



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**RICARDO PARCELLE CARDOSO PACIFICO**

**PROCEDIMENTO PRÁTICO PARA ELABORAÇÃO DE UMA REDE  
GPON FTTH BALANCEADA**

**SOBRAL  
2018**

**RICARDO PARCELLE CARDOSO PACIFICO**

**PROCEDIMENTO PRÁTICO PARA ELABORAÇÃO DE UMA REDE  
GPON FTTH BALANCEADA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Graduado em Engenharia Elétrica. Área de aplicação: Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Eber de Castro Diniz.

**SOBRAL  
2018**

**RICARDO PARCELLE CARDOSO PACIFICO**

**PROCEDIMENTO PRÁTICO PARA ELABORAÇÃO DE UMA REDE  
GPON FTTH BALANCEADA**

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora**

---

Prof. Eber de Castro Diniz  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Me. Yuri Victor Lima de Melo  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Joao Lucas Torres  
Engenheiro Eletricista

## **DEDICATÓRIA**

Trabalho dedicado à minha esposa, Josiane Gomes, aos amigos que fizeram parte dessa longa trajetória em especial aos colegas da turma, Sandy Brito, Leilane Tomaz, Lemuel Lucas e Ismael. Dedico aos mestres que muito contribuíram na minha formação, em especial aos professores Marcus Rogério e Eber Diniz.

Dedico também à minha família (pais e irmãos) pelo carinho e apoio. Finalmente e principalmente dedico à Deus, pois sem Ele tudo seria impossível. A todos vocês um muito obrigado!!!

*“Para ser grande, sê inteiro: nada  
Teu exagera ou excluí.  
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és  
No mínimo que fazes.  
Assim em cada lago a lua toda  
Brilha, porque alta vive.”*

*Fernando Pessoa*

## RESUMO

**Introdução:** Com o passar do tempo os sistemas de comunicação baseados em cabos metálicos coaxiais chegavam próximos de seu limite teórico de transmissão, acelerando assim pesquisas relacionadas a fibra óptica, pois a exigência por largura de banda por parte dos usuários tornou os sistemas de comunicação metálicos obsoletos. Por esse motivo, as operadoras de telecomunicações estão buscando concentrar seus investimentos na implantação de redes de fibras ópticas (FO), pois eles proporcionam um aumento nas oportunidades de ofertas de serviços, maior confiabilidade e diminuem significativamente as despesas operacionais. A tecnologia GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) é a mais utilizada nas redes de acesso que se baseiam nos conceitos FTTH (*Fiber To The X = Home, Building, Curb, etc.*), para entregar serviços “*tripleplay*” (dados, voz e vídeo) a assinantes utilizando FO desde o provedor até as propriedades dos clientes. **Objetivo:** O trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema GPON FTTH balanceada para atender uma cidade situada no interior do PI, fornecendo desse modo subsídios norteadores a quem necessita trabalhar com esse tipo de projeto. Além disso, visa-se demonstrar as etapas para a elaboração de um projeto GPON FTTH balanceado, caracterizar os elementos básicos que compõe uma rede passiva e analisar a viabilidade econômica do estudo proposto. **Metodologia:** O estudo se divide em 6 capítulos, cujo primeiro situa o leitor quanto a motivação e objetivos. No segundo conceitua-se a luz e os equipamentos que compõe a rede óptica, no terceiro é exposto sobre os diferentes tipos de rede, focalizando-se nas passivas. No quarto é debatido sobre atenuação e equipamentos de medidas. O quinto capítulo é o estudo de caso realizado e no sexto é apresentando o resultado e a conclusão obtida. **Resultados:** Acredita-se que o trabalho cumpriu os objetivos apresentados pois foi descrito um procedimento prático para a elaboração de uma rede FTTH GPON balanceada. Foi possível conferir que na elaboração da rede FTTH deve-se conhecer o local em que o sistema será instalado, para se traçar as regiões de atendimento, o posicionamento das CTOs e CEOs, o trajeto do backbone e as distâncias entre os equipamentos. **Considerações:** Ademais, pode-se verificar que o retorno financeiro para o provedor que utiliza rede óptica é curto, principalmente porque a demanda é grande, o sistema é seguro, a transmissão pode ser realizada à grandes distâncias sem uso de elementos ativos, características essas que tornam o sistema viável economicamente frente as redes ativas tradicionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rede; GPON; FTTH; Fibra óptica.

## ABSTRACT

**Introduction:** Communication systems based on coaxial metallic cables reached close to their theoretical limit of transmission, accelerating research related to fiber optics, since the requirement for bandwidth by the users made the metallic communication systems obsolete. For this reason, telecommunications company are seeking to focus their investments on the deployment of optical fiber (FO) networks, as they provide increased opportunities for service offerings, greater reliability, and significantly lower operating expenses. Gigabit Passive Optical Network (GPON) technology is the most used in access networks that are based on FTTH (Fiber To The X = Home, Building, Curb, etc.) concepts to deliver tripleplay services (data, voice and video) to subscribers using FO from the provider to the clients' properties.

**Goals:** The objective of the work is to design a balanced GPON FTTH system to serve a city located in Piauí Brazil, thus providing guiding subsidies to those who need to work with this type of project. In addition, it aims to demonstrate the steps for the elaboration of a balanced GPON FTTH project, characterize the basic elements that make up a passive network and analyze the economic viability of the proposed study.

**Methodology:** The study is divided in 6 chapters, the first of which places the reader on motivation and goals. In the second one the light and the equipment that compose the optical network is conceptualized, in the third it is exposed on the different types of network, focusing on the passive ones. In the fourth is debated about attenuation and measurement equipment. The fifth chapter is the case study carried out and in the sixth is presenting the result and the conclusion obtained.

**Results:** It believed that the work fulfilled the objectives presented because a practical procedure for the elaboration of a balanced GPON FTTH network was described. It was possible to verify that in the elaboration of the FTTH network it is necessary to know the location in which the system will be installed, to trace the service regions, the positioning of the CTOs and CEOs, the path of the backbone and the distances between the equipments.

**Considerations:** In addition, it can be verified that the financial return to the provider that uses optical network is short, mainly because the demand is great, the system is safe, the transmission can be realized at great distances without use of active elements, characteristics that make the economically viable system against traditional active networks.

**KEYWORDS:** Network; GPON; FTTH; Optical fibers.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Rede com tecnologia GPON	17
Figura 1.2: Representação genérica do funcionamento de uma rede GPON	18
Figura 2.1: Distribuição eletromagnético de um trem de ondas planas	21
Figura 2.2: Refração e reflexão de um feixe de luz em uma interface material	22
Figura 2.3: Representação do ângulo crítico em uma interface vidro-ar, onde $n_1$ é o índice de refração do vidro	22
Figura 2.4: Estrutura padrão de um cabo óptico	23
Figura 2.5: Comparativo entre os tipos de fibras	24
Figura 2.6: Trajetória de raios em uma fibra de índice gradual	25
Figura 2.7: Aumento da capacidade transmissão-distância	26
Figura 2.8: Rede submarina internacional de comunicação por fibra óptica	27
Figura 2.9: Rede de fibra óptica brasileira	27
Figura 2.10: Sistema óptico genérico	28
Figura 2.11: Componentes de um transmissor óptico	29
Figura 2.12: Representação dos espectros de saída. a) LED; b) Laser FB; c) Laser DFB	30
Figura 2.13: Curvas de potência-corrente em várias temperaturas; (b) espectro da luz emitida por um típico LED em $1,3 \mu\text{m}$ .	31
Figura 2.14: Estrutura de AlGaAs superfície de emissão de um LED	32
Figura 2.15: Três processos envolvidos na ação do laser.	33
Figura 2.16: Estrutura de um laser de injeção a GaAs, com cavidade Fabry-Pérot	34
Figura 2.17: Estrutura de confinamento óptico	34
Figura 2.18: Laser de realimentação distribuída	36
Figura 2.19: Laser de refletor Bragg distribuído (DBR)	36
Figura 2.20: Laser de refletores distribuídos (DR)	37
Figura 2.21: Elementos de um receptor óptico	37
Figura 2.22: Seções de um receptor	39
Figura 2.23: Desalinhamento mecânico	40
Figura 2.24: Emenda por fusão	41
Figura 2.25: Emenda mecânica em canaleta em V	42
Figura 2.26: Emenda Elástica	42
Figura 2.27: Piloto e sequencial para cabos padrão ABNT	46
Figura 3.1: Rede de acesso como ‘gargalo’ na transmissão de dados	47

Figura 3.2: Arquitetura de redes de FO. a) Ponto-a-ponto. b) AON. c) PON	50
Figura 3.3: Topologia em anel	51
Figura 3.4: Topologia em árvore	52
Figura 3.5: Topologia em barramento	52
Figura 3.6: Configurações das Redes FTTX	53
Figura 3.7: OLT	54
Figura 3.8: Distribuidor interno óptico	54
Figura 3.9: Divisor passivo óptico	55
Figura 3.10: Padrão de código NRZ e RZ	56
Figura 3.11: (a) Sequência de bits elétricos e os resultantes padrões de campo elétrico após conversão para o domínio óptico usando os formatos de modulação (b) ASK, (c) FSK e (d) PSK.	57
Figura 3.12: Rede Passiva TDM	58
Figura 3.13: Modulação por subportadora (SCM)	59
Figura 3.14: WDM típica com seus componentes ativos	60
Figura 3.15: WDM PON	61
Figura 3.16: Largura de banda de transmissão das bandas O e C (nas janelas 1310nm e 1550 nm)	61
Figura 3.17: Arquitetura de uma EPON, de acordo com o padrão da EFM	63
Figura 4.1: Atenuação de fibra óptica em função do comprimento de onda	67
Figura 4.2: Atenuação e dispersão de um pulso	67
Figura 4.3: Efeitos de micro e macro curvatura	69
Figura 4.4: OTDR e traçado gráfico característico	71
Figura 4.5: Fonte de Luz e Medidor de potência	72
Figura 4.6: Localizador de falha	72
Figura 4.7: Microscópio de conectores ópticos e FO com sujidade	73
Figura 5.1: Área de cobertura proposta	75
Figura 5.2: Levantamento dos possíveis clientes a serem atendidos pela rede	75
Figura 5.3: Diagrama unifilar para o orçamento de potência da rede de fibra óptica	77
Figura 5.4: Mapeamento dos dois primeiros ramais	78
Figura 5.5: Ramais 1 e 2 da rede proposta	79
Figura 5.6: Diagrama Unifilar ramal 01	79
Figura 5.7: Trecho do Backbone. Rede com topologia em árvore	80
Figura 5.8: Plano de emenda para as CEO 01, 02,05,06,07 e 18	81

Figura 5.9: Plano de emenda ramal 01	82
Figura 5.10: Ligação Ramal 01 as CTOS 05, 06, 08 e 07	83
Figura 5.11: Ligação Ramal 01 as CTOS 04,01 e 03	84
Figura 5.12: Ligação Ramal 01 e trechos do backbone	84
Figura 5.13: Fluxograma das etapas de criação de uma rede FTTH	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Classes de rede passivas	18
Tabela 2.1: Conectores mais comuns utilizados em redes de fibra ópticas	43
Tabela 2.2: Padrão de cores das fibras	45
Tabela 2.3: Padrão de cores dos grupos de fibras	45
Tabela 3.1: Tecnologia DSL: Alcance x taxa	49
Tabela 3.2: Característica de uma camada física de três opções EFM	63
Tabela 3.3: Principais características de uma rede GPON	64
Tabela 5.1: Planos de internet oferecidos pela DadosNet	76
Tabela 5.2: Resumo das relações encontradas	78
Tabela 5.3: Características dos componentes de uma rede GPON Balanceada	85
Tabela 5.4: Características dos equipamentos Furukawa, 2018	86
Tabela 5.5: Orçamento de potência para redes FTTH – Ramal 14	87
Tabela 5.6: Orçamento de potência para redes FTTH – Ramal 17	88

## LISTA DE SIGLAS

ADSL	DSL assimétrica
AON	Rede Óptica Ativa
ASK	Amplitude Shift Keying (Chaveamento de amplitude)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferência Assíncrono)
DL	Diodo laser de injeção
DSL	Digital Subscriber Line (Linha de Assinante Digital)
EFM	Ethernet in the First Mile (Ethernet na Primeira Milha)
FO	Fibra óptica
FSAN	Full Service Access Network (Serviço Completo de Acesso à Rede)
FSK	Frequency Shift Keying (Chaveamento por Mudança de Frequência)
FTTB	Fiber To The Building (Fibra para o Prédio)
FTTC	Fiber To The Curb (Fibra para a Calçada)
FTTCab	Fiber To The Cabinet (Fibra para a Gabinete)
FTTH	Fiber To The Home (Fibra para a casa)
FTTX	Fiber to the X (X = Home, Building, Cabinet, etc)
GaAIAs	Arsenieto de Gálio e Alumínio
Gbps	Gigabits
G. SHDSL	DSL - Simétrica de alta velocidade
HFC	Híbrida Óptica-Coaxial
IDSL	DSL baseada em ISDN
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
LAN	Local Area Network (Rede Local)
LVF	Localizador Visual de Falha
MANs	Metro Area Networks (Rede Metropolitana)
ODN	Optical Distribution Network (Rede de Distribuição Óptica)
OCDMA	Multiplexação por Divisão de Código Óptico
OLT	Optical Line Termination (Terminação de Linha Óptica)
ONU	Optical Network Unit (Unidade de Rede Óptica)
OTDR	Optical Domain Reflectometer (Reflectômetro Óptico)
PON	Passive Optical Networks (Rede Óptica Passiva)
PMP	Ponto Multiponto

PSK	Phase shift Keying (Chaveamento por Divisão de Fase)
PTP	Ponto – a – Ponto
SDSL	DSL simétrica
SCMA	Multiplexação por Subportadora
TDM	Multiplexação por Divisão de Tempo
Tbps	Terabits
VDSL	DSL de alta velocidade
WANs	Wide Area Network
WDMA	Multiplexação por Divisão de Onda

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 Objetivos .....	19
1.2 Estrutura do Trabalho .....	19
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>20</b>
2.1 Introdução .....	20
2.2 Definição física da luz .....	20
2.3 Caracterização das Fibras Ópticas .....	23
2.3.1 Fibras de índice degrau .....	24
2.3.2 Fibras de índice gradual .....	24
2.3.3 Fibras monomodo .....	25
2.4 Comunicação por sistemas de fibra ópticas .....	25
2.5 Componentes de um sistema de comunicação óptica .....	28
2.5.1 Canal de comunicação .....	28
2.5.2 Transmissores ópticos .....	28
2.5.2.1 Transmissores ópticos: Emissores de Luz .....	29
2.5.2.2 Transmissores ópticos: O laser .....	32
2.5.3 Receptores Ópticos .....	37
2.6 Emenda de fibra e conectores ópticos .....	39
2.6.1 Emendas em fibras ópticas .....	39
2.6.2 Conectores ópticos .....	42
2.7 Padrão de cores das fibras dos cabos ópticos .....	44
<b>3. REDES ÓPTICAS .....</b>	<b>47</b>
3.1 Redes de telecomunicação .....	47
3.1.1 Redes sem fio .....	48
3.1.2 xDSL e Modem a cabo .....	48
3.1.3 Redes de fibras ópticas .....	49
3.2 Redes Passivas de Fibra Óptica .....	51
3.2.1 Topologia das Redes PON .....	51
3.2.2 Componentes da rede PON .....	54
3.3 Tecnologia multiponto em redes PON .....	57
3.3.1 Multiplexação por Divisão de Tempo – TDMA ou TDM .....	58
3.3.2 Multiplexação por Subportadora (SCMA ou SCM) .....	58
3.3.3 Multiplexação por Divisão de Código Óptico – OCDMA .....	59
3.3.4 Multiplexação por Divisão de Onda (WDM) .....	60
3.4 Conceitos de redes APON/ BPON, EPON, GPON e WDM PON .....	61
3.4.1 Redes APON/BPON .....	62
3.4.2 Redes EPON / GE – PON .....	62
3.4.3 Redes GPON .....	63
3.4.4. Rede WDM PON .....	65
<b>4. ATENUAÇÃO, DISPERSÃO E EQUIPAMENTOS DE MEDIDA .....</b>	<b>66</b>
4.1. Introdução .....	66
4.2 Atenuação e dispersão .....	66
4.2.1 Perdas por curvatura .....	69
4.3 Equipamentos de medida .....	70
4.3.1 Reflectômetro Óptico de Domínio de Tempo (OTDR) .....	71
4.3.2 Fonte de Luz e Medidor de potência .....	71
4.3.3 Localizador Visual de Falha (VFL) e Microscópio para conectores .....	72
<b>5. ELABORAÇÃO DE UM PROJETO DE REDE GPON FTTH .....</b>	<b>74</b>

5.1 Introdução .....	74
5.2. Premissas do Projeto de Rede .....	74
5.3 Definição da largura de banda e do splitter para a rede PON .....	75
5.4 Tamanho das células e quantidade de CTOs de atendimento .....	77
5.5 Posicionamento das caixas de terminação e emenda ópticas (CTOs e CEOs) .....	78
5.6 Delimitação do trecho do backbone .....	80
5.7 Elaboração do plano de emenda das fibras nos cabos ópticos .....	81
5.8 Orçamento de potência .....	85
5.9 Fluxograma para a elaboração de uma rede GPON FTTH balanceada .....	89
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>90</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos, as pessoas apresentam uma necessidade natural de se comunicar. De tal necessidade criou-se vários tipos de sistemas de comunicação, dentre eles o óptico que surgiu na Grécia Antiga através de aparelhos de alarme que usavam a luz de chamas para enviar sinais de alerta. Desse período até a atualidade houve um imenso avanço nesta tecnologia, principalmente devido a criação dos lasers em meados dos anos 60 e a utilização de fibras ópticas (FO) como canal de comunicação em 1978 (KEISER, 2014).

Na década de 80 os sistemas de comunicação baseados em cabos metálicos coaxiais chegavam próximos de seu limite teórico de transmissão, acelerando assim pesquisas relacionadas a FO, pois a exigência por largura de banda por parte dos usuários tornou os sistemas de comunicação metálicos obsoletos.

Atualmente, as redes ópticas passivas (PON – Passive Optical Networks) baseadas em multiplexação por divisão no tempo (TDM – PON – Time Multiplexing – PON) e as baseadas em multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM – PON – Wavelength Division Multiplexing) tem apresentado boa resposta ao aumento de banda demandado. Sendo que a tecnologia empregada nesta última tem se tornado cada vez mais popular (NOWAK; MURPHY, 2005).

Com base nesta demanda, as operadoras de telecomunicações estão buscando canalizar seus investimentos na implantação de redes de fibras ópticas, pois eles proporcionam um aumento nas oportunidades de ofertas de serviços, maior confiabilidade e diminuem significativamente as despesas operacionais (PICIN; GIMENEZ, 2015).

Além disso, a fibra óptica apresenta capacidade de tráfego com elevadas taxas de transmissão de forma confiável e segura, baixos índices de atenuação, se comparada a outros sistemas de transmissão, como por exemplo a comunicação via rádio, a qual é afetada pelas distâncias e condições atmosféricas.

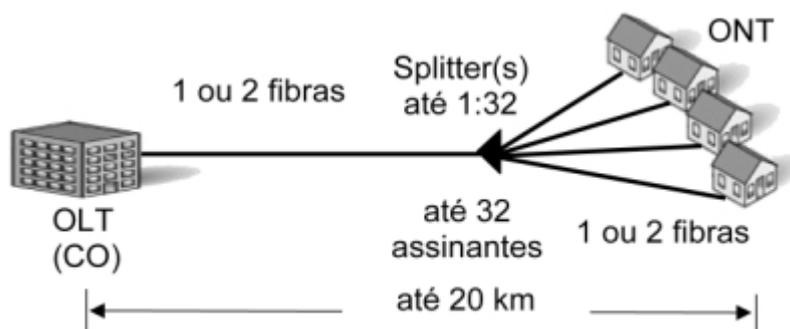
Furukawa 2015, descreve a tecnologia GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) como a mais utilizada nas redes de acesso que se baseiam nos conceitos FTTX (*Fiber To The X = Home, Building, Curb, etc.*), para entregar serviços “*tripleplay*” (dados, voz e vídeo) a assinantes utilizando fibra óptica desde o escritório do provedor até as propriedades dos clientes.

A ideia fundamental de uma Rede Óptica Passiva (PON – *Passive Optical Network*) é não utilizar nenhum componente ativo entre o núcleo da rede e o elemento de acesso do assinante em uma distância limitada em 20km. A distribuição do sinal é feita através de um

divisor óptico (*Splitter*) que possui fator de divisão de 1 para  $2^n$ , sendo que cada fibra após a repartição final atende um respectivo cliente. Geralmente, uma GPON apresenta 64 ou 128 usuários por interface. Com a utilização apenas de elementos passivos, otimiza-se os gastos com equipamentos, a manutenção da rede e infraestrutura, facilitando a implantação do projeto como um todo, além de se ter uma estrutura pronta para acompanhar os avanços tecnológicos (CARVALHO; ADDABE, 2016).

O sinal óptico, uma vez injetado na rede, é compartilhado por todos os usuários ligados a ela. O *splitter* divide os sinais de acordo com o especificado para cada caso e os distribui ao longo da rede, a partir da OLT (*Optical Line Terminal*) aos ONTs (*Optical Network Terminal*) ou ONUs (*Optical Network Unit*), caracterizando dessa forma uma rede ponto-multiponto. (PICIN; GIMENEZ, 2015). Na figura 1.1 é possível verificar essa estrutura.

**Figura 1.1.** Rede com tecnologia GPON



**Fonte:** PICIN; GIMENEZ, 201

As características de uma rede GPON são regidas pela ITU (*International Telecommunication Union*), que define os elementos que a compõe (estes descritos nas seções posteriores), demarca os limites de terminais entre a porta óptica e a central de equipamentos. Relaciona que as taxas agregadas são de 2,5Gbit/s no sentido da estação para o cliente (downstream), no sentido contrário, embora a norma permita 2,5Gbit/s no máximo, as implementações atuais apresentam um débito agregado no sentido upstream de 1,2Gbit/s.

As normas da ITU padroniza cinco tipos de classes PON pelo seu orçamento de potência (cálculo de atenuação do sinal – descrito posteriormente), conforme se verifica na tabela 1.1. Atualmente os provedores estão utilizando a classe B+, pois atendem o exigido e apresentam boa viabilidade econômica (OI ENGENHARIA, 2014).

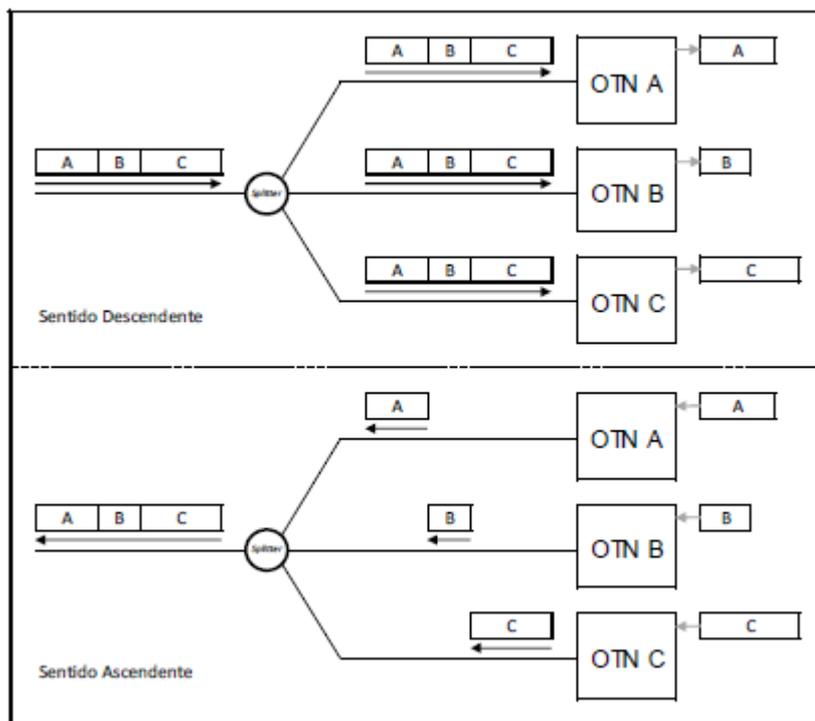
**Tabela 1.1:** Classes de rede passivas

Classe	Atenuação (dB)	Observação
A	5 a 20	
B	10 a 25	
B+	13 a 28	Anexo 01 norma 2006
C	15 a 30	
C+	17 a 32	Anexo 02 norma 2008

**Fonte:** PICIN; GIMENEZ, 2015.

Basicamente numa rede GPON a OLT envia todas as informações as ONTs (downstream) situadas nos extremos da rede, que reconhece apenas a informação que lhe é destinada. Posteriormente os terminais ópticos remetem um feedback de suas informações (upstream). A figura 1.2 demonstra essa situação.

**Figura 1.2:** Representação genérica do funcionamento de uma rede GPON



**Fonte:** OI ENGENHARIA, 2014.

Em síntese, as redes de acesso com tecnologia PON estão sendo empregadas cada vez mais por provedores de internet, pois em tais sistemas há uma disponibilização cada vez maior de serviços, tais como comunicação de dados, voz e imagens em alta velocidade. Nessas situações, as redes GPON são as mais usadas por aplicarem comprimentos de ondas diferentes para downstream e upstream, além de possuírem uma camada de empacotamento que transporta qualquer serviço, seja esse Ethernet, IP, TDM ou WDM.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

- Dimensionar um sistema GPON FTTH para atender uma cidade situada no interior do Piauí - PI, fornecendo desse modo subsídios norteadores a quem necessita trabalhar com esse tipo de projeto.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Demonstrar as etapas para elaboração de um projeto GPON FTTH;
- Caracterizar os elementos básicos que compõem uma rede passiva;
- Analisar a viabilidade econômica do estudo proposto.

## **1.2 Estrutura do trabalho**

O trabalho está dividido em 6 capítulos. O introdutório onde foram descritos os objetivos e a motivação. No capítulo 02 são apresentados os conceitos físicos da luz, o que é a fibra óptica, a história da transmissão óptica, os elementos que compõem uma rede por FO, dentre outros assuntos, visando situar o leitor nos conceitos essenciais dos sistemas ópticos.

O capítulo 03 expõe os conceitos de rede ativas e passivas, os modelos dos sistemas FTTX, os equipamentos de uma rede passiva GPON, além de conceituar os tipos de modulação. No capítulo 4 é possível conferir os conceitos de atenuação, um dos principais elementos que viabiliza um projeto de rede óptica, além de tratar sobre os equipamentos utilizados nos sistemas de medida.

O capítulo 05 é o estudo de caso para elaboração de uma rede GPON FTTH, onde há os fundamentos básicos para se elaborar uma rede que atenda as expectativas do provedor e dos usuários. Finalmente no capítulo 06 apresenta a conclusão, os resultados obtidos e possíveis trabalhos futuros.

## CAPITULO 02: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1.1 Introdução

Para o projeto de uma rede de transmissão por fibra óptica é indispensável um conhecimento prévio dos conceitos físicos da luz, tais como forma de propagação, índice de refração, reflexão e polarização. Além disso, nesta seção será possível entender sobre o que são fibras ópticas (tipos e características), a história da transmissão de dados ópticos, geração das fibras, fontes e detectores ópticos, além do padrão de cores e dos tipos de conectores utilizados nas redes.

### 2.2 Definição física da luz

Os conceitos de luz sofreram diversas modificações durante a história da física. Até meados do século XVII, cria-se que a luz era formada por partículas minúsculas que eram emitidas por fontes luminosas e viajavam em linha reta, penetravam em materiais transparentes, porém eram refletidas em materiais opacos (KEISER, 2014).

Maxwell, em 1864, descreveu que o raio luminoso é uma onda progressiva de campos elétricos e magnéticos (HALLIDAY, 2009). Foi observado também através dos efeitos de polarização, que as ondas de luz são transversais, ou seja, o movimento da onda é perpendicular à direção na qual ela viaja (KEISER, 2014).

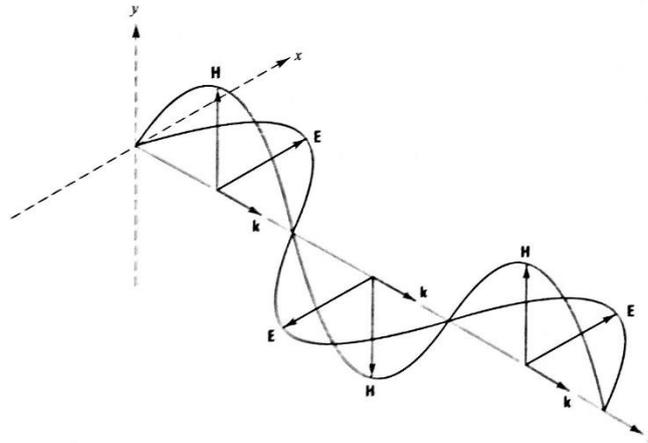
Consonante ao autor supracitado, o campo eletromagnético de um trem de ondas linearmente polarizadas viajando em uma direção  $\mathbf{k}$  pode ser representada através da equação 2.1.

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{e}_i A_0 e^{i(\omega t - \mathbf{K} \cdot \mathbf{r})} \quad (2.1)$$

Onde  $\mathbf{r} = x\mathbf{e}_x + y\mathbf{e}_y + z\mathbf{e}_z$  representa um vetor genérico e  $\mathbf{k} = k_x\mathbf{e}_x + k_y\mathbf{e}_y + k_z\mathbf{e}_z$  o vetor de propagação da onda. Da equação 1.1 têm-se que  $A_0$  equivale a amplitude máxima da onda,  $\omega = 2\pi\nu$ , sendo  $\nu$  a frequência da luz. O vetor  $\mathbf{K}$  é representado por  $\mathbf{K} = 2\pi/\gamma$ , denominado de constante de propagação da onda e  $\gamma$  é o comprimento de onda.

As distribuições dos campos eletromagnéticos de um trem de onda podem ser demonstradas pela figura 2.1.

**Figura 2.1:** Distribuição eletromagnético de um trem de ondas planas



**Fonte:** Adaptado de Keiser, 2014.

Pela figura 2.1 percebe-se que em um trem de onda plano se tem sempre o seu vetor campo elétrico apontando na direção  $\mathbf{e}_x$ . Em outras palavras, isso quer dizer que a direção do campo elétrico muda com o tempo, porém permanece perpendicular à direção de propagação da onda (HALLIDAY, 2009).

A passagem da luz por uma interface que separa dois meios distintos recebe a denominação de refração, se o raio incidente não estiver perpendicular ao meio ele sofre um desvio (BASS et al, 1995). Além disso quando ocorre essa penetração há uma redução na velocidade de propagação da luz, tal redução varia com o índice de refração do material (HALLIDAY, 2009).

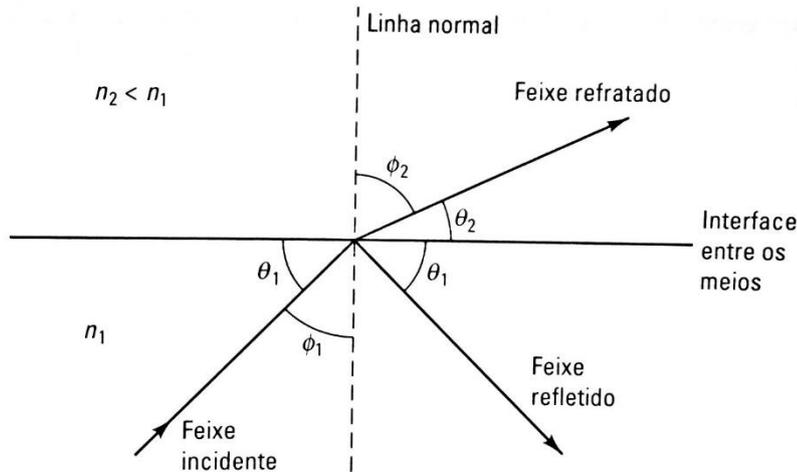
A equação 2.2 define o índice de refração ( $n$ ) como a razão entre a velocidade de luz ( $c$ ) e a velocidade de propagação da luz no meio ( $s$ ) (BASS et al, 1995).

$$n = \frac{c}{s} \quad (2.2)$$

KEISER, 2014, pontua que a reflexão ou refração dos raios de luminosos na fronteira entre dois meios é o resultado da diferença de velocidade da luz nos dois materiais com índice de refração diferentes, tal relação de interface é conhecida como lei de Snell (equação 2.3), a qual é extremamente relevante na tecnologia de transmissão por fibra óptica.

$$n_1 \text{sen} \phi_1 = n_2 \text{sen} \phi_2 \quad (2.3)$$

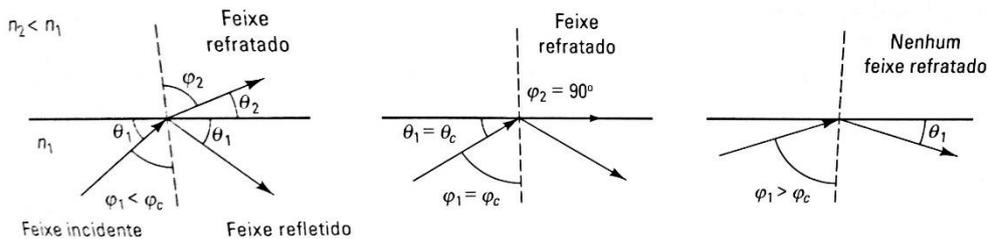
**Figura 2.2:** Refração e reflexão de um feixe de luz em uma interface material



**Fonte:** Adaptado de KEISER, 2014.

A figura 2.2 mostra as relações de ângulo entre os feixes incidentes e os feixes refratados, observa-se que nos eixos refletidos os ângulos apresentam o mesmo valor numérico. Além disso, a medida que o ângulo  $\phi_1$  fica maior,  $\phi_2$  tende a  $\pi/2$ , que a partir desse ponto não ocorre nenhuma refração e os raios de luz são totalmente refletidos internamente, tal característica é princípio básico de funcionamento das fibras ópticas (HALLIDAY, 2009). Na figura 2.3 é possível ver esta situação no 3º item.

**Figura 2.3:** Representação do ângulo crítico em uma interface vidro-ar, onde  $n_1$  é o índice de refração do vidro

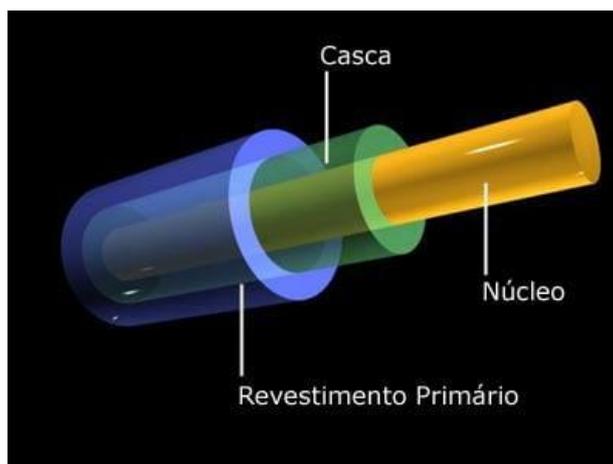


**Fonte:** Adaptado de KEISER, 2014.

## 2.3 Caracterização das Fibras Ópticas

Wirth, 2002, define fibra óptica como um filamento de vidro de sílica capaz de transmitir sinais luminosos através de longas distâncias, para tal utiliza-se o princípio de reflexão total descrito acima. O cabo normalmente possui a forma cilíndrica e guia a luz em uma posição paralela ao seu eixo (KEISER, 2014). A figura 2.4 traz a estrutura padrão de um cabo óptico.

**Figura 2.4:** Estrutura padrão de um cabo óptico



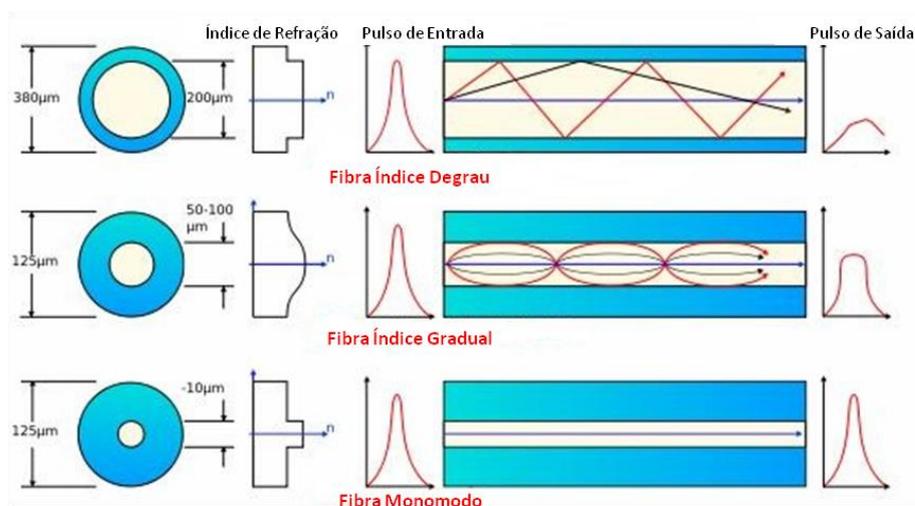
**Fonte:** Adaptado de MATA, 2011.

