                                                      |
| GE     | Gigabit Ethernet                                                     |
| GPS    | Global Positioning System                                            |
| GTM+3  | Greenwich Mean Time                                                  |
| IEDs   | Intelligent Electronic Device                                        |
| IoT    | Internet of Things                                                   |
| IS-IS  | Intermediate System to Intermediate System                           |
| ITU-T  | Telecommunication Standardization Sector                             |
| MOS    | Mean Opinion Score                                                   |
| MPLS   | Multiprotocol Label Switching – prioriza o envio de pacotes na rede  |
| MTS    | Modular Test System                                                  |
| MUX    | Multiplexer                                                          |
| NE     | Network Element                                                      |

|        |                                                   |
|--------|---------------------------------------------------|
| NMS    | Network Management System                         |
| NTP    | Network Time Protocol                             |
| OSPF   | Open Shortest Path First                          |
| PESQ   | Perceptual Evaluation of Speech Quality           |
| PIR    | Peak Information Rate                             |
| PRC    | Primary Reference Clock                           |
| PSU    | Power Supply Unit                                 |
| PTP    | Precision Time Protocol                           |
| QoS    | Quality of Service                                |
| RTD    | Round Trip Delay                                  |
| SDH    | Synchronous Digital Hierarchy                     |
| SDN    | Rede Definida por Software                        |
| SLA    | Service Level Agreement                           |
| SLS    | Service Level Specification                       |
| T-BERT | Test and BER Detection                            |
| TCP/IP | Transmission Control Protocol / Internet Protocol |
| UDP    | User Datagram Protocol                            |
| VLAN   | Virtual Local Area Network                        |
| VoIP   | voice over IP                                     |
| WB     | Wide Bandwidth                                    |

# Sumário

|     |                                                                                                                    |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | INTRODUÇÃO                                                                                                         | 11 |
| 1.1 | Motivação                                                                                                          | 11 |
| 1.2 | Fundamentação Teórica                                                                                              | 12 |
| 1.3 | Objetivos                                                                                                          | 13 |
| 1.4 | Justificativa                                                                                                      | 14 |
| 1.5 | Organização do Trabalho                                                                                            | 15 |
| 2   | ASPECTOS CONCEITUAIS                                                                                               | 16 |
| 2.1 | Infraestruturas de Redes                                                                                           | 16 |
| 2.2 | Sincronismo e Redes de Transporte                                                                                  | 17 |
| 3   | MATERIAIS E MÉTODOS                                                                                                | 20 |
| 3.1 | O Processo de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações                                             | 20 |
| 3.2 | Infraestrutura da Rede do CINDACTA II                                                                              | 21 |
| 3.3 | Procedimentos, Métodos de Medição e Validação do Desempenho do Sincronismo utilizando o equipamento VIAVI MTS-5800 | 25 |
| 4   | ESTUDO DE CASO                                                                                                     | 33 |
| 4.1 | Testes e Avaliação                                                                                                 | 35 |
| 4.2 | Teste de Análise de Clock                                                                                          | 36 |
| 4.3 | Teste Determinístico                                                                                               | 37 |
| 4.4 | Teste de Voz                                                                                                       | 37 |
| 4.5 | DM 705                                                                                                             | 38 |
| 4.6 | Procedimentos dos Teste Estatístico                                                                                | 39 |
| 4.7 | Teste de Ativação                                                                                                  | 40 |
| 5   | RESULTADOS                                                                                                         | 41 |
| 5.1 | Segmento entre o sítio remoto                                                                                      | 43 |
| 5.2 | Segmento entre o concentrador CINDACTA II e o equipamento MTS-5800                                                 | 44 |
| 6   | CONSIDERAÇÕES FINAIS                                                                                               | 46 |
| 6.1 | Contribuições                                                                                                      | 46 |
|     | REFERÊNCIAS                                                                                                        | 47 |

# 1 Introdução

No mundo atualmente, as redes de transporte em telecomunicações forma uma espinha dorsal que é a internet e faz a comunicação digital, sendo responsáveis pelo encaminhamento eficiente e confiável de um grande volume de dados. Estas redes são formadas por enlaces ópticos, rádios, satélites e equipamentos de comutação com alta capacidade que fornecem elevada largura de banda, com baixa latência que atendem aos requisitos de Qualidade de Serviço (QoS), com escalabilidade e resiliência, essenciais para suportar aplicações críticas e serviços em tempo real (1).

## 1.1 Motivação

Um dos pontos críticos da comunicação de dados em redes de telecomunicações é o sincronismo em diferentes equipamentos de comunicação contidos neste ambiente. A importância do sincronismo em rede de telecomunicações faz-se necessária entre os elementos de rede em que os dados enviados por meio do circuito chegam ao destinatário com qualidade. Isso é importante em uma rede de telecomunicações para que tenha um melhor desempenho, sem comprometer as operações no centro de controle do espaço aéreo nacional da rede CINDACTA. Sem o sincronismo, a qualidade do serviço não é satisfatória (2). Eventos como falhas de referência podem ocorrer, inclusive ocasionar a perda na comunicação entre os equipamentos, além de apresentar o atraso no envio das informações (3). Portanto, a sincronização de equipamentos traz o funcionamento desejado para que mantenha a qualidade esperada dos serviços enviados entre o emissor da mensagem e o receptor.

Diante de uma atividade atribuída ao técnico de campo e ao administrador de rede, surge a necessidade de tomar decisões e adotar providências para corrigir falha no serviço de comunicação de dados. Nessa situação é essencial aplicar o conhecimento em redes de telecomunicações para identificar a causa do problema e agir de forma rápida e eficiente. Essa atuação aconteceu em um link de dados no ambiente da VTAL – Rede Neutra de Telecomunicações, que demanda procedimentos rigorosamente estruturados para garantir a continuidade operacional e a qualidade dos serviços prestados. Nesse cenário, são tratados serviços essenciais de transporte e conectividade, como Ethernet. As tecnologias *Internet Protocol*(IP) *Multi-Protocol Label Switching* (MPLS), *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) e *Precision Time Protocol* (PTP) desempenham papéis fundamentais na infraestrutura de redes de telecomunicações modernas, garantindo desempenho, confiabilidade. O IP/MPLS combina com a flexibilidade da Ethernet com eficiência do MPLS, permitindo o transporte de dados com controle na QoS e alta disponibilidade entre diferentes segmentos de rede.

Já O SDH constitui uma base sólida para o transporte óptico síncrono, proporcionando alta capacidade, estabilidade e precisão na temporização, características essenciais para o suporte de serviços críticos. Complementando essas camadas, o PTP, padronizado pela IEEE 1588, garante a distribuição precisa de tempo e frequência entre equipamentos de rede, reduzindo variações no tempo e assegurando o sincronismo rigoroso em aplicações sensíveis ao tempo. Em conjunto, essas tecnologias possibilitam o funcionamento eficiente e coordenado de sistemas complexos de telecomunicações que sustentam aplicações críticas de voz, dados e vídeo em redes corporativas e operadoras parceiras. As ações tomadas foram baseadas em experiências anteriores e em práticas consolidadas durante o acompanhamento operacional, complementadas por análises realizadas nas manutenções periódicas. Dessa forma, o problema pôde ser tratado de maneira organizada, reduzindo impactos e assegurando a qualidade da rede de transporte em telecomunicações.

## 1.2 Fundamentação Teórica

Em Redes de Transporte de Telecomunicações consiste em um conjunto de técnicas de temporização entre equipamentos, cujo objetivo é fornecer um sinal de referência de tempo comum para garantir que os dispositivos e circuitos operem de maneira coordenada e que a transmissão de dados seja precisa. O sincronismo em redes de telecomunicações é um elemento fundamental para assegurar a integridade, a confiabilidade e o bom desempenho dos serviços de comunicação.

Nas redes de Telecomunicações atuais, a precisão do sincronismo é essencial para que os equipamentos dessa rede funcionem de forma coordenada, garantindo o correto alinhamento dos pacotes transmitidos e a estabilidade na frequência das informações enviadas. Quando não utiliza a mesma referência, podem ocorrer variações, conhecidas como *jitter* e *wander*, que afetam diretamente as informações que são enviadas, como voz, vídeo em transmissões pelas redes de transporte em telecomunicações.

Historicamente, os sistemas de sincronização foram baseados em hierarquias digitais síncronas, como o SDH, que possibilita a transmissão de sinais digitais de alta velocidade por meio de um padrão hierárquico de multiplexação (4). Nessa arquitetura, o sincronismo é distribuído a partir de uma fonte primária, geralmente um relógio de referência de alta precisão, para todos os elementos da rede. Essa abordagem é aplicada em infraestruturas de grande porte, como a rede de controle e defesa aérea controlada pelo CINDACTA, que utiliza link de dados em redes de telecomunicações para fazer interconexão entre seus sítios e centros de controle.

Com o avanço das tecnologias está sincronização contribuem para a necessidade de maior precisão, surgem novas abordagens, como o PTP (5), Network Time Protocol (NTP) e as referências geográficas derivadas do Sistema de Posicionamento Global (*Global*

*Positioning System* - GPS); Que tornou uma das principais fontes de referencia, permitindo que cada nó da rede obtenha um sinal do tempo preciso, dispensando, a dependência de enlaces físicos dedicados à distribuir o sincronismo. Esta combinação entre GPS e PTP (6) contribui para uma topologia flexível em, especial as redes distribuídas.

Temos topologia de rede de telecomunicações que tem uma forma de como o sincronismo é distribuído entre os equipamentos, com modelo de redes SDH. O sinal do sincronismo é uma fonte principal que é propagado para os demais dispositivos, que opera como elementos escravos. Já nas topologias baseadas em IP, pode-se empregar um modelo de sincronismo, no qual cada elemento obtém e ajusta sua referência de tempo a partir de fontes já estabelecida. Quando bem planejada, diminui a dependência de um ponto de falha e contribui para maior estabilidade operacional da rede, mas diante de condições ou degradações parciais. Tem pesquisas que aponta a referencia da integração entre o sincronismo para suportar aplicações, como redes móveis 5G, sistemas de controle industrial e redes aeronáuticas (7). Neste cenários, a precisão é exigida e pode atingir uma ordem de microssegundos, exigindo soluções avançadas de calibração e monitoramento contínuo da sincronização. Existem ferramentas de análise, como o *Wander Analysis Software* utilizadas para medir desvios e validar a conformidade com padrões internacionais, dentro dos parâmetros definidos por normas como ITU-T G.8261 e G.8275 (8). A utilização de relógio GPS tem referência principal e a interligação por meio de enlaces SDH ou IP ocorre no ambiente da operadora de telecomunicações com a interligação do CINDACTA II, ambiente este no qual será utilizado como estudo de caso sobre sincronismo. Portanto, esta combinação possibilita uma disponibilidade, de precisão e confiabilidade, que atenda aos requisitos de aplicações e sustentando as operações que depende de estabilidade.

### 1.3 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo explorar o sincronismo dos equipamentos que realizam a transmissão de dados em redes de telecomunicações. Particularmente, apresenta-se uma metodologia de sincronização em redes de transporte de telecomunicações. Aplicamos a metodologia proposta em um estudo de caso sobre os equipamentos em um ambiente de rede de telecomunicações por onde trafegam os dados de controle do espaço aéreo brasileiro, conhecido como CINDACTA (9). A análise dos dados da rede foi realizada utilizando o instrumento de testes VIAVI MTS-5800 para essas medições, aplicado especificamente ao transporte de informações de voz e dados utilizando a infraestrutura da VTAL – Rede Neutra de Telecomunicações.

Neste estudo de caso, foram analisadas a entrega do serviço de enlace determinístico do tipo E1 e a do enlace estatístico IP/MPLS, considerando seu desempenho, comportamento operacional e impacto na sincronização dos equipamentos envolvidos. Ambas as

abordagens foram elaboradas como métodos para cada sítio de interesse da Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo (CISCEA) (10). Trata-se de um departamento do Comando da Aeronáutica, subordinado ao Controle do tráfego aéreo Brasileiro, CINDACTA utilizando a topologia e infraestrutura da rede de telecomunicação. Este trabalho, foi desenvolvido com base na infraestrutura da VTAL - Rede Neutra de Telecomunicações (11). Que firmou contrato com o Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA). Esse serviço foi implantado utilizando a eletrônica dos equipamentos de transmissão MUX SDH e dos roteadores, com interfaces definidas de acordo com a velocidade nominal da rede estatística e da rede determinística. Também foram especificados os tamanhos dos pacotes que trafegariam nos testes: para a classe de voz, pacotes de 164 bytes; e para as demais classes, pacotes de 1518 bytes, conforme acordado com o cliente.

## 1.4 Justificativa

Aplicar uma metodologia robusta de sincronização em redes de transporte de telecomunicações é fundamental para assegurar a qualidade do tráfego de dados provenientes de dispositivos conectados no contexto da Internet das Coisas (IoT), tais como computadores, smartphones, tablets e veículos. Essa prática garante que a transmissão ocorra de forma precisa, estável e em conformidade com as normas regulamentadoras, permitindo que os serviços ofereçam desempenho adequado e atendam aos requisitos de qualidade estabelecidos. Esse cenário intensifica o fluxo de dados, exigindo desempenho e confiabilidade na qualidade entregue aos usuários. Assim, a análise de estudos de caso é importante para compreender e propor soluções que garantam não apenas a performance, mas também a qualidade no gerenciamento da rede, permitindo a detecção de falhas e a prevenção da degradação do serviço. A utilização de ferramentas apropriadas para análise do sincronismo contribui para fortalecer a eficiência da rede com as atualizações, com isso assegurando a compatibilidade com as crescentes demandas de sincronização. Assim, as pesquisas aplicadas nessa área contribuem de forma positiva para enfrentar os desafios e sustentar a evolução contínua das redes de telecomunicações.