Segundo BERTOLO, 2012, os componentes dos cabos ópticos podem ser divididos em núcleo, casca e revestimento primário.

- a) Núcleo – Estrutura filiforme pela qual a luz viaja;
- b) Casca – Material óptico externo que circunda o núcleo e reflete a luz refratada para dentro do mesmo;
- c) Capa protetor – Revestimento que protege a fibra de danos físicos.

Devido a mudança drástica no índice de refração na interface núcleo-casca as fibras podem ser denominadas de *fibras de índice degrau (step-index fibers)*. Há também fibras que apresentam níveis de refração decrescente em seu interior, estas chamadas de *fibras de índice gradual (graded-index fiber)* (AGRAWAL, 2014). A figura 2.5 mostra a diferença entre tais fibras.

**Figura 2.5:** Comparativo entre os tipos de fibras.



Fonte: Adaptado de MADEIRA, 2011.

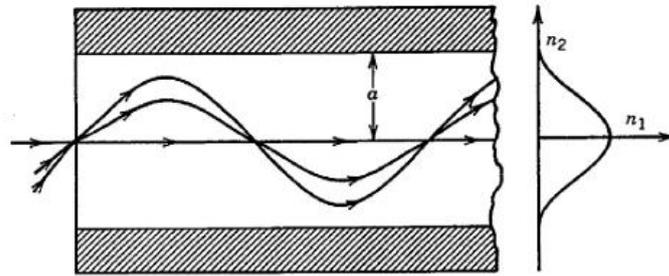
### 2.3.1 Fibras de índice degrau

Percebe-se pela figura 2.5 que o percurso da luz dentro da fibra segue múltiplos caminhos (multimodo), em consequência tais raios se dispersam na saída. Um pulso curto se alargaria consideravelmente em consequência deste multipercurso, resultando dessa forma em baixas taxas de transmissão de dados por km. Restringindo o uso dessas fibras em redes de pequenas dimensões, geralmente a transmissão de dados é em torno de 10 Mb/s ao longo de 10 km (AGRAWAL, 2014).

### 2.3.2 Fibras de índice gradual

Na fibra com índice gradual o efeito da dispersão intermodal é consideravelmente reduzido. Em tal elemento o nível de refração diminui do centro ( $n_1$ ) para um valor mínimo de  $n_2$  na interface núcleo-casca, a maioria delas tem diminuição quase quadrática, na figura 2.6 observa-se o confinamento dos raios luminosos ocasionados pelas mudanças de velocidade ao longo do trecho. Isso garante uma transmissão de dados por trechos maiores na ordem de 100 Mb/s em até 100 km, com menores dispersão (AGRAWAL, 2014).

**Figura 2.6:** Trajetória de raios em uma fibra de índice gradual.



Fonte: Adaptado de AGRAWAL, 2014.

### 2.3.3 Fibras monomodo

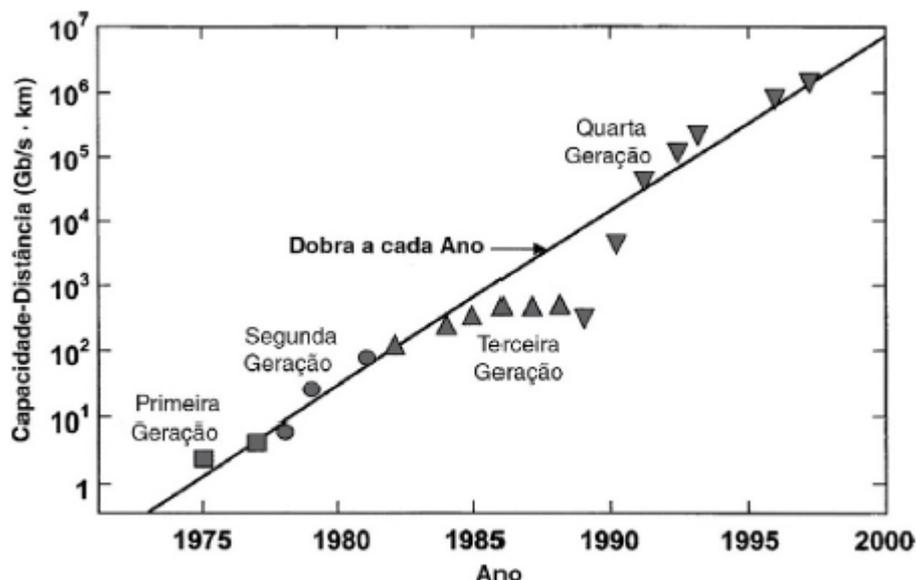
As fibras monomodo sustentam apenas uma única forma de propagação, tal característica deve-se ao tamanho reduzido do núcleo, dessa forma a luz viaja em linha reta sem ricochetear. Assim eles podem transmitir uma quantidade superior de dados ao longo de grandes trechos, chegando na ordem de 50Gbs / 100 km (TANENBAUM, 2003). A figura 2.5 mostra uma fibra óptica monomodo.

## 2.4 Comunicação por Sistemas de Fibra Ópticas

O primeiro sistema óptico de comunicação surgiu em 1790, quando o engenheiro Claude Chappe inventou o telégrafo óptico. Em 1880 Alexander Graham Bell patenteou um sistema óptico de telefonia, o qual chamou de *Photophone*. Porém, o telefone provou ser mais prático naquele período (BERTOLO, 2012).

As pesquisas de sistemas de comunicação por fibras ganharam destaque na década de 70 e tiveram aumento exponencial em um período de 25 anos. Ao longo desse tempo é possível perceber o grande aprimoramento tecnológico no que diz respeito a capacidade de transmissão pela distância (AGRAWAL, 2014). Conforme é observado na figura 2.7, onde a 1ª geração de fibras transmitia em torno de 10Gbs/km enquanto a 4ª transmite a uma taxa de 10<sup>6</sup>Gbs/km.

**Figura 2.7:** Aumento da capacidade transmissão-distância



**Fonte:** Adaptado AGRAWAL, 2014.

Em 1980 os sistemas de primeira geração tornaram-se comerciais, eles utilizavam geradores de ondas luminosas com aproximadamente  $0,8\mu\text{m}$  e lasers de semicondutor de GaAs (arsenito de gálio). Tais sistemas transmitiam a uma taxa de 45 Mb/s e utilizavam repetidoras a cada 10km (AGRAWAL, 2014).

Segundo ao autor supracitado, a segunda geração de fibras surgiu após o desenvolvimento de lasers formados a base InGaAsP (arsenito fosfeto de índio e gálio) e detectores com sensibilidade de  $1,3\mu\text{m}$ , nela a taxa de transmissão chegou a 2Gb/s por 44Km com o advento das fibras monomodo.

Em 1990 a terceira geração estava disponível comercialmente e apresentava a taxa de desempenho de 10Gb/s, tais fibras continham fatores que deslocavam a dispersão, além de lasers que oscilavam em um único modo longitudinal. O principal defeito desse sistema provinha do uso de repetidores optoeletrônico a cada 60 Km.

A quarta geração foi marcada pelo uso do WDM (Wavelength-Division Multiplexing) que aumentava a taxa de transmissão a grandes valores, operando em 2001 com uma médi de 10Tb/s. Devido a isso e ao uso de amplificadores, comprovou-se que seria possível a transmissão de dados via cabos ópticos intercontinentais (MARTINI, 1999). A figura 2.8 mostra a rede internacional de sistemas submarinos em 2005.

**Figura 2.8:** Rede submarina internacional de comunicação por fibra óptica

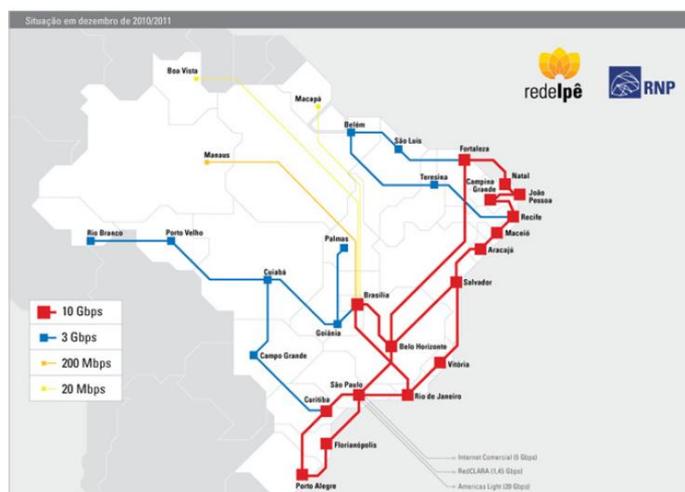


**Fonte:** AGRAWAL, 2014 *aput* BERGANO, 2005.

Na quinta geração estão focando principalmente no aumento da eficiência dos sistemas WDM, pois visa-se codificar a informação utilizando amplitude e fase da portadora óptica (AGRAWAL, 2014).

No Brasil as principais rotas do tráfego de informação estão em Brasília-DF, elas ligam o extremo oriente asiático às rotas da Europa e o tronco da América Central. O país dispõe atualmente de mais de 150.000 Km de troncos de fibras. Utiliza-se a tecnologia DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). O projeto Internet 2 (RPN2) com os norte-americanos ampliou a rede óptica brasileira e o tráfego de informações passou a existir entre todos os estados. A figura 2.9 mostra a rede brasileira após o projeto (BERTOLO, 2012).

**Figura 2.9:** Rede de fibra óptica brasileira



**Fonte:** Adaptado de BERTOLO, 2012.

## 2.5 Componentes de um sistema de Comunicação Óptica

### 2.5.1 Canal de comunicação

Conforme descrito em linhas anteriores o principal papel da fibra óptica, aqui denominada de canal de comunicação, é transportar os sinais luminosos com o mínimo de distorção. A maioria dos sistemas utilizam fibras de silício, pois a perda com esse material é na ordem de 0,2 dB/Km (AGRAWAL, 2014).

Outro importante quesito ao ser verificado quando se projeta um sistema, diz respeito a dispersão (esse assunto será explorado nos capítulos subsequentes), que eleva o alargamento temporal dos pulsos ópticos com a propagação, deixando o sinal impossível de ser recuperado no receptor, tal problema geralmente é revertido utilizando fibras monomodo, principalmente em aplicações de longa distância (SENIOR, 2009). Na figura 2.10 é possível ter uma visão genérica de como funciona o sistema.

**Figura 2.10:** Sistema óptico genérico



**Fonte:** Adaptado de AGRAWAL, 2014.

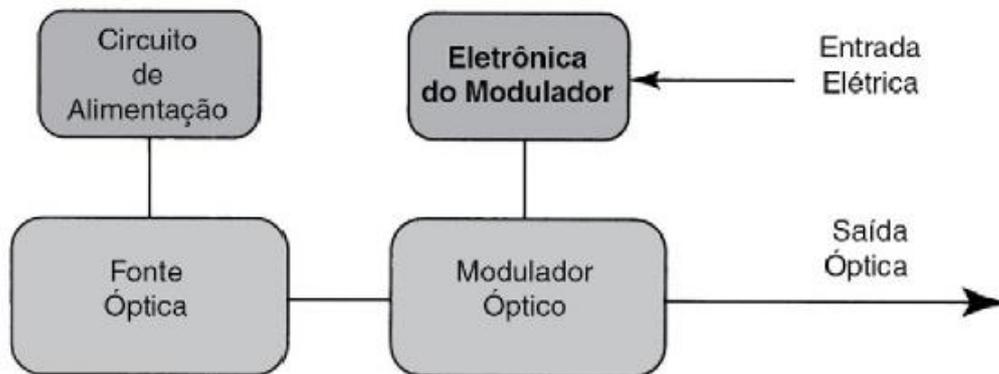
### 2.5.2 Transmissores ópticos

A função do transmissor óptico é converter o sinal elétrico em luminoso e repassá-lo ao canal de comunicação, geralmente são formados por uma fonte de luz, um modulador e um acoplador de canal (AGRAWAL, 2014). Costuma-se utilizar duas classes de fonte, uma delas é chamada de diodo laser de injeção (DL) e o outro diodo emissor de luz (LEDs) (KEISER, 2014).

Segundo o autor supracitado, os DL apresentam dois materiais semicondutores com diferentes energias de bandgap, são bastante utilizados, pois tem a potência requerida pelo sistema de comunicação além de terem as dimensões compatíveis as fibras.

O sinal dessas fontes é gerado por modulação da onda portadora óptica. Tipicamente o acoplador é uma microlente que foca o sinal no plano de entrada da fibra (AGRAWAL, 2014). A figura 2.11 mostra um circuito típico de um gerador óptico.

**Figura 2.11:** Componentes de um transmissor óptico



**Fonte:** Adaptado de AGRAWAL, 2014.

Outro ponto que merece ressalva diz respeito a potência lançada na fibra óptica (FO), geralmente ela apresentar valores típicos de 1mW, que equivale 0 dBm (A unidade de medida adotado é o “dBm”). A equação 2.4 define a conversão utilizada nos cálculos (SENIOR, 2009).

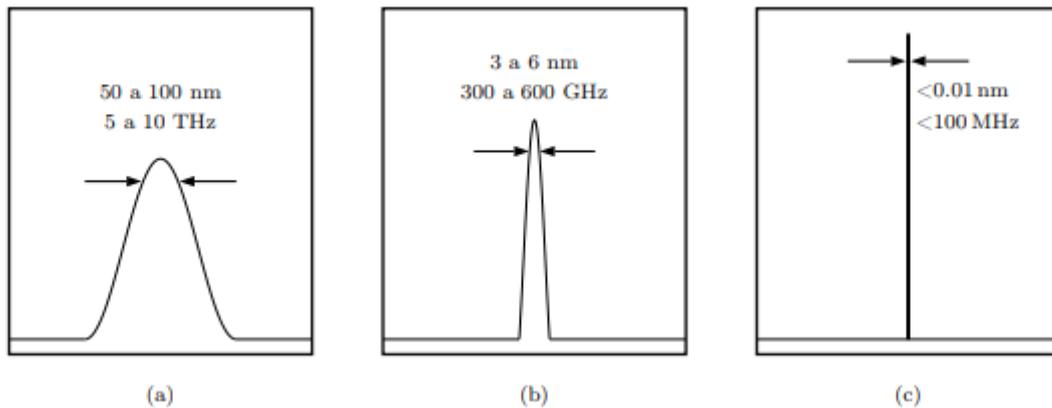
$$Potência (dBm) = 10 \log_{10} \frac{Potência}{1mW} \quad (2.4)$$

Dessa maneira  $1\mu W$  corresponde a - 30dBm. Geralmente um diodo emissor de luz lança potências de ~10dBm (AGRAWAL, 2014). Ressalta-se que para a elaboração de um bom projeto de rede FTTX a potência de lançamento é extremamente importante no cálculo da dimensão da rede e da qualidade do sinal a ser disponibilizado aos usuários.

### 2.5.2.1 Transmissores ópticos: Emissores de Luz (LEDs)

KEISER, 2014, define que a principal diferença entre LEDs e diodos lasers está na saída óptica, ou seja, a saída de um LED é incoerente (dispersa), enquanto a do laser é coerente. Desse modo, na primeira não existe cavidade óptica isso implica em uma largura de onda ampla. Na segunda situação há uma coerência espacial e temporal, fato que garante uma saída monocromática e direcional. A figura 2.12 mostra a característica de saída dos LEDs e dos lasers.

**Figura 2.12:** Representação dos espectros de saída. a) LED; b) Laser FB; c) Laser DFB



**Fonte:** Adaptado de BOAVIDA, 2009.

Essas características garantem a escolha correta da fibra quando se projeta o sistema de comunicação. O diodo laser, por exemplo, pode ser usado tanto em fibras monomodo quanto na multimodo, por outro lado, os LEDs são usados em fibras multimodo, pois nelas é possível aproveitar alguma potência da larga emissão espectral (KEISER, 2014).

Em sistemas de comunicação que exigem baixas taxas de informações (100-200Mbps), com potência de dezenas de microwatts e acoplada a fibras multimodo, costumam-se usar LEDs, além disso tais estruturas apresentam as seguintes vantagens em relação aos lasers (SENIOR, 2009):

- **Fabricação simples** – Não há lentes faceadas e sua estrutura é mais simples;
- **Custo** – Devido a fabricação simplificada ele custa menos que os lasers;
- **Confiabilidade** – São resistentes a auto pulsação e a ruídos;
- **Temperatura** – Apresentam maior resistência a variações térmicas;
- **Circuito de alimentação** – Devido a pouca dependência de variações térmicas e baixas correntes de acionamento, o circuito de alimentação das fontes por LEDs são mais simples;
- **Linearidade** – A relação corrente de acionamento e saída de luz é mais linear nos LEDs, vide figura 2.13 a.

Segundo GOWER, 1993, para se estimar a potência interna gerada por um LED a uma dada corrente  $I$ , utiliza-se a equação 2.5.

$$P_{int} = \eta_{int} \left( \frac{\Psi\omega}{q} \right) I \quad (2.5)$$

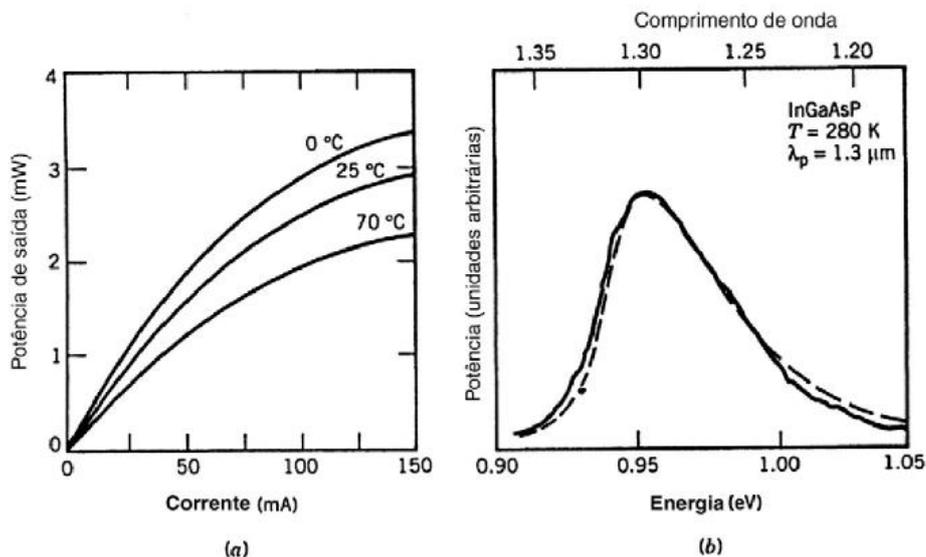
Onde,  $\Psi\omega$  representa a energia de um fóton,  $\eta_{int}$  a eficiência quântica interna e  $I/q$  a taxa de injeção de portadoras. Considerando  $\eta_{ext}$  como a fração de fótons que escapam do dispositivo a potência emitida pode ser encontrada por 2.6.

$$P_e = \eta_{ext} P_{int} \quad (2.6)$$

A figura 2.13 mostra a relação entre a potência de saída e a corrente que alimenta o LED. Observa-se, pelo gráfico “a” na figura, que a potência diminui com aumento da temperatura na região ativa, além da responsividade torna-se menor a medida que a corrente atinge valores elevados.

No gráfico b, figura 2.13, é possível inferir que a máxima potência se encontra numa região com uma taxa de energia de 0,95 pu, além disso percebe-se o tamanho da largura de spectral ( $\Delta\gamma = 50 - 60nm$ ) e a justificativa de se utilizar o sistema apenas em redes locais.

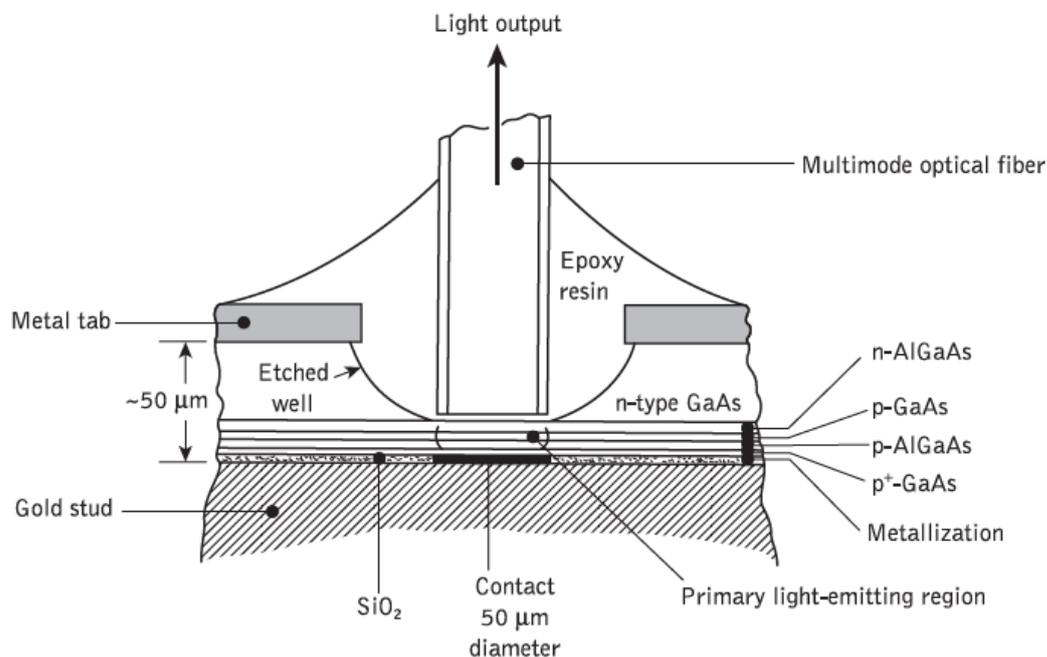
**Figura 2.13:** Curvas de potência-corrente em várias temperaturas; (b) espectro da luz emitida por um típico LED em 1,3  $\mu m$ .



Fonte: Adaptado AGRAWAL, 2014.

As estruturas dos LEDs podem ser classificadas tanto pela emissão quanto pela superfície da borda. Existem vários tipos de apresentações, no entanto, a mais conhecida e eficiente é a estrutura de *Burrus* (SENIOR, 2009).

**Figura 2.14:** Estrutura de AlGaAs superfície de emissão de um LED



**Fonte:** Adaptado de SENIOR, 2009 *aput* BURRUS; MILLER 1971.

Observa-se que nessa estrutura a área de emissão apresenta pequenas dimensões o que é compatível com o pequeno diâmetro da fibra, tornando o acoplamento eficiente e com reduzida perda na superfície. Percebe-se também que na área chamada de etched well (poço corroído) ocorre uma aproximação da FO à área emissiva, melhorando dessa forma o desempenho da estrutura (GOWER, 1993). Informações mais detalhadas sobre a estrutura dos LEDs podem ser encontradas no cap. 07 da obra de Senior, 2009.

### 2.5.2.2 Transmissores ópticos: O laser

Conforme dito anteriormente, nas comunicações em que há necessidade de maiores larguras de banda (~200 MHz), o diodo laser de injeção semiconductor (DL) é preferível em relação ao LED. Pois eles podem ter tempo de resposta inferiores a 1ns, além de largura espectrais menores que 2nm, (vide figura 2.12- c), apresentam também a vantagem de poder acoplar dezenas a centenas de miliwatts de energia útil (KEISER, 2014).

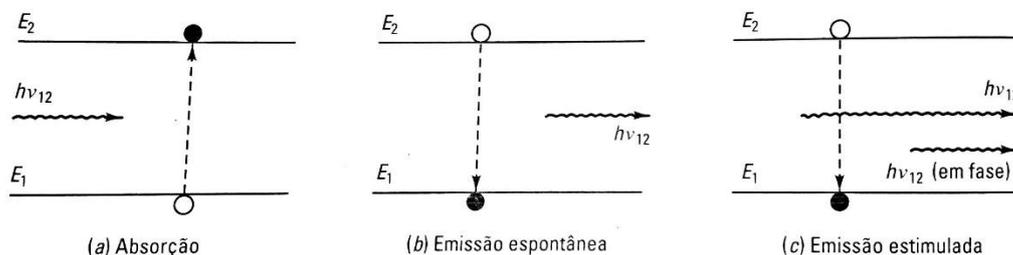
A principal desvantagem dessa estrutura está nos aspectos construtivos de confinamento de corrente em uma pequena cavidade de laser, tal meio pode ser um gás ou uma substância no estado sólido, no qual a radiação emitida deve ter uma saída coerente em espaço e tempo (BOAVIDA, 2009).

O princípio de funcionamento dos lasers pode ser dividido em três etapas: absorção de fótons, emissão espontânea e emissão estimulada. Tais processos são representados na figura 2.15, consonante a lei de Planck, quando sobrevém a transição entre dois estados ocorre uma absorção ou emissão de um fóton de energia, que interage com o sistema, isto pode excitar um elétron a mudar de  $E_1$  para  $E_2$ , posteriormente o elétron retorna ao estado fundamental emitindo assim o fóton (KEISER, 2014). Nota-se que a energia do fóton é dada pela diferença das energias no estado fundamental, equação 2.7.

$$h\nu_{12} = E_2 - E_1 \quad (2.7)$$

Na figura 2.15 c ocorre o processo de indução do elétron a fazer a transição do nível excitado para o nível fundamental através de estímulo externo, tal processo é chamado de emissão estimulada (KEISER, 2014). A característica notável dessa metodologia está no fato que todos os lasers emitem luz coerente nessa situação (AGRAWAL, 2014).

**Figura 2.15:** Três processos envolvidos na ação do laser.



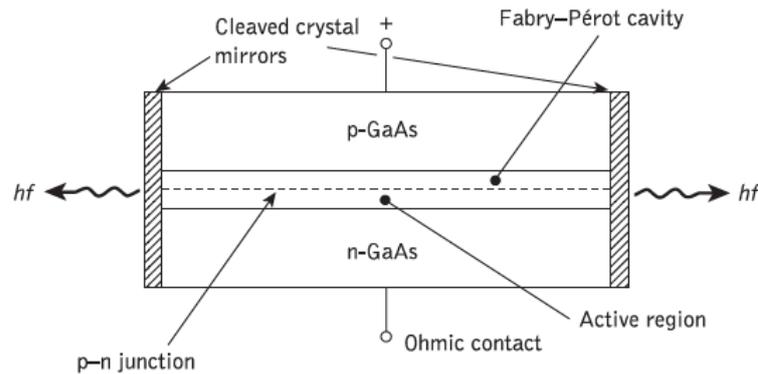
**Fonte:** Adaptado de KEISER, 2014.

A emissão estimulada junto as propriedades da junção p-n de alguns semicondutores e aos confinadores das camadas luminescente, tais como  $G_aA_s/Al_xGa_{1-x}A_s$  (figura 2.16) dá aos lasers de injeção uma série de vantagens frente aos LEDs (SENIOR, 2009), dentre elas:

- Alta irradiância, característica que garante maior potência;
- Largura de banda estreita, em torno de 1nm, fato útil para minimizar os efeitos de dispersão;
- Capacidade de modulação que se estende até a faixa de GHz;
- Relativa coerência temporal, que é considerado essencial para permitir a detecção de sinais combinados em alta frequência, no entanto só é possível fazer isso em fibras monomodo;

- Boa coerência espacial que permite que a saída seja focalizada em um ponto que tem a emissão maior que numa região dispersa, isso permite um acoplamento eficiente na entrada da fibra e um melhor aproveitamento do espectro.

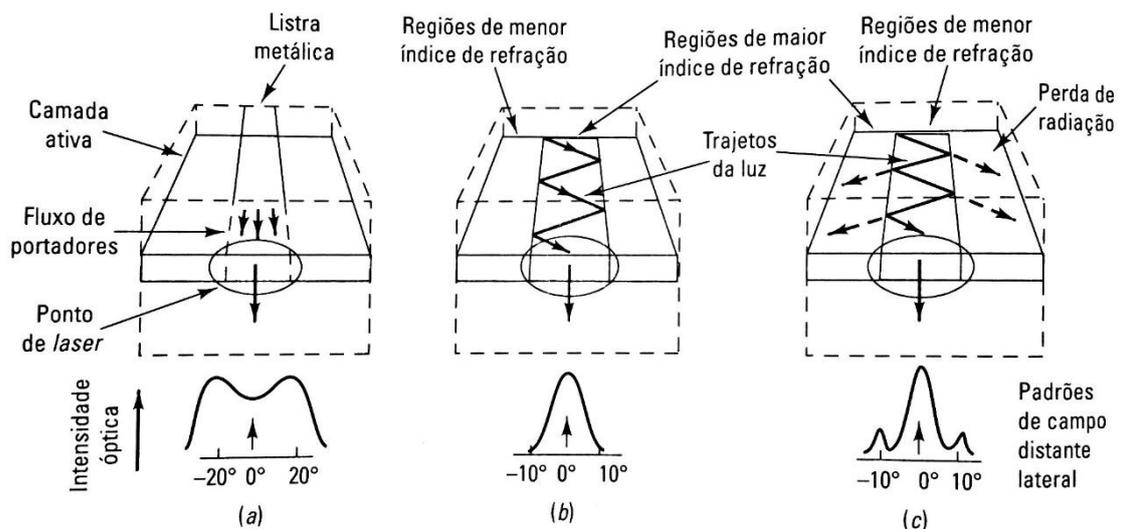
**Figura 2.16:** Estrutura de um laser de injeção a GaAs, com cavidade Fabry-Pérot



**Fonte:** Adaptado de SENIOR, 2009.

Uma questão básica para operação eficiente dos DL é que além do confinamento óptico transversal e de portadores entre as camadas de heterojunção, o fluxo de corrente deve ser limitado lateralmente a uma faixa estreita ao longo do comprimento do laser (KEISER, 2014). A figura 2.17 mostra as três estruturas fundamentais de confinamento óptico.

**Figura 2.17:** Estrutura de confinamento óptico



**Fonte:** Adaptado de Botez, 1985.

Observa-se que no item “a” da figura 2.17, chamado de laser de ganho guiado, há um confinamento lateral da luz, além disso apresenta um guia de onda fraco. O que confere baixas potências, forte instabilidade e alto astigmatismo com feixes duplos (BOTEZ, 1985).

Segundo o autor supracitado, as configurações mais estáveis são aquelas mostradas nos itens “b” e “c” da figura 2.17, onde os guias de ondas são guiados lateralmente, percebe-se que as estruturas têm índices de refração diferentes, por esse motivo os lasers são chamados de “laser guiado por índice”, se ele suporta apenas um modo fundamental, são chamados de monomodo.

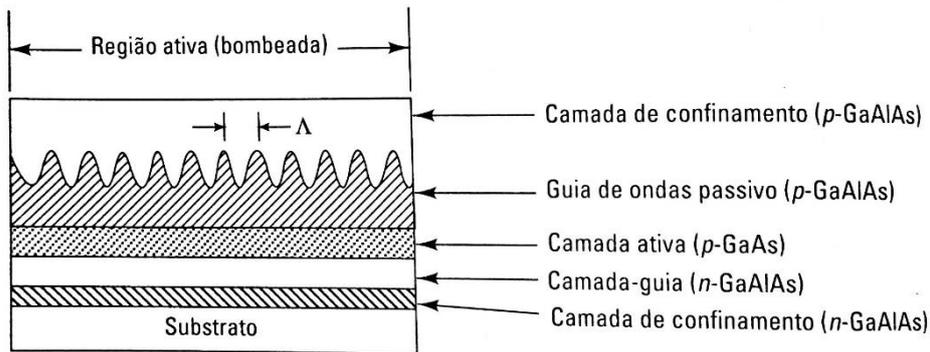
Keiser, 2014, pontua que os DL guiados por índice podem ser divididos em dois tipos. Os de *índice positivo* o qual apresenta região central com maior refração que a região exterior (figura 2.17 b) e os de *índice negativo*, que dispõe de uma região central com menor refração (figura 2.17 c), observa-se que neste caso há uma perda nos espectros de luz, por esse motivo prefere-se os DLs com índice de refração positivo.

Existem várias arquiteturas de lasers, nessa seção será discutido algumas delas, porém para o aprofundamento na temática sugere-se uma leitura nas obras de Keiser (2014), Senior (2009) ou SHIRAZ-CHAFOURI (2004), as quais foram usadas como referência nos próximos parágrafos.

#### ➤ Laser de realimentação distribuída (DFB)

A maioria dos DL práticos (figura 2.18) pertencem a essa categoria, nela a grade seletora de onda é formada por toda a região ativa, além disso ele apresenta as extremidades com revestimento antirreflexão, fato que forma um laser numa estrutura simétrica. O espectro de saída apresenta a forma de onda mostrada no item c da figura 2.17 (SHIRAZ-CHAFOURI, 2004).

**Figura 2.18:** Laser de realimentação distribuída

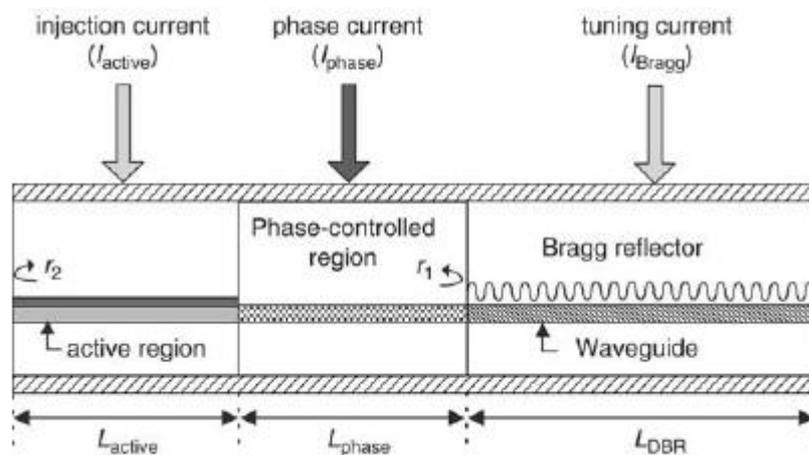


Fonte: Adaptado de KEISER, 2014.

➤ Laser refletor de Bragg distribuído (DBR)

Nessa estrutura (figura 2.19) as grades estão localizadas nas extremidades da superfície ativa normal do fluxo de luz, esta característica substitui os espelhos clivados nas pontas do ressonador óptico de Fabry-Perot (KEISER, 2014).

**Figura 2.19:** Laser de refletor Bragg distribuído (DBR)

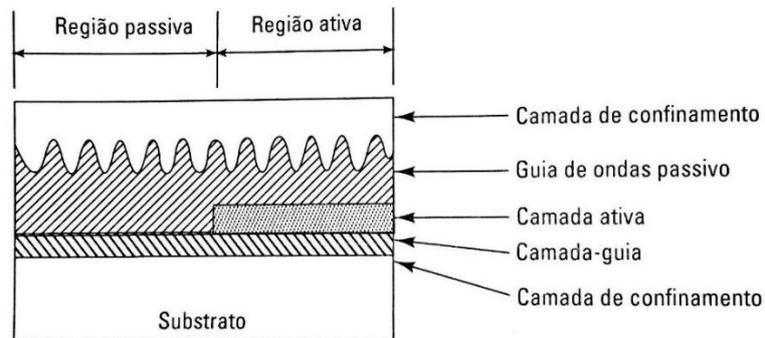


Fonte: Adaptado de SHIRAZ-CHAFOURI, 2004.

➤ Laser refletores distribuído (DR)

Nesta configuração há diversos refletores ativos e passivos distribuídos, característica que melhora as propriedades dos lasers convencionais dos tipos DFB e DBR, fato que garante uma elevada eficiência e capacidade de saída (KEISER, 2014). Vide figura 2.20.

**Figura 2.20:** Laser de refletores distribuídos (DR)

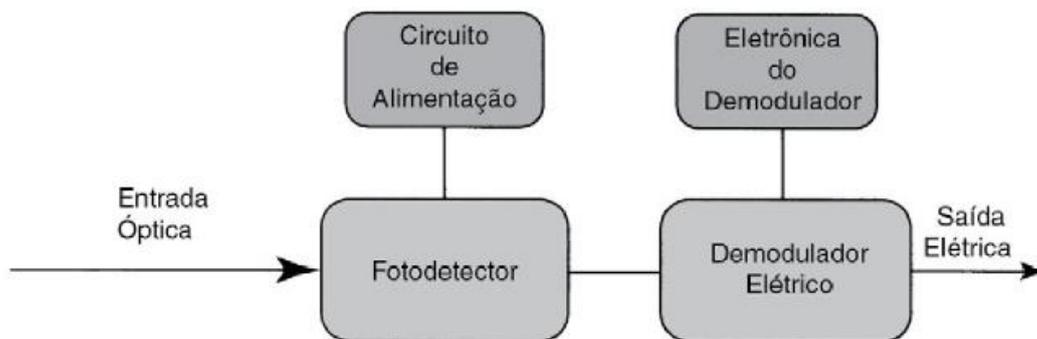


**Fonte:** Adaptado de KEISER, 2014.

### 2.5.3 Receptores Ópticos

Um receptor óptico converte um sinal de luz recebido da FO no sinal de elétrico original. A figura 2.21 mostra um diagrama de bloco básico de um receptor óptico, os principais elementos que o compõe são um acoplador, um fotodetector e um demodulador (AGRAWAL, 2014).

**Figura 2.21:** Elementos de um receptor óptico



**Fonte:** Adaptado de AGRAWAL, 2014.

Segundo o autor supracitado, o acoplador foca o sinal óptico recebido no fotodetector. O projeto do demodulador depende da forma de modulação usado pelo sistema. O uso dos formatos FSK e PSK (será discutido sobre modulação no capítulo 03), geralmente, requer a técnica de demodulação heteródinas ou homódinas. A maioria dos sistemas de ondas luminosas emprega um esquema referido como “modulação em intensidade com detecção direta” (IM/DD – *Intensity Modulation with Direct Detection*).

Na elaboração de projeto de redes com FO é de suma importância conhecer a sensibilidade do receptor, resumida como a mínima potência óptica para garantir um BER (Bit Error Rate ou taxa de erro) de  $10^{-9}$ . Ressalva-se que tal taxa mede o desempenho do sistema digital e que geralmente  $10^{-9}$  é o quesito máximo de operação (AGRAWAL, 2002).

Além do BER a relação sinal ruído (SNR) também faz parte da sensibilidade do receptor, os principais tipos de ruídos são o *ruído quântico*, *ruído de disparo* ou *balístico*, *ruído térmico*, *ruído de amplificação*. Os dois primeiros são derivados da natureza do elétron (nenhum receptor atua nessa zona), o terceiro é algo inerente ao próprio sistema enquanto o último se deve ao processo fundamental de emissão espontânea (AGRAWAL, 2014).

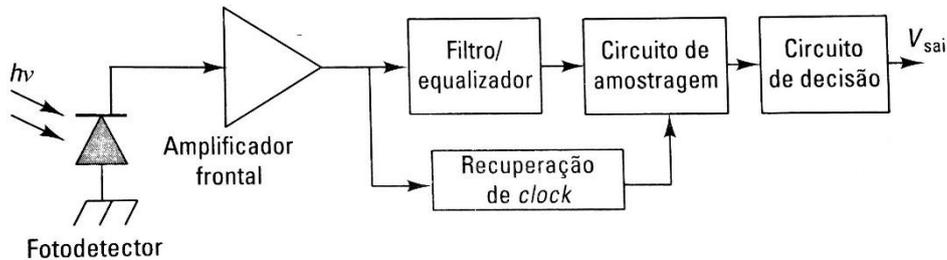
Do mesmo modo que as fontes ópticas os receptores devem apresentar alguns quesitos mínimos de desempenho e compatibilidade, dentre os quais destacam-se (SENIOR, 2009):

- *Alta sensibilidade nos comprimentos de ondas operacionais*: A primeira geração era compatível com ondas de 0,8 a 0,9 $\mu$ m, atualmente há pesquisas com receptores que captam 1,3  $\mu$ m, além de reduzirem a dispersão e atenuação do sinal;
- *Alta fidelidade*: Devem reproduzir os sinais com máxima fidelidade;
- *Larga resposta elétrica para o sinal óptico recebido*: O fotodetector deve produzir a máxima potência elétrica disponível. Isso será possível dependendo da eficiência quântica do receptor;
- *Tempo de resposta pequeno para obter uma aceitável largura de banda*: Leituras de sinais de até  $10^{12}$ Hz, característica possível devido ao advento do sistema de multiplexação.
- *Mínima introdução de ruídos*: Seletividade do sinal através do uso de filtros para reduzir ruídos.
- *Estabilidade*: Sistema deve operar com o mínimo de variações nas leituras de sinais ópticos, principalmente quando há alterações climáticas;
- *Baixa tensão de polarização*: Os detectores ideais não devem operar com excessivas tensões ou corrente de polarização.
- *Outros*: Devem ser compactos, de baixo custo e duráveis.

A figura 2.22 mostra as seções básicas de um receptor, conforme dito anteriormente, o sinal óptico que é acoplado da fonte para fibra torna-se atenuado e distorcido ao percorrê-la, a

função do receptor é a conversão óptica/elétrica, pela figura vê-se que o primeiro elemento do dispositivo é um fotodiodo pin ou avalanche, o qual produz uma corrente proporcional ao nível de potência recebida (HERMANS e STAYAERT, 2006).

**Figura 2.22:** Seções de um receptor



**Fonte:** Adaptado de KEISER, 2014.

Após o recebimento do sinal elétrico proveniente do diodo, um amplificador aumenta o ganho do sinal, que passa através de um filtro passa baixa, característica que reduz os ruídos (tal filtro define a largura de banda do receptor), posteriormente um circuito de amostragem toma as decisões de acordo com as referências do sistema (nível de limiar) (KEISER, 2014).

## 2.6 EMENDA DE FIBRA E CONECTORES ÓPTICOS

Nessa seção será explicado sobre as emendas de fibras e os tipos de conectores disponíveis no mercado, tal assunto torna-se pertinente devido ao risco de uma acentuada perda de potência quando se faz uma emenda errada ou usa-se conectores inadequados, característica que compromete todo o desempenho da rede

### 2.6.1 Emendas em fibras ópticas

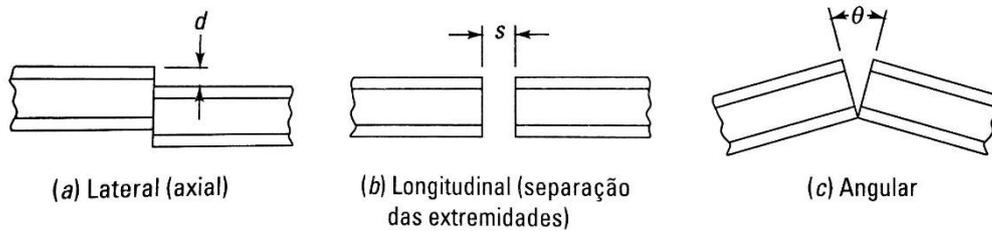
Um fato importante em qualquer instalação que utiliza fibras é o requisito de interligar fibras de modo que as perdas sejam mínimas, tais ligações são feitas na fonte óptica, no fotodetector, em pontos intermediários do cabo onde duas fibras são conectadas e em pontos intermediários de um link em que dois cabos estão ligados (KEISER, 2014).

O desalinhamento mecânico é o principal problema na união entre fibras, principalmente devido ao seu tamanho microscópico (GLOGE, 1976) (50 a 100  $\mu m$  em fibras multimodo e 9  $\mu m$  nas monomodo).

Ainda consonante ao autor supracitado, há três tipos de desalinhamento entre as fibras, conforme se verifica na figura 2.23. Na primeira situação (a) ocorre quando as fibras estão separadas a uma distância “d”, esse tipo de problema é o mais comum. No segundo caso (b)

ocorre uma separação entre as extremidades e por fim têm-se o desalinhamento angular, que ocorre quando há a formação de um ângulo entre as fibras.

**Figura 2.23: Desalinhamento mecânico.**

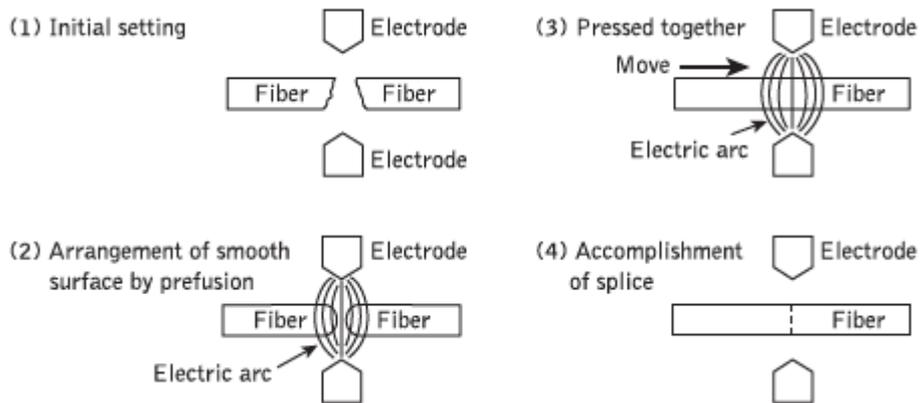
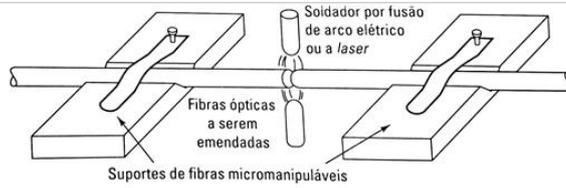


**Fonte:** KEISER, 2014.

Uma emenda de fibra pode ser definida como a junção permanente ou semipermanente entre duas fibras, são utilizadas para criar links ou em situações onde não há necessidade de conectar e desconectar a fibra com frequência. Yblon, 2005, define 3 tipos de emendas: por fusão, mecânica em canaleta em V e em tubo elástico.

Na primeira situação há colagem térmica das extremidades das fibras preparadas (tal técnica produz uma junção permanente), ela é feita por “uma máquina de emenda óptica”, as extremidades são alinhadas, aquecidas por um arco voltaico e soldadas. A figura 2.24 mostra um equipamento de soldagem utilizado para esse fim (KEISER, 2014). As perdas associadas a esse processo podem variar de 0,01 a 0,02 dB (SENIOR, 2009).

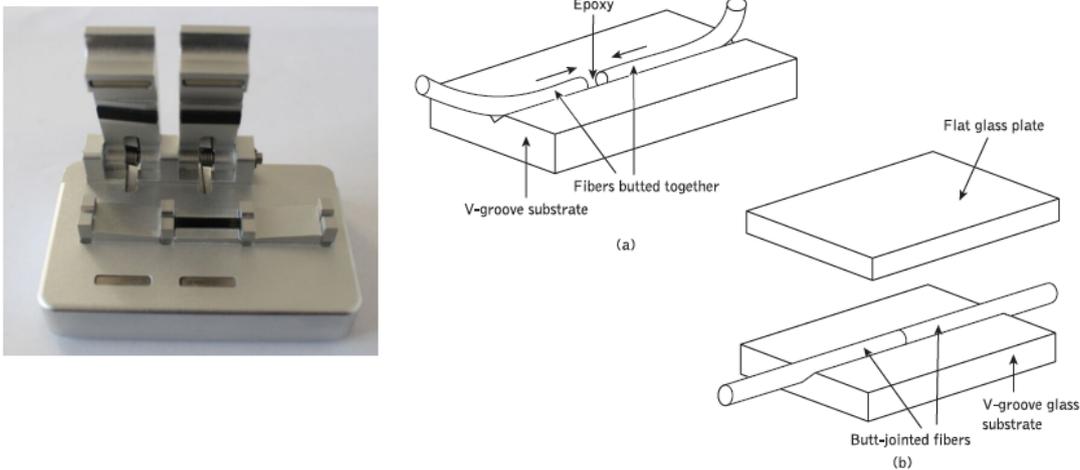
**Figura 2.24:** Emenda por fusão



**Fonte:** Adaptado de Telesystem comunicações, 2018, KEISER, 2014 e SÊNIOR 2009.

Na emenda mecânica em caneleta V, as extremidades das fibras são preparadas e colocadas juntas em um sulco no formato de um ‘V’, costuma-se colocar uma estrutura de resina epoxy entre elas. A perda desse processo pode ser 0,1 dB quando ele é feito corretamente (SENIOR 2009). A figura 2.25, ilustra a situação.

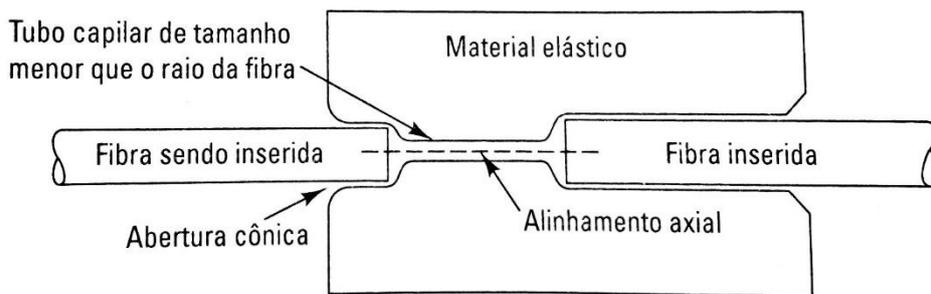
**Figura 2.25:** Emenda mecânica em canaleta em V



**Fonte:** Adaptado de SENIOR, 2009.

A emenda em tubo elástico, figura 2.26, o mecanismo da emenda consiste de um tubo feito de material elástico, o diâmetro do furo central é ligeiramente menor do que o da fibra que será emendada. Quando a fibra é inserida, ela expande o diâmetro do orifício para que o material elástico exerça uma força simétrica sobre a fibra, isso permite um alinhamento preciso e automático (KEISER, 2014).

**Figura 2.26:** Emenda Elástica

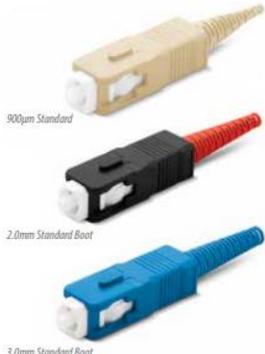
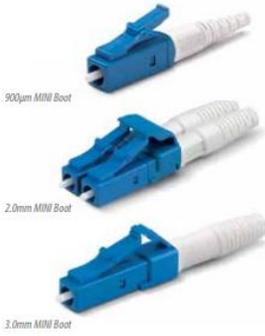


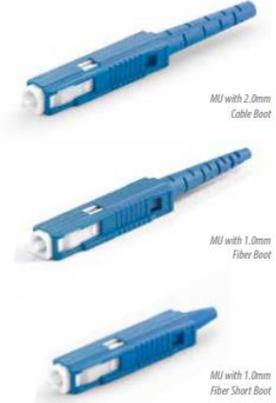
**Fonte:** KEISER, 2014.

### 2.6.2 Conectores ópticos

Existem uma variedade de conectores de fibras ópticas para inúmeras aplicações, seu uso vai de uma simples conexão monocanal (fibra-fibra) em ambientes calmos até conexões multicanais em locais hostis. A tabela 2.1 mostra os principais tipos de conectores, suas aplicações e características, usou-se como referência um catálogo da empresa Senko (2011).

**Tabela 2.1:** Conectores mais comuns utilizados em redes de fibra ópticas.

Tipo de Conector	Perdas	Aplicações
<p data-bbox="300 360 453 394">Conetor ST</p>  <p data-bbox="225 510 316 524">900µm Standard Boot</p> <p data-bbox="225 636 316 649">2.0mm Standard Boot</p> <p data-bbox="225 748 316 761">3.0mm Standard Boot</p>	<p data-bbox="616 360 925 562">Preso por torção, gera perdas de 0,2 a 0,5 dB quando usado junto ao adaptador.</p>	<p data-bbox="951 360 1279 450">Fibras multimodo e monomodo.</p>
<p data-bbox="292 792 464 826">Conector SC</p>  <p data-bbox="236 949 311 963">900µm Standard</p> <p data-bbox="236 1061 327 1075">2.0mm Standard Boot</p> <p data-bbox="236 1173 327 1187">3.0mm Standard Boot</p>	<p data-bbox="616 792 925 882">Gera perdas de 0,12 a 0,30 dB</p>	<p data-bbox="951 792 1279 1039">Usado em rede de telecomunicações em geral, tais como sistema ATM, LAN, MAN, WAN, etc.</p>
<p data-bbox="292 1225 464 1258">Conector LC</p>  <p data-bbox="236 1370 311 1384">900µm MINI Boot</p> <p data-bbox="236 1482 311 1496">2.0mm MINI Boot</p> <p data-bbox="236 1594 311 1608">3.0mm MINI Boot</p>	<p data-bbox="616 1225 925 1314">Perdas variam 0,08 a 0,25 dB.</p>	<p data-bbox="951 1225 1279 1314">Aplicações em TV a cabo, LAN, WAN.</p>
<p data-bbox="292 1650 464 1684">Conecto UM</p>	<p data-bbox="616 1650 925 1740">Perdas variam 0,10 a 0,30 dB</p>	<p data-bbox="951 1650 1279 1796">Aplicações montadas em placas e montagem de distribuição de cabos.</p>

		
<p style="text-align: center;"><b>Conector MPO</b></p> 	<p>Perdas variando de 0,25 a 1,00 dB.</p>	<p>Podem acoplar até 12 fibras monomodo ou multimodo. Permite alta densidade de conexões.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Conector MT</b></p> 	<p>Faixa de perdas é de 0,25 a 0,75 dB</p>	<p>Aplicações em LANs e MANs</p>

**Fonte:** Adaptado de SENKO, 2011.

## 2.7 PADRÃO DE CORES DAS FIBRAS DOS CABOS ÓPTICOS

Quando se elabora um projeto de rede de fibras óptica torna-se inerente o conhecimento prévio de algumas normas e resoluções da ANATEL e da ABNT, tal assunto será detalhado no capítulo 05, que abordará sobre a laboração do projeto. No entanto, nesta seção, tratar-se-á sobre o padrão de cores dos cabos, pois isto é um assunto importante para a implementação da rede FTTX.

Segundo a NBR 14566 da ABNT as fibras ópticas devem ser identificadas conforme a tabela 2.2 e os cabos consoante com a tabela 2.3.

**Tabela 2.2:** Padrão de cores das fibras

Fibra	Cor- Padrão ABNT	Cor Padrão EIA598-A
1	Verde	Azul
2	Amarelo	Laranja
3	Branco	Verde
4	Azul	Marrom
5	Vermelho	Cinza
6	Violeta	Branco
7	Marrom	Vermelho
8	Rosa	Preto
9	Preto	Amarelo
10	Cinza	Violeta
11	Laranja	Rosa
12	Aqua	Aqua

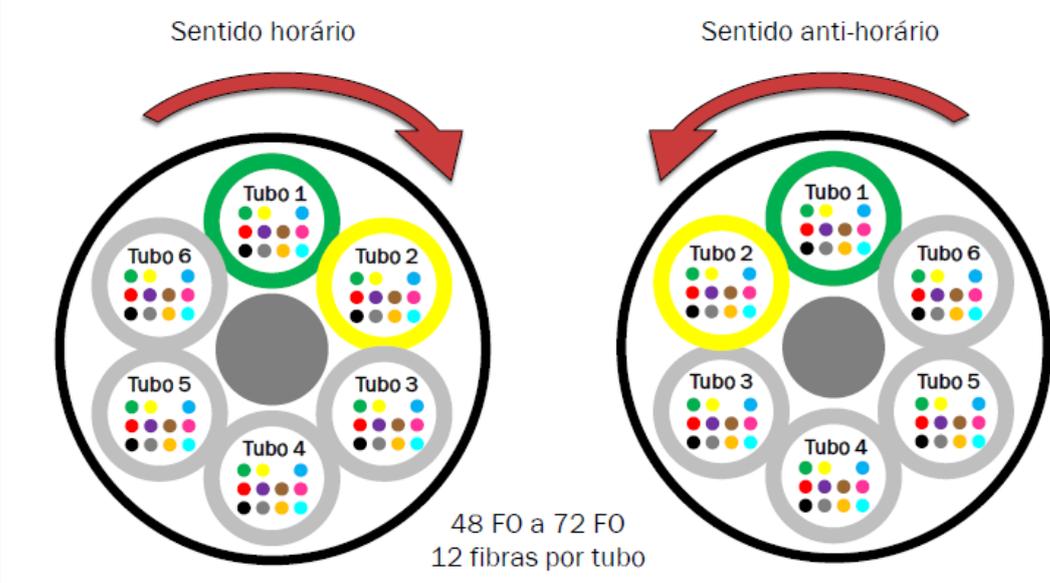
**Tabela 2.3:** Padrão de cores dos grupos de fibras

Tubos	Cor- Padrão ABNT	Cor Padrão EIA598-A
1	Verde	Azul
2	Amarelo	Laranja
3	Branco	Verde
4	Branco	Marrom
5	Branco	Cinza
6	Branco	Branco
7	Branco	Vermelho
8	Branco	Preto
9	Branco	Amarelo
10	Branco	Violeta
11	Branco	Rosa
12	Branco	Aqua

Nota-se que a tabela 2.2 traz duas sequências de cores. A primeira definida pela ABNT que é a sequência utilizada no Brasil por todos os fabricantes nacionais na construção de seus cabos. Enquanto a segunda, conhecido como “padrão internacional”, foi definida por um instituto de normatização americano chamado EIA.

Pela tabela 2.3 percebe-se que o padrão ABNT coloriu apenas os tubos 1 (verde) e 2 (amarelo) deixando os demais naturais. O primeiro, chamado de “piloto”, será sempre o tubo 1. Enquanto o amarelo, também conhecido como “direcional”, será sempre o tubo 2 e determinará se a contagem será no sentido horário ou anti-horário. Tal contagem deve ser feita no lançamento dos cabos afim de se conectar as fibras corretamente. A figura 2.27 exemplifica essa situação.

**Figura 2.27:** Piloto e sequencial para cabos padrão ABNT



Fonte: COUTO, 2015.

## CAPÍTULO 03: REDES ÓPTICAS

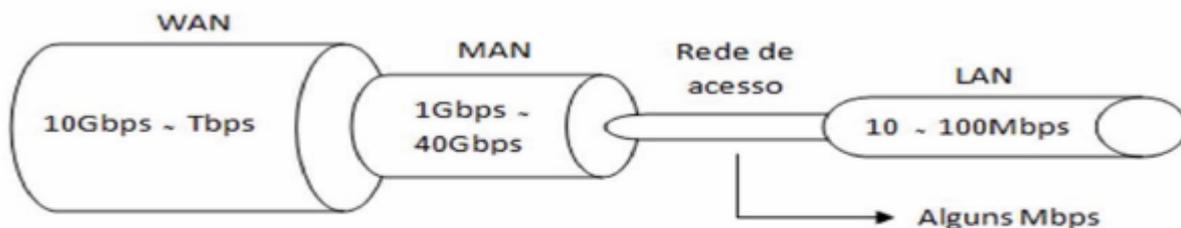
### 3.1 Redes de telecomunicação

Podem-se classificar os sistemas de rede em três configurações básicas, a primeira delas, chamadas de WANs (Wide Area Network) cuja área de abrangência pode englobar um país ou continente. A segunda em redes metropolitanas MANs (Metro Area Networks) que cobrem dezenas de quilômetros atingem cidades ou regiões metropolitanas. E finalmente as redes LANs (Local Area Network) que alcançam pequenas dimensões, ou seja, apresentam distribuição local (TANENBAUM, 2003).

Segundo autor supracitado, uma WANs apresenta uma taxa de transmissão variando de Gbps a Tbps. As MANs podem oferecer taxa de 1 a 40 Gbps enquanto uma LANs disponibiliza dados variando entre Mbps a Gbps.

Entre uma MANs e uma LANs encontram-se a rede de acesso ou **última milha**, responsável pela conexão entre a central do provedor de serviço (Central Office – CO) e os assinantes. Percebe-se que esta rede é um dos principais limitadores nos sistemas de telecomunicação (SILVA, 2010). A figura 3.1 representa a barreira imposta pela rede de acesso.

Figura 3.1 Rede de acesso como ‘gargalo’ na transmissão de dados.



Fonte: SILVA, 2010.

A crescente demanda por largura de banda pelos usuários tornou as redes DSL (Linha Digital de Assinante e Modem a cabo) obsoletas, dessa forma as redes por FO ganharam um espaço vital para suprir essa demanda (MOHAMMAD e MOUFTAH, 2003).

Atualmente, as redes ópticas passivas (PON – Passive Optical Networks) baseadas em multiplexação por divisão no tempo (TDM – PON – Time Multiplexing – PON) e as baseadas em multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM – PON – Wavelength Division Multiplexing) tem apresentado boa resposta ao aumento de banda demandado. Sendo que as

tecnologias empregadas nesta última têm se tornado mais popular (NOWAK e MURPHY, 2005).

Silva, 2010, delimita que as principais causas para tornar as WDM na vanguarda frente às TDM residem no fato que estas apresentam menor segurança e não podem ser escaláveis devido à perda por divisão de potência nos dispositivos ópticos, fato que limita a quantidade de ONU (Optical Network Unit). No entanto ela ainda encontra-se em fase de adaptação ao sistema.

Historicamente, as tecnologias de rede podem, basicamente, ser divididas em:

- I. Sem fio,
- II. xDSL;
- III. Modem a cabo;
- IV. Fibra óptica.

### **3.1.1 Redes sem fio**

Apresentam o menor custo, se comparadas às demais e são subdividas pela tecnologia empregada entre Wifi e WiMAX. A primeira delas oferece uma frequência variando de 2,4 a 5 GHz, provê mais ou menos 54 Mbps e apresentam uma abrangência de até 100 m, geralmente são aplicadas em escalas restritas, tais como residências, aeroportos, livrarias e etc. A WiMAX apresenta maior taxa de transmissão (70 Mbps) e cobrem um raio de até 5Km, podendo ser empregadas em grandes centros urbanos (SILVA, 2010).

### **3.1.2 xDSL e Modem a cabo**

Nessa vertente de rede as companhias de telecomunicação utilizaram a estrutura de metal já existe na transmissão de voz (linhas telefônicas) e proveram mais largura de banda. A xDSL utiliza a arquitetura ponto-a-ponto, tendo como principal limitante o ruído da diafonia entre os cabos metálicos. Desse modo a largura de banda dependia do nível de ruído que dependia do comprimento dos cabos de cobre (PADJEN, 2004).

As tecnologias xDSL podem ser classificadas em: ADSL (DSL – assimétrica), VDSL (DSL de alta velocidade), IDSL (DSL baseada em ISDN), G. SHDSL (DSL simétrica de alta velocidade) e SDSL (DSL – simétrica). Entende-se por simétrica a igualdade entre a transmissão de upstream e de downstream. Na tabela 3.1 é possível analisar as taxas de transmissão e o alcance das redes (EFFENBERGER *et al*, 2007).

**Tabela 3.1:** Tecnologia DSL: Alcance x taxa

Tecnologia	Downstream	Upstream	Alcance
ADSL	8 Mbps	1 Mbps	5,5 Km
	1,5 Mbps	640 Kbps	
VDSL	51 – 55 Mbps	1,6 – 2,3 Mbps	0,3 Km
	13 Mbps	1,6 – 2,3 Mbps	1,5 Km
IDSL	144 Kbps	144 Kbps	5,5 Km
G. SHDSL	2,3 Mbps – 192	2,3 Mbps – 192	8,52 Km
		Kbps	
SDSL	1168 Kbps	1168 Kbps	3,65 Km

Da mesma maneira que as empresas de telefone, as companhias de TV a cabo ofereceram maior acesso à banda larga utilizando tecnologia Modem a cabo, a qual utiliza radiofrequência na infraestrutura de transmissão das TVs por assinatura. Visando diminuir as perdas nos cabos coaxiais de cobre, tais empresa iniciaram a fazer uso de fibras ópticas nos troncos de distribuição, isto é, próximo à central de serviço. Esta tecnologia mista ficou conhecida como planta Híbrida Óptica-Coaxial (HFC) (SILVA, 2010).

### 3.1.3 Redes de fibras ópticas

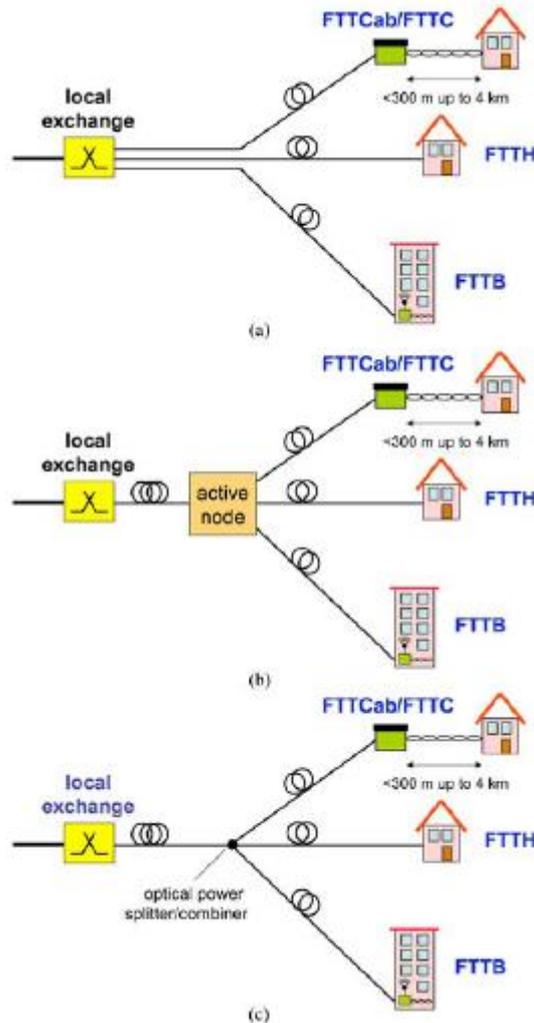
Conforme descrito anteriormente, a crescente demanda por largura de banda tornou o uso de FO na rede de telecomunicação viável (apesar dos equipamentos serem mais caras) pois é possível conectar milhares de clientes. Além disso, a rede por fibra oferece uma taxa de transmissão superior se comparada aos cabos de cobre, tem baixa perda e imunidade a ruídos eletromagnéticos (KOONEN, 2006).

A redes ópticas são divididas, fisicamente, em duas categorias de acordo com a distribuição dos cabos: arquitetura ponto – a – ponto (PTP) e ponto multiponto (PMP), conforme se observa na figura 3.2. Na primeira topologia o número de FO é igual à quantidade clientes, dessa forma extremamente cara para o desenvolvimento massivo. No segundo caso, diversos usuários compartilham um mesmo “nó” remoto (RN) e recebem um determinado enlace óptico (SILVA, 2010).

Além da divisão física, as redes podem ser ativas ou passivas, na primeira situação o RN é alimentado eletricamente (AON – Rede Óptica Ativa) e no segundo caso não há

fornecimento de energia para o “nó”, tais redes são chamadas de PON (Rede Óptica Passiva) (KOONEN, 2006).

**Figura 3.2:** Arquitetura de redes de FO. a) Ponto-a-ponto. b) AON. c) PON



**Fonte:** Adaptado de KOONEN, 2006.

Segundo a publicação de EFFENBERGER *et al*, 2007, A decisão primordial para o uso de tecnologia PON nasce do baixo custo dos equipamentos, na baixa manutenção e implantação deles quando comparada a AON, pois não dependem de estruturas alimentadas eletricamente. Além disso as redes passivas são expansíveis e menos sujeitas a intempéries.

## 3.2 Redes Passivas de Fibra Óptica

O uso da PON iniciou nos anos 90 com a criação do FSAN (Full Service Access Network) composto por grandes operadoras de redes. O objetivo era criar um padrão para incremento de soluções completas para vídeo, dados e voz. A partir desse ponto surgiram duas opções: uma para protocolo e outra para a planta física, sendo elas chamadas de ATM e PON, respectivamente. O ATM (Asynchronous Transfer Mode) era viável para múltiplos protocolos e a PON era a solução mais favorável para banda larga em grande escala (MARMUR e SHRAGA, 2003).

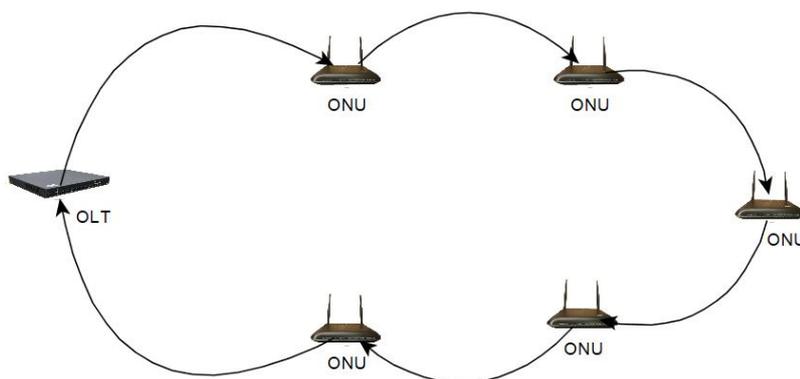
### 3.2.1 Topologia das Redes PON

As redes PON apresentam três topologias básicas: Anel, Árvore e Barramento (PEREIRA, 2013).

- **Topologia em Anel**

A figura 3.3 mostra a topologia citada, nota-se que cada ONU é conectada a um link, a qual cria uma segmentação de redes ONUs até a OLT. Nessa situação a ONU funciona como um divisor óptico ativo. Ela apresenta um caminho duplo onde pode receber sinais nos dois sentidos, no entanto sem um adequando mecanismo de segurança o tráfego de downstream pode ser cortado.

**Figura 3.3:** Topologia em anel

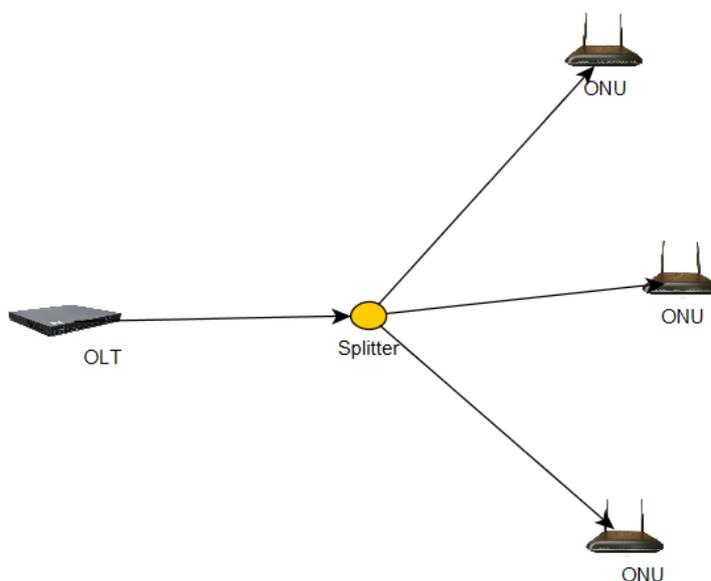


**Fonte:** Elaborado pelo autor, software yEd Graph Editor.

- **Topologia em Árvore**

Nessa topologia são utilizados divisores ópticos passivos (splitters) para conectar diversas ONU as OLT. Quando se elabora projetos FTTH geralmente utiliza-se essa disposição em redes balanceadas.

**Figura 3.4:** Topologia em árvore

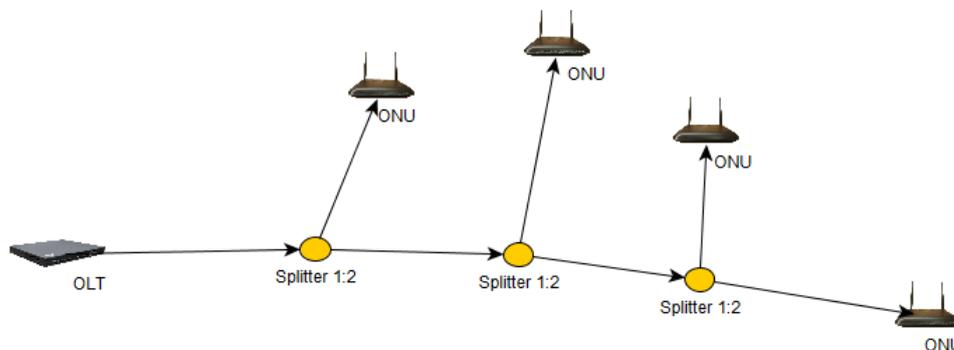


**Fonte:** Elaborado pelo autor, software yEd Graph Editor.

- **Topologia em Barramento**

Nessa estrutura a interconexão entre as OLT e as ONUs utilizam vários splitters, com razão 1:2, sendo um canal com a OLT e o outro com a ONU. Utiliza-se tal topologia para redes desbalanceadas.