Pode-se observar neste estudo de caso, que ação realizada na rede de transporte em telecomunicações pode otimizar o sincronismo, também diminuem as causas de falhas na rede melhorando a eficiência operacional da rede de transporte em telecomunicações. Além de evitar colisões de dados, onde dois ou mais dispositivos podem tentar transmitir dados simultaneamente, causando interferência.

A transmissões de dados de fluxo contínuo, como o *streaming* de voz e vídeo, caracteriza-se pela transferência contínua e de alta velocidade de dados de diversas fontes em tempo constante. Neste cenário, o sincronismo possibilita que os bits cheguem na ordem

correta no destinatário e preservem a qualidade da comunicação. Além disso, o sincronismo de equipamentos melhora a qualidade na modulação e demodulação utilizando um espectral sobre os meios físico das fibras óptica conectado nas interfaces de *Transmission* (TX) e *Reception* (RX). Diante destes fatos, o sincronismo tem papel importante nos atuais cenários da rede transporte em telecomunicações, contribuindo com maior eficiência e estabilidade na qualidade da transmissão das informações.

## 1.5 Organização do Trabalho

O restante deste trabalho está organizado conforme segue:

- Capítulo 2: Apresenta conceitos sobre infraestrutura de redes de telecomunicações e sua sincronização. Além de enfatizar a importância de ações regulares de sincronização na infraestrutura que podem melhorar o desempenho da rede.
- Capítulo 3: Apresenta a metodologia usada neste trabalho, bem como as ferramentas de análise de eficácia e técnicas para otimizar o sincronismo aplicadas no estudo de caso. Através dessas ferramentas e técnicas, são detectadas as falhas na rede permitindo identificar oportunidades de melhoria e com isso, assegurar uma rede mais estável.
- Capítulo 4: Apresenta o estudo de caso de sincronização. São aplicadas tecnologias e ferramentas para cada etapa do processo de sincronização. Este capítulo apresenta os principais recursos utilizados, desde o provisionamento até a criação lógica do circuito dentro de uma topologia determinística.
- Capítulo 5: Apresenta os resultados da análise do estudo de caso, bem como as decisões tomadas com base nos resultados dos testes. Além disso, enfatiza sobre os procedimentos de avaliação dos testes de integração e aceitação de acordo com o estudo de caso apresentado.
- Capítulo 6: Apresenta as considerações finais deste trabalho. Além de destacar a importância do sincronismo nas redes de transporte em telecomunicações.

## 2 Aspectos Conceituais

Neste capítulo, apresento fundamentos e conceitos sobre redes de telecomunicações e sincronização utilizado neste trabalho, alguns trabalhos relacionados.

No processo de sincronização, o Césio (Cs) é um elemento químico fundamental na definição da unidade de tempo com recomendação técnica internacional em relógio atômicos, onde a UIT-T G.811 que especifica características de relógios de referência primária, mais precisa da rede, baseada em osciladores atômicos, com requisitos severos de estabilidade e precisão. (12). Em redes Ethernet Síncrona o relógio é compatíveis, com SONET/SDH que outra foi definido em G.813, Sendo que recebe uma referência de temporização com entrada externas proveniente do *clock* da rede com uma interface de (sincronização de 2048 kHz).

Na tecnologia de telefonia celular de quinta geração, denominada como 5G, a sincronização do tempo é usada sistematicamente para mensurar o desempenho em aplicações para redes móveis no contexto de transmissão de dados. Em 5G também usa-se a sincronização por GPS (13). Destaca-se que os equipamentos são caracterizados por nem sempre estarem online, por conta dos fatores climáticos e físicos. Para isto, é importante ter vários pontos pré-definidos de referencia do GPS, contemplando uma melhor performance, e otimizando o relógio de referência para toda a rede.

No trabalho proposto por Schwartz et al. (3), apresenta-se uma evolução, nos sistemas de sincronização por relógio baseado em frequência e tempo no desenvolvimento das redes de comunicações com crescente capacidade para transportar informações. Como a complexidade e requisito do sistema, prevalece a necessidade de um suporte baseado em novos equipamentos que forneça uma fonte de sincronismo com mais eficiência, baseados em ensaios em laboratórios com regulação *Coordinated Universal Time* (UTC) – um relógio mestre global que permite a operação harmoniosa e sincronizada das redes e serviços de telecomunicações em escala mundial.

### 2.1 Infraestruturas de Redes

A infraestrutura de rede é o conjunto de todo o sistema responsável pelo suporte aos equipamentos, assegurando o pleno funcionamento e integridade física das redes. Este sistema é composto de eletricidade, aterramento, sistema de refrigeração, sistema de incêndio, sistema de segurança e do próprio local de instalação do equipamento (14).

Uma Rede de Dados ou Rede IP refere-se ao funcionamento lógico das redes de dados, segue o modelo TCP/IP, por este motivo também é chamada de rede IP (15). Uma

Rede de Transmissão, também chamada de Rede de Transporte, realiza a interconexão entre os elementos da rede, transporta as informações entre a Rede de Acesso, a Rede de Dados e a Rede de Comutação. Ela é composta de equipamentos de alta capacidade de tráfego de dados e em sua grande maioria são transmitidos por fibra ótica utilizando tecnologias como o *Asynchronous Transfer Mode* (ATM), SDH e *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM), entre outras existentes. A Rede de Acesso corresponde ao segmento da infraestrutura de telecomunicações responsável por interligar os usuários finais à central de comutação ou aos servidores de dados (16). Trata-se da porção da rede com maior concentração de conexões, estendendo-se desde o ambiente do cliente até a infraestrutura das operadoras. Por desempenhar um papel crítico na entrega de serviços, a Rede de Acesso é diretamente responsável pela qualidade da experiência do usuário, pois influencia parâmetros como capacidade, disponibilidade e confiabilidade (16). Para atender a esses requisitos, emprega uma ampla gama de tecnologias e protocolos de comunicação, os quais são continuamente aprimorados para acompanhar a crescente demanda por tráfego de dados e serviços digitais. As Redes de Dados e de Acesso, formam diversos tipos de redes, como por exemplo, as redes de telecomunicações.

## 2.2 Sincronismo e Redes de Transporte

O atraso na transmissão de dados em redes de telecomunicações com enlace extenso, podem ocorrer devido a diferentes caminhos, saltos largura de banda contribuem para que ocorra a latência nestas redes. Basicamente, para que os dados percorram todo o percurso, é necessário que os equipamentos processa e envia uma grande quantidade de informações, o que pode retardar o envio das mensagens para o destinatário (17). Neste contexto, erros de sincronização podem ocorrer devido a variação no tempo dos dispositivos. Uma forma de minimizar as inconsistências no tempo é aplicar os conceitos básicos do sincronismo em redes de telecomunicações que concentram-se na criação de um ajuste para garantir uma comunicação eficaz, minimizando colisões de dados e otimizando a eficiência dos sistemas de comunicação (16). O uso adequado dos protocolos de sincronização, quando atrelado à superação de desafio técnico específico, é basicamente para assegurar a integridade e o desempenho das redes de telecomunicações. Portanto a atualização contínua da infraestrutura contribui de maneira significativa para a confiabilidade, estabilidade e eficiência operacional deste sistemas (18). A sincronização em telecomunicações é um tema importante que garante a eficiência, a integridade na comunicação de dados. O atraso na transmissão podem ser resolvido com o uso de compensação de atraso, que ajusta o tempo de chegada dos dados. Uma das abordagens de compensação de atraso que ocorre com a aplicação de protocolos de sincronização apropriado, que são fundamental para assegurar a comunicação, evitando colisão de dados. Esta sincronização em redes de telecomunicações é um fator essencial para o correto funcionamento dos serviços e aplicações sensíveis à

variação no tempo. E faz com que todos os elementos da rede opere com referência de uma mesma base de tempo, evitando discrepâncias que possam comprometer o desempenho dos serviços, em especial aplicações de voz, vídeo e dados críticos. Nesse contexto, destaca-se o PTP, que proporciona uma distribuição de tempo altamente precisa entre os dispositivos de rede. Essa funcionalidade é geralmente incorporada a componentes de rede compatíveis com o PTP, como switches, pontes e roteadores, possibilitando a transferência e o alinhamento preciso das informações de tempo em toda a infraestrutura.

A implementação desse recurso de sincronização PTP permite que os equipamentos da rede mantenham uma referência no tempo, reduzindo significativamente os desvios de sincronismo entre os dispositivos. Essa precisão no tempo contribui para a estabilidade operacional e o desempenho eficiente das aplicações que demandam sincronização rigorosa, especialmente aquelas voltadas a serviços de voz, vídeo e transmissão de dados em tempo real. Os relógios de limite podem ser usados para escalar uma rede PTP, atendendo a solicitações de relógios escravos que, de outra forma, seriam atendidas pelo relógio mestre. Isso possibilita o suporte a um grande número de relógios escravos em Dispositivos Eletrônicos Inteligente (IEDs) na rede (19).

A atualização regular da infraestrutura em redes de telecomunicações também é apontada como uma medida para garantir o desempenho na segurança das redes. Isso pode incluir a implementação de novas tecnologias e protocolos capazes de lidar com os desafios específicos de sincronização nas redes de telecomunicações. (20). Destaca também a importância da atualização regular da infraestrutura e da implementação de soluções inovadoras, para superar os desafios específicos da sincronização são muitas as tecnologias dentro da rede de telecomunicações. Desta forma, a rede é dividida conforme sua aplicação. Rede de Acesso, Rede de Comutação, Rede de Transmissão, Rede de Dados e Infraestrutura.

O sincronismo influencia na dinâmica da entrega de dados, em que são configurados utilizando protocolos de sincronização. Cada um dos equipamentos devem ser configurados separadamente de modo que ocorra um alinhamento com os devidos requisitos, garantindo a qualidade e confiança do serviço entregue para o cliente (21).

Uma das abordagens para o alinhamento em redes de telecomunicações é o uso de algoritmo probabilístico de sincronização. O algoritmo probabilístico na sincronização de relógio pode garantir um limite muito menor para a distorção do relógio do que a maioria dos algoritmos existentes. O algoritmo é probabilístico no sentido de que o limite para a distorção do relógio que ele garante e possui uma probabilidade de invalidade associada. No entanto, a probabilidade pode ser extremamente reduzida pela transmissão de um número suficiente de mensagens de sincronização. Mostra-se que um limite superior para a probabilidade de invalidade diminui exponencialmente com o número de mensagens de sincronização transmitidas. Uma expressão em forma fechada que relaciona a probabilidade

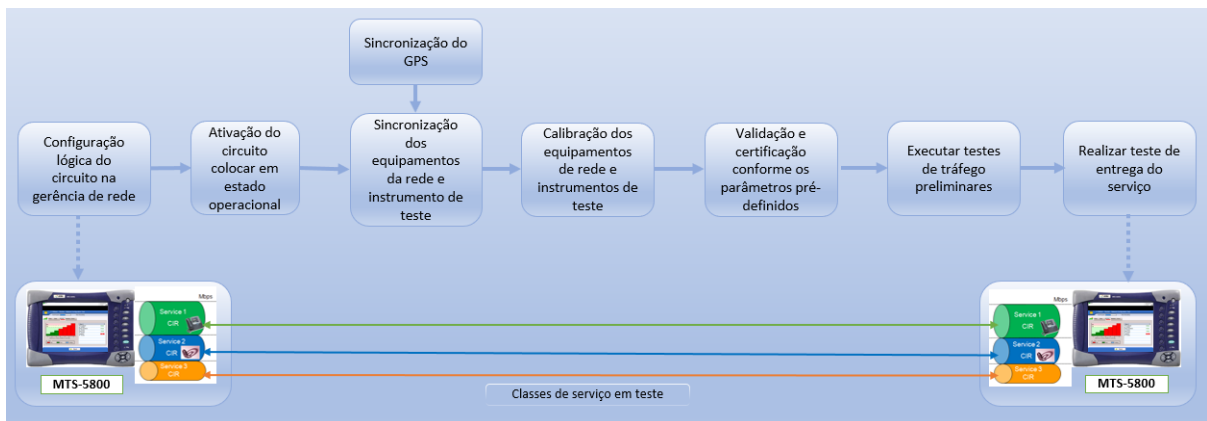
de invalidez à distorção do relógio e ao número de mensagens de sincronização também é derivada (22, 23).

O uso do GPS é amplamente adotado para sincronização de alta precisão. Os receptores GPS fornecem tempo universal coordenado (UTC), com precisão de dezenas de nanossegundos, sendo utilizados como *Primary Reference Clock* (PRC) em redes de transporte sendo a principal limitação é a dependência do sinal de satélite, sujeito a interferências ou bloqueios físicos (24).

### 3 Materiais e Métodos

Este capítulo apresenta a metodologia usada neste trabalho, também as ferramentas de análise e técnicas para otimizar o sincronismo no estudo de caso. A partir destas ferramentas e técnicas, e verificado se encontra falha na rede, isso permitiu identificar pontos de melhoria em termos de desempenho.

Figura 1 – Metodologia de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações.



Fonte: Gerada pelo autor.

#### 3.1 O Processo de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações

O processo de sincronização em uma rede de transporte de telecomunicações, representado pela Figura 1, segue uma sequência de etapas que garante a correta configuração, operação e certificação do serviço dentro dos parâmetros estabelecidos.