**Figura 3.5:** Topologia em barramento

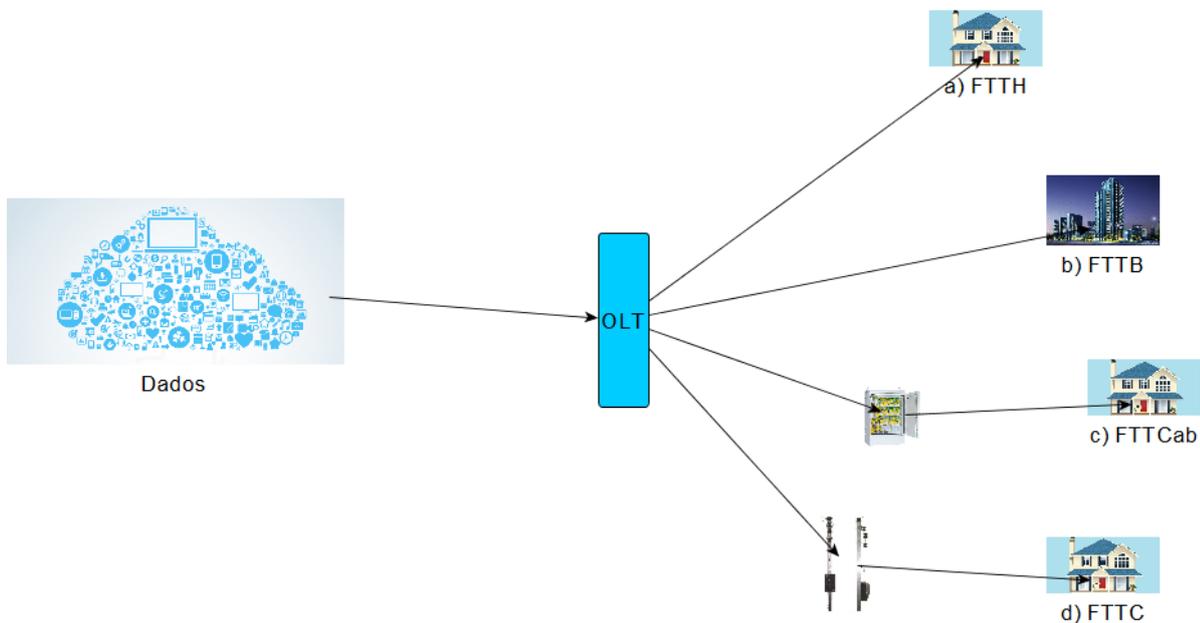


**Fonte:** Elaborado pelo autor, software yEd Graph Editor.

Consonante ao delimitado anteriormente, nas redes passivas ópticas os dados são transmitidos da central de telecomunicação até o cliente sem o uso de energia elétrica. Para tal através da tecnologia WDM ou TDM (descritas nos próximos tópicos) os usuários recebem o sinal por divisores ópticos. As estruturas utilizadas nas PONs como rede de acesso à última milha são (WEIS, et al 2009):

- FTTH (Fiber To The Home) fibra até a casa do usuário, disponibilizando uma largura de banda de 30 a 100 Mbps, esta será o foco desse trabalho, no entanto, as demais podem ser projetadas de maneira semelhante.
- FTTB (Fiber To The Building) Fibra até o prédio. Os usuários são atendidos com até 10 Mbps;
- FTTCab (Fiber To The Cabinet) Fibra até o gabinete, predominando uma distância de 100 a 300 metros dos usuários.
- FTTC (Fiber To The CURB) Fibra até a calçada . A figura 3.6 representa todas as configurações expostas acima.
- 

**Figura 3.6:** Configurações das Redes FTTX



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.2.2 Componentes da rede PON

Essa seção caracterizará de maneira sucinta os principais componentes de um sistema PON. Maiores detalhes sobre o funcionamento de tais dispositivos podem ser verificados no capítulo 02, no tópico 2.5.

- OLT – Terminal de Fibra óptica

Esse equipamento encontra-se na central de serviços da operadora, ele recebe o sinal do conversor de mídia (dispositivo que transforma o sinal elétrico em luminoso) e transmite para os usuários através dos splitters passivos, elementos responsáveis pela divisão com combinação do sinal óptico no sentido de downstream e upstream. Os principais serviços prestados por uma OLT é o fornecimento de VoIP, HDTV e Internet. A distância de transmissão de uma OLT pode chegar a 20 km (PEREIRA, 2013). Vide figura 3.7.

**Figura 3.7:** OLT



**Fonte:** Catálogo da Fiberopticel, 2018.

- Racks e DIO

Os DIO, Distribuidor de Interno Óptico, acomodam o cabo proveniente da rede externa, o pigtail que faz sua terminação e os adaptadores fêmea-fêmea que serão utilizados na interligação dos equipamentos ativos. Racks são utilizados para acomodar o DIO e os equipamentos ativos (OLT, roteadores, etc). (Armários onde os dispositivos são guardados na central office). A figura 3.8 mostra um tipo de DIO utilizado pelos provedores.

**Figura 3.8:** Distribuidor interno óptico



**Fonte:** Catálogo da Fiberopticel, 2018.

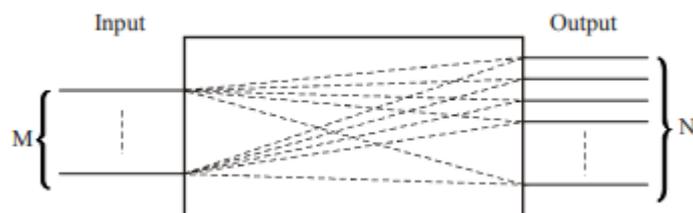
- Splitters - Divisores Ópticos Passivos

O splitter é responsável por dividir a potência do sinal gerado. Não necessita de fonte de alimentação elétrica (ARTINEZ, LEGUIZAMÓN e FAJARDO, 2016). Possuem 3 ou mais portas, situam-se entre a OLT e as ONUs, além disso tornam possível a topologia PMP (SHI et al, 2010).

Na figura 3.9 é possível verificar um splitter com M entradas e N saídas, geralmente o número de saídas (NS) do equipamento é dada pela equação 3.1. Em que  $N \geq 1,2,3,4 \dots$  A potência óptica é então dividida de acordo com a razão utilizada. Além disso, o Splitter é um divisor óptico bidirecional, onde o sinal óptico é atenuado pela mesma quantidade de perdas para ambos os sentidos e é o componente que oferece menos atenuação (PEREIRA, 2013).

$$NS = 2^N \quad (3.1)$$

**Figura 3.9:** Divisor passivo óptico



**Fonte:** Adaptado de PEREIRA, 2013.

- ONU – Unidade de Rede Óptica

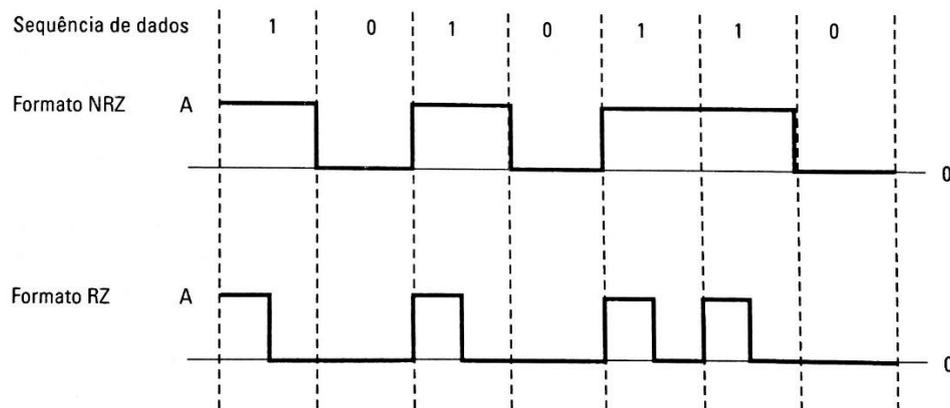
As ONUs se localizam próximas aos clientes, recebem os dados das OLTs e convertem o sinal óptico em elétrico, fornecendo, desse modo, as informações requeridas pelo usuário.

Além disso, tais equipamentos recebem apenas dados referidas a eles, ignorando os demais (ITU, 2009).

Os receptores ópticos devem ser capazes de extrair precisamente a *informação de temporização* do canal de entrada. Para Keiser 2014, o método mais simples para se codificar um dado é através do código unipolar de não retorno a zero (NRZ). Unipolar porque 1 é representado por um pulso de voltagem ou de luz, enquanto em zero nada é transmitido.

Dessa forma o processo transforma o sinal de luz em um procedimento de liga e desliga (*on and off*), conhecido como chaveamento de amplitude (ASK) ou chaveamento tipo on-off (OOK). O principal problema do código NRZ está na falta da capacidade de temporização quando se tem uma longa sequência de “1” ou “0”, para o contorno dessa situação, desde que se tenha uma boa margem de banda, usa-se o código *retorno zero* (RZ), que tem uma transição de amplitude a cada bit quando um binário 1 é transmitido e nenhuma quando for um binário zero (KEISER, 2014). Na figura 3.10 é possível verificar os códigos NRZ e RZ.

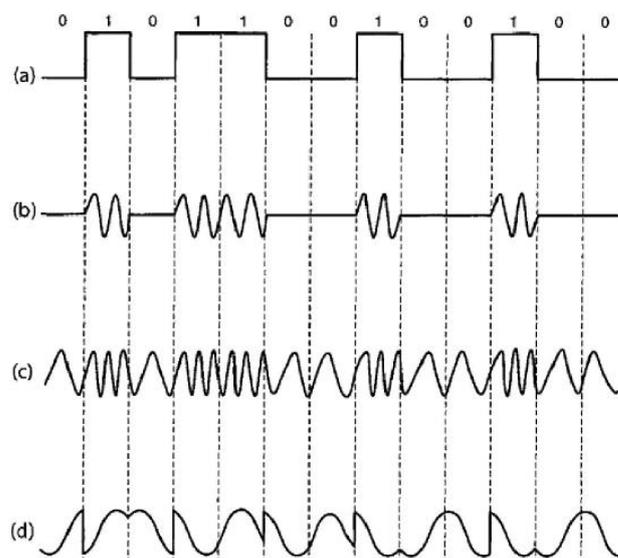
**Figura 3.10:** Padrão de código NRZ e RZ



**Fonte:** Adaptado de KEISER 2014.

Atualmente o formato RZ é usado quase exclusivamente para canais WDM projetados para operação a 40 Gb/s ou mais. Da mesma forma que nas modulações analógicas as digitais também são moduladas pela amplitude (ASK – Amplitude Shift Keying), por deslocamento de frequência (FSK – frequency Shift Keying) ou fase (PSK – Phase shift Keying). A figura 3.11 mostra essas modulações. Dentre elas a PSK é a mais utilizada em sistemas ópticos na atualidade (AGRAWAL, 2014).

**Figura 3.11:** (a) Sequência de bits elétricos e os resultantes padrões de campo elétrico após conversão para o domínio óptico usando os formatos de modulação (b) ASK, (c) FSK e (d) PSK.



Fonte: Adaptado de AGRAWAL, 2014.

- ODN – Rede de Distribuição Óptica

A ODN compõe o meio de transmissão óptica entre a OLT e a conexão com as ONUs e apresenta algumas características que devem ser consideradas, tais como utilização de fibra óptica monomodo, conectores de fibra óptica, componentes passivos de ramificação, atenuadores ópticos passivos e emendas, tais componentes foram descritos no capítulo 02. (PEREIRA, 2013).

### 3.3 Tecnologia multiponto em redes PON

Koonen 2006, define que há 4 técnicas básicas de multiplexação, as quais são utilizadas nas redes passivas multiponto e permitem o livre tráfego de downstream e upstream, são elas:

- Multiplexação por Divisão de Tempo (Time Division Multiple Access - TDMA);
- Multiplexação por Subportadora (Subcarrier Multiple Access -SCMA);
- Multiplexação por Divisão de Onda (Wavelength Division Multiple Access – WDMA ou WDM);
- Multiplexação por Divisão de Código Óptico (Optical Code Division Multiple Access - OCDMA).

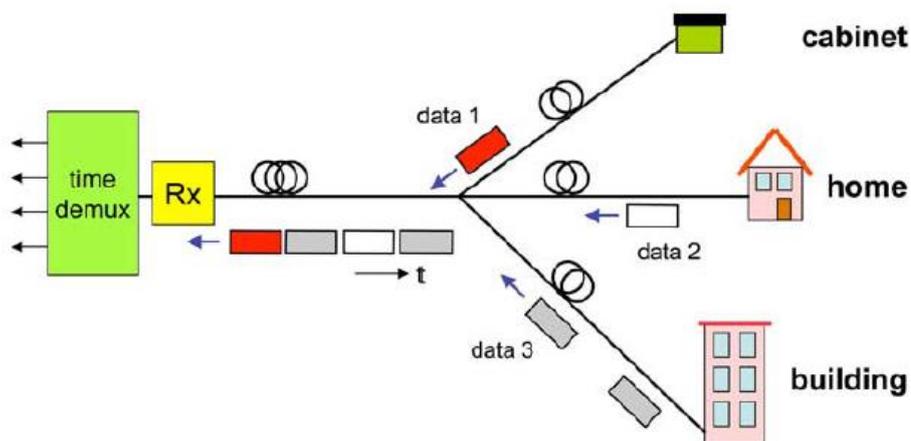
Nas próximas seções serão descritas tais técnicas. Para informações complementares sugere-se a leitura dos textos de Keiser, 2014, AGRAWAL, 2014 e Koonen 2006.

### 3.3.1 Multiplexação por Divisão de Tempo – TDMA ou TDM

No sistema TDMA, representado pela figura 3.12, os dados de upstream provenientes das ONUs são temporizados no splitter, que requerem uma sincronização cuidadosa na transmissão dos pacotes de informação que os combinando e os enviando para a central óptica (KOONEN, 2006) na OLT ocorre a alocação, junção e interpretação dos dados recebidos.

No downstream cada ONU recebem todas as informações da OLT e filtra as informações que lhes são destinados. As faixas de onda em downstream variam de 1480 nm a 1500 nm enquanto em upstream a variação é de 1260 nm a 1360 nm (SILVA, 2010).

**Figura 3.12:** Rede Passiva TDM



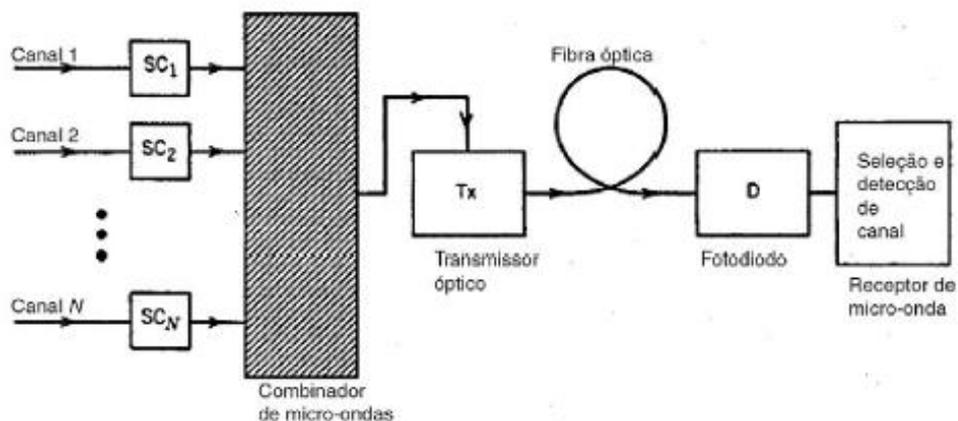
Fonte: Adaptado de KOONEN, 2006.

### 3.3.2 Multiplexação por Subportadora (SCMA ou SCM)

Em algumas aplicações de LAN e MAN, as taxas de informações são relativamente baixas, mas o número de canais pode ser muito grande. Um exemplo são as TVs a cabo. O conceito básico de *SCM* é o emprego de micro-ondas como portadora na multiplexação. Atualmente esse sistema é combinado com a tecnologia WDM que pode transmitir até 1 THz ressalva-se que a combinação com TDM também é possível. Basicamente, um sinal de rádio ou micro-onda é enviado por fibra óptica, sendo também conhecida como rádio sobre fibra (AGRAWAL, 2014).

A principal vantagem de SCM está na flexibilidade e na capacidade de atualização que oferece ao projeto de redes de banda larga. Para a transmissão de múltiplos sinais de voz, dados e vídeo a um grande número de usuários, podemos usar modulação analógica ou digital, ou uma combinação das duas.

**Figura 3.13:** Modulação por subportadora (SCM)



Fonte: Adaptado de AGRAWAL, 2014.

### 3.3.3 Multiplexação por Divisão de Código Óptico – OCDMA

Esse método utiliza a técnica de espalhamento espectral, onde um canal é codificado de tal forma que seu espectro se espalha por uma região mais larga do que a ocupada pelo sinal original. Embora o espalhamento pareça contraproducente, o compartilhamento com múltiplos clientes permite sua viabilidade. Na verdade, CDM ou OCDMA é comumente usada na telefonia celular, pois prove máxima flexibilidade em um ambiente de múltiplos assinantes. Além disso é segura pois é difícil de sofrer interferências ou interceptação (AGRAWAL, 2014).

As técnicas de WDM e TDM repartem a largura de banda de canal ou as janelas temporais entre os usuários. Em contraste, no caso de CDM, todos os usuários compartilham toda a largura de banda e todas as janelas temporais de forma aleatória.

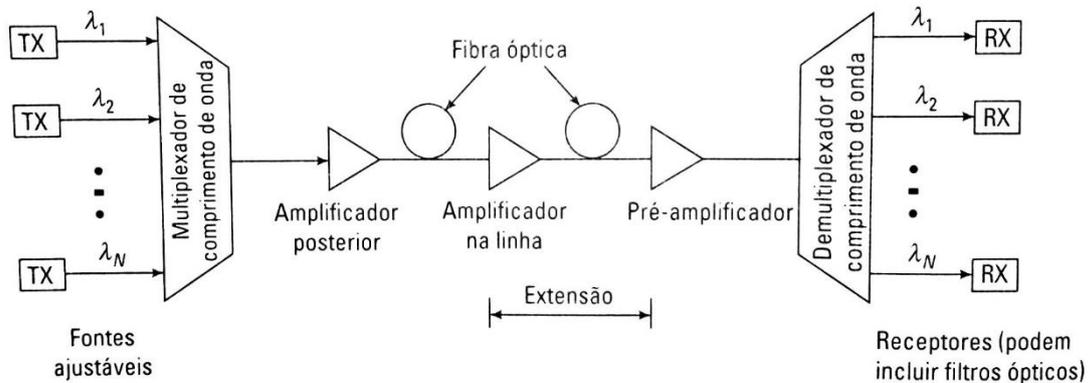
Koonen 2006, define que na OCDMA cada ONU usa um código óptico específico para se distinguir dos demais. Existem duas versões de codificação, a primeira usando relações de tempo e a outra utilizando espectros de onda. Naquela cada ONU usa uma diferente assinatura de pulso ópticos, numa modulação *on and off* para transmitir os sinais.

Na codificação espectral cada ONU usa uma combinação de repartições de espectros provenientes de uma fonte luminosa (cada espectro originado de um LED, por exemplo) cuja intensidade do sinal é modulado e os dados são transmitido, posteriormente eles passam por um filtro que reconhece a combinação dos espectros e os distingue para cada receptor óptico.

### 3.3.4 Multiplexação por Divisão de Onda (WDM)

Keiser 2014, delimita que uma das principais características da WDM está no fato que cada comprimento de onda discretos formam um conjunto ortogonal de portadoras as quais podem ser separadas, dirigidas e trocadas, sem interferir um com outro. Para implementar uma rede WDM uma gama de dispositivos passivos e ativos são exigidos, onde o desempenho depende do comprimento de onda disponibilizados pelos sistemas ativos. Os componentes ativos incluem filtros ópticos sintonizáveis, fontes reguláveis e amplificadores ópticos. Conforme se verifica na figura 3.14

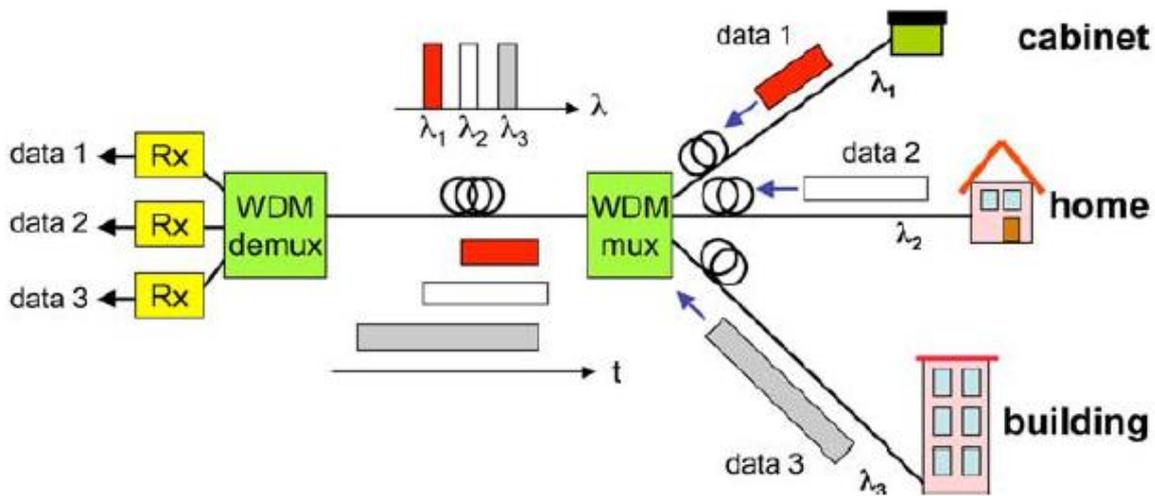
**Figura 3.14** WDM típica com seus componentes ativos



**Fonte:** Adaptado de Keiser, 2014.

Percebe-se, pela figura 3.15, que múltiplos comprimentos de onda são transmitidos da OLT para as ONUs no sentido de downstream, onde cada uma delas recebe um determinado comprimento de onda os decodifica e os utiliza para um determinado fim. No sentido inverso ocorre o upstream e os dados são demultiplexados na OLT (SILVA, 2010), desse modo os sinais são separados nos canais de detecção ópticos apropriados para o devido processamento (KEISER, 2014).

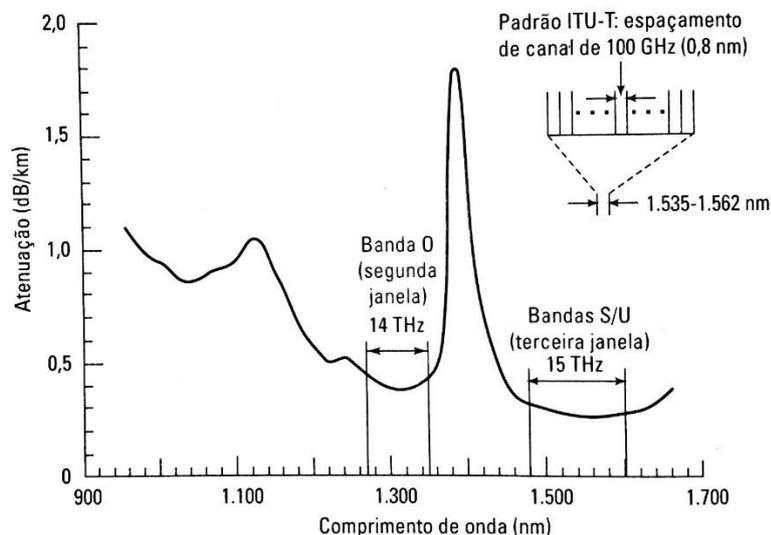
**Figura 3.15:** WDM PON



**Fonte:** Adaptado de KOONEN, 2006.

As transmissões downstream e upstream ocorrem nas janelas de 1310 a 1550 nm, pela figura 3.16 verifica-se que existem muitas regiões de funcionamento independentes em todo o espectro, onde o espaçamento típico pelo padrão G.692 da ITU é 100GHz (ITU, 1998).

**Figura 3.16:** Largura de banda de transmissão das bandas O e C (nas janelas 1310nm e 1550 nm)



**Fonte:** Adaptado de KEISER, 2014.

### 3.4 Conceitos de redes APON/ BPON, EPON, GPON e WDM PON

A ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication division) indica as recomendações que são usadas como referência para o desenvolvimento de soluções tecnológicas envolvendo redes e telecomunicações entre elas às redes APON/BPON, EPON, GPON e WDM PON.

### 3.4.1 Redes APON/BPON

A ITU-T G.983 especifica o modo de transmissão assíncrona ATM como seu protocolo de enlace (ITU-T, 2005). As tecnologias APON (ATM PON), foram estendida para BPON (Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks) e oferecem serviços de banda larga, incluindo o acesso a Ethernet.

Tanto a APON/BPON atuam na faixa de 622 Mbps de largura de banda em *downstream* e 155 Mbps para *upstream*. Equivalentemente ao ITU-T, a IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) instituiu a Ethernet na primeira linha e designa o grupo EFM (Ethernet in the First Mile). O grupo trabalha sobre os padrões IEEE 802.3, e padroniza a família do Gigabit Ethernet com taxas de 1.25Gbps, somente para o sistema de transporte Ethernet, apresentada com EPON (Ethernet PON) (MARMUR e SHRAGA, 2004)

### 3.4.2 Redes EPON / GE - PON

A IEEE ampliou as aplicações de Ethernet para as redes de acesso, aproveitando as principais características das tecnologias e o baixo custo das redes PON. Por tolerar os dados encapsulados ela é projetada para enviar padrões entre 10/100 Mb/s, 1 Gb/s e 10 Gb/s diretamente através de fibra óptica, com menor complexidade.

Devido a isso ela tornou-se o protocolo mais amplamente utilizada em redes locais, de campus e metropolitana. Há uma base instalada de um bilhão de portas que resultou em componentes confiáveis e rentáveis. Em junho de 2004 o IEEE aprovou o padrão 802.3 ah – Ethernet na primeira milha (EFM) (NAKAMURA et al, 2005).

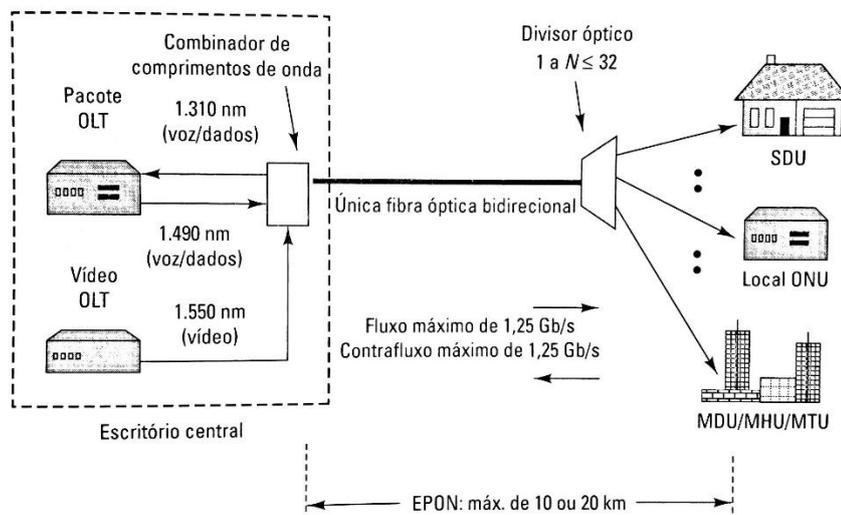
O conceito de GE-PON é uma tecnologia baseada no padrão EPON IEEE 802.3ah, sendo esta dominante na Ásia. Mostra-se na figura 3.17 uma arquitetura básica de uma rede EPON / GE-PON, por ela percebe-se que a linha de alimentação principal vai para um divisor óptico, fazendo uma interface com as ONTs. Além disso, a EFM especifica as condições operacionais (vide tabela 3.2).

**Tabela 3.2:** Característica de uma camada física de três opções EFM

Padrão EFM	Opção de camada física
EPON/GE – PON	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Distância de 10Km; 1Gbs; Divisor 1x32; fibra monomodo bidirecional;</li> <li>➤ Distância de 20Km; 1Gb/s; divisor 1x16 ou 1x32; fibra monomodo bidirecional;</li> </ul>
PTP sobre fibra	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 10 Km sobre uma fibra monomodo bidirecional para links de 1Gbs;</li> <li>➤ 10 Km sobre fibra monomodo bidirecional para links de 100Mbs;</li> </ul>
PTP sobre cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Distância de 750 m; 10 Mb/s de transmissão sobre fios de cobre único par sem qualidade de voz.</li> </ul>

Fonte: IEEE 802.3ah.

**Figura 3.17:** Arquitetura de uma EPON, de acordo com o padrão da EFM



Fonte: KEISER, 2014.

Uma EPON utiliza um comprimento de onda de 1490nm para transmissão de fluxo de voz e dados, 1310nm para caminho de retorno (upstream) e 1550nm para disponibilização de vídeo ou outras informações.

### 3.4.3 Redes GPON

As redes GPON são redes passivas, e não utilizam repetidores dentro delas, pois não há necessidade de fontes de energias intermediárias. Utilizam unicamente divisores ópticos (splitters), acopladores e atenuadores. O tráfego é transmitido sobre uma única fibra por dois comprimentos de onda diferentes. A rede GPON utiliza um comprimento de onda para downstream que está na faixa de 1490nm e outra para upstream, na faixa de 1510nm (PEREIRA, 2013).

A recomendação ITU-T G.984.2 determina a taxa de transmissão com uma escalabilidade de 622 Mbps até 2.5 Gbps. Define assim o alcance físico e lógico das redes

GPON, onde o alcance lógico é a máxima distância entre a ONU/ONT e a OLT que dependendo dos protocolos pode chegar a 60 km. Já o alcance físico chega a 20 km, atendendo de 64 a 128 usuários dentro de uma mesma OLT (PEREIRA, 2013). A tabela 3.3 faz um resumo das principais características de uma rede GPON (MARMUR e SHRAGA, 2004).

**Tabela 3.3:** Principais características de uma rede GPON

<b>Parâmetros</b>	<b>Especificações</b>
<b>Serviços</b>	Serviço completo; Sistema de telefonia, 10/100 Base-T Ethernet, ATM, etc.
<b>Taxa de Acesso de dados</b>	Downstream: 1244 e 2488 Gb/s; Upstream: 155Mb/s a 2488Gb/s;
<b>Distância</b>	De 10 a 20 Km;
<b>Número de divisores</b>	Splitter (1:16) (1:32) (1:64);
<b>Comprimentos de onda</b>	Voz / dados no fluxo: 1480 – 1500 nm; Voz / dados no contrafluxo: 1260 – 1360 nm; Distribuição de vídeos no fluxo: 1550 – 1560 nm;

Segundo o autor supracitado, a eficiência de uma rede GPON relaciona-se diretamente ao jeito de como as mensagens são enviadas em down ou upstream. Quanto mais dados forem enviados e com menos troca de mensagens entre as redes maior será o aproveitamento na largura de banda

Em síntese, as Redes de Acesso com tecnologia PON estão sendo empregadas cada vez mais por provedores de internet, pois em tais sistemas há uma disponibilização cada vez maior de serviços, tais como comunicação de dados, voz e imagens em alta velocidade. Nessas situações, as redes GPON são as mais usadas por aplicarem comprimentos de ondas diferentes para downstream e upstream, além de possuírem uma camada de empacotamento que transporta qualquer serviço, seja esse Ethernet, IP, TDM ou WDM.

Sendo esse o motivo para escolha da topologia GPON na elaboração do projeto proposto, pois a rede cobrirá uma cidade, estabelecendo-se uma MAN, além disso será disponibilizado aos clientes uma largura de banda compatível com serviços de dados, voz e vídeo.

#### 3.4.4. Rede WDM PON

A crescente demanda por *tripleplay*, definido como serviços de vídeo interativo, virtualização e computação em nuvem, podem levar rapidamente uma demanda de 100Mb/s por assinantes. Isso implicará na utilização de mais comprimentos de onda, pois as três disponibilizadas pelas redes FTTH são serão suficientes para satisfazer essas exigências, nessa vertente nasce as redes WDM-PON.

Esse método utiliza um comprimento de onda distinto para cada ONT de transmissão, de modo que cada um deles envie suas informações de forma contínua no upstream ao longo da fibra, sem esperar por uma faixa de tempo atribuída a transmissão específica, dessa forma cada cliente terá um comprimento de onda específico que não é compartilhada com outros (perfazendo a lógico ponto a ponto). O principal impasse dessas redes está no preço, que ainda é elevado, porém pesquisas mostram-se promissoras para utilização desse sistema na próxima geração de redes ópticas passivas (KEISER, 2014).

## CAPÍTULO 04: ATENUAÇÃO, DISPERSÃO E EQUIPAMENTOS DE MEDIDA

### 4.1. Introdução

Esse capítulo abordará uma das principais características para a elaboração e viabilidade de um projeto de rede FTTX – A atenuação. Além disso, haverá uma explanação sobre os equipamentos utilizado na aferição de posicionamentos de emendas, levantamentos de potências, verificações de defeitos, dentre outros.

### 4.2 Atenuação e dispersão

Atenuação de sinal ou perda da fibra é uma das propriedades mais importante de uma fibra óptica, pois determina-se a máxima distância sem ampliações ou repetição entre emissor e receptor, de importância similar é a distorção do sinal, definido como alargamento de pulso ao longo do trajeto, limitando dessa forma o transporte de informação.

DIANOV e MASHINSKY 2005, delimitam que o mecanismo básico de atenuação são a absorção, a dispersão e as perdas radiativas por absorção de energia óptica. A absorção está relacionada com o material da fibra, a dispersão associação tanto pelo material quanto pelas imperfeições estruturais, e a atenuação devido aos efeitos radioativos da geometria da fibra.

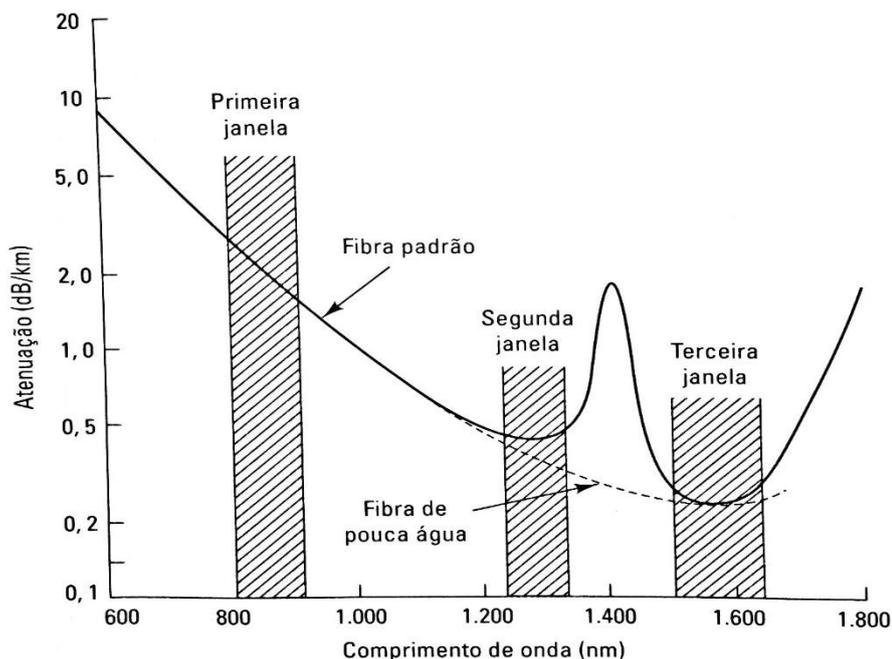
A luz que viaja ao longo de uma fibra apresenta uma diminuição de potência de forma exponencial com a distância (SENIOR, 2009). Sendo  $P(0)$  a potência de uma fibra na origem e  $P(z)$  a uma distância  $z$ , então:

$$P(z) = P(0)e^{-z\alpha_p} \quad (4.1)$$

$$\alpha_p = \frac{1}{z} \ln \frac{P(0)}{P(z)} \quad (4.2)$$

Onde  $\alpha$  é o coeficiente de atenuação da fibra em unidade de  $Km^{-1}$ , por exemplo. O procedimento padrão é expressar o coeficiente de atenuação em dB/Km (chamado também de perda da fibra ou atenuação), que depende de várias variáveis e é função do comprimento de onda. A figura 4.1 mostra a atenuação da FO em função do comprimento de onda.