Inicialmente, realiza-se a **configuração lógica do circuito na gerência de rede**. Trata-se de uma etapa responsável pela criação e parametrização do circuito dentro do sistema de gerenciamento. Nessa fase, são definidas as rotas, interfaces e políticas de encaminhamento necessárias para assegurar o correto fluxo de dados entre os pontos terminais.

Em seguida, é realizada a **ativação do circuito**, colocando-o em estado plenamente operacional para início das validações e testes de desempenho, permitindo a comunicação efetiva entre os equipamentos de rede. Essa etapa é fundamental para a verificação do funcionamento inicial e da conectividade entre os sítios interligados.

A terceira etapa consistiu na **sincronização do GPS, dos equipamentos de rede e dos instrumentos de teste**, assegurando a precisão temporal das medições. Essa

sincronização é essencial para a confiabilidade dos resultados, uma vez que as discrepâncias de tempo podem comprometer a análise de desempenho dos serviços.

Posteriormente, realiza-se a **calibração dos equipamentos de rede e dos instrumentos de teste**, garantindo que todas as medições estejam dentro dos padrões técnicos exigidos. A calibração reduz as margens de erro e assegura a fidelidade dos resultados obtidos durante as etapas de teste.

Na sequência, realiza-se a **validação e certificação do circuito conforme os parâmetros pré-definidos**. Nessa fase, são verificados os indicadores de desempenho estabelecidos no SLA, tais como latência, *jitter* e taxa de perda de pacotes, com o objetivo de certificar a conformidade técnica operacional do circuito.

Após a validação inicial, são executados **testes de tráfego preliminares**, destinados à identificação de eventuais instabilidades ou degradações de desempenho. Esses testes permitem avaliar a estabilidade do circuito sob diferentes condições de carga, contribuindo para ajustes e otimizações antes da entrega final.

Por fim, realiza-se o **teste de entrega do serviço**, etapa conclusiva que valida o funcionamento integral do circuito em ambiente operacional. Esse teste tem como finalidade confirmar que o serviço atende plenamente aos requisitos contratuais e técnicos definidos, garantindo a qualidade e a confiabilidade da conexão estabelecida, porém todos os equipamentos encontra-se sincronizados e a rede está operável para o uso. Esta metodologia proposta foi aplicada em uma rede denominada CINDACTA, detalhada a seguir.

## 3.2 Infraestrutura da Rede do CINDACTA II

A rede CINDACTA é uma estrutura de controle e orientação do tráfego aéreo, denominado como Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo, uma unidade da Força Aérea Brasileira (FAB), que é responsável por garantir a segurança e o controle do espaço aéreo em suas quatro áreas de abrangência no Brasil. Suas funções incluem o controle de tráfego aéreo, a defesa aérea, contribuindo com informações aeronáuticas, meteorologia, telecomunicações para aeronaves de busca e salvamento. Já o CINDACTA II é um dos quatro Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo do país. Ele é responsável pela coordenação e vigilância da região Sul e uma parte da região Sudeste, coordenando a gestão do tráfego aéreo civil dando suporte para às operações militares. A importância do CINDACTA II é justamente sua capacidade de integrar informações é garantir uma comunicação segura entre os sistemas e manter o sincronismo necessário para que todo o fluxo de dados seja confiável. Sem esta estrutura, as operações do espaço aéreo seria menos eficiente e mais vulnerável a falhas. E está distribuída da seguinte forma pelo Brasil:

- CINDACTA I: Sediado em Brasília que é responsável pela coordenação da região central do Brasil controlando o espaço aéreo desta região.
- CINDACTA II: Localizado em Curitiba, que é responsável por coordenar o espaço aéreo da região sul e parte do sudeste.
- CINDACTA III: Com sede em Recife controla o tráfego aéreo com atuação no Nordeste Brasileiro.
- CINDACTA IV: Localizado em Manaus e controla toda a região norte do Brasil.

Na Figura 2 apresenta-se a topologia da rede CINDATA, em que está distribuída em diversos estados do Brasil. Neste trabalho, utilizamos como estudo de caso a conexão entre o estado de Mato Grosso do Sul e o estado do Paraná apresentado no mapa, com a linha azul indicando o caminho principal da comunicação entre os dois sites, sendo o site CINDACTA II situado no município de Curitiba PR, e o site B situado no município de Coxim-MS.

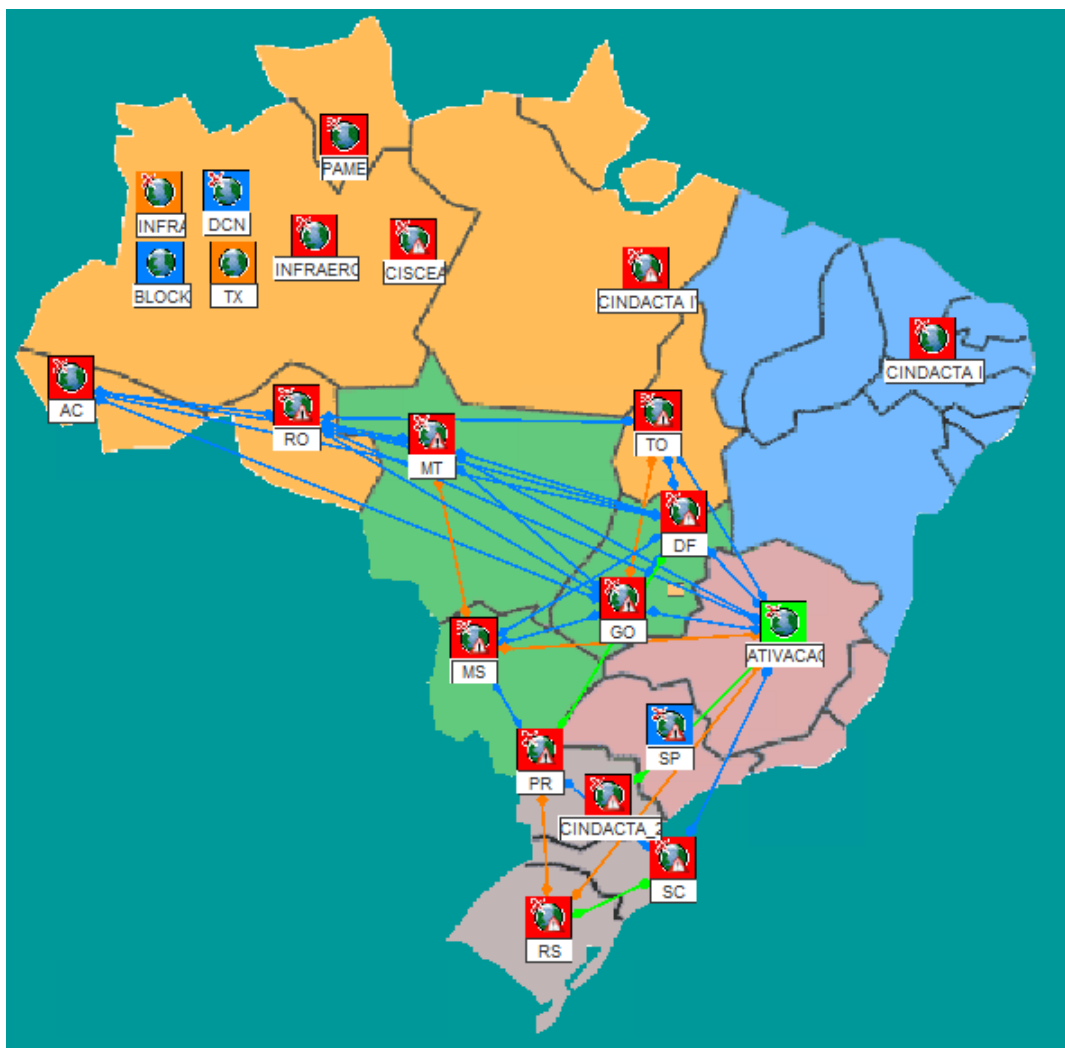
A Figura 3 apresenta a topologia geral da rede do CINDACTA II, que integra os elementos de transporte, núcleo IP é formada uma infraestrutura robusta e de alta confiabilidade. Essa rede é responsável por interligar diferentes sítios operacionais, garantindo comunicação contínua, segura e sincronizada entre os equipamentos que compõem o sistema de telecomunicações.

A arquitetura é baseada em duas camadas principais: a rede de Transporte SDH e a IP. A rede SDH desempenha papel essencial no transporte de dados com temporização precisa, permitindo que os sinais de referência de tempo sejam distribuídos de maneira estável entre os nós da rede. Essa camada proporciona baixa taxa de erro, elevada disponibilidade e suporte a serviços determinísticos, características fundamentais para aplicações críticas de comunicação aeronáutica e militar.

Sobre essa infraestrutura de transporte, opera a rede IP, que atua como o núcleo lógico de comutação e roteamento, responsável pela gestão do tráfego de pacotes entre os diversos segmentos da rede. Essa camada garante flexibilidade operacional, controle de QoS e suporte ao *Class of Service* (CoS), como Tempo Real, Missão Crítica e Melhor Esforço. Essa segmentação permite priorizar fluxos sensíveis à latência, assegurando desempenho consistente em aplicações de voz, vídeo e dados.

Nos pontos de teste, tanto no CINDACTA II quanto no sítio B, são utilizados instrumentos de medição VIAVI MTS-5800, que realizam avaliações bidirecionais de desempenho e conformidade. Esses testes verificam parâmetros estabelecidos no SLA, incluindo atraso, variação de atraso (*jitter*), perda de pacotes e sincronismo. Dessa forma é possível certificar que os enlaces estão operando dentro dos limites técnicos especificados e que o sincronismo entre os equipamentos permanece estável.

Figura 2 – Mapa da rede CINDACTA .



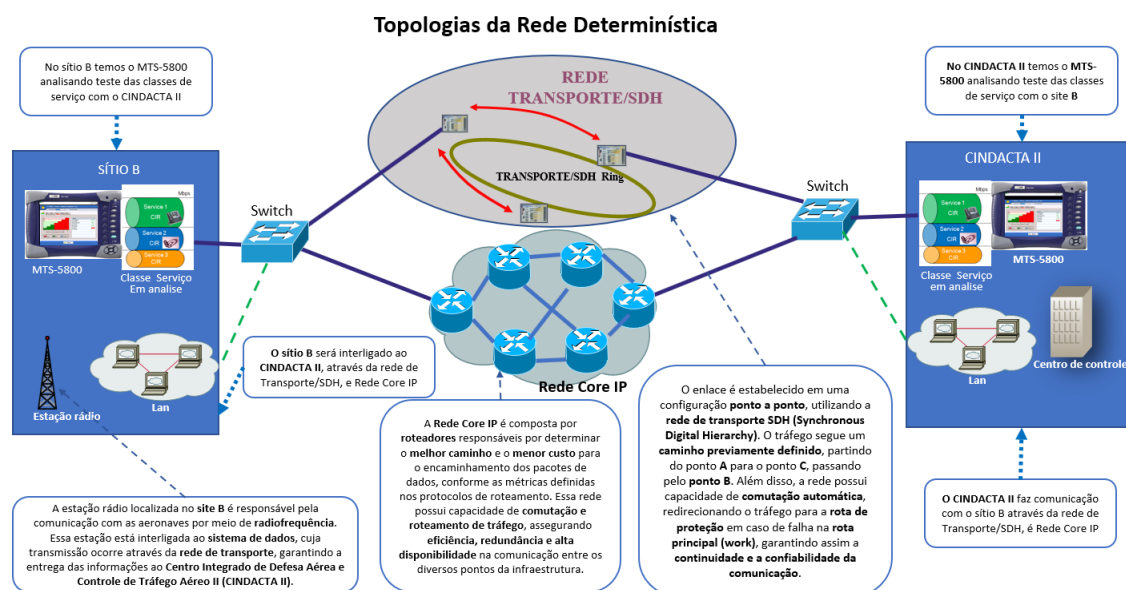
Fonte: Gerada pelo autor.

A topologia adotada reflete em uma arquitetura integrada e resiliente, projetada para manter uma rigorosa, redundância nos enlaces e estabilidade operacional, fatores indispensáveis para o desempenho das aplicações críticas sob responsabilidade do CINDACTA II. Essa estrutura não apenas garante a continuidade dos serviços de comunicação, mas também otimiza a confiabilidade e a eficiência da rede de telecomunicações, alinhando-se às exigências de precisão e disponibilidade do ambiente aeronáutico.

Na Figura 3 é apresentada a topologia da rede, que demonstra a estrutura de interligação entre o sítio B e o CINDACTA II. Essa topologia foi cuidadosamente projetada para garantir conectividade contínua, estabilidade operacional e alta disponibilidade da comunicação entre os dois pontos da infraestrutura.

A comunicação entre o operador de tráfego aéreo e os pilotos das aeronaves é realizada por meio de estações-base de radiofrequência, instaladas pelo CINDACTA. Essa rede de comunicação de dados estabelece conexões, por meio de interfaces pre definidas,

Figura 3 – Detalhamento da topologia da rede do CINDACTA II, em Curitiba com conexão ao site B em Coxim MS.



Fonte: Gerada pelo autor.

com o sistema de controle de tráfego aéreo e transporta as informações pela rede da VTAL, classificada como Rede Neutra de Telecomunicações. Então o tráfego é encaminhado até o CINDACTA, onde as informações são direcionadas ao operador responsável por cada região, estabelecendo e concluindo a continuidade da comunicação. A adoção de uma rede neutra nesse contexto é relevante, pois garante maior flexibilidade na integração de diferentes sistemas que promove a eficiência no uso da infraestrutura disponível e contribui para a confiabilidade e segurança da comunicação associado ao controle do espaço aéreo.

A interconexão é realizada por meio da rede de Transporte SDH e da Rede Core IP, que em conjunto formam o caminho principal de transmissão de dados. A rede SDH atua como o meio de transporte de alta confiabilidade, responsável por assegurar a integridade dos sinais e a manutenção do sincronismo entre os equipamentos. Já a Rede Core IP complementa a estrutura, permitindo o roteamento eficiente dos pacotes de dados e o suporte às aplicações que dependem de desempenho e baixa latência.

No sítio B, encontra-se o equipamento de teste VIAVI MTS-5800, utilizado para a análise, validação e certificação das classes de serviço configurado na rede. Esse equipamento estabelece uma comunicação direta com outro instrumento VIAVI MTS-5800 localizado no CINDACTA II, possibilitando a execução de testes bidirecionais que avaliam o desempenho, a conformidade e os parâmetros definidos no SLA.

Essa disposição topológica permite monitorar e validar o comportamento real da rede, assegurando que os enlaces operem dentro dos padrões de qualidade exigidos e que o sincronismo entre os equipamentos seja mantido de forma precisa. Desta maneira, a topologia apresentada representa um elemento fundamental para a confiabilidade e o

desempenho do sistema de telecomunicações analisado neste estudo.

O enlace ponto a ponto é implementado sobre a rede de transporte SDH, seguindo um caminho determinístico predefinido que parte do ponto A até o ponto C, passando pelo ponto B, representado na Figura 3. Essa arquitetura garante controle total sobre o trajeto do tráfego, eliminando variações indesejadas e assegurando baixa latência e alta previsibilidade. Esta rede conta com mecanismos automáticos de proteção, redirecionando o tráfego para uma rota de backup (*protection path*) em caso de falha na rota principal *work path*, o que mantém a continuidade e a confiabilidade operacional do sistema.

A Rede Core IP (vide Figura 3) é composta por roteadores de alto desempenho, responsáveis por determinar o melhor caminho lógico e o menor custo de encaminhamento dos pacotes, utilizando protocolos de roteamento dinâmico, como *Open Shortest Path First* (OSPF) e *Intermediate System to Intermediate System* (IS-IS). Essa rede é projetada com redundância e capacidade de comutação inteligente, garantindo resiliência, eficiência no balanceamento de carga e alta disponibilidade em toda a comunicação entre os nós da infraestrutura.

No que diz respeito ao tratamento do tráfego, a rede utiliza mecanismos de QoS, que permitem classificar, priorizar e gerenciar os pacotes de dados de acordo com o tipo de aplicação. Cada serviço é mapeado em uma classe específica, garantindo que aplicações críticas, como controle de tráfego aéreo e comunicação por voz, recebam prioridade máxima em relação a fluxos menos sensíveis, como dados administrativos ou de monitoramento. Esse mapeamento segue políticas definidas de acordo com o SLA, assegurando que parâmetros de latência, *jitter* e perda de pacotes permaneçam dentro dos limites aceitáveis para cada tipo de serviço.

Por fim, a estação rádio localizada no sítio B, Figura 3, é responsável pela comunicação com as aeronaves por meio de radiofrequência, sendo interligada ao sistema de dados que trafega sobre a rede de transporte da operadora VTAL Rede Neutra de Telecomunicações, e definido por determinística e a Rede Core IP. Essa integração garante a transmissão segura e contínua das informações operacionais até o Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo CINDACTA II, permitindo o monitoramento em tempo real e o controle eficiente das operações aéreas.

### 3.3 Procedimentos, Métodos de Medição e Validação do Desempenho do Sincronismo utilizando o equipamento VIAVI MTS-5800

A abordagem de sincronização em redes de telecomunicações estabelece que os dispositivos ‘nó’ de rede de telecomunicações, localizados nos níveis superiores da infraestrutura funcionem como referências temporais para aqueles ‘nó’ posicionados em níveis

inferiores, garantindo hierarquia e precisão no alinhamento dos sinais. A sincronização é um elemento essencial, pois garante previsibilidade, eficiência e confiabilidade em toda a transmissão de dados dentro da rede. Para esse fim, são utilizados GPS e o protocolo PTP, integrado à interface do instrumento VIAVI MTS-5800, responsável pela análise do circuito e do tráfego de dados sobre as redes de telecomunicações.

A adoção dessa abordagem mostra-se fundamental para assegurar a precisão do sincronismo. A verificação dos dados enviados e recebidos evidenciou que, ao utilizar como referência o *clock* proveniente do GPS, por meio de uma interface dedicada para esse fim, a rede pôde manter uma referência contínua e em tempo real. Essa condição contribui significativamente para a suavização de atrasos anteriormente observados no envio de mensagens, resultando em maior eficiência e melhor desempenho.

A Figura 4 e a Figura 5 apresentam a utilização do instrumento VIAVI MTS-5800 nos sites A e CINDACTA II, ambos operando com a mesma referência de *clock* proveniente do GPS, o que assegura consistência no processo de sincronização.

Figura 4 – Instrumental VIAVI MTS-5822.



Fonte: Gerada pelo autor.

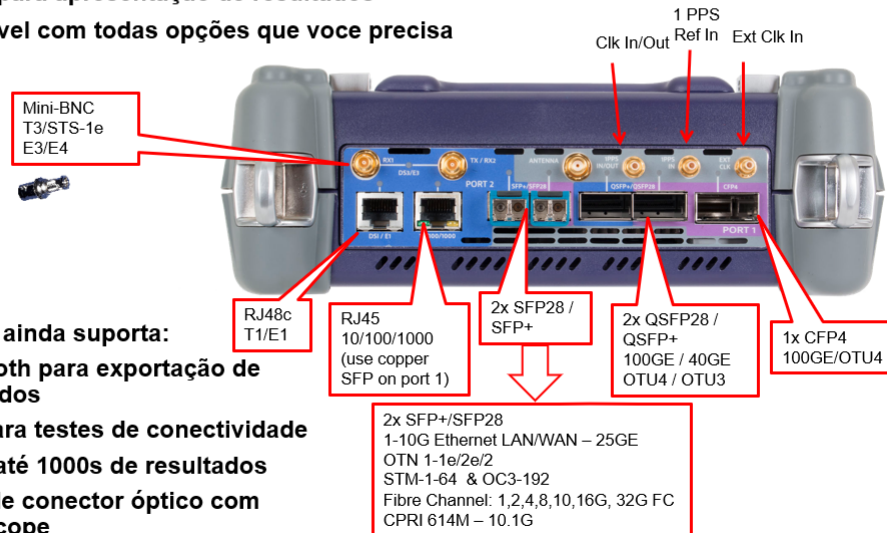
A arquitetura foi definida com base no conceito de *Software Defined Networking* (SDN), que permite o gerenciamento inteligente e eficiente da rede, promovendo a separação entre o plano de controle e o plano de dados. Essa abordagem proporciona maior flexibilidade, agilidade e automação nas operações de rede.

Para o teste estatístico, foi utilizado o equipamento VIAVI MTS-5800, com a conexão da interface do equipamento de dados no sítio de interesse ao equipamento de teste. A porta utilizada no sítio remoto será por padrão *Gigabit Ethernet* GE 0/1 em um router Cisco. E também será utilizado no Cindacta II, uma porta *Gigabit Ethernet* GE 0/1. A porta utilizada no equipamento VIAVI MTS-5800 - porta 1. Então realiza a sincronização do equipamento VIAVI MTS-5800 e DM 705 por meio do sinal GPS,

Figura 5 – Instrumental MTS-5800.

- **O menor equipamento 100G suportando testes Ethernet, SONET/SDH e PDH**

- Todas as interfaces de teste disponíveis rapidamente
- Tela de 7" para apresentação de resultados
- Configurável com todas opções que voce precisa



- **Plataforma ainda suporta:**

- Bluetooth para exportação de resultados
- WiFi para testes de conectividade
- Grava até 1000s de resultados
- Teste de conector óptico com FiberScope

Fonte: Gerada pelo autor.

assegurando o alinhamento entre o sítio B e o concentrador localizado no CINDACTA II. Somente após a confirmação deste sincronismo, deve-se iniciar a execução dos teste.

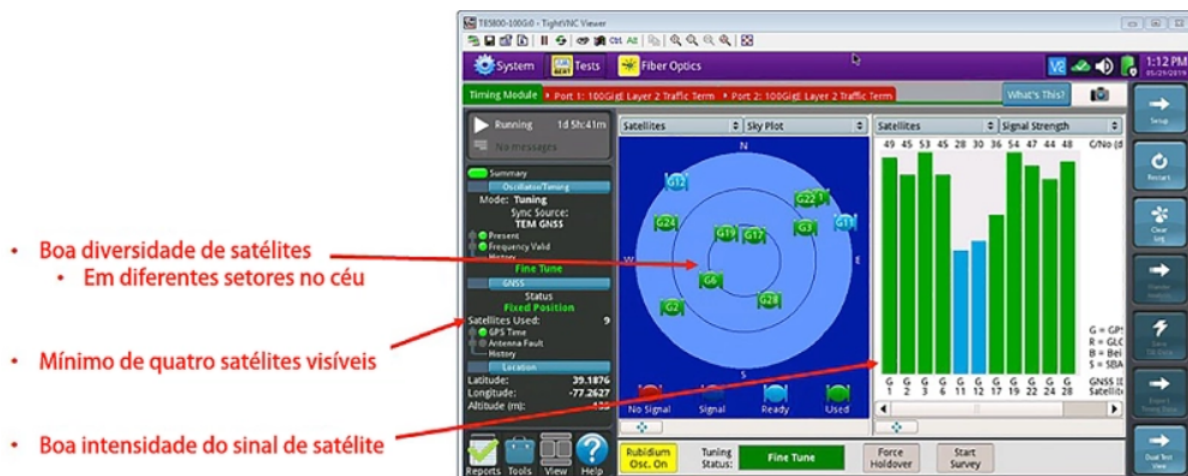
Figura 6 – Antena GPS.



Fonte: Gerada pelo autor.

A aferição e a calibragem do equipamento são etapas recomendadas antes do início do teste. Representada pela Figura 6 temos a antena externa do GPS, responsável por receber a sinalização proveniente dos satélites em órbita terrestre. Esta etapa permite a sincronização do equipamento com o sinal do GPS, conforme ilustrado na Figura 7. Nesse contexto, observa-se a boa qualidade do sinal recebido, resultado da diversidade de satélites disponíveis e da intensidade adequada de recepção. O número de satélites visíveis na interface do instrumento VIAVI MTS-5800 confirma o sucesso da sincronização, visualizado na tela do equipamento.

Figura 7 – Satellite.



Fonte: Gerada pelo autor.

Figura 8 – GTM+3.



Fonte: Gerada pelo autor.

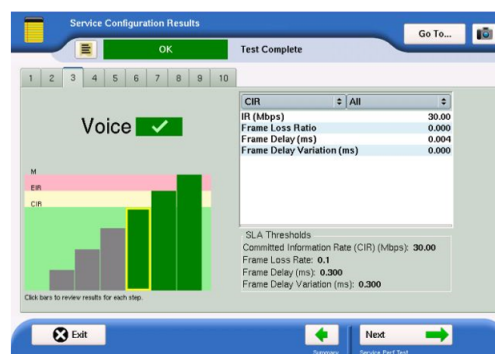
Na sequência, após a sincronização utiliza-se uma ferramenta para avaliação de sincronização denominada *Wander Analysis Software* (vide a Figura 8), que apresenta a capacidade de importar e analisar dados de forma precisa. Representado pela Figura 8, os 'dados origem TIE' demonstrado no gráfico são as informações medidas relacionadas à precisão do tempo e da sincronização em uma rede, ele compara o sinal de relógio da rede sob teste com uma referência de tempo de alta precisão geralmente o relógio interno do próprio equipamento com um sinal do GPS. Para o teste que envolve análise de voz serão utilizados os equipamentos VIAVI MTS-5800, conforme demonstrado o resultados da Figura 9, apresentada com comentários descrevendo cada parâmetros aplicado é apresentando os resultado em detalhes. Para esta análise de voz utiliza-se os equipamentos VIAVI MTS-5800 e um laptop. Primeiro, é necessário fazer a calibração que envolve valores

estabelecido para o instrumento de medição VIAVI MTS-5800 em comparação a um valor de referência. Após a calibração temos que aferir e checar se o instrumento está calibrado, em seguida confirmar se o instrumento está calibrado e ajustado, em conformidade com as especificações e limites de tolerância estabelecido. Ou seja, se ele está apto para uso.

Figura 9 – Teste de Voz.

- Multiplos teste de ativação de serviços Ethernet e IP
- Mede o KPI- Key Performance Indicators and Bandwidth Profile
  - CIR, EIR (Throughput)
  - Frame Delay – FD (Latency)
  - Frame Delay Variation – FDV (Jitter)
  - Frame Loss Rate - FLR
  - Committed Burst Size – CBS
  - Policing

- Geração completa e automatizada de relatórios



| Características                          | Descrição                                                                | Benefícios                                        |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Economia no tempo de teste de Throughput | Inicia com a CIR e testa somente os passos configurados no caso de falha | Alcança 33% de redução no tempo de teste          |
| Armazena os perfis de tráfego            | Configura e salva os perfis de teste                                     | Reduz a confusão na configuração de teste         |
| Configuração de fluxos Triple Play       | Configurado por # de fluxos TV or VoIP                                   | Simplifica a configuração de serviços triple play |

Fonte: Gerada pelo autor.