**Figura 4.1:** Atenuação de fibra óptica em função do comprimento de onda.

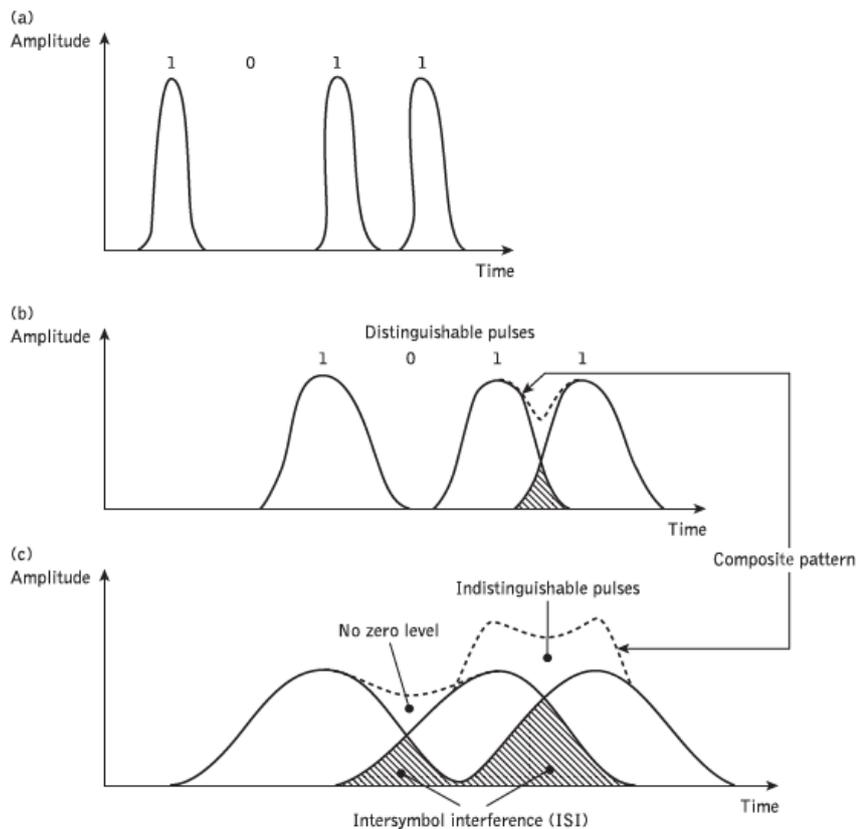


**Fonte:** Adaptado de KEISER, 2014.

Pela figura 4.1 pode-se perceber que uma onda de comprimento de 1310nm apresenta atenuação média de 0,4 dB/Km e 0,25 dB/Km para um tamanho de onda de 1550 nm. Esses dados são de extrema relevância para o orçamento de potência que será realizado na elaboração do projeto. Os picos e vales da curva de atenuação, resultam na designação das diferentes janelas de transmissão que se relacionam com o teor de OH presente nas fibras.

Um pulso óptico enfraquece devido a atenuação (conforme exposto anteriormente) e alarga devido a dispersão à medida que viaja ao longo da fibra, ao final, esses dois fatores levarão os sinais a se sobreporem até o momento em que ficarão indistinguíveis pelo receptor, gerando erros na interpretação dos sinais. Na figura 4.2 é possível verificar o alargamento e a atenuação de um pulso que viaja ao longo de uma fibra.

**Na figura 4.2:** Atenuação e dispersão de um pulso



**Fonte:** Adaptado de SÊNIOR, 2009.

A dispersão de um sinal relaciona-se com o atraso intermodal, dispersão intermodal, dispersão de modo de polarização (KEISER, 2014).

- **Atraso intermodal** - devido ao confinamento da luz num guia, o campo eletromagnético distribui-se espacialmente por várias formas de propagação, ditos modos do guia de onda, que são as soluções ortogonais (linearmente independentes) da equação de onda no guia.
- **Dispersão intramodal ou cromática** - é o espalhamento que várias componentes espectrais do pulso propagante experimentam, conhecida também como dispersão da velocidade de grupo (GVD). Esta é o principal fator de atraso em fibras monomodo. Como depende apenas do comprimento de onda, é dita cromática (RUDGE, 2010). Pode ser dividida em:

*a) dispersão de guia de onda* - no caso particular de estar no modo fundamental, ainda assim as componentes espectrais sofrem uma pequena variação de propagação.

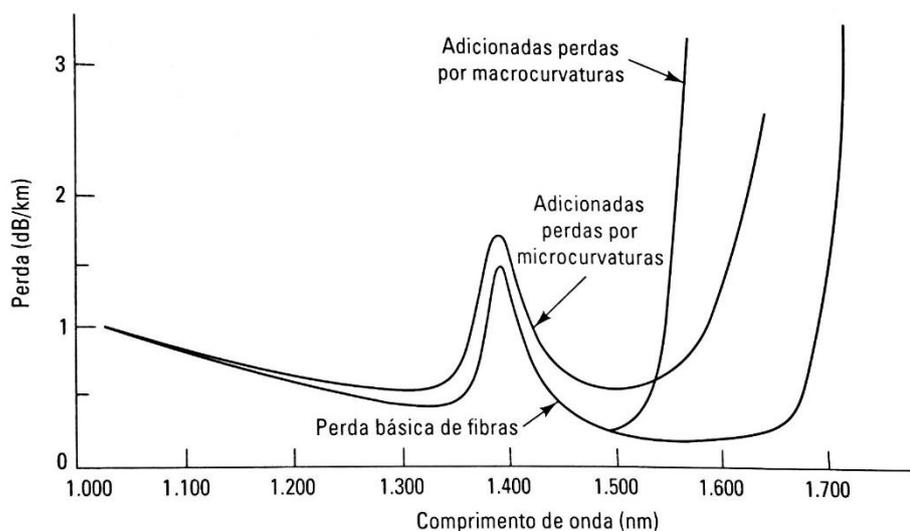
b) *dispersão material* – nas fibras monomodo esta é a maior contribuição para atraso dos sinais em regime linear. Deve-se as impurezas e a própria reação do material ao campo eletromagnético, fazendo com que as componentes espectrais tenham diferentes índices de propagação.

- **Dispersão dos modos de polarização (PMD)** – trata-se da variação de velocidade de propagação das componentes ortogonais de polarização (x e y, propagação z). Fator importante em fibras monomodo para altas taxas de transmissão (acima de 2,5 Gb/s) e longas distancias. Também ocorre nas fibras multimodo, mas é mascarada pela dispersão modal (RUDGE, 2010).

#### 4.2.1 Perdas por curvatura

Perdas por macro e microcurvaturas também são elementos importantes no projeto de fibras, principalmente as monomodo, tais depurações de sinais são mais comuns na região de 1550 nm e mostra-se como um aumento rápido da atenuação quando a fibra é mais dobrada que um raio de curvatura determinado (HIMENO et al, 2005), tal característica deve ser levada em conta principalmente quando há a implementação de um projeto de rede de fibras. Observa-se pela figura 4.3 o quão grande é o acréscimo de atenuação em macrocurvaturas inadequadas. Costuma-se recomendar que o diâmetro de uma dobra e fibra não seja inferior a 50mm

**Figura 4.3:** Efeitos de micro e macro curvatura



Fonte: Keiser 2014.

### 4.3 Equipamentos de medida

Um conhecimento prévio dos equipamentos utilizados nas medições de desempenho nas redes de fibra é extremamente relevante para fornecer parâmetros os quais o projetista ou executor utilizará para a verificação de viabilidade ou se os critérios de projeto estão sendo atendidos. Dessa forma, nesse tópico é possível ter uma noção sucinta dos principais equipamentos e como eles são utilizados quando se trabalha com redes de FO.

#### 4.3.1 Reflectômetro Óptico de Domínio de Tempo (OTDR)

Tal equipamento é um dos mais importantes instrumentos utilizados nas medições de qualidade das redes de fibra óptica. Com ele é possível aferir (COUTO, 2015):

1. Comprimento (Km): Medida utilizada para confirmação de metragem das bobinas, ou danos acarretados a fibra devido a transporte inadequado. Além disso é possível localizar posições de rompimento de fibras;
2. Perda (dB): A medida de perdas é utilizada principalmente para verificar a qualidade das emendas por fusão, emendas mecânicas ou conectores e confirmar se estão dentro dos limites definidos no projeto. Tal medida avaliará se as perdas totais da rede determinarão o correto funcionamento do sistema.
3. Atenuação (dB/Km): A medida da atenuação é importante para verificar se a fibra está dentro dos padrões internacionais e da ABNT;
4. Perda de Retorno (dB): Útil para avaliar a qualidade dos conectores utilizados na rede, confirmando se estão dentro das especificações ou se gerarão instabilidade nos sistema.

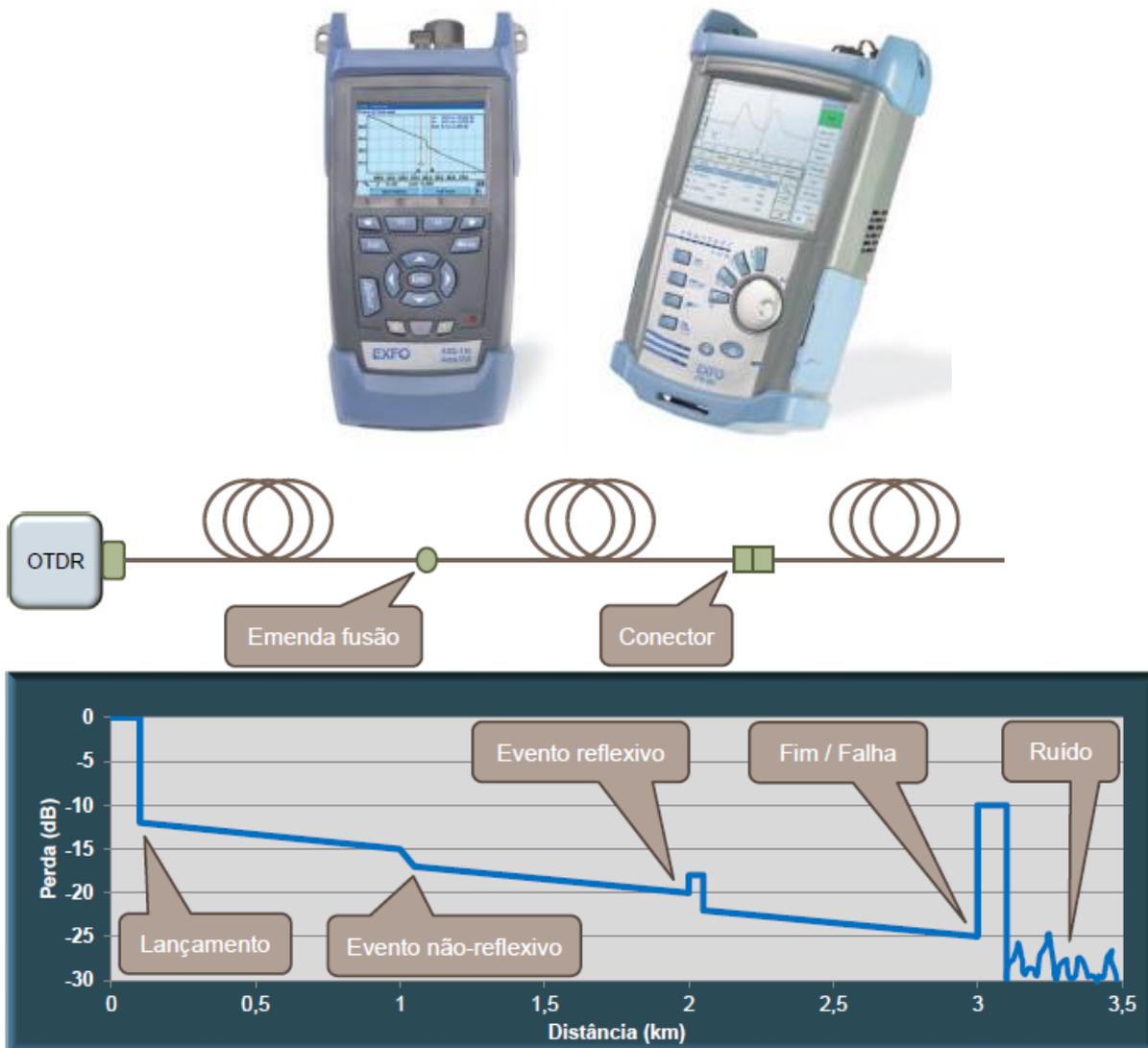
A figura 4.4 é mostra um OTDR e sua curva característica.

Basicamente o OTDR combina uma fonte laser e um detector para fornecer um diagnóstico do enlace de fibra. A fonte laser lança um sinal na FO onde o detector recebe a luz refletida a partir dos diferentes elementos do enlace. Com isso há uma produção do traçado gráfico feito de acordo com o sinal recebido, e uma tabela de eventos contendo informação completa sobre cada componente de rede.

O sinal enviado é um pulso curto que transporta uma certa quantidade de energia. Um relógio, então, calcula precisamente o tempo de propagação do pulso, e este tempo é convertido em distância, conhecendo as propriedades da fibra. À medida que o pulso se desloca ao longo da fibra, uma pequena parte de sua energia retorna para o detector devido à reflexão de conexões

e da própria fibra (COUTO, 2015). A figura 4.4 representa um OTDR e seus traçado característico.

**Figura 4.4:** OTDR e traçado gráfico característico



Fonte: Adaptado de COUTO 2015.

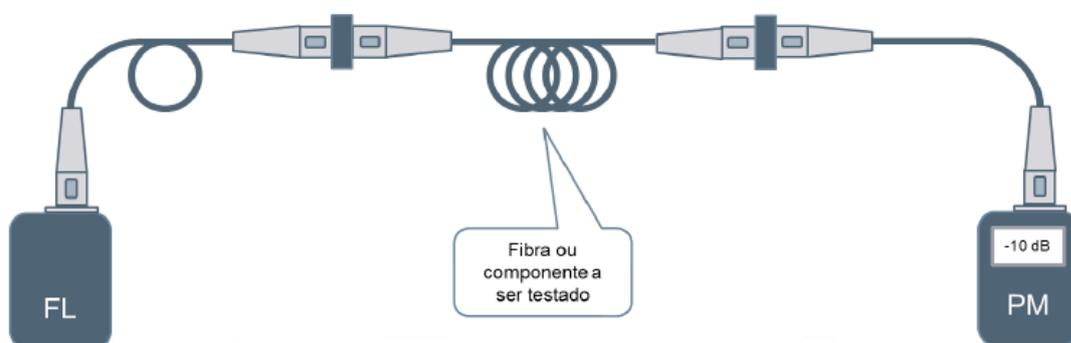
#### 4.3.2 Fonte de Luz e Medidor de potência

O Medidor de potência e a fonte de luz são elementos essenciais para medir links de FO, embora o OTDR dê uma localização de emendas, conectores, etc. O conjunto “Fonte de luz-medidor de potência” dá uma melhor precisão na verificação da perda total em uma fibra. O primeiro simula um transmissor, geralmente possuem 2 comprimentos de onda (850-1330nm para fibras multimodo e 1310-1550 para fibras monomodo).

O medidor de potência ou Power Meter simula o receptor, geralmente, são calibrados para atender 850, 1300, 1310, 1490 e 1550nm.

A figura 4.5 traz uma ilustração de como é realizado a media, basicamente a FO é colocada entre os dois equipamentos, gera-se um sinal luminoso e o Power Meter verifica a potência recebida. Ressalta-se que tais equipamentos são indispensáveis nos lançamentos dos cabos e na verificação do sinal recebido pelo cliente.

**Figura 4.5:** Fonte de Luz e Medidor de potência



Fonte: COUTO, 2015.

#### 4.3.3 Localizador Visual de Falha (VFL) e Microscópio para conectores

Os VFLs são utilizados principalmente para verificar a qualidade das acomodações das fibras em bandejas de DIO e caixas de emenda, basicamente ele emite uma luz visível, que ao passar pela FO é possível localizar a posição de ruptura, curvatura ou má conexão de uma fibra ou conector.

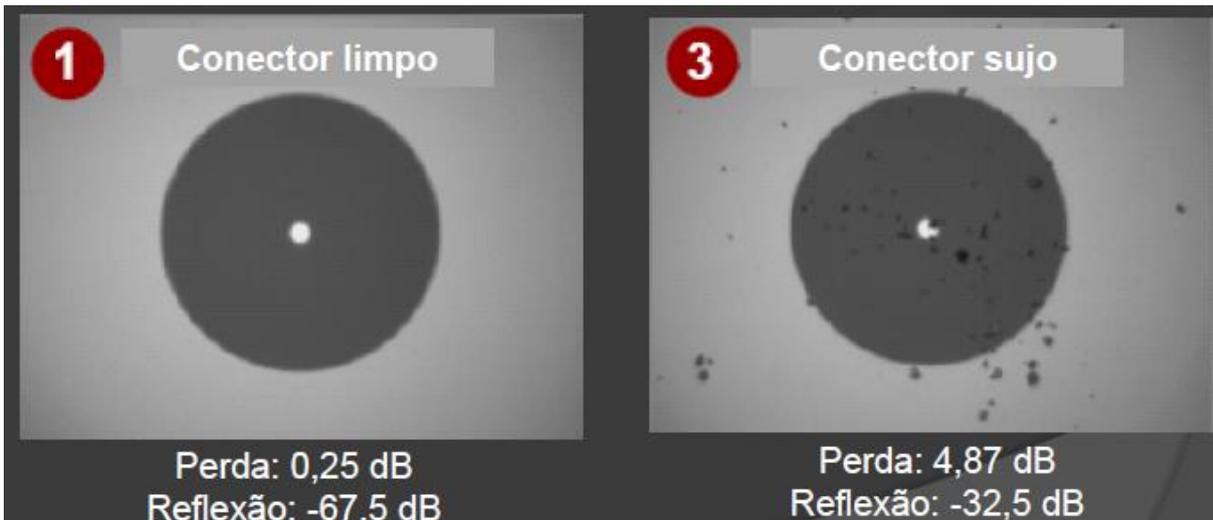
**Figura 4.6:** Localizador de falha.



Fonte: CATÁLOGO MICHIGAN, 2018.

Os microscópios são utilizados principalmente para verificar a qualidade e limpeza dos conectores e terminações ópticas, podem ser manuais ou eletrônicos. A figura 4.7 mostra esses instrumentos, que também são bastante utilizados em campo no condicionamento das FO.

**Figura 4.7:** Microscópio de conectores ópticos e FO com sujeidade



Fonte: COUTO, 2015.

## **CAPÍTULO 05: ELABORAÇÃO DE UM PROJETO DE REDE GPON FTTH**

### **5.1 Introdução**

Esta seção dedica-se a um estudo de caso para a elaboração de uma rede GPON FTTH balanceada, aqui será explorado o passo a passo para criação de uma rede eficiente que atenda as normas nacionais, seja de implantação viável e possa cumprir com a demanda dos clientes.

Define-se que um é splitter balanceado, quando ocorre a mesma perda em todas as saídas e é comumente utilizado quando se necessita de uma divisão maior que 2. Já no desbalanceado: o splitter, também conhecido como FBT (Fused Biconical Taper), possui uma porta de entrada e duas portas de saída. A principal diferença entre o modelo desbalanceado e o balanceado é que no primeiro as saídas não possuem as mesmas perdas.

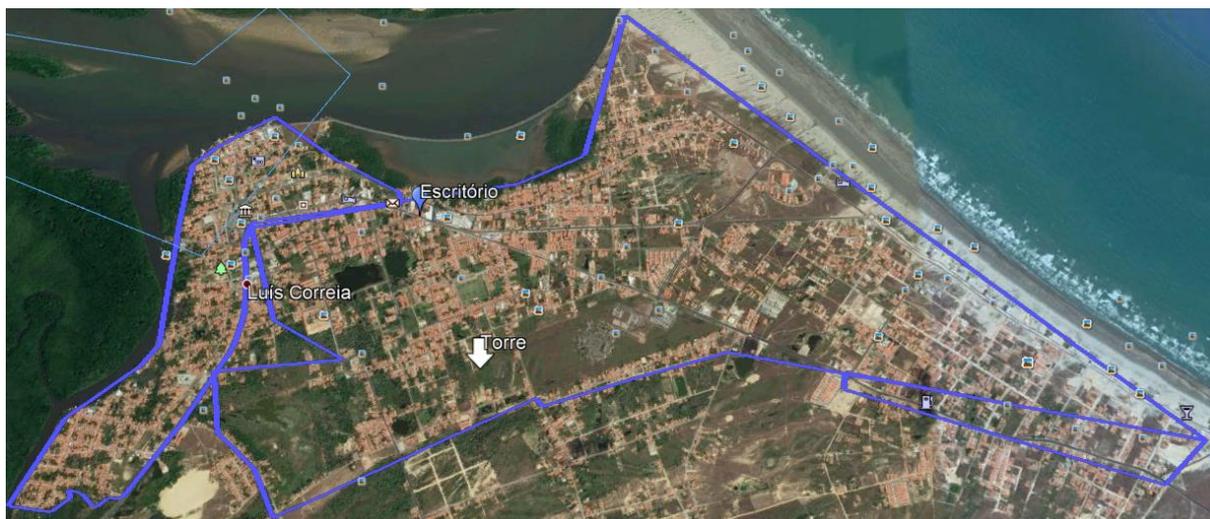
### **5.2. Premissas do Projeto de Rede**

O projeto de rede proposto foi feito para atender a empresa DadosNet, (O nome da companhia foi trocado para garantir o sigilo do cliente), situada em Luís Correia (LC) Piauí. Inicialmente requereu-se que 1.600 usuários fossem atendidos e que o sistema fosse expansível para 3.200 clientes.

A cidade de LC apresenta 29.792 habitantes, tem uma área de 1.071,276 Km<sup>2</sup> e localiza-se a uma latitude 02°52'45" sul e a uma longitude 41°40'01" oeste, a renda per capita da população varia entre 1 a 1,5 salários (IBGE,2017).

Inicialmente, junto ao proprietário da empresa, demarcou-se a área que seria atendida, compreendida como a região situada dentro dos polígonos roxo, conforme se observa na figura 5.1. Percebe-se que a região possui uma área extensa englobando praticamente toda a cidade.

Figura 5.1: Área de cobertura proposta



Fonte: Elaborado pelo Autor. Software GOOGLE Earth, 2018.

Após o levantamento foi realizado a contagem dos domicílios, empresas e indústrias da região. O principal intuito disto está no estabelecimento da taxa de penetração que o provedor quer alcançar, em outras palavras, busca-se estabelecer a porcentagem de cliente que poderão solicitar a rede. Essa taxa varia de acordo com o local e com o perfil dos usuários que o provedor atende, geralmente o proprietário já tem uma base (pois atendem utilizando outro tipo de rede – a rádio, por exemplo).

O levantamento totalizou 4.000 estabelecimentos e a taxa de penetração ficou acertado em 40%. Na figura 5.2 é possível verificar essa contagem.

Figura 5.2: Levantamento dos possíveis clientes a serem atendidos pela rede



Fonte: Elaborado pelo Autor. Software GOOGLE Earth, 2018.

### 5.3 Definição da taxa de transmissão e do splitter para a rede PON

A taxa de transmissão foi calculada segundo os planos de internet que o provedor irá oferecer, acertado conforme se observa na tabela 5.1 com o proprietário. Ressalta-se que com planos com banda acima de 10Mbps é possível oferecer inúmeros conteúdos, dentre eles serviços de vídeo, voz, dados, TV digital, etc. (TAKEUTI, 2005). Satisfazendo dessa forma o mercado atualmente.

**Tabela 5.1:** Planos de internet oferecidos pela DadosNet

Planos Oferecidos	Estimativa de adesão (%)	Estimativa de adesão (valor)
10 Mbps	20	320
20 Mbps	40	640
40 Mbps	30	480
80 Mbps	10	160

**Fonte:** Elaborado pelo autor e pelo proprietário da empresa.

Desse modo, a largura total pode ser calculada conforme 5.1 e 5.2.

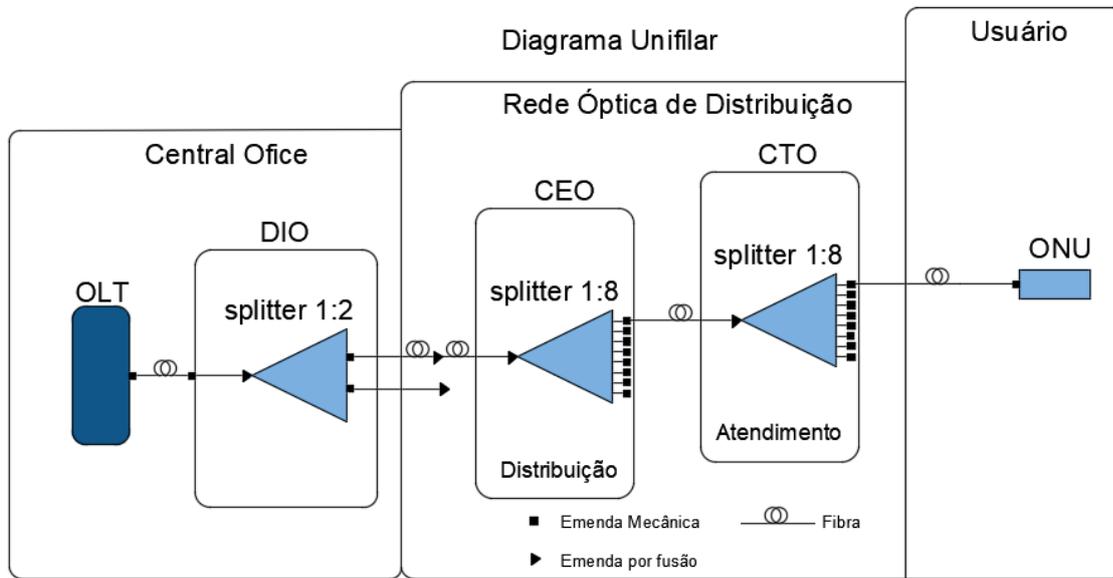
$$Taxa\ de\ transmissão_{Total} = \sum Taxa * n^{\circ}de\ clientes \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} Taxa\ de\ transmissão_{Total} &= 20 \times 320 + 40 \times 640 + 480 \times 30 + 10 \times 160 \\ &= 24,96\ Gbps \end{aligned} \quad (5.2)$$

Isso implica que as OLTs deverão fornecer tal taxa de transmissão para satisfazer os critérios de projeto, fato que deverá ser levado em conta nas especificações dos equipamentos a serem comprados pelo provedor.

Estabeleceu-se que a rede contaria com 1 splitter (1:2) na DIO, um 1:8 na caixa de emenda óptica (CEO) e finalmente outro 1:8 nas caixas de terminação óptica (CTO-atendimento) situada nos postes. Do poste sairá uma fibra para a ONU do usuário. A topologia da rede encontra-se na figura 5.3. A escolha dessa topologia foi feita pelo dono do provedor, pois a expansão do sistema deveria ocorrer conforme a demanda.

**Figura 5.3:** Diagrama unifilar para o orçamento de potência da rede de fibra óptica



**Fonte:** Elaborado pelo autor. Software Autocad 2017.

#### 5.4 Tamanho das células e quantidade de CTOs de atendimento

O tamanho da célula de atendimento é calculado pela taxa de penetração e pelo splitter que será utilizado, ou seja, quando se utiliza uma relação 1:8, os oito consumidores representarão os 40% da taxa de penetração isso implica que 100% resultará em 20 usuários, em outras palavras, cada célula contará com 20 possíveis clientes.

Da relação acima, têm-se que a cada 20 clientes há uma CTO (splitter 1:8), pela contagem do tópico 5.2 há 4.000 possíveis usuários, desse modo por 5.4 conclui-se que o projeto contará com 200 caixas de terminações ópticas de atendimento (CTO).

$$n^{\circ} \text{ CTOs} = \frac{n^{\circ} \text{ de propriedades}}{\text{Tamanho da célula}} \quad (5.3)$$

$$n^{\circ} \text{ CTOs} = \frac{4.000}{20} = 200 \quad (5.4)$$

No diagrama unifilar (figura 5.3) se verifica que a cada 8 CTOs há uma caixa de emenda óptica (CEO), isto totaliza 25 CEOs ou 25 ramais, conforme está demonstrado em 5.6.

$$n^{\circ} \text{ CEOs ou ramais} = \frac{n^{\circ} \text{ de CTOs}}{\text{Relação do Splitter}} \quad (5.5)$$

$$n^{\circ} \text{ CEOs ou ramais} = \frac{200}{8} = 25 \quad (5.6)$$

Tabela 5.2: Resumo das relações encontradas.

Síntese do projeto	Quantitativo
Nº de Propriedades (casa, comércio, etc.)	4.000
Nº Possíveis de clientes	1.600
Tamanho das células	20
Nº de CTOs	200
Nº de CEOs	25

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.5 Posicionamento das caixas de terminação e emenda ópticas (CTOs e CEOs)

As CTOs serão posicionadas a cada 20 propriedades (célula de atendimento) e situar-se-ão no ponto mais central possível, visando desse modo reduzir o tamanho dos cabos ópticos. A figura 5.4 ilustra o posicionamento dos dois primeiros ramais (CTO 01 a CTO 16).

Figura 5.4: Mapeamento dos dois primeiros ramais



Fonte: Elaborado pelo autor. Software Google Earth, 2018.

Os traçados coloridos da figura 5.4 representam à área de cobertura de cada caixa de emenda óptica. Esse procedimento foi repetido para os demais 23 ramais, vide Anexo 02 e 03. Após o posicionamento das 200 CTOs, situou-se as caixas de emendas, que também seguiram o pressuposto de ficarem o mais central possível. Segundo o verificado na figura 5.5. As linhas em amarelo e azul representam o trajeto dos cabos ópticos.

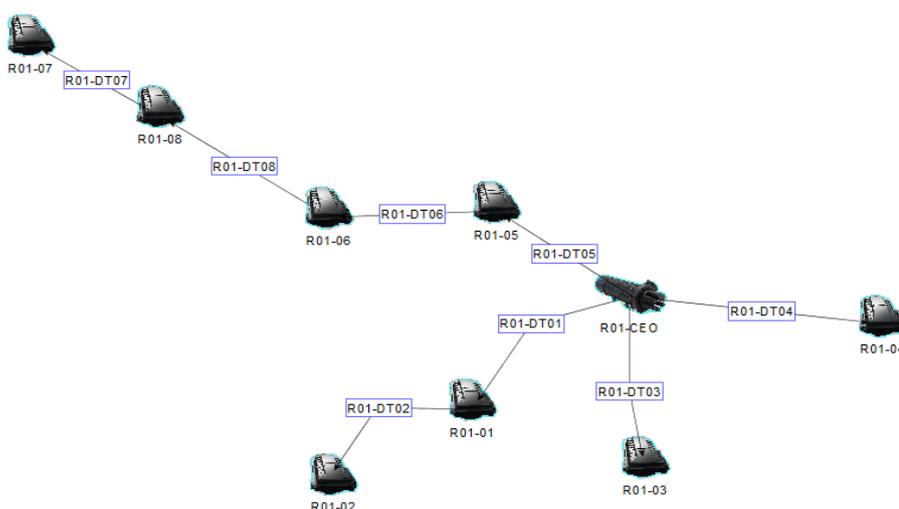
**Figura 5.5:** Ramais 1 e 2 da rede proposta



**Fonte:** Elaborado pelo autor. Software Google Earth, 2018.

A figura 5.6 mostra o diagrama unifilar do ramal 01. Observa-se que cada trecho da fibra recebe uma nomenclatura diferente, isso é de extrema importância para a elaboração e condicionamento do plano de emenda, mostrado em seções posteriores. Na legenda têm-se que Rxx representa o número do ramal (R01 para primeiro ramal) e DT01 (DTxx) equivale a cabo distribuição 01.

**Figura 5.6:** Diagrama Unifilar ramal 01



**Fonte:** Elaborado pelo autor. Software yEd, 2018.

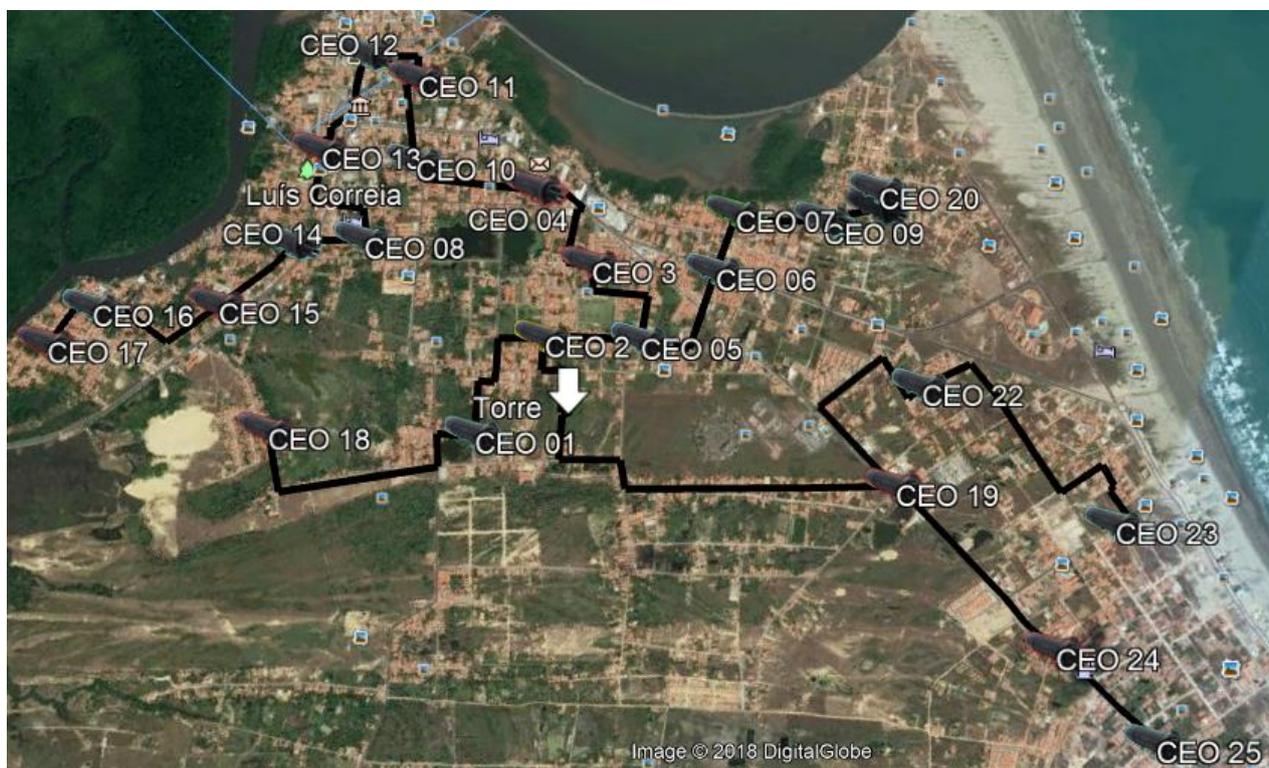
## 5.6 Delimitação do trecho do backbone

O backbone (coluna) simboliza o trecho percorrido pelos cabos ópticos que interligam a OLT (central office) com as CEOs (situadas nos postes). Infere-se que o backbone é um dos principais elementos da rede óptica, sua ruptura implica na queda de sinal dos elementos jusantes, pois a rede é de topologia em árvore (vide figura 3.4). É importante frisar que todo o sistema contará com uma FO de reserva para amenizar algum problema de ruptura de cabo caso ocorra.

Ressalta-se que os problemas das redes radiais (ou em árvore) referentes a queda de sinal por ruptura foram repassadas ao dono do provedor, no entanto, o proprietário insistiu nessa topologia, pois a expansão da rede, segundo ele, aconteceria de maneira gradual.

A figura 5.7 representa o local percorrido pelo backbone, salienta-se que se procurou ruas com boa pavimentação e com postes conservados para a fixação das caixas de emenda óptica. Na figura omitiu-se as CTOs para diminuir o excesso de informações. O diagrama unifilar do trecho encontra-se no Anexo 03.