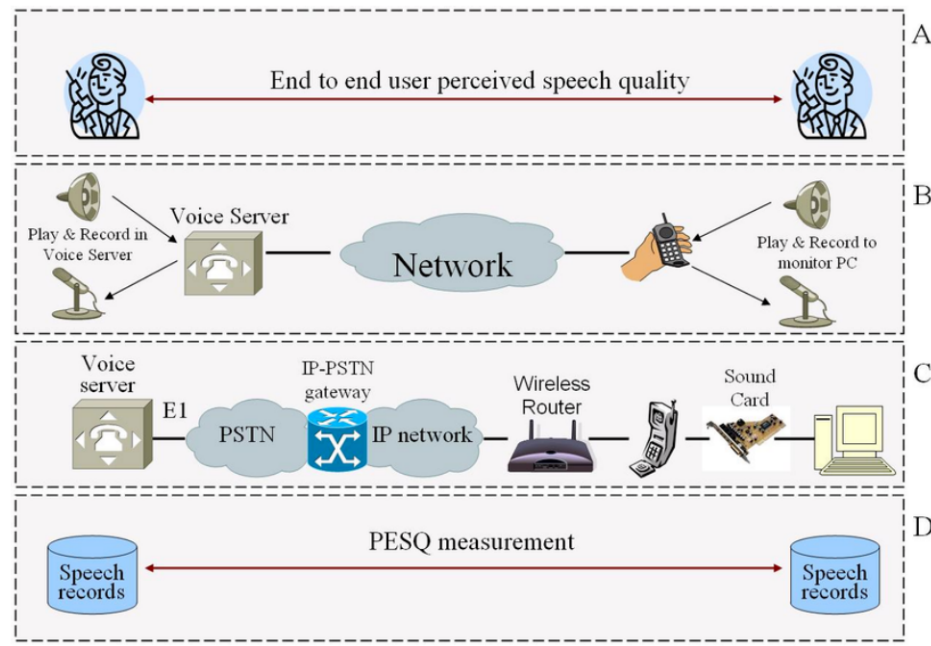
A qualidade da comunicação de voz no enlace é avaliada por meio de uma ferramenta de medição capaz de gerar o *Maen Opinion Score* (MOS), métrica amplamente utilizada para mensurar a percepção subjetiva da qualidade de áudio em transmissões de voz. O MOS pode ser obtido de duas formas: subjetiva, por meio da avaliação direta de ouvintes humanos que atribuem notas à qualidade percebida; ou objetiva, através de algoritmos que estimam o valor equivalente ao julgamento humano, como o *Perceptual Evaluation of Speech Quality* (PESQ) e o MOS.

Os valores do MOS são classificados conforme os seguintes intervalos:

- 1,0 a 2,0 – Qualidade ruim, com severa degradação perceptível na voz;
- 2,1 a 3,0 – Qualidade razoável, podendo ser utilizada, porém com distorções ou interrupções perceptíveis;
- 3,1 a 4,0 – Qualidade boa, comunicação clara e geralmente satisfatória;
- 4,1 a 5,0 – Qualidade excelente, com alta fidelidade e clareza na transmissão de voz.

Como mostra a parte A da Figura 10, o objetivo final de uma sistema de medição da qualidade da fala é medir o fim para qualidade de fala percebida pelo usuário final, ou seja, o MOS. A parte D do A Figura 10 mostra o objetivo simplificado deste discurso

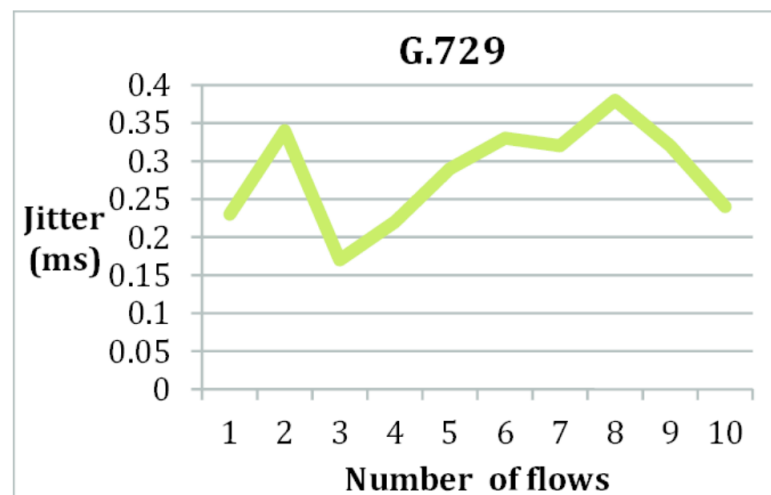
Figura 10 – PESQ.



Fonte: Internet, <https://www.researchgate.net/publication/221575598>

objetivo plataforma de teste de qualidade e desempenho PESQ. O microfone e a saída de linha de uma placa de som desempenha o papel de pares humanos na conversa, como mostrado na parte B da Figura 10. A parte C da Figura 10 mostra uma estrutura de conectividade mais detalhada do Voice sem fio, ao Voice server com o IP network e a plataforma de teste de qualidade da fala móvel.

Figura 11 – G-729



Fonte: Internet, <https://www.researchgate.net/publication/301391538>

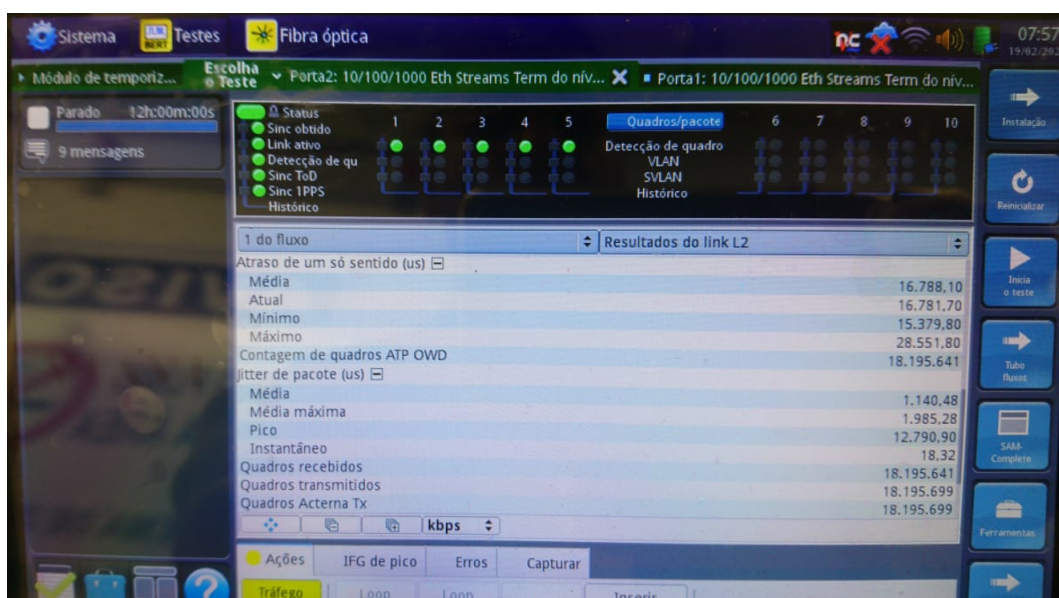
O PESQ (25), para uma chamada de voz, com os equipamentos de teste sincronizados, é capaz de gerar uma chamada VoIP bidirecional. A chamada gerada deve utilizar o *codec* G.729 também representado pelo gráfico da Figura 11 quando a qualidade da comunicação, usado para compressão de voz durante uma chamada, verifica-se a qualidade

da comunicação por meio dos parâmetros de MOS e PESQ regulamentado pelo padrão da ITU-T que compacta numa taxa de 8 kbit/s, durante a chamada ele aferi a latência máxima, o *Jitter* ele identifica o congestionamento e a perda de pacotes, obtidas em cada um dos sentidos de comunicação.

Para os testes de vazão, latência e perda de pacotes do enlace foi utilizado o equipamento representado pela Figura 5, *Test and BER Detection* (T-BERD) e *Modular Test System* (MTS). Este teste consiste em aferir a vazão máxima, e a latência máxima verificando se tem perda de pacotes do enlace considerando os requisitos de qualidade especificados.

O procedimento com os equipamentos de testes sincronizados, consiste em gerar um tráfego de dados sobre o teste superior a 100% da capacidade nominal do enlace do sítio remoto nos dois sentidos de comunicação. Os instrumentos de teste nos sítios medem a vazão máxima, a latência máxima e a perda de pacotes obtidas em cada um dos sentidos de comunicação.

Figura 12 – Tráfego 12h.



Fonte: Gerada pelo autor.

O tempo de duração do teste foi definido em 12 horas. Esse intervalo possibilita a avaliação da estabilidade da transmissão, permitindo verificar se a conexão mantém qualidade adequada e se é capaz de suportar o tráfego de dados sem comprometer o desempenho da rede. As medições dos requisitos de QoS deverão ser realizadas em uma única direção *one way*, sem a utilização de mecanismos de *Loopback*.

Também é realizado os testes de Priorização e Desempenho das Classe de Tempo Real, Missão Crítica, Dados Prioritários, com T-BERD e MTS. O objetivo do teste é aferir a vazão máxima, latência máxima, *jitter* e perda de pacotes, em uma única direção, para

as Classes de Serviço de Tempo Real, Missão Crítica, Dados Prioritários considerando um cenário de congestionamento na rede.

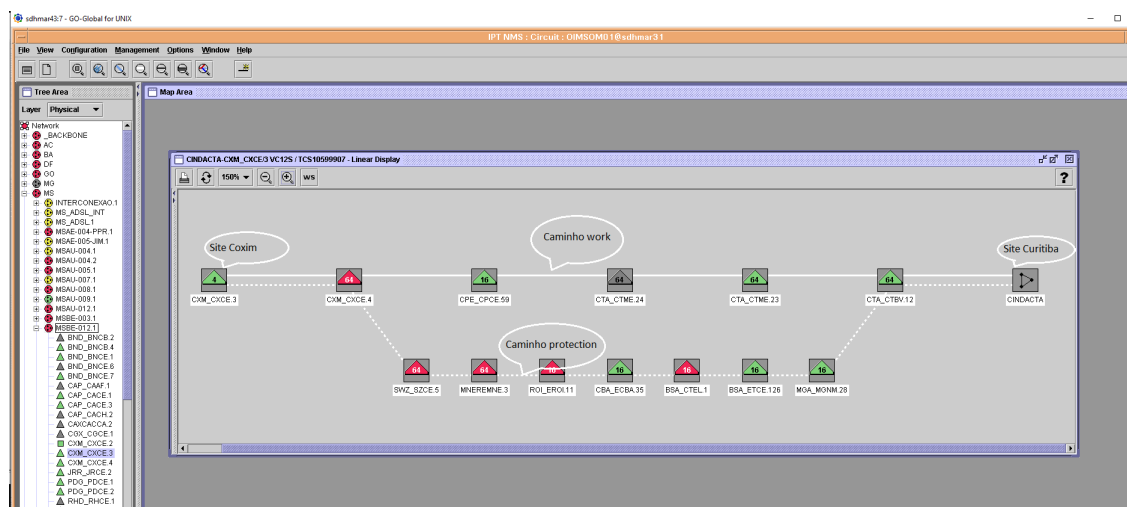
Com os equipamentos de testes sincronizados, espera-se gerar um tráfego de 100% dos percentuais nominais de banda reservados para as classes de serviço em Tempo Real, Missão Crítica, Dados Prioritários, e simultaneamente gerar um tráfego de *Best Effort* com 100% da capacidade nominal do enlace do sítio remoto. Os instrumentos de teste nos sítios remoto medem a vazão máxima, a latência máxima, já o *jitter* e a perda de pacotes obtidos nas Classes de Serviço de Tempo Real e Missão Crítica são classificados como dados prioritários, por representarem parâmetros fundamentais na avaliação do desempenho e da estabilidade da redes que transportam serviços sensíveis a variações de atraso, como voz e vídeo em tempo real.

O parâmetro do tempo definido para a execução do teste é de 12 horas consecutivas, conforme ilustrado na Figura 12. Esse período foi estabelecido com o objetivo de garantir uma amostragem estatisticamente representativa, contemplando variações de tráfego que podem ocorrer ao longo do teste é permitindo uma análise mais confiável no desempenho da rede. As medições dos requisitos de QoS são realizadas em apenas uma direção *one way*, sem a utilização de mecanismos de *loopback*, a fim de reproduzir com maior fidelidade as condições reais de transmissão, assegurando a precisão dos resultados obtidos. Os resultados de latência máxima e perda de pacotes para a classe de melhor esforço, poderão ultrapassar os valores especificados em virtude da sobrecarga de tráfego no enlace.

## 4 Estudo de Caso

Neste capítulo apresenta-se o estudo de caso da sincronização, porém são utilizadas tecnologias e ferramentas para cada etapa do processo na rede por onde será transportado os dados do CINDACTA. Além disso, este capítulo apresenta os principais recursos utilizados, até a criação lógica do circuito dentro de uma topologia pre determinada para ativação do serviço .

Figura 13 – NMS.



Fonte: Gerada pelo autor.

Durante o desenvolvimento do trabalho de sincronização, são utilizadas tecnologias e ferramentas adequadas. Esta seção apresenta as tecnologias, que são utilizadas desde o provisionamento até a criação lógica do circuito dentro da topologia determinística. A Figura 13 representa a interface lógica do sistema de gerência Marconi, nessa interface, também são exibidos o mapa que apresentam os equipamentos conforme a topologia lógica do circuito, indicando o caminho por onde os dados serão transportados dentro da rede de telecomunicações, de forma intuitiva e que é responsável pelo gerenciamento dos equipamentos ao longo da rede da operadora VTAL (rede de transporte contratada pelo CINDACTA).

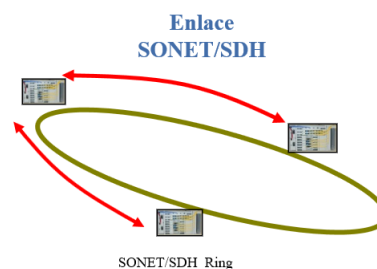
Este projeto é supervisionado pela COMISSÃO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (CISCEA), que é uma divisão de tarefas do CINDACTA, então foi determinado que para atender o tráfego de voz por meio do quadro SDH, que corresponde à Hierarquia Digital Síncrona, caracterizada pela utilização de uma taxa de bits constante para o envio de dados. Por outro lado, o tráfego de dados Ethernet ocorre de forma diferenciada, sendo que os pacotes são transmitidos em rajadas, apenas quando necessário. Nesse contexto, o melhor caminho e a rota mais eficiente são determinados pelo

protocolo de roteamento adotado, para melhor desempenho das tecnologias implementadas na rede de telecomunicações. Dessa forma, garante-se a transmissão eficiente dos dados, com redução de atrasos e aumento da confiabilidade da rede.

Na Figura 14, o quadro SDH em um enlace ponto a ponto, segue um caminho pré-determinado, sempre vai do caminho A para C ou pelo caminho B que será a proteção ou rota alternativa.

Figura 14 – SONET/SDH

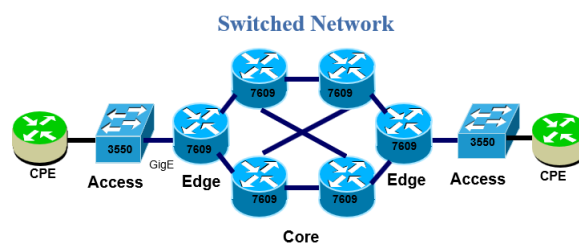
**SDH**  
**Enlace somente Ponto a Ponto**  
 Tráfego segue um caminho  
 pré-determinado  
 Sempre vai do caminho A para C através  
 do B



Fonte: Gerada pelo autor.

Já o tráfego de dados Ethernet pode ser comutado ou roteado, este tráfego de dados também pode seguir diferentes caminhos nem sempre iguais, passando por *Switch Network* representado pela Figura 15. Levando em consideração o tráfego de dados, que controla o espaço aéreo brasileiro, os operadores do tráfego aéreo realizam comunicação com os pilotos das aeronaves, tanto comerciais quanto as do sistema de defesa do espaço aéreo nacional. Essa comunicação é para garantir a segurança e a eficiência das operações aéreas no Brasil.

Figura 15 – ETHERNET



Fonte: Gerada pelo autor.

Esta comunicação entre operadores de tráfego aéreo e pilotos é fundamental para

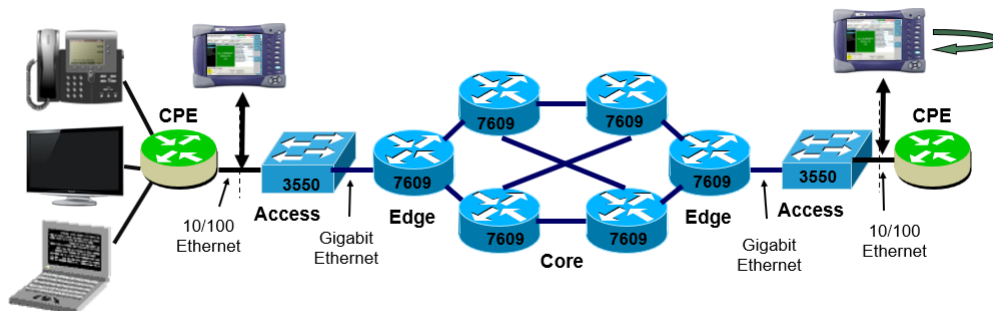
evitar incidentes e garantir a segurança das operações, e os pilotos das aeronaves que necessita de uma comunicação clara e precisa para operações seguras.

O sincronismo contribui para a dinâmica da entrega de dados nos meios de comunicações, isso é especialmente relevante quando se trata de comunicação exclusivamente direcionada para o tráfego aéreo brasileiro, onde a precisão e a confiabilidade são fundamentais, de forma precisa em tempo hábil, para o tráfego aéreo é consequentemente fundamental.

Um dos desafios na sincronização é o alinhamento dos diferentes equipamentos de rede. Este estudo de caso mostra que a confiabilidade é fundamental para garantir a eficiência de todos os sistemas. Com a sincronização adequada minimiza falhas e otimiza o desempenho, dos equipamentos garantindo a comunicação precisa é essencial para o funcionamento da rede.

## 4.1 Testes e Avaliação

Figura 16 – Topologia MPLS .



Fonte: Gerada pelo autor.

No teste de avaliação temos uma topologia MPLS da rede representado pela Figura 16, também tem a representação dos equipamentos de teste VIAVI MTS-5800 conectado nas interfaces da rede e demais dispositivos para a realização dos teste de avaliação. O teste é realizado em duas etapas. A primeira etapa consiste no teste para verificar se o serviço ethernet está configurado corretamente. A segunda etapa consiste na validação simultânea dos serviços ethernet, verificando o cumprimento integral dos parâmetros de teste definidos na SLA. Os parâmetros avaliados são apresentados a seguir:

O perfil de banda *Committed Information Rate* (CIR) corresponde ao limite utilizado para indicar o *throughput* máximo que garante o cumprimento do SLA. Já o *Peak Information Rate* (PIR) representa o limite empregado para indicar o *throughput* máximo permitido pelo SLA, acima do qual o serviço pode exceder a taxa contratada CIR, até o limite do *threshold* que o equipamento de rede é capaz de suportar.

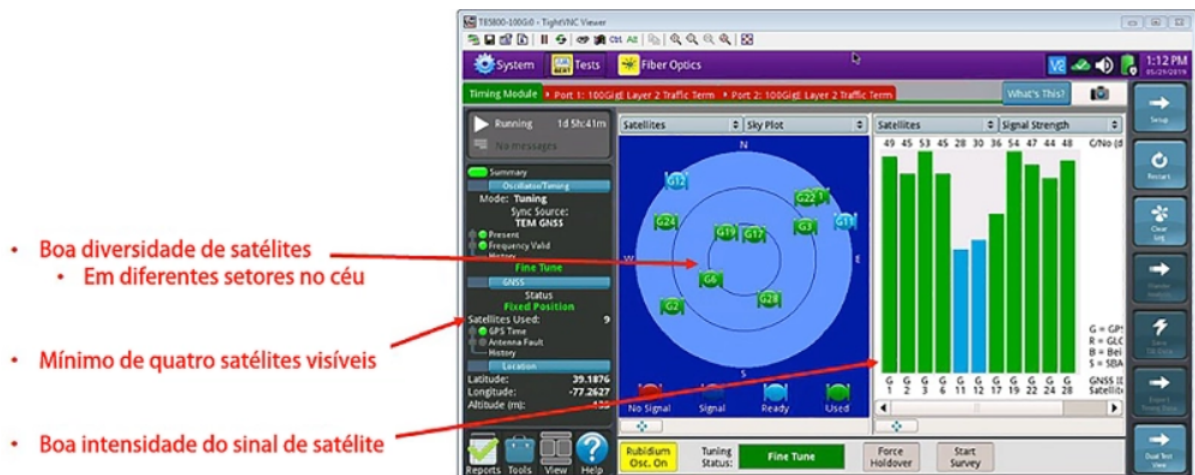
Dessa forma, torna-se necessário aferir a vazão máxima, a latência máxima e a perda de pacotes dos dados a ser transportado no enlace, considerando os requisitos de qualidade especificados. Para isso, com os equipamentos de teste devidamente sincronizados, é iniciado um tráfego de dados com o MTS-5800 a uma taxa de 100% da capacidade nominal do enlace no sítio remoto, em ambos os sentidos de comunicação. Assim com os instrumentos de teste, instalados em cada sítio para realizam a análise da vazão máxima, da latência máxima e da perda de pacotes observadas em cada direção de transmissão.

## 4.2 Teste de Análise de Clock

O Teste de Análise de Clock tem como finalidade avaliar se o sinal de temporização mantém níveis adequados de precisão e estabilidade quando comparado com a referência externa utilizada pelo sistema.

No procedimento, os relógios atômicos dos dois instrumentos de teste são previamente sincronizados a partir do sinal de GPS representado pela Figura 17. A partir desse alinhamento inicial, torna-se possível analisar se o clock externo permanece dentro dos parâmetros exigidos para ambos os sítios, conforme estabelecido pela máscara ITU-T G.823. Essa verificação é analisada ao longo de um período contínuo de 12 horas, considerando os dois sentidos de transmissão.

Figura 17 – Sincronização.



Fonte: Gerada pelo autor.

Durante este ensaio, foi fundamental acompanhar eventuais ocorrências de alarme. A presença dessas alertas geralmente indica falha na fonte de sincronismo ou em algum dos equipamentos responsáveis por sua interligações na rede, caso o clock não seja ativado ou mesmo configurado em uma porta de referencia especificada no elemento de rede. Nessas condições, o sinal de temporização proveniente do GPS — conectado diretamente ao equipamento de transmissão que distribui o sincronismo para toda a rede — deve ser

reavaliado de certa forma, a fim de identificar e corrigir possíveis fontes de instabilidade. Então, se houver alarme neste equipamento, deve-se verificar a conexão com o GPS e o funcionamento do mesmo. Quando a fonte de sincronismo vem da rede na grande maioria das vezes, a causa da falha de sincronismo é devido a uma falha na transmissão. Desta forma, a falha na transmissão deve ser corrigida. Especialmente nas redes de transporte e de sincronização de tempo *Timing over Packet*, o relógio atômico é o padrão de referência primário. Ele garante que todos os equipamentos da rede como roteadores, switches, estações base e servidores operem com uma referência, isso é fundamental para a integridade e a qualidade dos serviços.

### 4.3 Teste Determinístico

No Teste Determinístico, foi utilizado os equipamentos VIAVI MTS-5800 e o conversor DM 705, realizando as conexões dos equipamentos do sítio B de interesses. Estes equipamentos de teste, utilizado no sítio B remoto será conectado por padrão no Slot A porta 1, do DM 705. A porta utilizada no equipamento VIAVI MTS-5800 porta 2 Figura 5, realizar a sincronização do equipamento VIAVI MTS-5800 com GPS. Após sincronizar o MTS-5800 e DM 705 entre sítio remoto. Realizar a calibração que envolve valores indicados pelo instrumento em comparação a um valor de referência. Após a calibração temos que aferir e verificar se o instrumento, depois de calibrado e ajustado, está em conformidade com as especificações e limites de tolerância estabelecidos, ou seja, se ele está apto para uso e a partir disso é inicializado o teste. Este teste determinístico busca eliminar incertezas e avaliar a estabilidade do circuito de dados sob condições controladas. Ele garante que a rede atenda aos requisitos de latência, perda, *jitter* e banda, de forma previsível, independentemente da carga de tráfego. E também são amplamente usados em redes de transporte de dados analisando a missão crítica, em ambientes que exigem confiabilidade como aviação, defesa e telecomunicações.

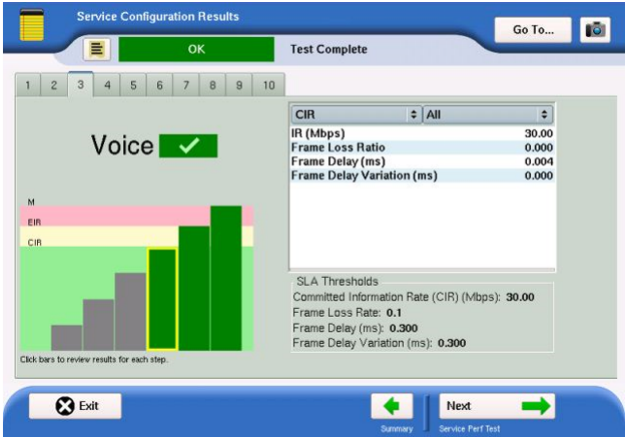
### 4.4 Teste de Voz

O teste de voz avalia se o circuito oferece condições determinísticas de tempo e estabilidade, garantindo qualidade na comunicação VoIP. O *jitter* mede o atraso a perda de pacotes e a qualidade perceptiva do MOS - este parâmetros que refletem diretamente a experiência do usuário.

Para o teste envolvendo análise de voz são utilizados os equipamentos VIAVI MTS-5800, conforme resultados da Figura 18, apresentada com comentários descrevendo cada um dos parâmetros aplicados. Somente então realizar as conexões dos equipamentos do sítio de interesse nos equipamentos de teste. A porta utilizada no sítio remoto será por

Figura 18 – Teste de Voz.

- Multiplos teste de ativação de serviços Ethernet e IP
- Mede o KPI- Key Performance Indicators and Bandwidth Profile
  - CIR, EIR (Throughput)
  - Frame Delay – FD (Latency)
  - Frame Delay Variation – FDV (Jitter)
  - Frame Loss Rate - FLR
  - Committed Burst Size – CBS
  - Policing
- Geração completa e automatizada de relatórios



| Características                          | Descrição                                                                | Benefícios                                        |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Economia no tempo de teste de Throughput | Inicia com a CIR e testa somente os passos configurados no caso de falha | Alcança 33% de redução no tempo de teste          |
| Armazena os perfis de tráfego            | Configura e salva os perfis de teste                                     | Reduz a confusão na configuração de teste         |
| Configuração de fluxos Triple Play       | Configurado por # de fluxos TV or VoIP                                   | Simplifica a configuração de serviços triple play |

Fonte: Gerada pelo autor.

padrão o Slot A - porta 1, do DM 705 representado pela Figura 19, já a porta utilizada no CINDACTA, conectar no equipamento VIAVI MTS-5800 porta 2.