**Figura 5.7:** Trecho do Backbone. Rede com topologia em árvore



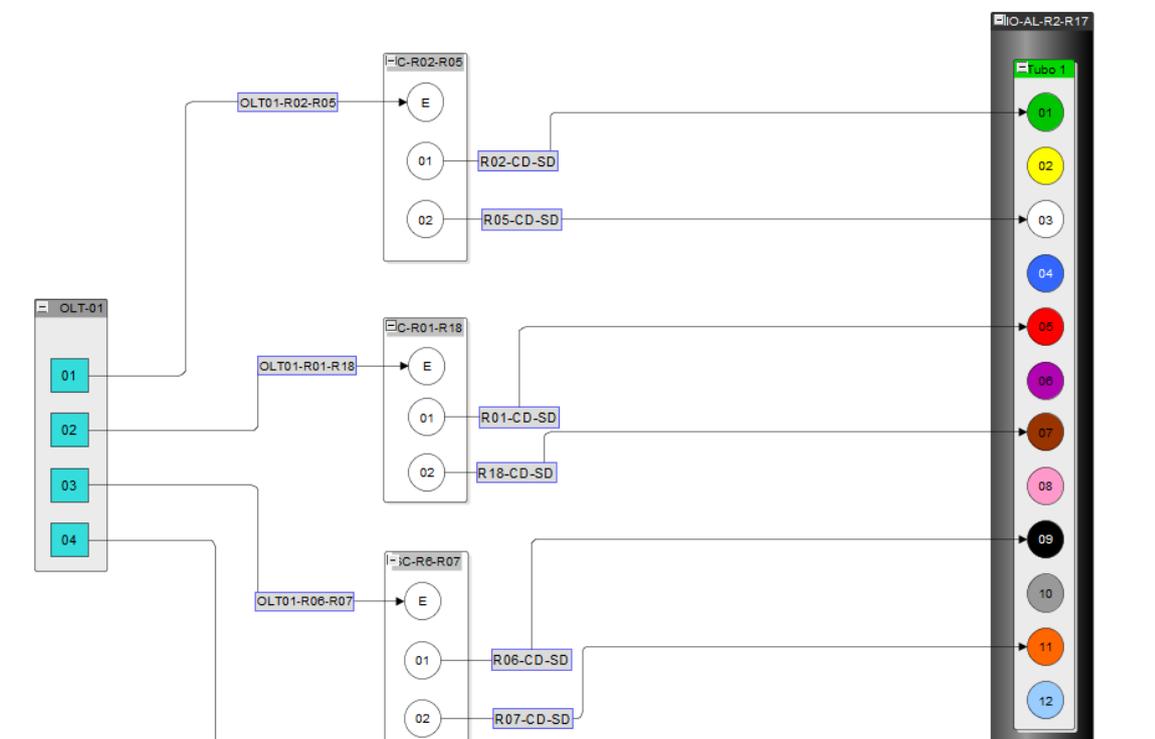
**Fonte:** Elaborado pelo autor. Software Google Earth, 2018.

## 5.7 Elaboração do plano de emenda das fibras nos cabos ópticos

A implementação da rede proposta é bastante complexa, pois a realização de emendas erradas implica numa depuração da qualidade e segurança do sinal que será entregue ao consumidor final, dessa forma uma padronização das interconexões OLT-CEO-CTO-Cliente se faz necessária para a elaboração de um bom projeto. Além disso o provedor terá em mãos a fibra exata que será disponibilizada ao usuário, facilitando, desse modo, a aquisição de novos clientes, exclusão de inadimplentes ou manutenção do sistema.

Para o plano de emendas será utilizado o software yEd e demonstrado através de 2 exemplos como deve ser feita a padronização do plano. Ressalta-se que as emendas dos demais ramais estão no Anexo 03.

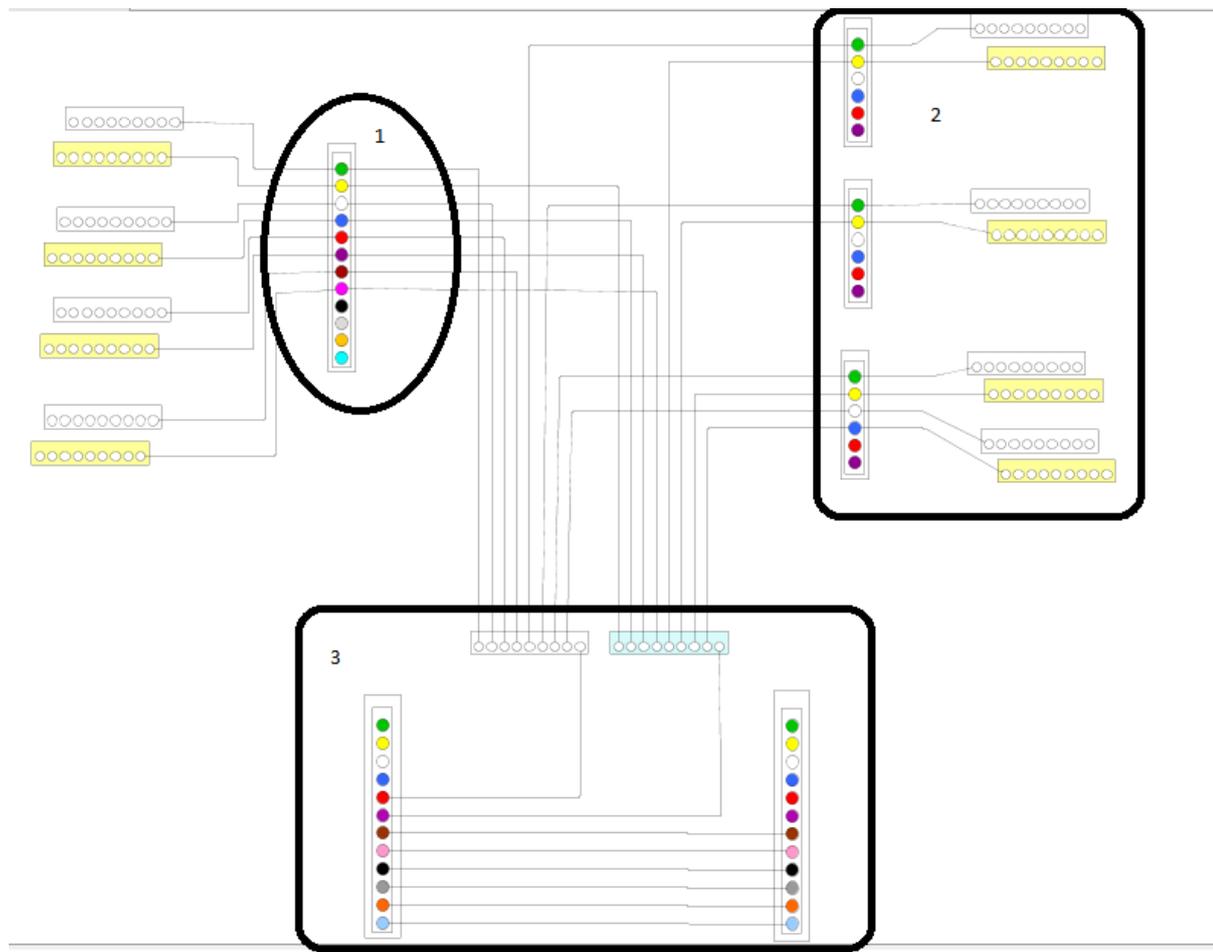
**Figura 5.8:** Plano de emenda para as CEO 01, 02,05,06,07 e 18



**Fonte:** Elaborado pelo autor. Software yEd, 2018.

A figura 5.8 mostra o plano de emenda da OLT 01 com o tubo 01 do backbone, observa-se que antes disso a fibra passa por um splitter 1:2 para posteriormente seguir seu percurso. O cabo óptico escolhido segue os padrões da ABNT e apresenta 4 tubos com 12 fibras cada. Como especificado nas tabelas 2.2, 2.3 e figura 2.27. Na nomenclatura utilizada CD e SD significam caixa de derivação e splitter de distribuição. Nota-se que as fibras estão intercaladas no backbone visando deixar espaço para a inserção de uma fibra auxiliar caso ocorra alguma ruptura ou problema com a FO principal.

**Figura 5.9:** Plano de emenda ramal 01

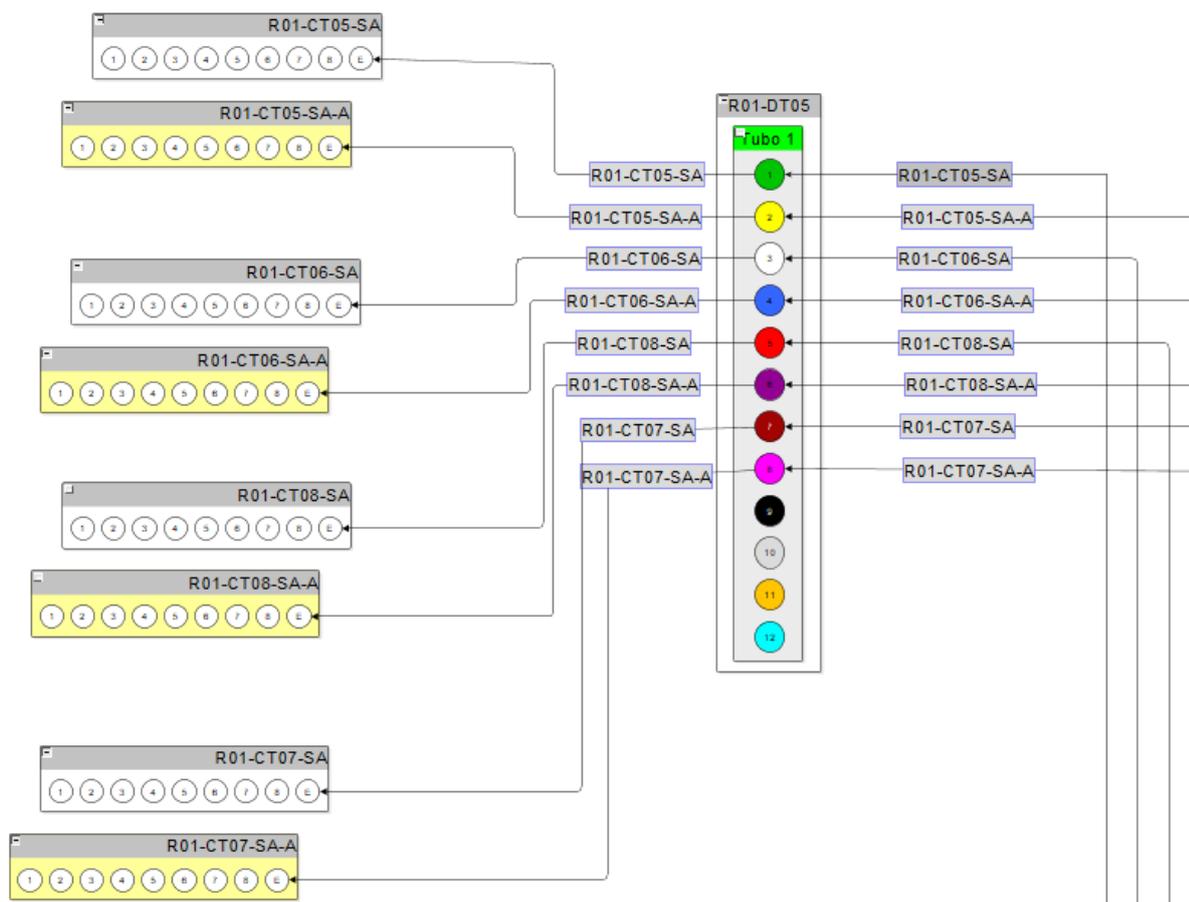


**Fonte:** Elaborado pelo autor. Software yEd, 2018.

A figura 5.9 representa o plano de emenda do ramal 01, ela foi subdividida em 3 pontos. O primeiro deles, figura 5.10, mostra o esquemático das ligações entre a CEO 01 e as CTOs 05, 06, 07 e 08, percebe-se que sempre há uma fibra auxiliar que serve tanto para ser utilizada como fibra de segurança ou para expansão de rede. Do exemplo têm-se: R01-CT05-SA-A, R01 – ramal 01, CT05 – Caixa de terminação óptica 05, SA-A – Splitter de alimentação auxiliar.

Conforme se verifica na figura 5.10, o cabo óptico utilizado para levar os sinais até as CTOs é aquele formado por um único tubo de 12FO e que obviamente seguem o padrão ABNT.

**Figura 5.10:** Ligação Ramal 01 as CTOS 05, 06, 08 e 07



**Fonte:** Elaborado pelo autor. Software yEd, 2018.

Nas figuras 5.11 e 5.12 é possível verificar os padrões de ligação entre as demais caixas de terminações ópticas, do mesmo jeito que a figura anterior sempre há uma fibra auxiliar. Os cabos ópticos utilizados nas CTOs são de 6 FO e seguem os padrões nacionais.

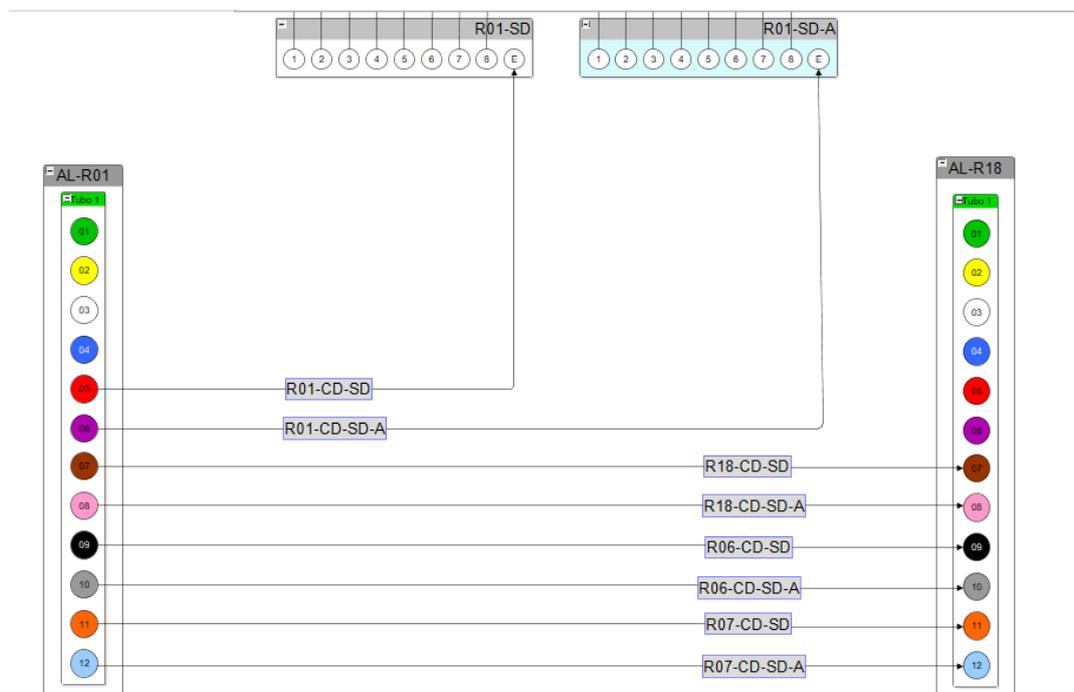
Na parte inferior da figura 5.12 vê-se os enlaces ópticos do backbone passando para os demais ramais. Ressalta-se que os outros planos de emenda se encontram em anexo e que a elaboração de tal plano é a parte mais laboriosa do projeto, dado a quantidade de ramais e CTOs, além disso, frisa-se que esse é um ponto de extrema importância principalmente para a implementação (lançamento dos cabos) física da rede FTTH.

**Figura 5.11:** Ligação Ramal 01 as CTOS 04,01 e 03



Fonte: Elaborado pelo autor. Software yEd, 2018.

**Figura 5.12:** Ligação Ramal 01 e trechos do backbone



Fonte: Elaborado pelo autor. Software yEd, 2018.

## 5.8 Orçamento de potência

O orçamento de potência ou cálculo de atenuação óptica deve atender às especificações disponíveis no transmissor e receptor, mantendo a taxa de transmissão dentro do erro admissível, para sua elaboração é requerido o conhecimento dos seguintes parâmetros:

1. Coeficiente de atenuação do cabo (dB/Km) no comprimento de onda adotado;
2. Atenuação máxima das emendas por fusão;
3. Atenuação máxima dos conectores;
4. Atenuação máxima dos splitters;
5. Potência de saída de transmissão;
6. Sensibilidade do receptor;

Os valores de atenuação dos componentes da rede GPON foram baseados segundo KEISER, 2014, SENKO, 2011 e FURUKAWA, 2018.

**Tabela 5.3:** Características dos componentes de uma rede GPON Balanceada

Item		Tipo ou valor (dB)
<b>Tipo de Fibra óptica</b>		Monomodo
<b>Atenuação no cabo</b>	1310 nm	0,35
	1490 nm	0,25
<b>Atenuação devido a emenda por fusão</b>		0,1
<b>Atenuação devido a conectores</b>		0,5
<b>Atenuação devido a emenda mecânica</b>		0,3
<b>Atenuação devido aos splitters</b>	1:2	3,7
	1:4	7,3
	1:8	10,5
	1:16	13,7
	1:32	17,1
	1:64	20,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Furukawa, 2018 garante a potência de transmissão (dBm), sensibilidade (dBm) e potência de *downstream* e *upstream* de seus equipamentos segundo a tabela 5.4, e são esses dados que serão levados em conta no cálculo de atenuação.

**Tabela 5.4:** Características dos equipamentos Furukawa, 2018

Potência de Transmissão (dBm)	Mínima	Máxima
OLT	3,5	7
ONU	0	4
<b>Sensibilidade (dBm)</b>		
	Mínima	
OLT	-27	
ONU	-26	
<b>Orçamento de Potência (dB)</b>		
Downstream	29,5	33
Upstream	27	31

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O diagrama unifilar, representado na figura 5.3, mostra que há 6 conectores mecânicos, 4 emendas ópticas, 1 splitter 1:2 e 2 splitters 1:8 por CTO. Além disso o ramal mais distante com esta configuração é o 14 cuja caixa de terminação óptica encontra-se a 4,2 Km da OLT. O Anexo 04 mostra a distância de todos os ramais assim como sua posição em coordenadas UTM.

Na outra configuração disponível, o splitter 1:2 não é utilizado e fibra parte direto da OLT para o backbone esse procedimento foi realizado para reduzir a perda provocada pelo divisor óptico, garantindo desse modo um sinal com boa potência. Os ramais com esse perfil são o 16, 17 e 23.

- **Orçamento de potência Ramal 14**

O cálculo da atenuação em downstream e upstream para o ramal 14 é feito segundo a equação 5.7 e 5.8, sua síntese encontra-se na tabela 5.5. Ressalta-se que no downstream cada ONU recebem todas as informações da OLT e filtra as informações que lhes são destinados. As faixas de onda em downstream variam de 1480 nm a 1500 nm enquanto em upstream a variação é de 1260 nm a 1360 nm (SILVA, 2010).

$$Pot_{downstream} = Pot_{OLT} - \sum \text{Atenuações} - \text{Margem de segurança} \quad (5.7)$$

$$Pot_{upstream} = Pot_{ONU} - \sum \text{Atenuações} - \text{Margem de segurança} \quad (5.8)$$

**Tabela 5.5:** Orçamento de potência para redes FTTH – Ramal 14

Item		Quantidade	Perda Unitária	Perda Acumulada
Conectores		6	0,3	1,8
Emendas por fusão		4	0,1	0,4
Emendas mecânicas		0	0	0
Splitter Distri.	1/8	1	10,5	10,5
Splitter Atend.	1/8	1	10,5	10,5
Splitter DIO	1/2	1	3,7	3,7
Percurso total (km) da Fibra	1310 nm	4,2	0,35	$4,2 \times 0,35 = 1,47$
	1490 nm		0,25	$4,2 \times 0,25 = 1,05$
Atenuação acumulada			<b>Downstream</b>	<b>Upstream</b>
			<b><math>1,8+0,4+2 \times 10,5+3,7+1,05 = 27,95</math> dB</b>	<b><math>1,8+0,4+2 \times 10,5+3,7+1,47 = 28,37</math> dB</b>
Margem de Segurança			<b>3</b>	<b>2</b>
Potência média da OLT			6	
Potência média da ONU			4	
Potência mínima na ONU (downstream)			$6 - 27,95 - 3 = -24,95$ dB	
Potência mínima na OLT (upstream)			$4 - 28,37 - 2 = -26,37$ dB	

Fonte: Elaborado pelo Autor

Couto, 2015 enfatiza que o módulo da perda projetada deve ser menor que a sensibilidade do equipamento que se deseja utilizar. Dessa forma, pela tabela 5.4, verifica-se que o projeto atende os requisitos de funcionamento dos dispositivos.

- **Orçamento de potência Ramal 17**

O ramal 17 é o mais longo do projeto, apresentando um comprimento entre a OLT e a ONU mais distante de 5,3 Km. Pela tabela 5.6 vê-se que as perdas projetadas são menores que as dos equipamentos, satisfazendo dessa forma os critérios de projeto estabelecidos.

**Tabela 5.6:** Orçamento de potência para redes FTTH – Ramal 17

ITEM	QUANTIDADE	PERDA UNITÁRIA	PERDA ACUMULADA
<b>CONECTORES</b>	<b>6</b>	0,3	1,8
<b>EMENDAS POR FUSÃO</b>	<b>4</b>	0,1	0,4
<b>EMENDAS MECÂNICAS</b>	<b>0</b>	0	0
<b>SPLITTER DISTRI.</b>	1/8	<b>1</b>	10,5
<b>SPLITTER ATEND.</b>	1/8	<b>1</b>	10,5
<b>SPLITTER DIO</b>	1/2	<b>0</b>	0
<b>PERCURSO TOTAL (KM) DA FIBRA</b>	1310 nm	<b>5,3</b>	5,3x 0,35 = 1,85
	1490 nm		5,3 x 0,25 = 1,33
<b>ATENUAÇÃO ACUMULADA</b>		<b>Downstream</b>	<b>Upstream</b>
		<b>1,8+0,4+2x10,5+1,33 = 24,53 dB</b>	<b>1,8+0,4+2x10,5+1,85 = 25,05 dB</b>
<b>MARGEM DE SEGURANÇA</b>		<b>3</b>	<b>3</b>
<b>POTÊNCIA MÉDIA DA OLT</b>			6
<b>POTÊNCIA MÉDIA DA ONU</b>			4
<b>POTÊNCIA MÍNIMA NA ONU (DOWNSTREAM)</b>		6 – 24,53 – 3 = -21,53 dB	
<b>POTÊNCIA MÍNIMA NA OLT (UPSTREAM)</b>		4 – 25,05 – 3 = - 24,05 dB	

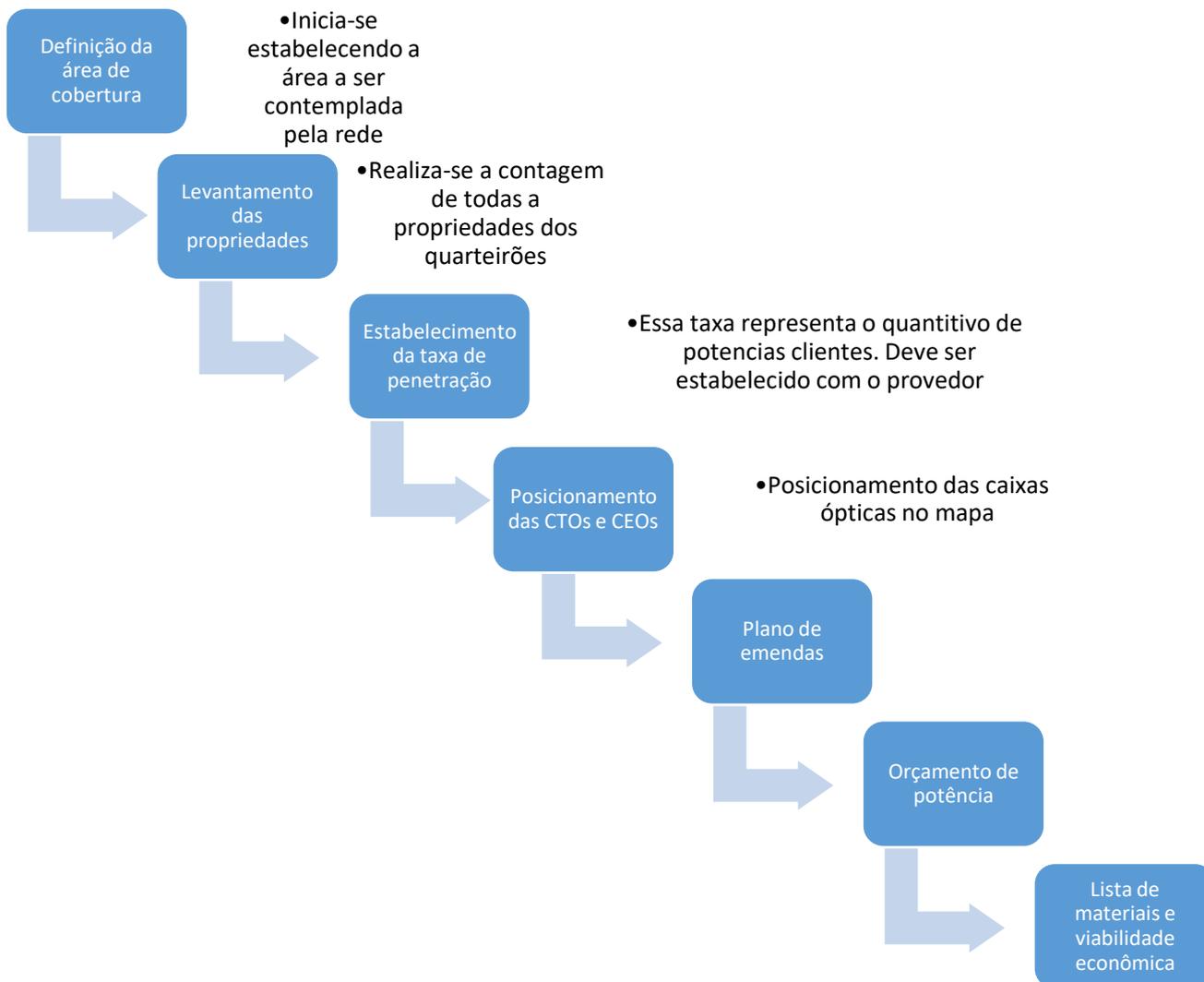
**Fonte:** Elaborado pelo Autor.

A lista de materiais que serão empregados na implementação do projeto encontra-se no Anexo 01, procurou-se expor a quantidade mínima de materiais que serão utilizados para se criar a rede proposta, além disso é possível encontrar no mesmo anexo a viabilidade econômica do sistema FTTH projetada.

## 5.9 Fluxograma para a elaboração de uma rede GPON FTTH balanceada

Nesse tópico é possível visualizar o fluxograma básico para a criação de uma rede FTTH balanceada.

**Figura 5.13:** Fluxograma das etapas de criação de uma rede FTTH



**Fonte:** Elaborado pelo Autor.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que o trabalho cumpriu os objetivos apresentados, pois foi descrito um procedimento prático para a elaboração de uma rede FTTH GPON, visando dessa forma tornar-se uma referência para quem for projetar esse tipo de rede, além disso foram expostas as etapas para a elaboração do sistema e a caracterização básica dos elementos que o compõe.

Antes disso, procurou-se situar o projetista frente ao comportamento físico da luz, as formas de propagação, os modelos de fibras existentes e seus usos, foi exposto sobre as peculiaridades dos tipos de transmissores e receptores ópticos usados atualmente. Explanou-se acerca dos tipos de redes existentes assim como o modelo ideal para a elaboração do projeto proposto.

Foi possível conferir que na elaboração da rede FTTH deve-se conhecer o local em que o sistema será instalado, para se traçar as regiões de atendimento, o posicionamento das CTOs e CEOs, o trajeto do backbone, as distâncias entre os equipamentos. Necessita-se fazer um plano de emenda organizado e sucinto, almejando facilitar a implementação do projeto, além de se realizar o cálculo adequado do orçamento de potência, pois sem isso a rede se tornaria inexecutável.

Ademais, pode-se verificar que o retorno financeiro para o provedor que utiliza rede óptica é curto (por volta de 3 anos), principalmente porque a demanda é grande, o sistema é seguro, a transmissão pode ser realizada à grandes distâncias sem uso de elementos ativos, características essas que tornam o sistema viável economicamente frente as redes ativas tradicionais.

Outros assuntos expostos que merecem atenção se relacionam as evoluções tecnológicas dos sistemas de telecomunicação, pois foi possível conferir, o quão rápido os sistemas com cabeamento metálico tornaram-se antiquados frente a demanda por largura de banda, e que as redes por FO têm conseguido acompanhar tais inovações tecnológicas, tornando-se assim um elemento essencial para garantir a sobrevivência dos provedores no mercado.

Assim acredita-se que esse trabalho possa contribuir com novas pesquisas que abordam a temática além de dá aporte aos profissionais projetistas na elaboração desse tipo de rede, pois elas são bastante requisitadas atualmente. Como limitação percebeu-se que há escassez de materiais relacionados as formas de projetar o sistema, fazendo com que muitas vezes o profissional procure cursos dispendiosos.

## REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, G. P. **Sistemas de comunicação por fibra óptica** / Govind P. Agrawal: tradução José Rodolfo Souza. - 4. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- ARTINEZ, E.F.A.; LEGUIZAMÓN, G. A. P.; FAJARDO, C.A. S. Towards a New Generation of Passive Optical Networks. **Revista Ingeniería**. Vol. 21, No. 1, pp. 49 –62, 2016.
- BASS, M. et al. **Handbook of optics** /sponsored by the Optical Society of America 2 ED United States of America: McGraw-Hill, 1995.
- BERTOLO, D.C. Redes de Fibras óptica: Conexões locais em dimensões globais no Brasil. [Dissertação] Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de linguagem, Programa de Pós-Graduação em Estudo de Cultura Contemporâneas, Cuiabá, 2012.
- BOAVID, J.M.B.M. Modelação e Caracterização de um Díodo Laser de Retroacção Distribuída (DFB). [Dissertação]. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. Portugal, 2009. Disponível em:< <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395138949697/Tese.pdf>>. Acesso: 25 de abril de 2018.
- BOTEZ, D. Lasers diodes are power-packed. **IEEE Spectrum**, vol. 22, Junho 1985.
- BURRUS C. A.; MILLER B. I. Small-area double heterostructure aluminum-gallium arsenide electroluminescent diode sources for optical fiber transmission lines, **Opt. Commun.**, 4, pp. 307–369, 1971.
- CARVALHO, R. N.; ADDABE A. L. R. Rede Local Passiva Óptica versus Rede Local Metálica Ativa. **IV SRST – Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL**. Setembro de 2016.
- Catálogo Fiberoptictel. Disponível em: < <https://www.fiberoptictel.com/8pon-epon-olt-dual-power/>> Acesso: 02 de Junho de 2018.
- COUTO, R. Projeto de Redes FTTX. Disponível em:< <https://www.sympla.com.br/PRIMORI>>. Acesso: 03 de maio de 2018. Departamento de Planejamento de Redes, 2014.
- DIANOV, E.M.; MASHINSKY, V.M. Germania – based core optical fibers. **J. Lightwave Tech**, vol. 23. Nov. 2005.
- EFFENBERGER, F.; et al. An Introduction to PON Technologies. **IEEE Communication Magazine**, Março 2007. Disponível em:< [http://www.pitt.edu/~dtipper/2011/PON\\_Tutorial.pdf](http://www.pitt.edu/~dtipper/2011/PON_Tutorial.pdf)> Acesso 10 de maio de 2018.
- FURUKAWALATAM. Caixa de terminação Óptica. Disponível em:< <https://www.furukawalatam.com/pt-br/catalogo-de-produtos>> Acesso: 27 de maio de 2018.
- GLOGE, D. Offset and tilt loss in optical fiber splices, Bell Sys. **Tech. J.** Vol. 55, maio 1976. Disponível em: < <https://archive.org/details/bstj56-5-703>>. Acesso: 02 de maio de 2018.

GOWER, J. **Optical Communication Systems**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1993.

HALLIDAY, D. **Fundamentos de Física, volume 4: Óptica e física moderna** / Halliday Resnick, Jearl Walker; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio e Biasi. Rio de Janeiro: LTC: 2009.

HERMANS, C.; STAYAERT M. **Broadband Opto-Electrical Receivers**. Springer, New York, 2006.

HIMENO, K.; et al. Low-bending-loss single-mode fibers to the home. **J. Lightwave Tech.** Vol. 23. pp 4147-4154. Dec. 2005. Disponível em: <<https://www.osapublishing.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-23-11-3494>> Acesso: 19 de maio de 2015.

IBGE. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/>> Acesso: 27 de maio de 2018.

IEEE 802.3 ah. Disponível em :< [www.ieee802.org/21/doctree/2006\\_Meeting\\_Docs/2006-11.../802.3ah-2004.pdf](http://www.ieee802.org/21/doctree/2006_Meeting_Docs/2006-11.../802.3ah-2004.pdf)> Acesso 14 de maio de 2018

ITU, T. **G-984.2, “ITU-T G.984.2 Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification”**, vol. 2, no. 2003. p. 12, 2006.

ITU, T. **Manual, Optical Fibres, Cables and Systems**. 2009. Disponível em:< [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf)> Acesso: 11 de maio de 2018.

ITU, T. **Recomendation G.692, Optical Interfaces for Multichannel Systems with Optical Amplifiers**, 1998. Disponível em: < <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.692-199810-I/en>> Acesso 14 de Maio de 2018.

ITU,T. **G-983.1, “ITU-T G.983.1 Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).”** p. 124, 2005. Disponível em: < <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.692-199810-I/en>> Acesso 14 de Maio de 2018.

KEISER, G. **Comunicações por fibras ópticas** / Gerd Keiser; tradução: Márcio Peron Franco Godoy; revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. 4 ed – Porto Alegre: AMGH,2014.

KOONEN, B. T. Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?. **Proceedings of the IEEE**, 2006. Disponível em: < <https://pdfs.semanticscholar.org/0acd/9bb9ccf7c65c6be47b11c47a2e6a73cf6663.pdf>> Acesso: 10 de maio de 2018.

MADEIRA, A.V. Tipos de fibras ópticas. Disponível em:< [http://www.stconsulting.com.br/telecom/fibras-opticas-%E2%80%93-do-conceito-a-aplicacao-%E2%80%93-parte-2-tipos-fibras-e-cabos#.WtpxQZdv\\_IV](http://www.stconsulting.com.br/telecom/fibras-opticas-%E2%80%93-do-conceito-a-aplicacao-%E2%80%93-parte-2-tipos-fibras-e-cabos#.WtpxQZdv_IV)>. Acesso 20 de Abril de 2018.

MARMUR, E.; SHRAGA O. GPON – The Next Big Thing in Optical Access Networks. **Proceedings of the SPIE**, vol. 5282, pp. 199-209, 2004. Disponível em:

<http://www.lightwaveonline.com/articles/2003/04/gpon-the-next-big-thing-in-optical-access-networks-53452427.html>> Acesso: 10 de maio de 2018.

MARMUR, E.; SHRAGA, O. “GPON – The Next Big Thing in Optical Access Networks.” **Proceedings of the SPIE**, vol. 5282, pp. 199-209, 2004.

MARTINI, J.A. Proposta de rede de interconexão WDM com controle TDM. **Acta Scientiarum** 21(4):847-854, 1999.

MATA, A. O que é fibra óptica e como funciona. Disponível em:<  
[www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-optica-e-como-funciona](http://www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-optica-e-como-funciona) > Acesso: 20 de abril de 2018.

MICHIGAN. Catálogo Localizador Visual de Falha. Disponível em:  
<http://michigan.com.br/loja/index.php/produto/localizador-visual-de-falhas-para-fibra-optica-orientek-t10/> Acesso: 20 de maio de 2018.

MOHAMMAD, I.; MOUFTAH, H.T. **The Handbook of Optical Communication Networks**. CRC Press, 2003.

NAKAMURA, H.; et al. Reliable wide-area wavelength division multiplexing passive optical network accommodating Gigabit Ethernet and 10-Gb Ethernet services. **J. Lightwave Tech.**, vol 24, Apr 2006.

NOWAK, D.; MURPHY, J. FTTH: The Overview of Existing Technologies. In Proc. **SPIE Optoelectronics**. Photonic Devices, and Optical Networks , Opto-Ireland, vol. 5825, 2005.

OI, ENGENHARIA. **Manual de Projeto FTTH Oi**. 1ª Ed. Rio de Janeiro:  
PADJEN, R. CCNP: Building Cisco Remote Access Networks Study Guide. **Sybex**, 2004.

PEREIRA, F.C.M. Proposta de um método para otimização e dimensionamento de redes GPON. [**Dissertação**]. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba Paraná, 2013.

PINICIN, O. J.; GIMENEZ, E.J. C. Rede GPON: Conceito e Aplicações. **III SRST – Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL**. Setembro de 2015.

RUDGE, F. Dispersão em fibra óptica. Disponível em:<  
[http://www.dsif.fee.unicamp.br/~rudge/pdf/Dispers\\_Complet\\_f201r.pdf](http://www.dsif.fee.unicamp.br/~rudge/pdf/Dispers_Complet_f201r.pdf)> Acesso: 19 de maio de 2018.