4.5 DM 705

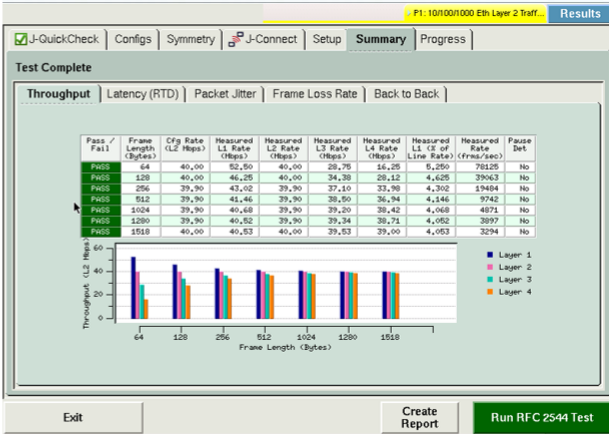
Sincronizar o equipamento VIAVI MTS-5800 com GPS, em seguida conferir se o MTS-5800 está sincronizado com o DM 705 entre o sítio remoto e o concentrador, conferir a calibragem do equipamento recomendada. A Figura 19, é a representação lógica do DM 705 no ambiente do cliente onde é feito a conexão com a interface física de dados com a interface física do equipamento do cliente, ponto que será a conexão entre cliente e operadora de telecomunicações. A porta utilizada no sítio remoto será por padrão o Slot A E1Q - porta 1 na cor verde indica que está em serviço sem alarme que faz uma conexão com quadro estruturado HDB3 E1, os dois slot PSU representa a fonte de alimentação sendo uma Main e outra Backup,temos também duas CPU1 e CPU2 que está em serviço, e com cor verde indicando sync significa sincronizado sem falha, o slot HS1 representa uma placa com conexão óptica STM1 FO que faz a conexão via fibra óptica até o ambiente do cliente.



## 4.7 Teste de Ativação

Figura 20 – Ativação.

- Padrão de teste de ativação de serviço Ethernet e IP
- Mede os principais KPI-Key Performance Indicators e perfil de banda
  - Throughput
  - Latency
  - Packet Jitter
  - Frame Loss
  - Committed Burst Size - CBS
- Geração de relatório totalmente automatizado



| Características             | Descrição                                                 | Benefícios                                                                                            |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Testes simultaneos          | Testa throughput, latency, epacket jitter simultaneamente | Diminui o tempo de teste pela metade                                                                  |
| Salva Perfis de teste       | Configura e salva os perfis de teste uma vez              | Reduz a confusão na configuração dos testes Load Profile, Run the test, e Save the report             |
| Tempo de teste configurável | Testa de 5 minutos a 8 hours                              | Permite o técnico verificar o SLA de forma rápida em um site e depois testar em um período mais longo |

Fonte: Gerada pelo autor.

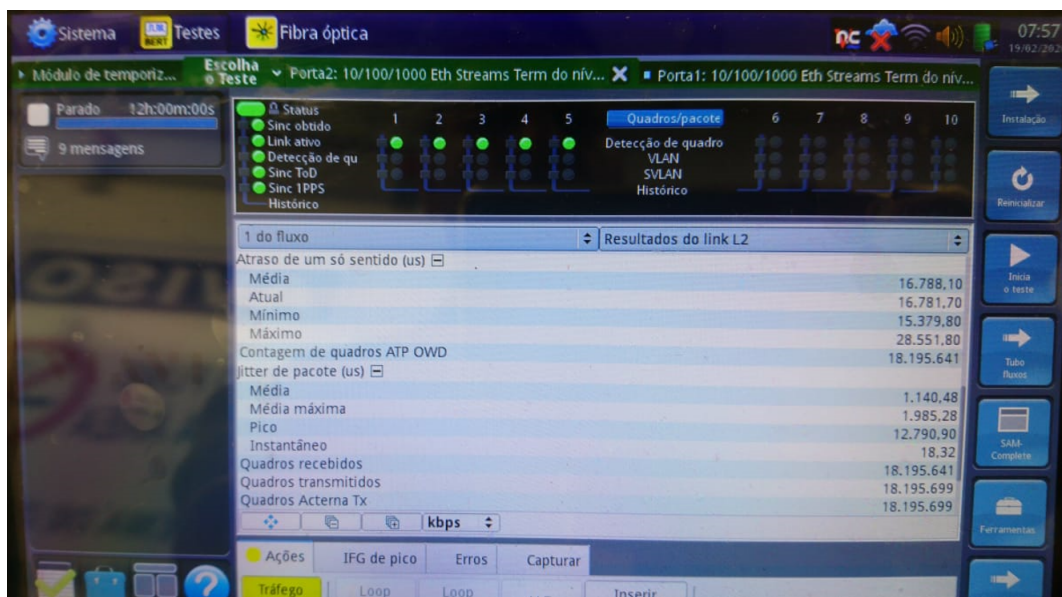
Após a configuração dos instrumentos destinados à análise, a etapa subsequente consiste na execução dos testes. Por padrão, os testes de ativação de serviços e indicadores têm como objetivo avaliar o desempenho da rede e verificar o perfil de banda contratada, assegurando a conformidade com os parâmetros estabelecidos em SLAs. Esses testes são essenciais para validar a qualidade do serviço antes de sua disponibilização ao usuário final, garantindo previsibilidade, confiabilidade e eficiência na transmissão dos dados. Além disso, os resultados são organizados em relatórios automatizados, conforme exemplificado na Figura 20. O *frame length* ou “comprimento do quadro” refere-se ao tamanho total dos dados contidos em um quadro de rede na camada de enlace de dados. Esse tamanho é medido em bytes e pode ser utilizado tanto para identificar a quantidade de informações transportadas quanto, em alguns casos, o tipo específico do quadro. Um byte corresponde a 8 bits, e o valor do comprimento do quadro pode indicar a dimensão da carga útil dos dados.

Em síntese, as *layers* representam em bytes, o tamanho do quadro de dados transportado em determinada camada da rede, fornecendo informações sobre sua extensão e o conteúdo associado. Em uma estrutura de quadro ethernet, o tamanho do quadro pode variar de 64 a 1518 bytes, conforme ilustrado na Figura 20, servindo como documentação técnica para fins de auditoria e acompanhamento operacional.

## 5 Resultados

Com os equipamentos de testes sincronizados, espera-se gerar um tráfego de 100% dos percentuais nominais de banda reservados para as Classes de Serviço de Tempo Real, Missão Crítica, Dados Prioritários. Simultaneamente, gerar um tráfego de *Best Effort* com 100% da capacidade nominal do enlace do sítio remoto.

Figura 21 – Resultado do Teste de Tráfego no equipamento MTS-5800.



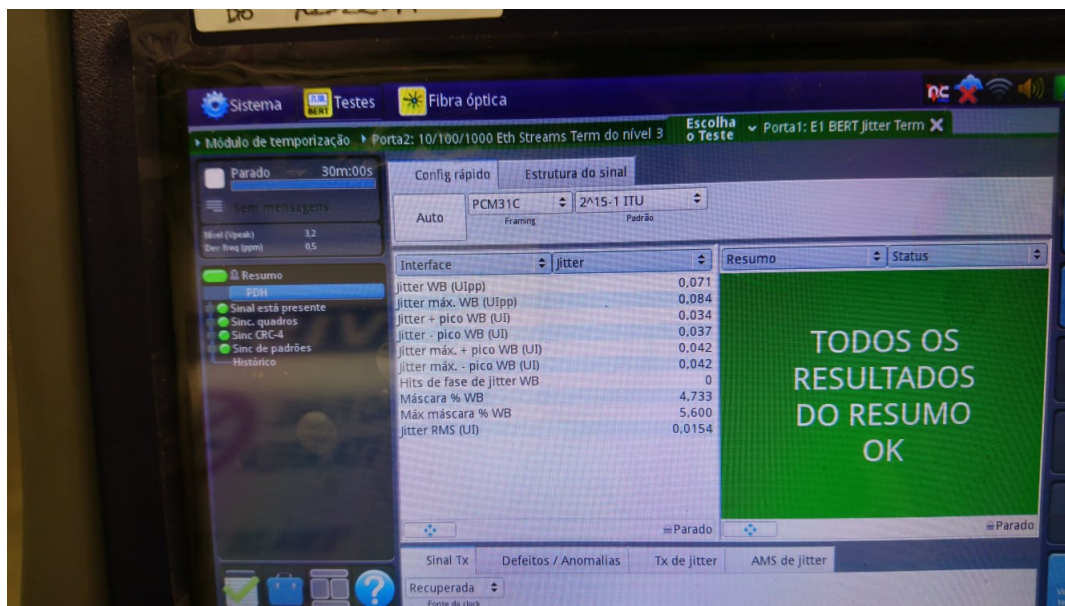
Fonte: Gerada pelo autor.

Os instrumentos de teste nos sítios medem a vazão máxima, a latência máxima, o *jitter* e a perda de pacotes obtidas das Classes de Serviço de Tempo Real, Missão Crítica, Dados Prioritários, em cada um dos sentidos de comunicação.

Os resultados de latência máxima e perda de pacotes para a classe de Melhor esforço poderão ultrapassar os valores especificados em virtude da sobrecarga de tráfego no enlace e está representado na Figura 21, com um tempo de duração do teste e de 12 horas, sem apresentar erro neste teste de tráfego. No indicador de tráfego *Status*, representado pela cor verde, significa que o teste está em curso e sem erros. Caso apresente algum erro o indicador de tráfego *Status* muda para a cor vermelha.

Após a execução dos testes de Vazão, Latência e Perda de Pacotes do Enlace, gera-se um resumo consolidado de todos os ensaios, com os respectivos valores obtidos, apresentado na Figura 22, em que evidencia que os resultados gerados pelo analisador foram validados sem a ocorrência de falhas. Na linha número 1 da Figura 22 representa o *jitter* WB com valor de 0,071. É uma métrica de desempenho em redes de telecomunicações que mede a variação no atraso (latência) entre pacotes sucessivos em um fluxo de dados.

Figura 22 – Todos Resultados do Testes com equipamento MTS-5800.



Fonte: Gerada pelo autor.

Figura 23 – Resultados detalhados dos testes realizados no equipamento MTS-5800. A) Detalhamento do teste de vazão partindo do sitio remoto Coxim-MS. B) Detalhamento do teste de vazão CINDACTA II.



Fonte: Gerada pelo autor.

Em outras palavras, ele indica o quanto o tempo de chegada dos pacotes oscila em relação ao esperado. Jitter WB (Wide-Bandwidth), refere-se à medição do *jitter* em um intervalo de banda mais amplo, ou seja, considerando um espectro maior de variação temporal dos pacotes. Esse tipo de análise é utilizado principalmente para avaliar serviços que exigem alta sensibilidade a variações de atraso, como voz sobre IP (VoIP), videoconferência e serviços em tempo real. O valor 0,071 geralmente é expresso em milissegundos (ms) ou em segundos (s), dependendo da ferramenta de medição. Um *jitter* de 0,071 ms (71

microssegundos) é considerado muito baixo, indicando alta estabilidade na entrega dos pacotes e qualidade adequada para aplicações sensíveis a atraso.

Já a Figura 23 demonstra uma forma alternativa de visualização do serviço, na qual a análise é realizada por meio do túnel principal, com a divisão das classes de serviço representadas por, *Virtual Local Area Network* (VLAN). Essa segmentação é relevante, pois permite separar diferentes tipos de tráfego, priorizar serviços críticos e identificar possíveis gargalos na rede. Além disso, proporciona uma interpretação mais detalhada e intuitiva do desempenho, oferecendo uma visão mais completa e conclusiva dos resultados e da performance do sistema. Por exemplo, na Figura 23a tem-se quatro canais, representados pela cor verde: VLAN50, VLAN100, VLAN200, VLAN400 que possuem velocidades de 5, 10, 20 e 40 Mbps que possuem um baixo delay de 0.016.

A seguir iremos apresentar as métricas dos testes sob duas perspectivas. A primeira ocorre no segmento entre o sítio remoto (Sítio B). A segunda ocorre no segmento entre o concentrador CINDACTA II e o equipamento MTS-5800.

## 5.1 Segmento entre o sítio remoto

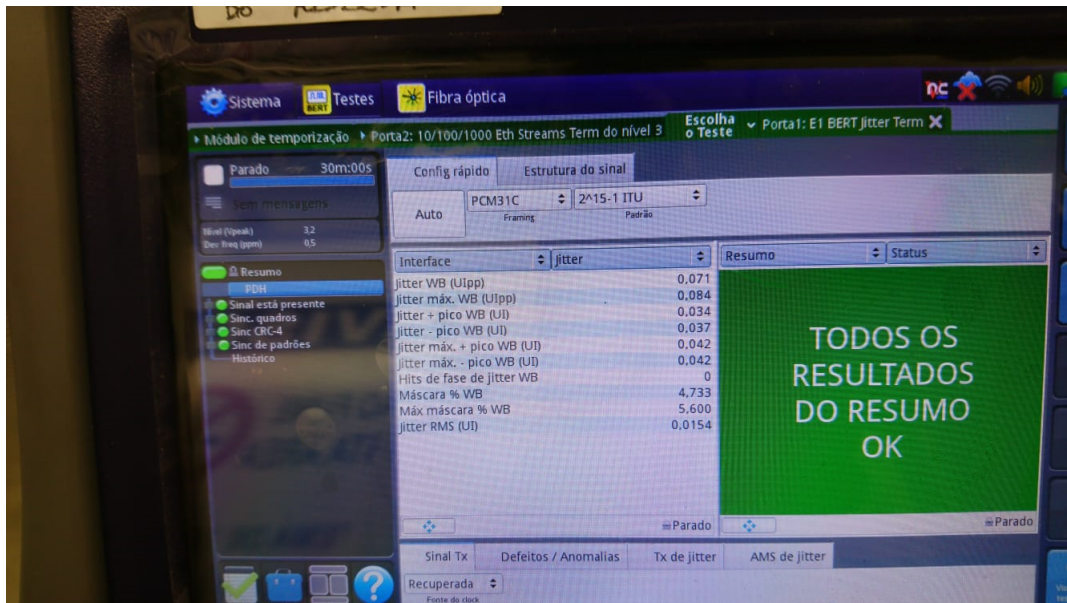
No segmento entre o sítio remoto podemos observar o estado das seguintes métricas (vide Figura 23a).

- *Atraso delay*: é o tempo de atraso na transmissão de dados entre origem e destino, influenciado por distância, processamento e tráfego da rede.
  - Ponto positivo: O atraso médio permaneceu dentro dos limites estabelecidos pelo SLA (delay de 0.016), indicando que a latência é aceitável para aplicações críticas.
  - Ponto negativo: O desvio padrão tem que apresenta variação acima do esperado em alguns intervalos de pico, evidenciando instabilidade momentânea no tráfego. Para este cenário não houve variação acima do esperado.
- *Perda de pacotes*: ocorre quando dados transmitidos não chegam ao destino, geralmente por congestionamento, falhas ou erros na rede, afetando a qualidade da comunicação.
  - Ponto positivo: A taxa de perda foi próxima de zero, assegurando a integridade da transmissão de dados.
  - Ponto negativo: Em condições de sobrecarga, verifica-se elevação na perda, o que pode comprometer a qualidade de serviços sensíveis, como voz e vídeo em tempo real. Não ocorreu esta variação neste cenário.

## 5.2 Segmento entre o concentrador CINDACTA II e o equipamento MTS-5800

Neste segmento entre o concentrador localizado no CINDACTA II e o equipamento MTS-5800 podemos observar o estado das seguintes métricas.

Figura 24 – Jitter.

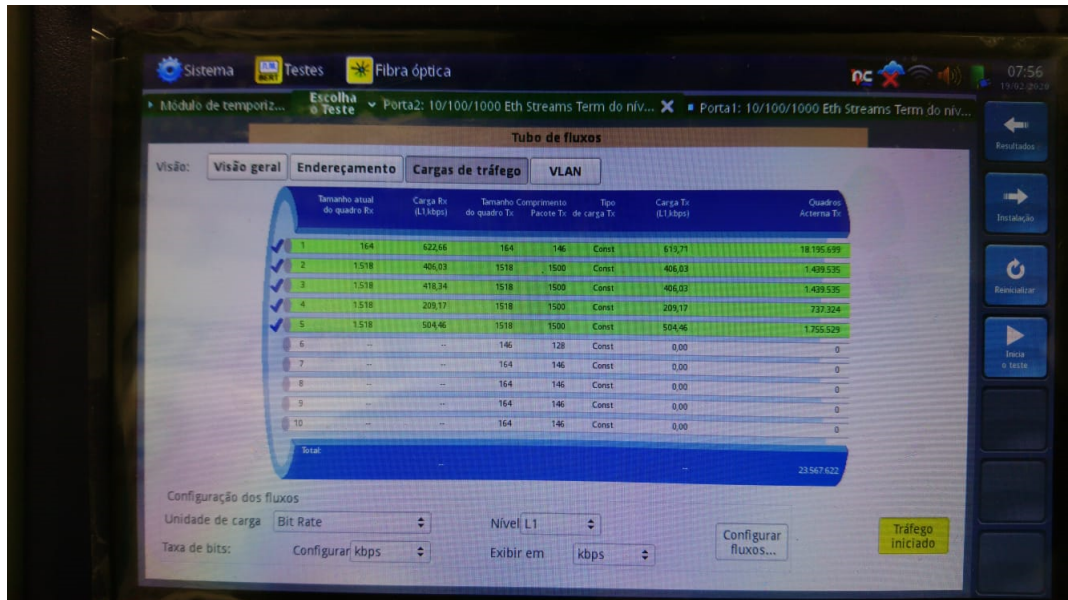


Fonte: Gerada pelo autor.

- *Jitter* é a variação do tempo de chegada dos pacotes, que pode causar uma instabilidade em transmissões de voz e vídeo.
  - Ponto positivo: A variação de atraso foi mantida em níveis estáveis representado pela Figura 24 onde os resultados indicados nas linhas 5 e 6, com valor *Jitter* Máx + pico WB (UI) 0.042, e *Jitter* Máx - pico WB (UI) 0.042, demonstra que foi favorecido pela transmissões contínua sem degradação perceptível.
  - Ponto negativo: Em alguns cenários o tráfego elevado, pode alterar o *jitter*, e ultrapassar o limite recomendado, o que resulta em falhas perceptíveis em aplicações de *streaming* ou VoIP, sendo que neste cenário não apresentou estes valores negativos.
- Carga de tráfego e taxa de transmissão.
  - Ponto positivo: O tráfego gerado alcançou níveis próximos da capacidade nominal do enlace, demonstrando eficiência na utilização do meio de transmissão analisado com instrumental VIAVI MTS-5800, que é representado pela Figura 25

onde o L1 é representado na primeira linha verde da imagem que o tamanho do quadro, RX e TX e de 164 *bytes*, com o comprimento do pacote TX e de 146 MTU, e carga constante na TX L1 618,71 (kbps) e carga constante na RX L1 622,66 (kbps).

Figura 25 – Tráfego.



Fonte: Gerada pelo autor.

- Ponto negativo: Pode ocorrer uma queda pontual de desempenho durante o períodos de congestionamento, isso indica a necessidade de ajustes na QoS, para otimizar a alocação da largura de banda e a rota dos pacotes alterada, evitando que a rede fique sobrecarregada priorizando o tráfego.

Temos também mais representação nas L2, L3, L4, e L5 com os valores apresentados todos satisfatórios, concluindo os resultados.

## 6 Considerações Finais

Este presente trabalho propôs uma metodologia de sincronização em redes de transporte de telecomunicações, analisando métodos existentes de sincronismo já conhecidos e propondo soluções com modelo mais coerente que contribui, minimizando o número de falhas e o processo de sincronização via satélite que faz todo o diferencial. Utilizou-se como objeto do estudo de caso a rede CINDACTA que é responsável controle de tráfego aéreo brasileiro.

A metodologia proposta demonstrou-se eficaz na identificação e notificação de pontos de falha em redes de telecomunicações. Este trabalho oferece uma contribuição significativa como fonte de conhecimento para profissionais da área, ao abordar um aspecto crítico: o desempenho do sincronismo, indispensável para o funcionamento eficiente e confiável de aplicações e serviços baseados em redes. Assim, a abordagem adotada visa promover a melhoria contínua da qualidade dos serviços, beneficiando diretamente os profissionais responsáveis pela operação, manutenção e otimização das infraestruturas de rede. Além disso, a detecção e a correção de falhas de sincronismo constituem fatores determinantes para assegurar a estabilidade e o desempenho adequado dos serviços ofertados.

### 6.1 Contribuições

Uma das principais contribuições deste trabalho consiste na proposta da metodologia de sincronização, desenvolvido a partir de um estudo de caso realizado dentro de um ambiente real na rede de transporte de telecomunicações envolvendo operações. O presente estudo, voltado ao sincronismo em redes de telecomunicações, realiza uma análise comparativa entre metodologias tradicionais de temporização e soluções tecnológicas aplicadas à distribuição de tempo e frequência. A metodologia proposta otimizou o desempenho do sincronismo, minimizou a ocorrência de falhas e elevar o nível de estabilidade operacional. Ressalta-se que na sincronização via satélite, é considerado um recurso fundamental para garantir elevada precisão, e confiabilidade no transporte de dados em redes determinísticas nas operadoras de telecomunicações.

# Referências

- 1 RUEDA, D. F.; CALLE, E.; MARZO, J. L. Robustness comparison of 15 real telecommunication networks: Structural and centrality measurements. *Journal of Network and Systems Management*, Springer, v. 25, n. 2, p. 269–289, 2017. Citado na página 11.
- 2 BREGNI, S. A historical perspective on telecommunications network synchronization. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 36, n. 6, p. 158–166, 1998. Citado na página 11.
- 3 SCHWARTZ, M. L.; RYZHKOV, A. V. Modern trends in the development of network synchronization systems. from plesiochronous to coherent networks. *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, IEEE, p. 1–7, 2021.  
Citado 2 vezes nas páginas 11 e 16.
- 4 ALBUQUERQUE, C. *Arquitetura de Implementação de Alto Desempenho para Sistemas de Comunicação Multimídia*. Tese (Doutorado) — Tese de Mestrado, 1995. Citado na página 12.
- 5 LEE, K. B.; ELDSOON, J. Standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems. Kang B. Lee, J Eldson, 2004. Citado na página 12.
- 6 LAVERTY, D. M. et al. Wide area time distribution system using microwave ip networks and linuxptp. In: *2024 IEEE Power Energy Society General Meeting (PESGM)*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 1–5. Citado na página 13.
- 7 OLIVEIRA, L. A.; ALENCAR, M. S.; LOPES, W. T. A. Evolução da arquitetura de redes móveis rumo ao 5g. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, v. 8, n. 2, p. 43–50, 2018. Citado na página 13.
- 8 PIERCE, R. et al. The design of lessons using mathematics analysis software to support multiple representations in secondary school mathematics. *Technology, Pedagogy and Education*, Taylor & Francis, v. 20, n. 1, p. 95–112, 2011. Citado na página 13.
- 9 RIBEIRO, V. F.; RIBEIRO, W. Previsão de cenário para o controle de tráfego aéreo do cindacta i. *Simpósio de Transporte Aéreo-SITRAER VII*, 2008. Citado na página 13.
- 10 TEIXEIRA, W. G.; FROGERI, R. F.; PIURCOSKY, F. P. Maturidade da gestão do conhecimento na comissão de implantação do sistema de controle do espaço aéreo brasileiro (ciscea). Escola Nacional de Administração Pública (Enap), 2020. Citado na página 14.
- 11 SUGAHARA, M. C. G.; BARBERIO, L. D. G.; GALLO, F. Território nacional e infraestrutura de telecomunicações: a participação do fundo soberano de riqueza de singapura na expansão das redes de fibra ótica no brasil. *Boletim de Geografia*, v. 41, 2023. Citado na página 14.

- 12 FERRANT, J.-L. et al. Synchronous ethernet: A method to transport synchronization. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 46, n. 9, p. 126–134, 2008. Citado na página 16.
- 13 WANG, Z. et al. Time synchronization for 5g and tsn integrated networking. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, IEEE, 2025. Citado na página 16.
- 14 KUROSE, J. F. *Redes de Computadores e a Internet*. [S.l.]: Manuzzi, 2003. Citado na página 16.
- 15 TANENBAUM, A. S. *Redes de computadores*. [S.l.]: Pearson educação, 2003. Citado na página 16.
- 16 WEBER, T. S. Um roteiro para exploração dos conceitos básicos de tolerância a falhas. *Relatório técnico, Instituto de Informática UFRGS*, 2002. Citado na página 17.
- 17 RIBEIRO, M. P. Sincronização em sistemas de telecomunicações. 1990. Citado na página 17.
- 18 ARVIND, K. Probabilistic clock synchronization in distributed systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, IEEE, v. 5, n. 5, p. 474–487, 2002. Citado na página 17.
- 19 WATT, S. T. et al. Understanding and applying precision time protocol. In: IEEE. *2015 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)*. [S.l.], 2015. p. 1–7. Citado na página 18.
- 20 MOREIRA, M. D. et al. Internet do futuro: Um novo horizonte. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC*, v. 2009, p. 1–59, 2009. Citado na página 18.
- 21 OLIVEIRA, A. L. M. d. *Estudo de um Sistema de Telefonia sem Infraestrutura através de Modelagem e Simulação baseada em Agentes*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2012. Citado na página 18.
- 22 MILLS, D. L. Internet time synchronization: the network time protocol. *IEEE Transactions on communications*, Ieee, v. 39, n. 10, p. 1482–1493, 2002. Citado na página 19.
- 23 ARVIND, K. Probabilistic clock synchronization in distributed systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, IEEE, v. 5, n. 5, p. 474–487, 2002. Citado na página 19.
- 24 MISRA, P.; ENGE, P. Global positioning system: Signals, measurements, and performance. *IEEE aerospace and electronic systems magazine*, v. 17, n. 10, p. 36–37, 2002. Citado na página 19.
- 25 QIAO, Z.; SUN, L.; IFEACHOR, E. Case study of pesq performance in live wireless mobile voip environment. In: . [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–6. Citado na página 30.

# Termo de Aceite de Orientação de TCC

(Resolução nº 21, SINF/CPCX, de 09 de dezembro de 2020)

Eu, **Prof. Dr. Ekler Paulino de Mattos**, declaro que aceito orientar o(s) acadêmico(s): **Eloi Pereira Fontoura**, em seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Uma Proposta de Metodologia de Sincronização em Redes de Transporte de Telecomunicações**, de acordo com as normas fixadas pelo Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso <sup>1</sup>.

Coxim-MS, 2 de dezembro de 2025.

**Prof. Dr. Ekler Paulino de Mattos**

---

<sup>1</sup> <https://boletimoficial.ufms.br/bse/publicacao?id=411273>