SENIOR, J. **Optical Fiber Communications: Principles and Practice**. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2009.

SENKO. Interconnect Catalogue. Disponível em:<  
[http://www.senko.com/fiber/pdf\\_brochure/InterconnectCatalog\\_2011v26.pdf](http://www.senko.com/fiber/pdf_brochure/InterconnectCatalog_2011v26.pdf)> Acesso: 02 de maio de 2018.

SHI, L.; et al. Energy-Efficient Long-Reach Passive Optical Network: A Network Planning Approach Based on User Behaviors. **Engineering**, vol. 4, no. 4, pp. 449-457, 2010.

SHIRAZ-CHAFOURI, G. **Distributed feedback laser diodes and optical tunable filters**. Wiley, Hoboken NJ EUA, 2004.

SILVA, G. E. V. Estudo para redes WDM-PON. [**Dissertação**]. Universidade de São Paulo. Escola de engenharia de São Carlos. Departamento de engenharia elétrica. São Carlos 2010.  
TAKEUTI, P. Projeto e dimensionamento de redes ópticas passivas (PON). [**Dissertação**]. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 2005.

TANENBAUM, A.S. **Computer Networks**. 4ª ed. Prentice Hall, Vrije University, Amsterdam, 2003.

TANENBAUM, A.S. **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro. Elsevier. 2003.

TELESYSTEM. Disponível em:< <http://www.telesystemsul.com.br/2018/02/fusao-de-fibra-optica/>>. Acesso: 02 de maio de 2018.

WEIS, E.; et al. **GPON FTTH trial – Lessons learned**, **Communications**. vol. 7633, no. 1, pp. 1-7, 2009.

WIRTH, A. **Fibras ópticas: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2002.

YBLON, A.D. **Optical Fiber Fusion Splicing**. Springer, New York, 2005.

## Anexo A – Lista de Materiais e Playback de Investimento

A tabela A1.1 mostra a listagem de equipamentos prevista para o projeto da rede MAN proposta. Para a cotação dos preços foram usados dados do site Mercado Livre (<https://www.mercadolivre.com.br/>). No item 2.1 é possível verificar a nomenclatura padrão para os cabos ópticos. Na tabela A1.2 há uma síntese da legenda utilizada.

**Tabela A1.1:** Lista e Materiais da rede óptica proposta

Lista de materiais					
1. Central Office					
Item	Qtde	Descrição	Unid.	Preço Unitário	Preço Total
1.1	1	Rack 19" - Altura de 44Us	CJ	R\$ 1.600,00	R\$ 1.937,00
1.2	3	DIO 12 FO - Montagem em rack 19" - Com adaptadores fêmea-fêmea SC/APC - Com 24 pigtailes SC/APC e protetores de emendas - Com acessórios e kit de fixação para montagem.	CJ	R\$ 189,00	R\$ 567,00
1.3	4	OLT - GPON - 4 portas PON - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	CJ	R\$ 4.800,00	R\$ 19.200,00
1.5	32	Pathcord - SC/APC - SC/APC - 2 metros - 2 mm de diâmetro - Fibra G652D - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	UN	R\$ 15,00	R\$ 480,00
1.6	11	Splitter 1x2 - Portas de entrada e saída com conectores SC/APC. - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	UN	R\$ 70,00	R\$ 770,00
2. Rede de Alimentação					
2.1	8500	CFOA-SM-AS-80-S-48FO-NR (G652D) - Cabo óptico para rede externa - Fibra monomodo G652D - Para uso aéreo autosuportado, vão entre postes máximo de 80 metros - 06 fibras/tubo, seco - Capa normal - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	M	R\$ 6,90	R\$ 58.650,00
2.2	5000	CFOA-SM-AS-80-S-12FO-NR (G652D) - Cabo óptico para rede externa - Fibra monomodo G652D - Para uso aéreo autosuportado, vão entre	M	R\$ 2,38	R\$ 11.900,00

		postes máximo de 80 metros - 12 fibras/tubo, seco - Capa normal - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL			
<b>2.3</b>	25	CEO - Caixa de Emenda Óptica - Para uso aéreo - 1 entrada oval para sangria do cabo principal - 4 entradas para derivações do cabo principal - Kit para derivação de 4 cabos ópticos - 4 bandejas para 12 emendas - Kit para fixação em poste circular - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	CJ	R\$ 280,00	R\$ 7.000,00
<b>2.4</b>	25	Splitter 1x8 - portas de entrada e saída com fibras nuas, sem conector - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	UN	R\$ 67,75	R\$ 1.693,75
<b>2.5</b>	8500	Custo aproximado com ferragens	M	R\$ 0,80	R\$ 6.800,00
<b>2.6</b>	8500	Lançamento de cabo	M	R\$ 1,50	R\$ 12.750,00
<b>3. Rede de Distribuição</b>					
<b>3.1</b>	12867	CFOA-SM-ASU-80-S-12FO-NR (G652D) - Cabo óptico para rede externa - Fibra monomodo G652D - Para uso aéreo autosuportado, vão entre postes máximo de 80 metros - tubo único, seco - Capa normal - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	M	R\$ 2,44	R\$ 31.395,48
<b>3.2</b>	15714	CFOA-SM-ASU-80-S-06FO-NR (G652D) - Cabo óptico para rede externa - Fibra monomodo G652D - Para uso aéreo autosuportado, vão entre postes máximo de 80 metros - tubo único, seco - Capa normal - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	M	R\$ 1,17	R\$ 18.385,38
<b>3.3</b>	200	CTO - Caixa de Terminação Óptica - Para uso aéreo - 1 entrada principal para entrada e saída do cabo principal sem necessidade de corte do cabo - 16 entradas para cabos drops compactos - 1 bandejas para 12 emendas - Kit para fixação em poste circular - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	CJ	R\$ 136,00	R\$ 27.200,00
<b>3.4</b>	400	Splitter 1x8 - Porta de entrada com fibra nua, sem conector - Portas de saída com conectores SC/APC	UN	R\$ 67,75	R\$ 27.100,00

		- DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL			
3.4	12867	Custo aproximado de ferragens	M	R\$ 0,80	R\$ 10.293,60
3.5	12867	Lançamento de cabo	M	R\$ 1,50	R\$ 19.300,50
<b>4. Equipamentos para atendimento ao cliente</b>					
4.1	192000	CFOAC-BLI-A/B-CM-01-AR-LSZH Cabo óptico drop compacto Fibra G657 Mensajeiro metálico 1 fibra óptica Atrito reduzido (desejável) Grau de proteção contra chama LSZH (desejável) - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	M	R\$ 0,50	R\$ 96.000,00
4.2	6298	Conector para montagem em campo - Padrão SC-APC - Para uso com drop compacto - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	UN	R\$ 15,00	R\$ 94.470,00
4.4	1600	Pathcord reforçado - <b>SC/PC - SC/APC</b> - 2 metros - 2 mm de diâmetro - Fibra G657 - <b>DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL</b>	UN	R\$ 25,00	R\$ 40.000,00
4.5	1600	ONU - GPON (1 porta ETH, faz PPOE) - 1 porta Ethernet - DEVE POSSUIR HOMOLOGAÇÃO ANATEL	UN	R\$ 259,00	R\$ 414.400,00
<b>Total</b>					R\$ 900.294,71

**Tabela A1.2:** Legenda dos cabos ópticos utilizados

<b>Primeiro grupo de letras</b>	
<b>CFOA</b>	Cabo de fibra óptica de acrilato.
<b>DROP</b>	Cabo para atendimento a clientes.
<b>CFOAC</b>	Cabo de fibra de óptica de acesso
<b>Segundo grupo de letras</b>	
<b>SM ou MM</b>	Tipo de fibra – Monomodo ou Multimodo
<b>F8-FTTH</b>	Tipo de cabo – Cabo com mensageiro para ancoragem
<b>BLI-A/B ou SM</b>	Tipo de fibra – monomodo com baixa sensibilidade à curvatura ou multimodo
<b>Terceiro Grupo de letras</b>	
<b>DD ou DDR ou DE</b>	Uso em dutos, dutos protegido contra roedores e diretamente enterrado

<b>AS ou ASU ou AS RA</b>	Autosuportado, autosuportados com tubo único.
<b>SM-G652D</b>	Tipo de fibra –monomodo ou multimodo.
<b>CM ou CD</b>	Tipo de mensageiro –compacto metálico ou compacto dielétrico
<b>Quarto grupo de letras</b>	
<b>G ou S</b>	Gelado ou Seco. Os cabos secos são adequados somente para redes aéreas.
<b>Quinto grupo de letras</b>	
<b>36 FO</b>	Número de Fibras
<b>Sexto grupo de letras</b>	
<b>LSZH ou COG</b>	Tipo de capa –retardante a chama ou retardante a chama com baixa emissão de fumaça tóxica.
<b>AR ou CO</b>	Coefficiente de atrito da capa –atrito reduzido ou convencional

## A.1 Payback de Investimento

A tabela A1.3 mostra a previsão do retorno financeiro da rede proposta. Verifica-se que em 30 meses (2 anos e meio) o investimento inicial é recuperado. Para a simulação abaixo utilizou-se uma taxa de adesão de 20% nos dois primeiros meses acrescido de 10% ao bimestre. Além disso levou-se em conta que o preço do Mbps comprado pelo provedor seria de R\$50,00. Cogitou-se que o preço da internet seria R\$70,00 para o plano de 10Mbps, R\$ 80,00 para o de 20Mbps, R\$ 100,00 para o de 40 Mbps e R\$200,00 para o de 80Mbps.

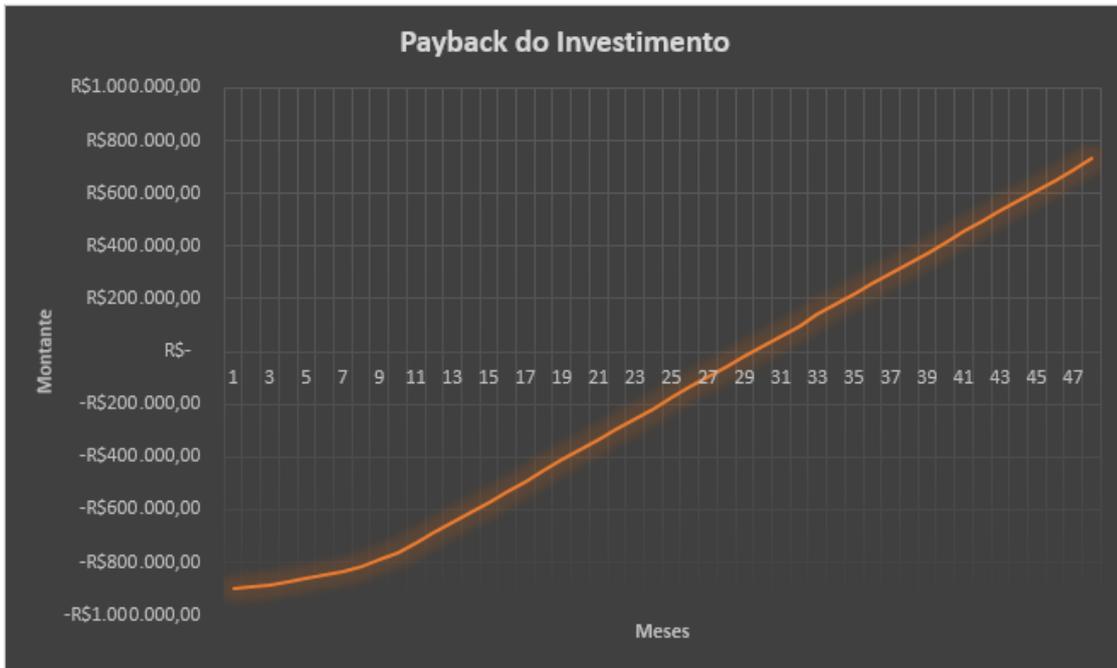
Quanto aos recursos humanos previu-se 5 funcionários ganhando um salário mínimo (valor atual: R\$954,00) cada. Acrescentou-se também o item outras despesas, referentes a conta de energia, água ou manutenções. O gráfico A.1 mostra o payback do investimento proposto.

Tabela A1.3: Receita e despesas previstas.

Mês	Arrecadação bruta	Inadimplência (10%)	Carga tributária (15%)	Recursos Humanos	Outras despesas (15%)	Arrecadação Líquida	Investimento R\$ 900.294,71
1	R\$ 14.720,00	R\$ 1.472,00	R\$ 2.208,00	R\$ 4.770,00	R\$ 2.208,00	R\$ 4.062,00	-R\$ 896.232,71
2	R\$ 14.720,00	R\$ 1.472,00	R\$ 2.208,00	R\$ 4.770,00	R\$ 2.208,00	R\$ 4.062,00	-R\$ 892.170,71
3	R\$ 22.080,00	R\$ 2.208,00	R\$ 3.312,00	R\$ 4.770,00	R\$ 3.312,00	R\$ 8.478,00	-R\$ 883.692,71
4	R\$ 22.080,00	R\$ 2.208,00	R\$ 3.312,00	R\$ 4.770,00	R\$ 3.312,00	R\$ 8.478,00	-R\$ 875.214,71
5	R\$ 29.440,00	R\$ 2.944,00	R\$ 4.416,00	R\$ 4.770,00	R\$ 4.416,00	R\$ 12.894,00	-R\$ 862.320,71
6	R\$ 29.440,00	R\$ 2.944,00	R\$ 4.416,00	R\$ 4.770,00	R\$ 4.416,00	R\$ 12.894,00	-R\$ 849.426,71
7	R\$ 36.800,00	R\$ 3.680,00	R\$ 5.520,00	R\$ 4.770,00	R\$ 5.520,00	R\$ 17.310,00	-R\$ 832.116,71
8	R\$ 36.800,00	R\$ 3.680,00	R\$ 5.520,00	R\$ 4.770,00	R\$ 5.520,00	R\$ 17.310,00	-R\$ 814.806,71
9	R\$ 51.520,00	R\$ 5.152,00	R\$ 7.728,00	R\$ 4.770,00	R\$ 7.728,00	R\$ 26.142,00	-R\$ 788.664,71
10	R\$ 51.520,00	R\$ 5.152,00	R\$ 7.728,00	R\$ 4.770,00	R\$ 7.728,00	R\$ 26.142,00	-R\$ 762.522,71
11	R\$ 66.240,00	R\$ 6.624,00	R\$ 9.936,00	R\$ 4.770,00	R\$ 9.936,00	R\$ 34.974,00	-R\$ 727.548,71

12	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 688.158,71
13	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 648.768,71
14	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 609.378,71
15	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 569.988,71
16	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 530.598,71
17	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 491.208,71
18	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 451.818,71
19	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 412.428,71
20	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 373.038,71
21	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 333.648,71
22	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 294.258,71
23	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 254.868,71
24	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 215.478,71
25	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 176.088,71
26	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 136.698,71
27	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 97.308,71
28	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 57.918,71
29	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	-R\$ 18.528,71
30	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 20.861,29
31	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 60.251,29
32	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 99.641,29
33	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 139.031,29
34	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 178.421,29
35	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 217.811,29
36	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 257.201,29
37	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 296.591,29
38	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 335.981,29
39	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 375.371,29
40	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 414.761,29
41	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 454.151,29
42	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 493.541,29
43	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 532.931,29
44	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 572.321,29
45	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 611.711,29
46	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 651.101,29
47	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 690.491,29
48	R\$ 73.600,00	R\$ 7.360,00	R\$ 11.040,00	R\$ 4.770,00	R\$ 11.040,00	R\$ 39.390,00	R\$ 729.881,29

**Gráfico A.1:** Payback do investimento proposto

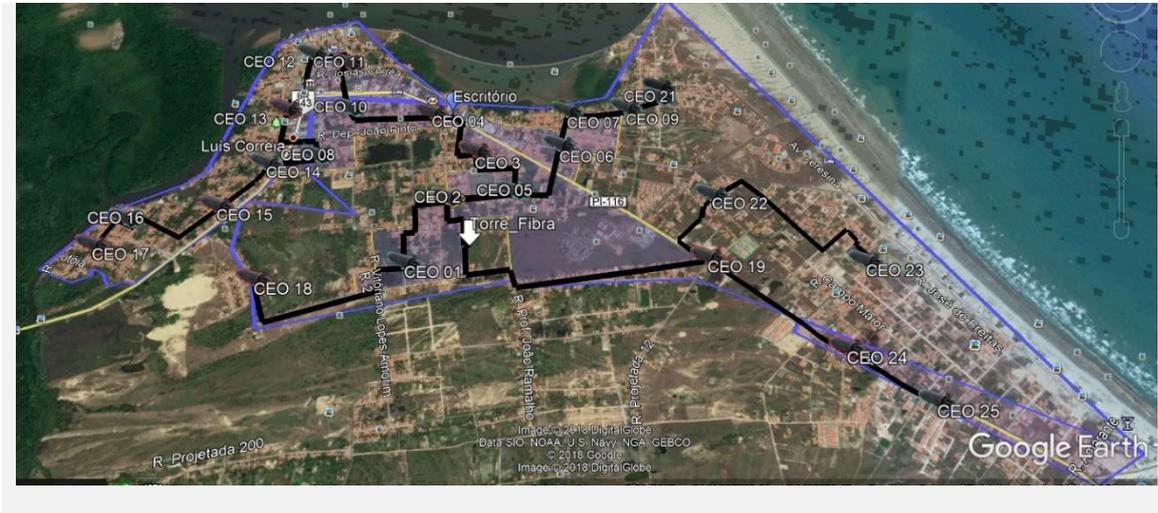


Fonte: Elaborado pelo Autor.

## A2. Ramais da Rede

Na sequência abaixo é mostrado os ramais que fazem parte da rede óptica proposta.

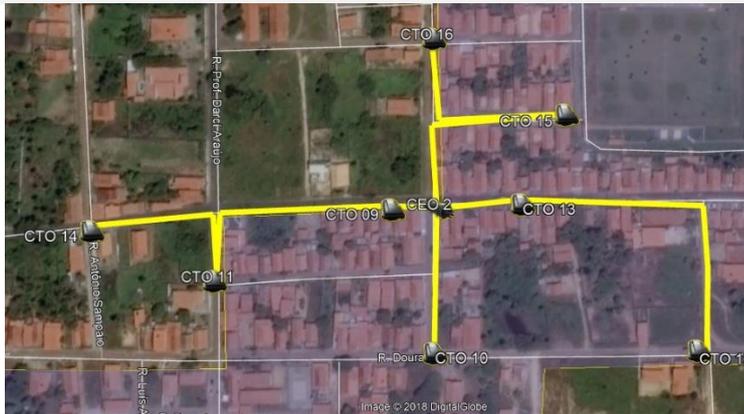
### Backbone da Rede proposta



### Ramal 01



## Ramal 02



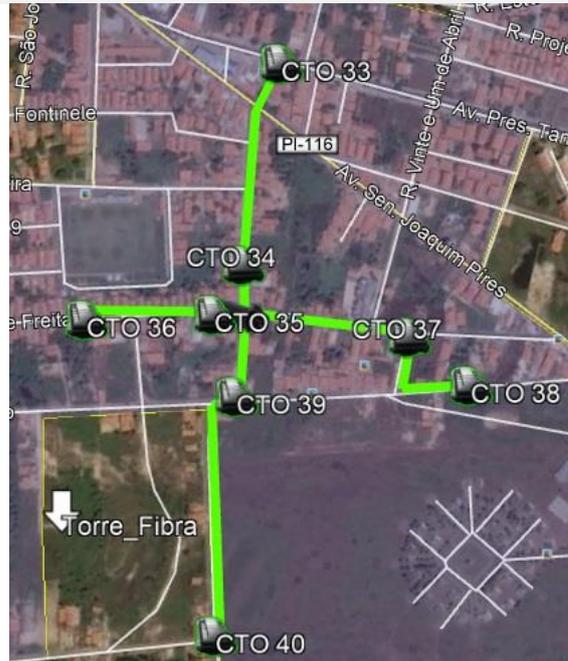
## Ramal 03



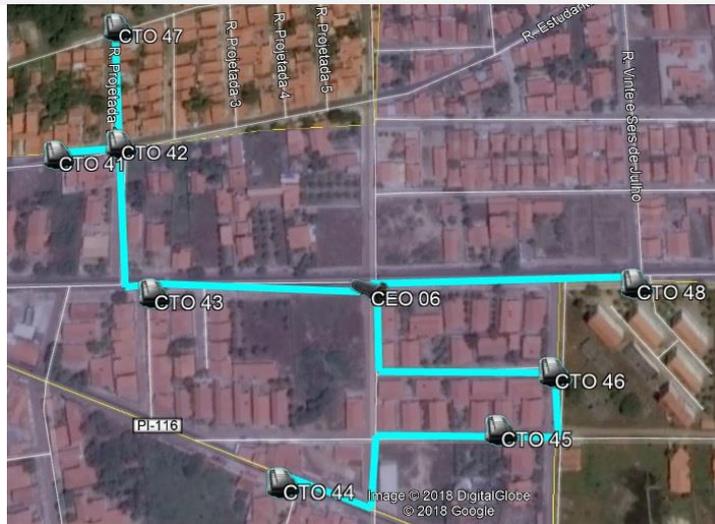
## Ramal 04



### Ramal 05



### Ramal 06



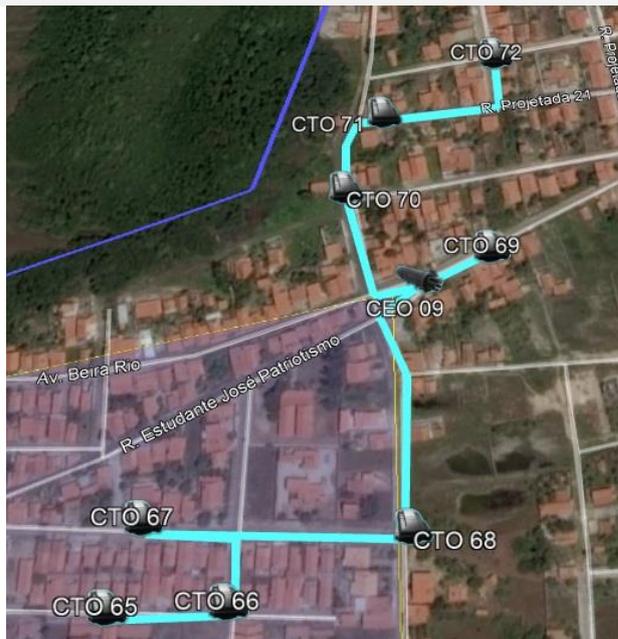
### Ramal 07



### Ramal 08



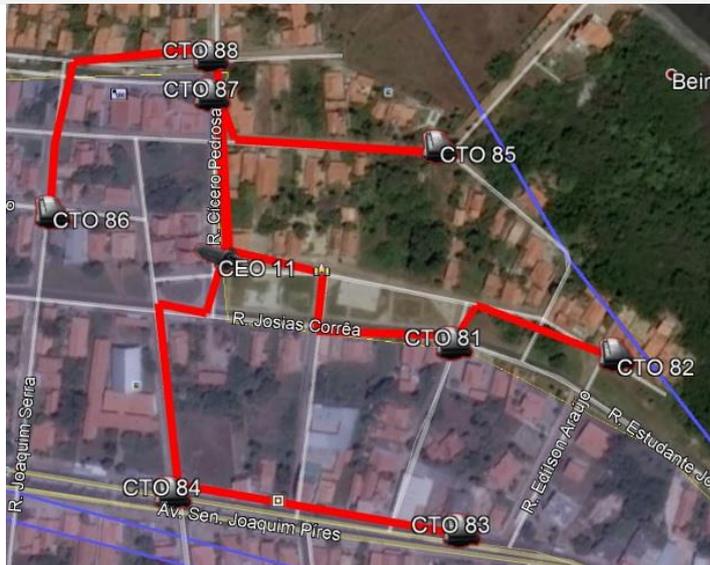
### Ramal 09



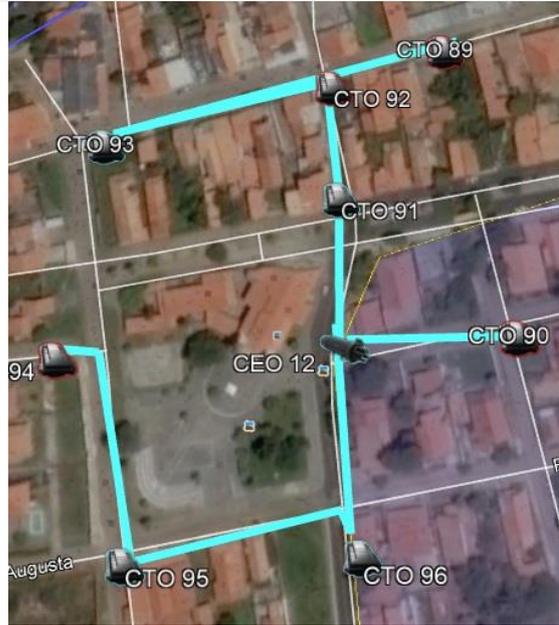
### Ramal 10



### Ramal 11



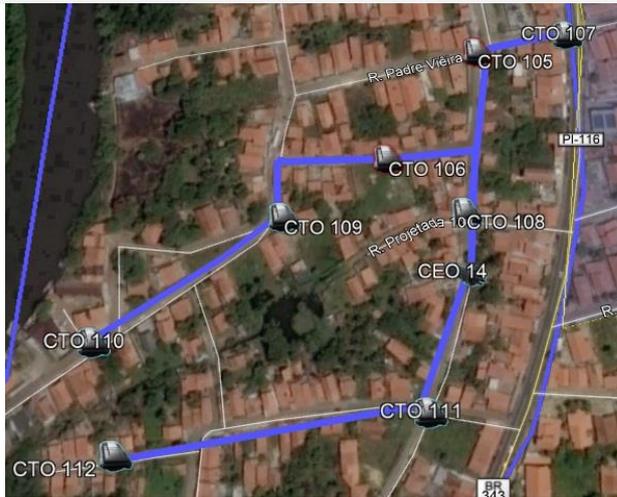
### Ramal 12



### Ramal 13



### Ramal 14



### Ramal 15



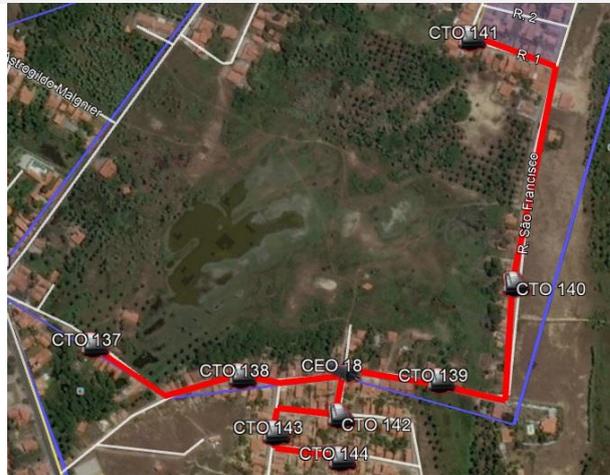
### Ramal 16



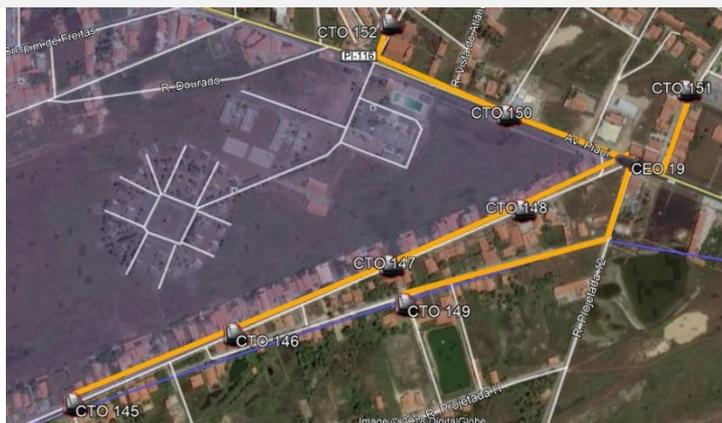
### Ramal 17



### Ramal 18



### Ramal 19



## Ramal 20



## Ramal 21



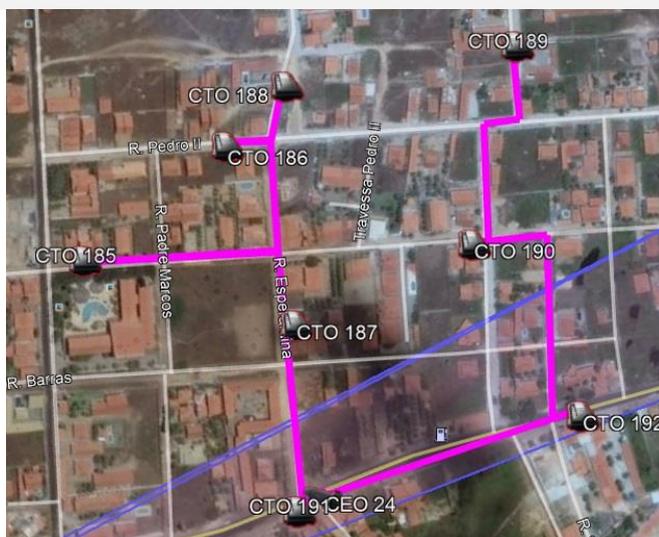
### Ramal 22



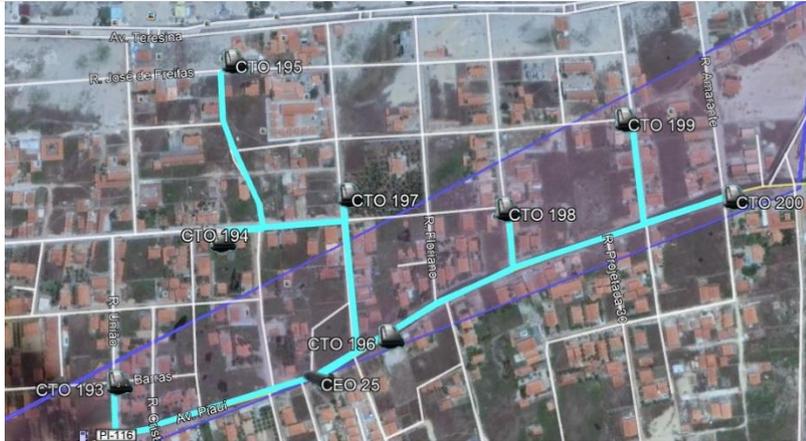
### Ramal 23



### Ramal 24



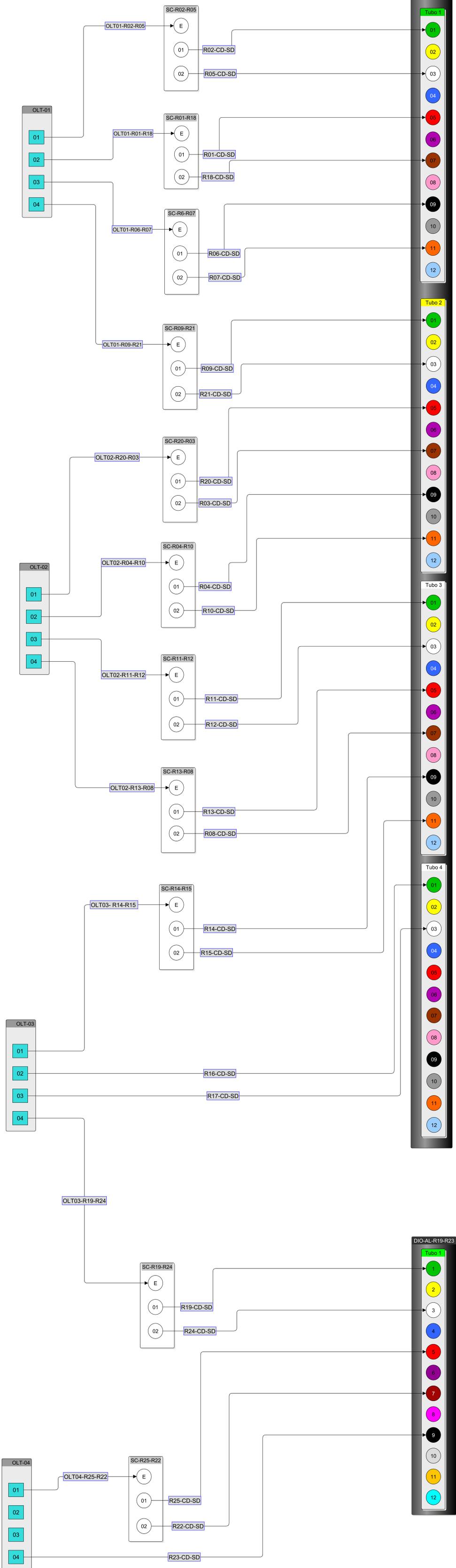
## Ramal 25

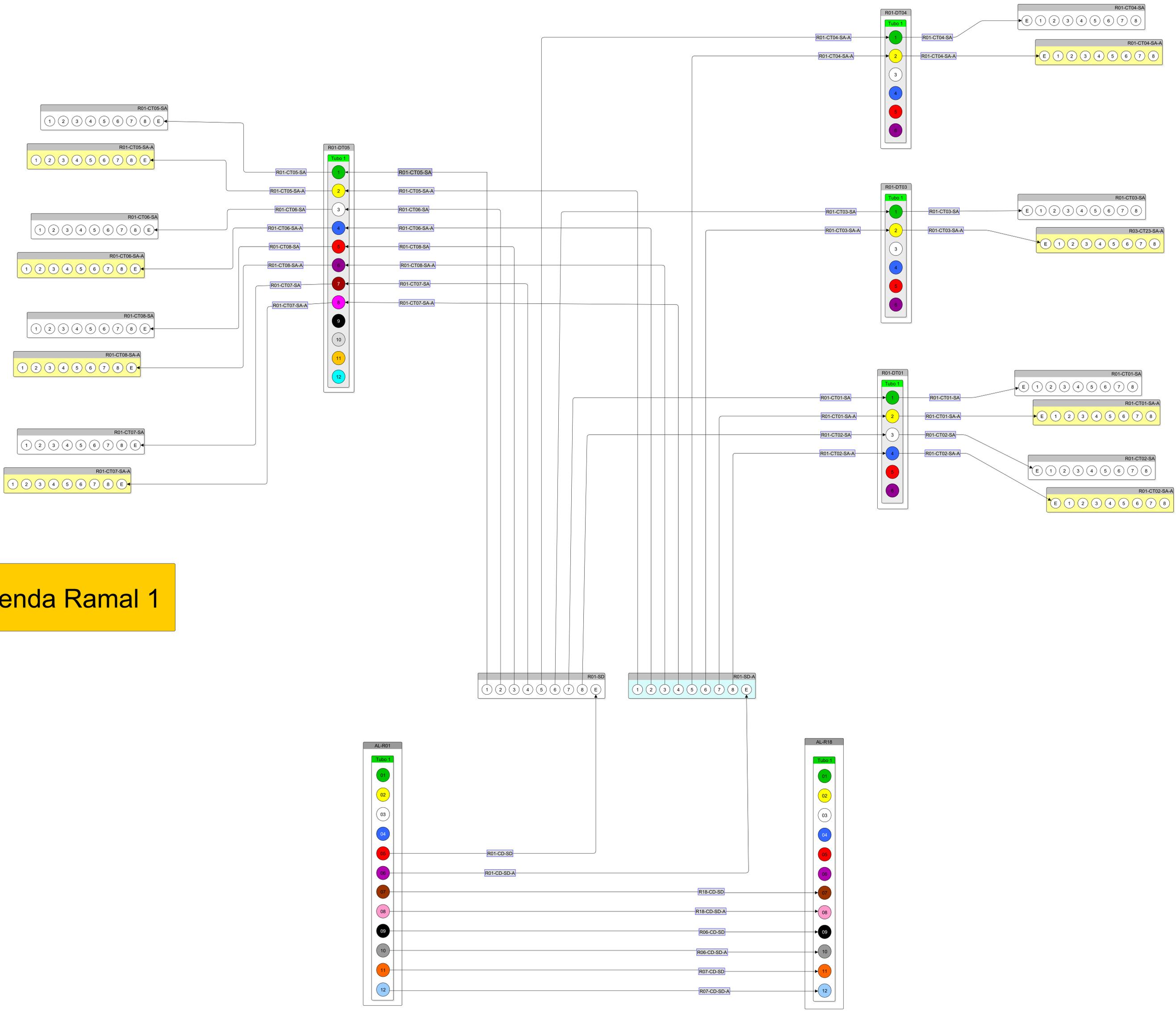


### Anexo 03 – Diagrama Unifilar e Plano de Emendas

Neste anexo será mostrado os diagramas unifilares e os planos de emenda dos dez primeiros ramais. Não será exposto todo o projeto para garantir o sigilo do cliente, no entanto, o que será exibido é suficiente para o leitor ter uma base de como se deve realizar o plano de emendas ou o diagrama unifilar.

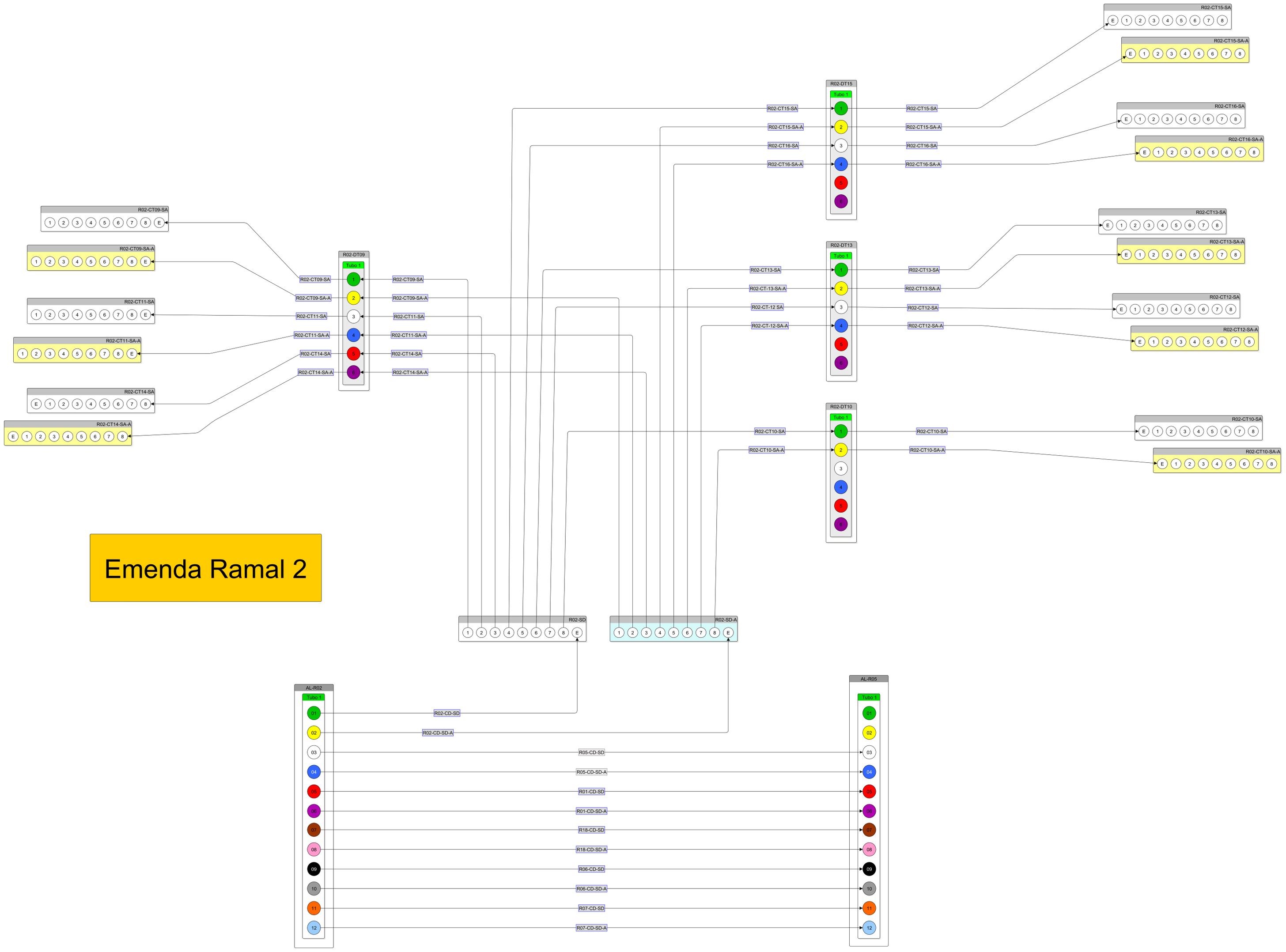
# Emenda Ramais das OLTs



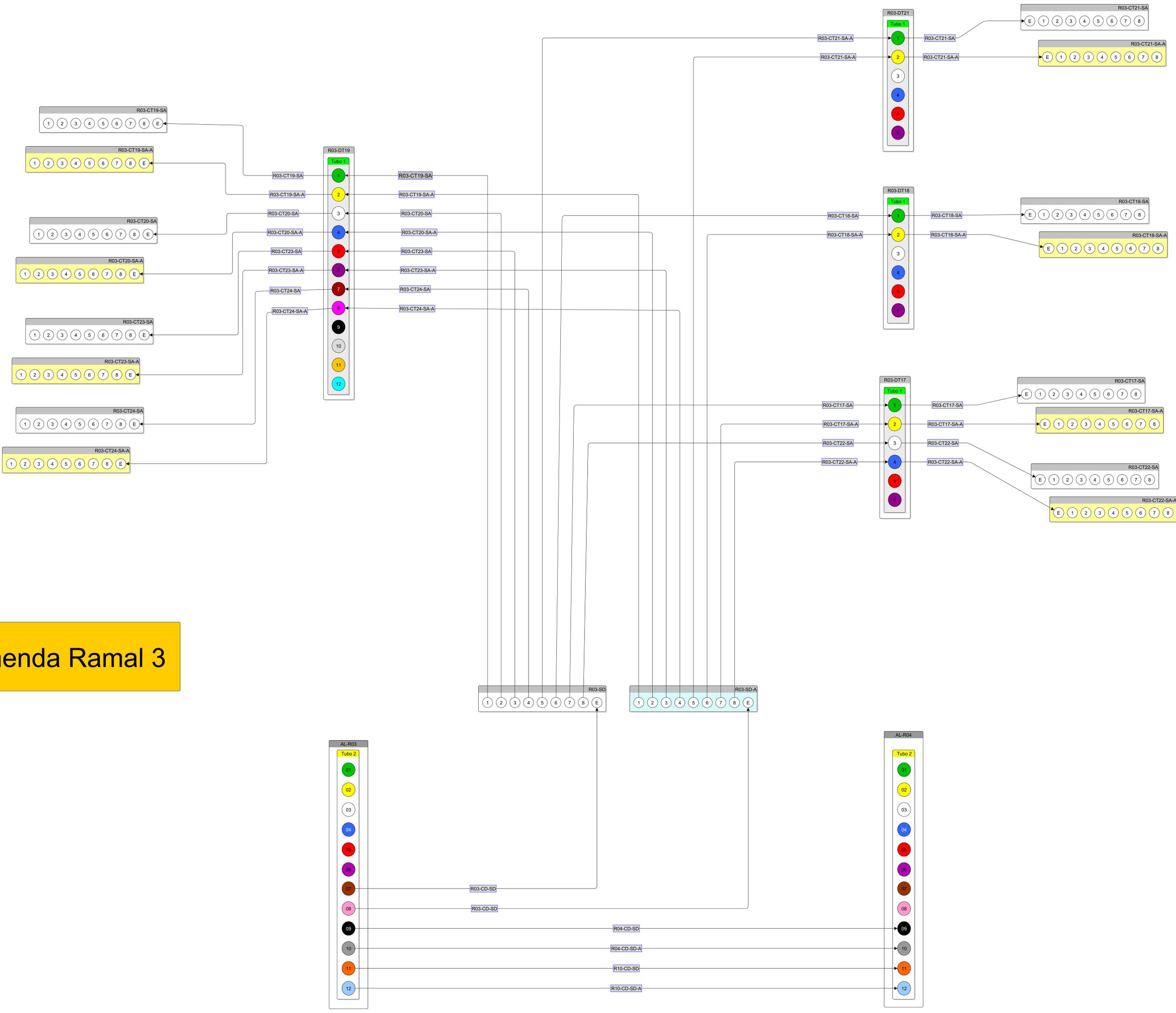


Emenda Ramal 1

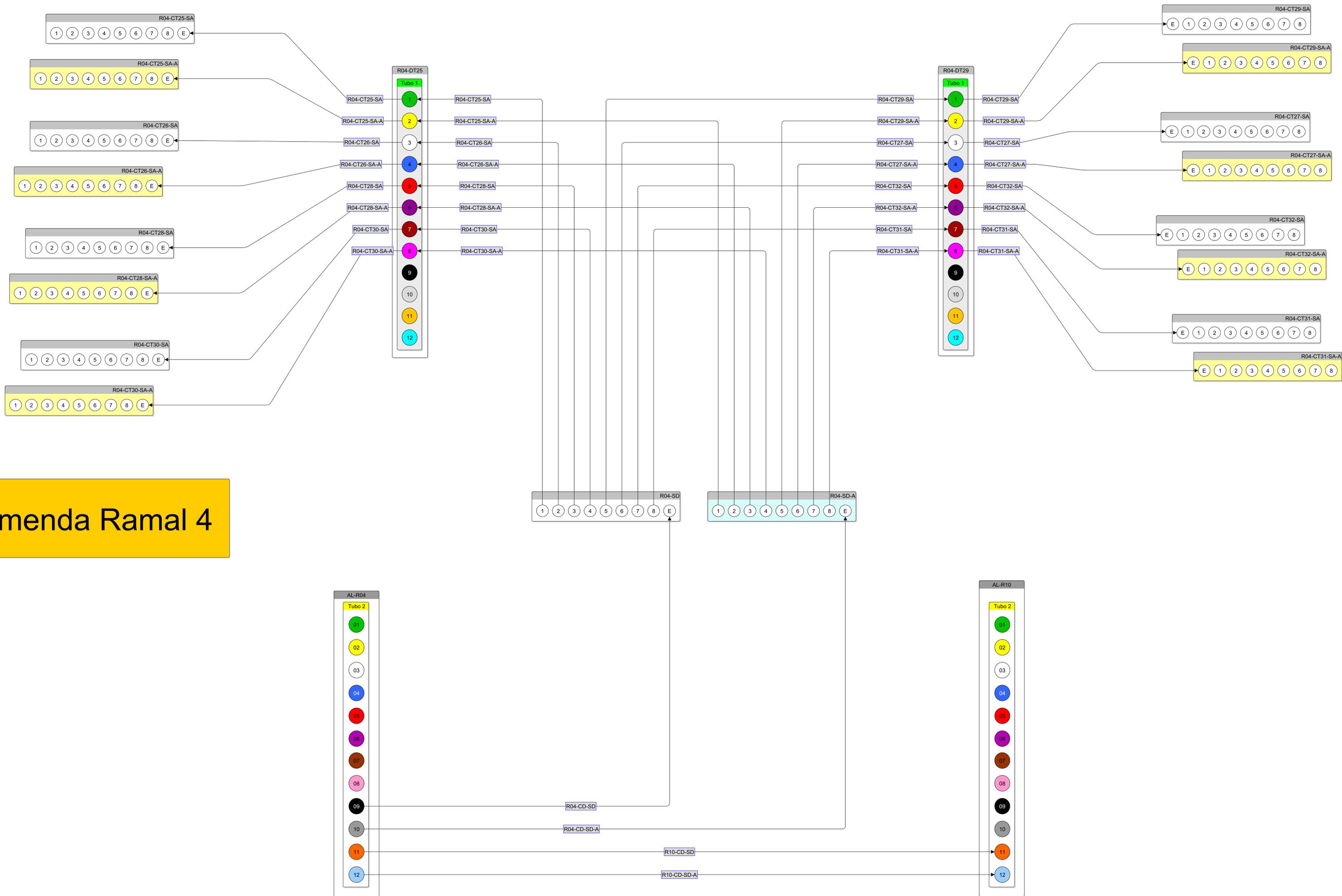
# Emenda Ramal 2



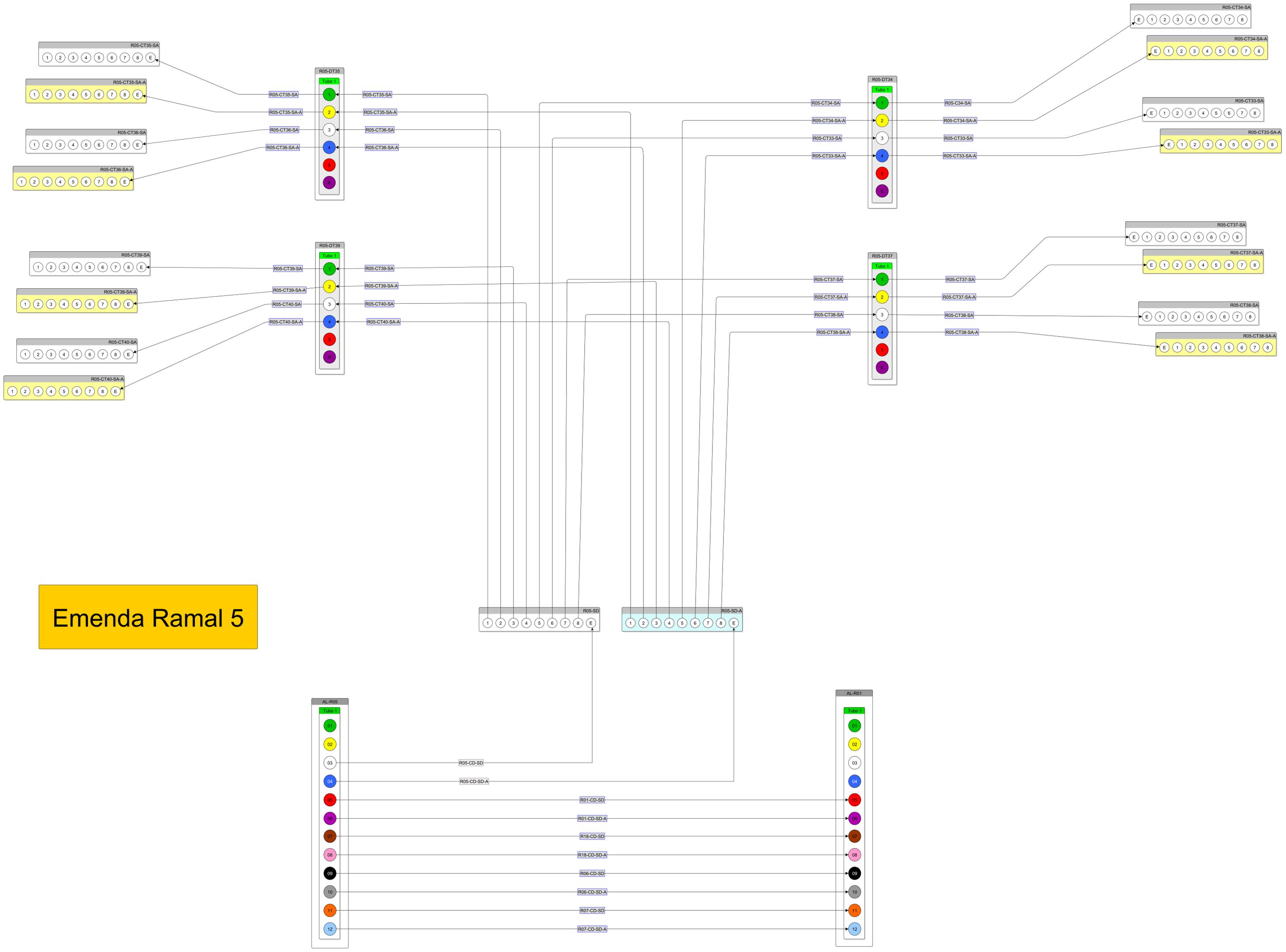
# Emenda Ramal 3



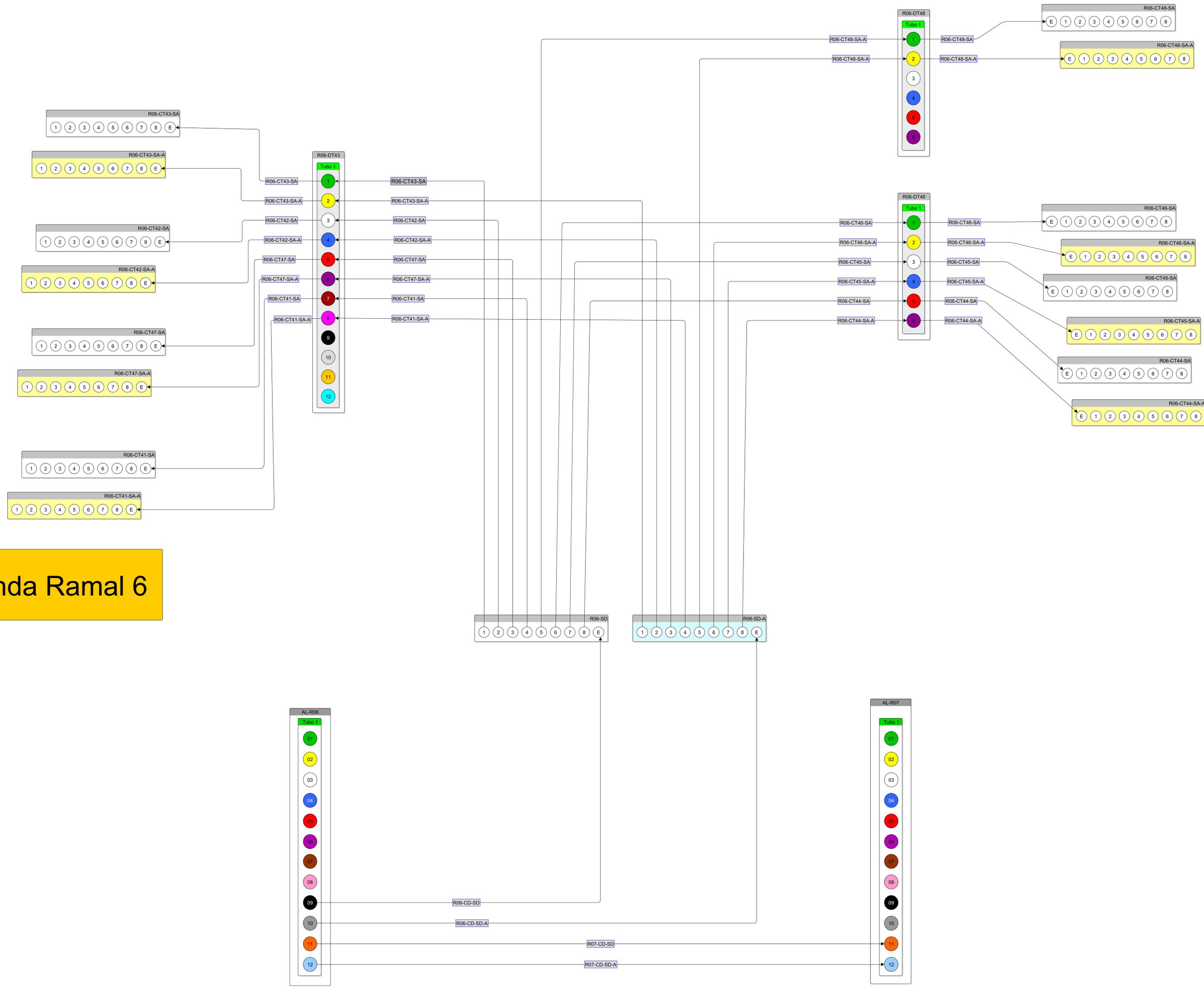
# Emenda Ramal 4



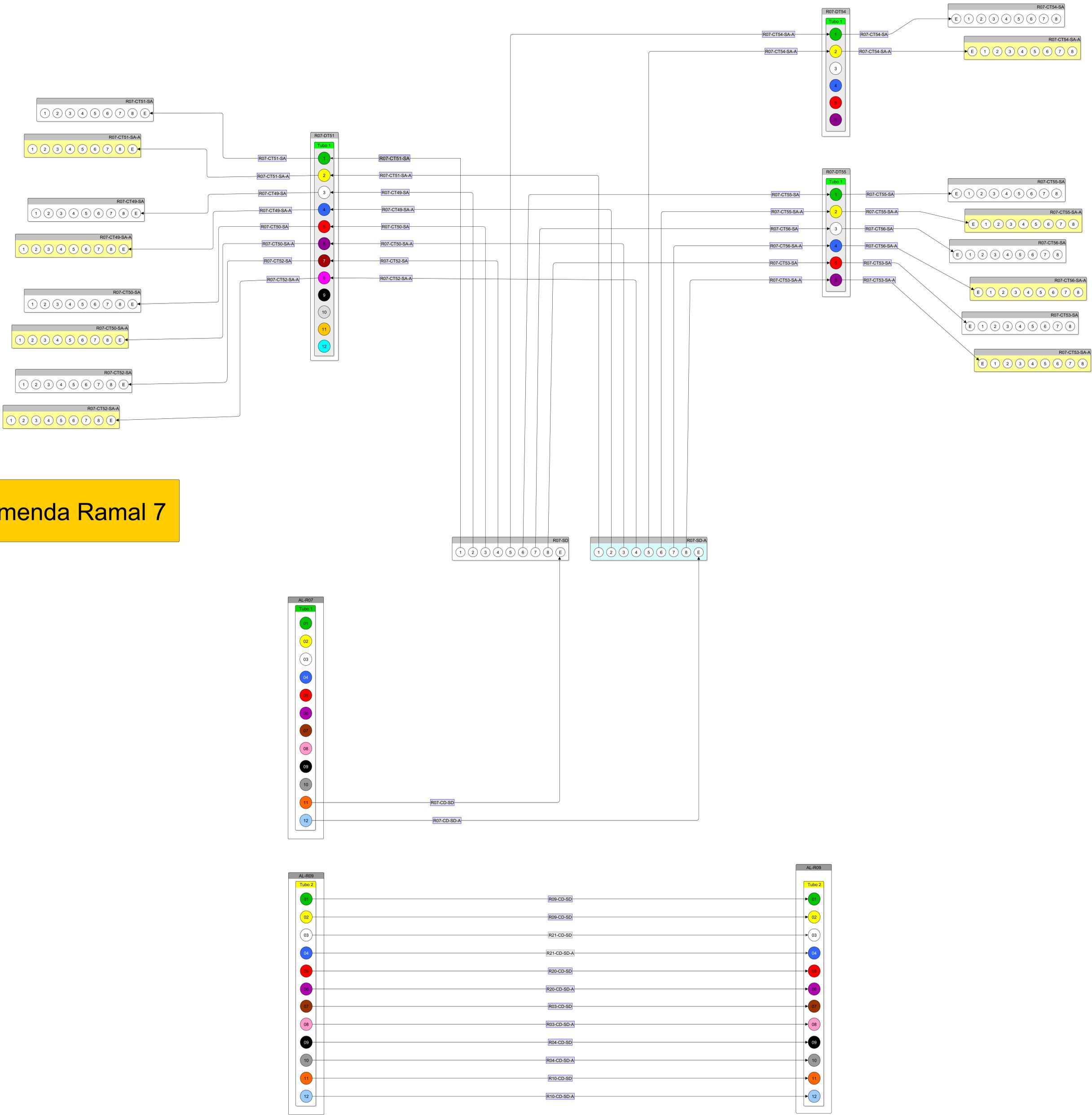
# Emenda Ramal 5



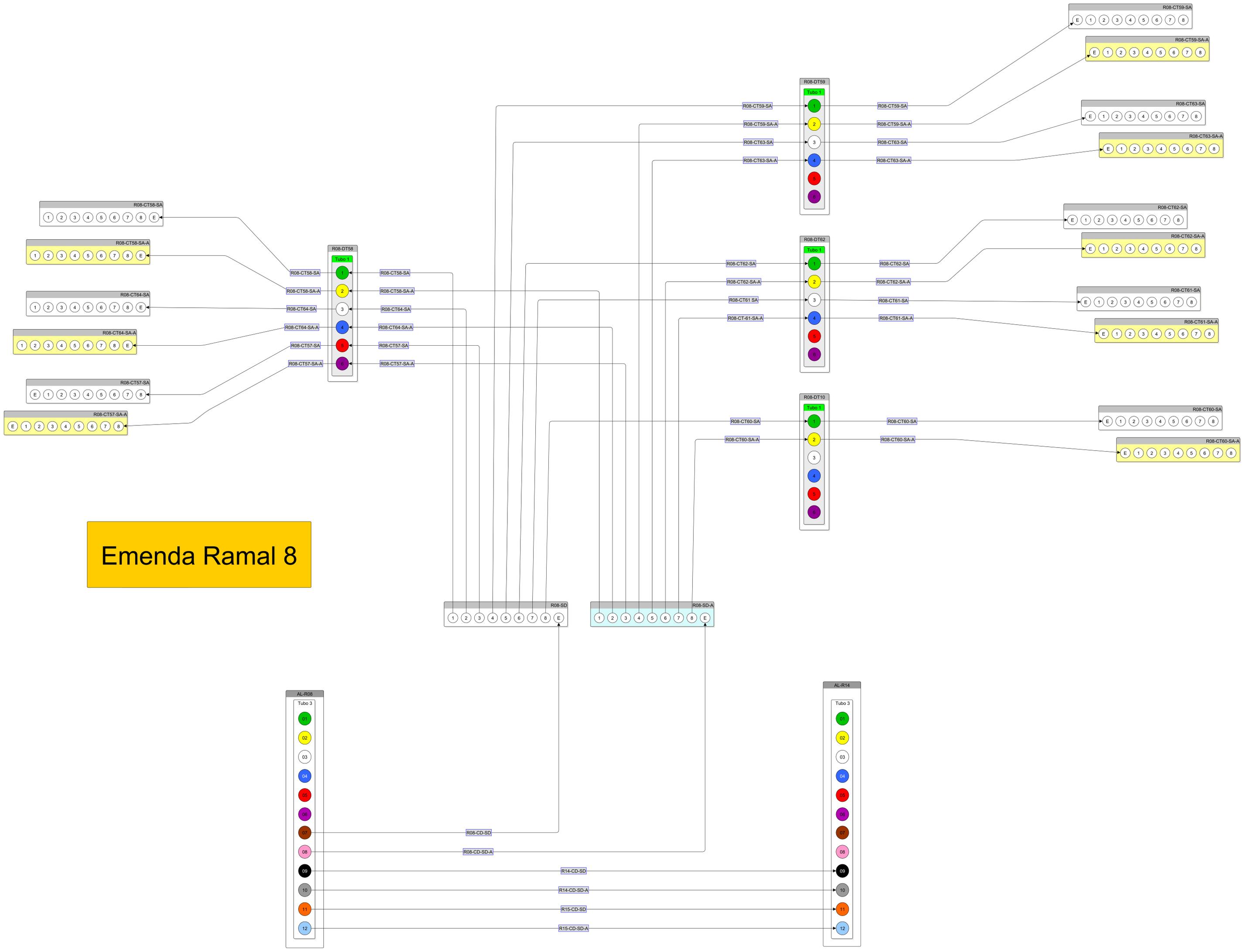
# Emenda Ramal 6

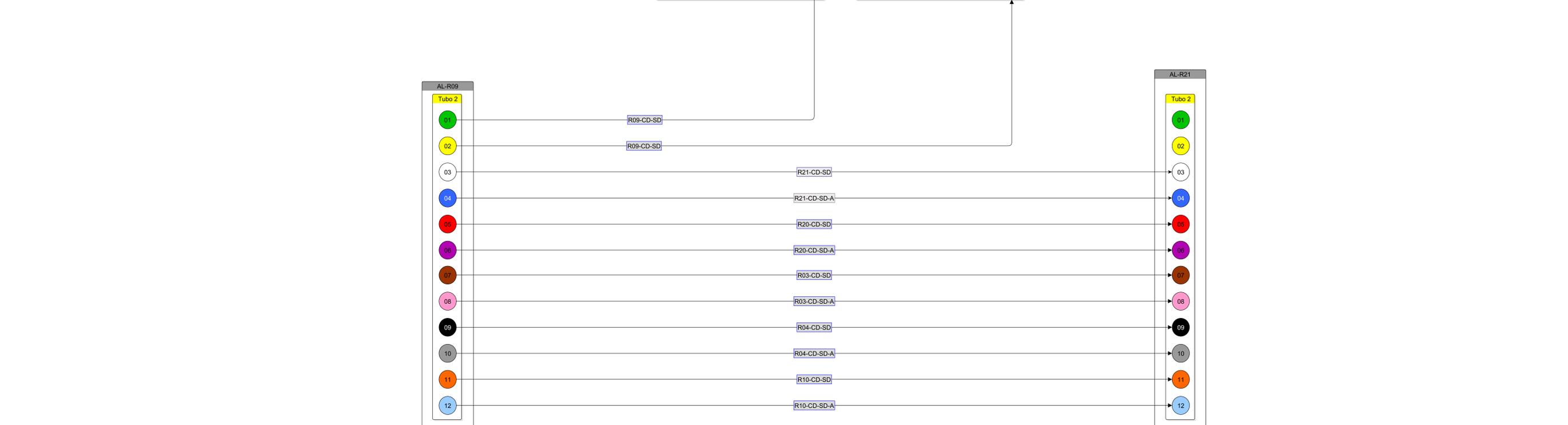
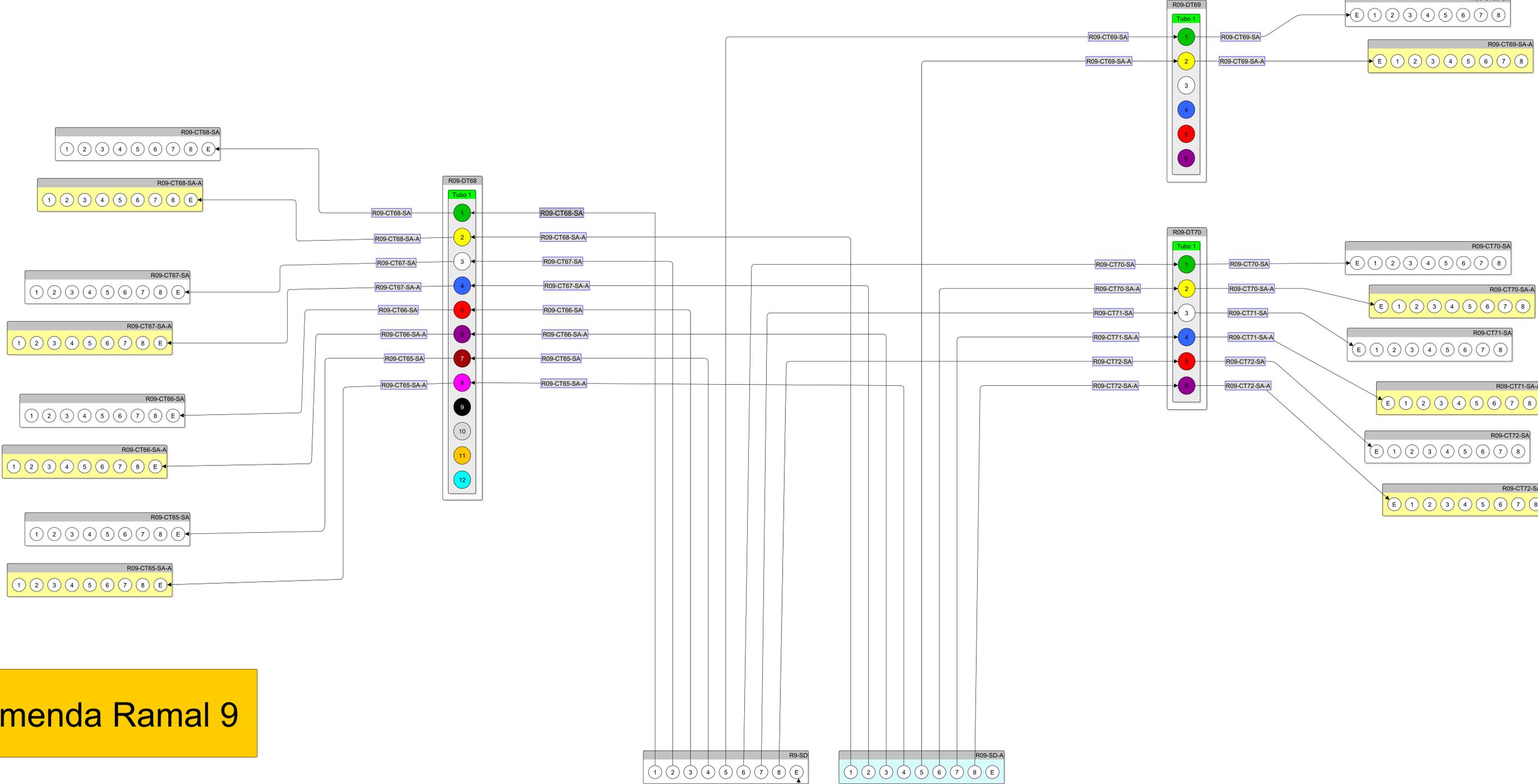


# Emenda Ramal 7



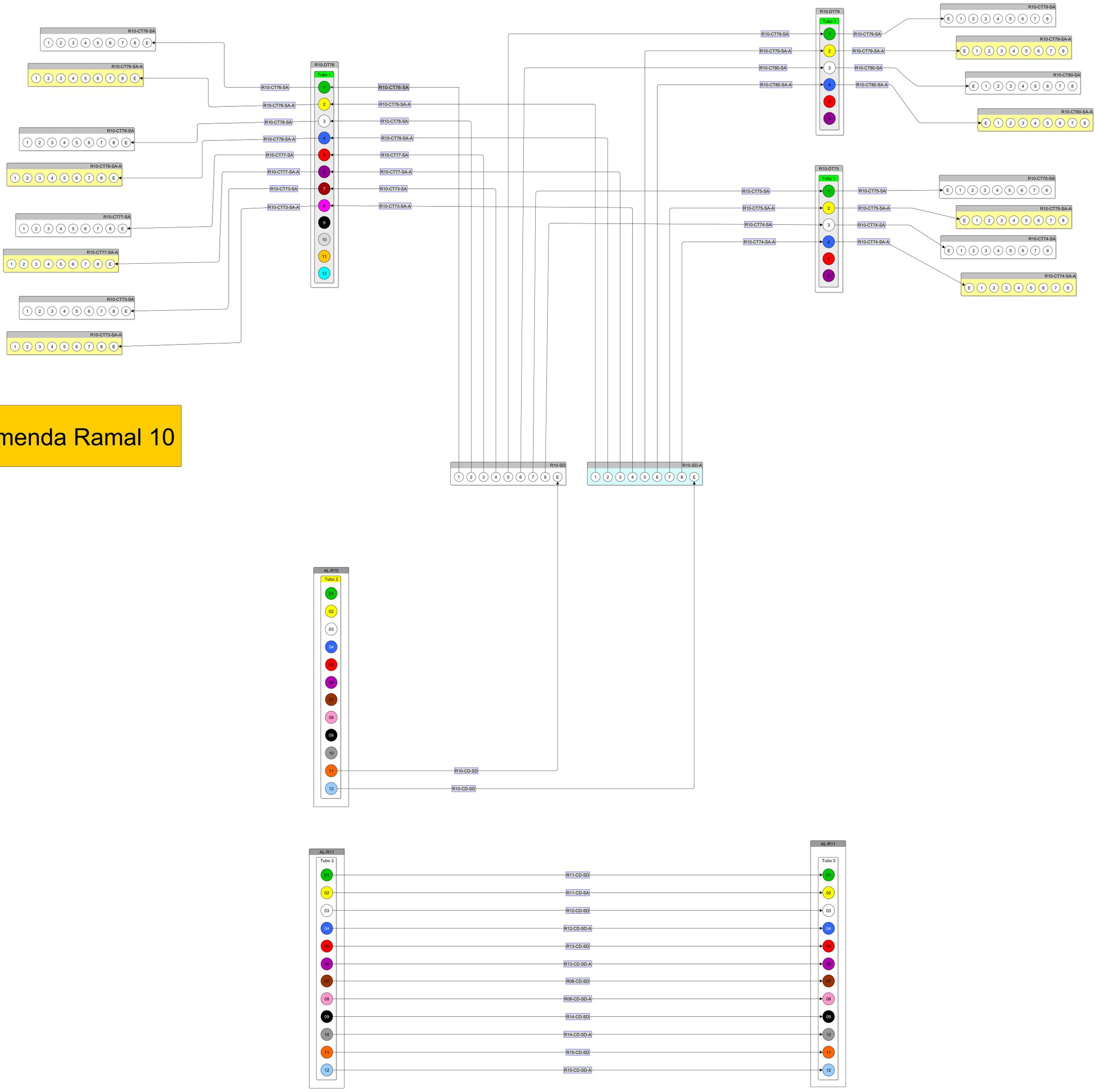
# Emenda Ramal 8



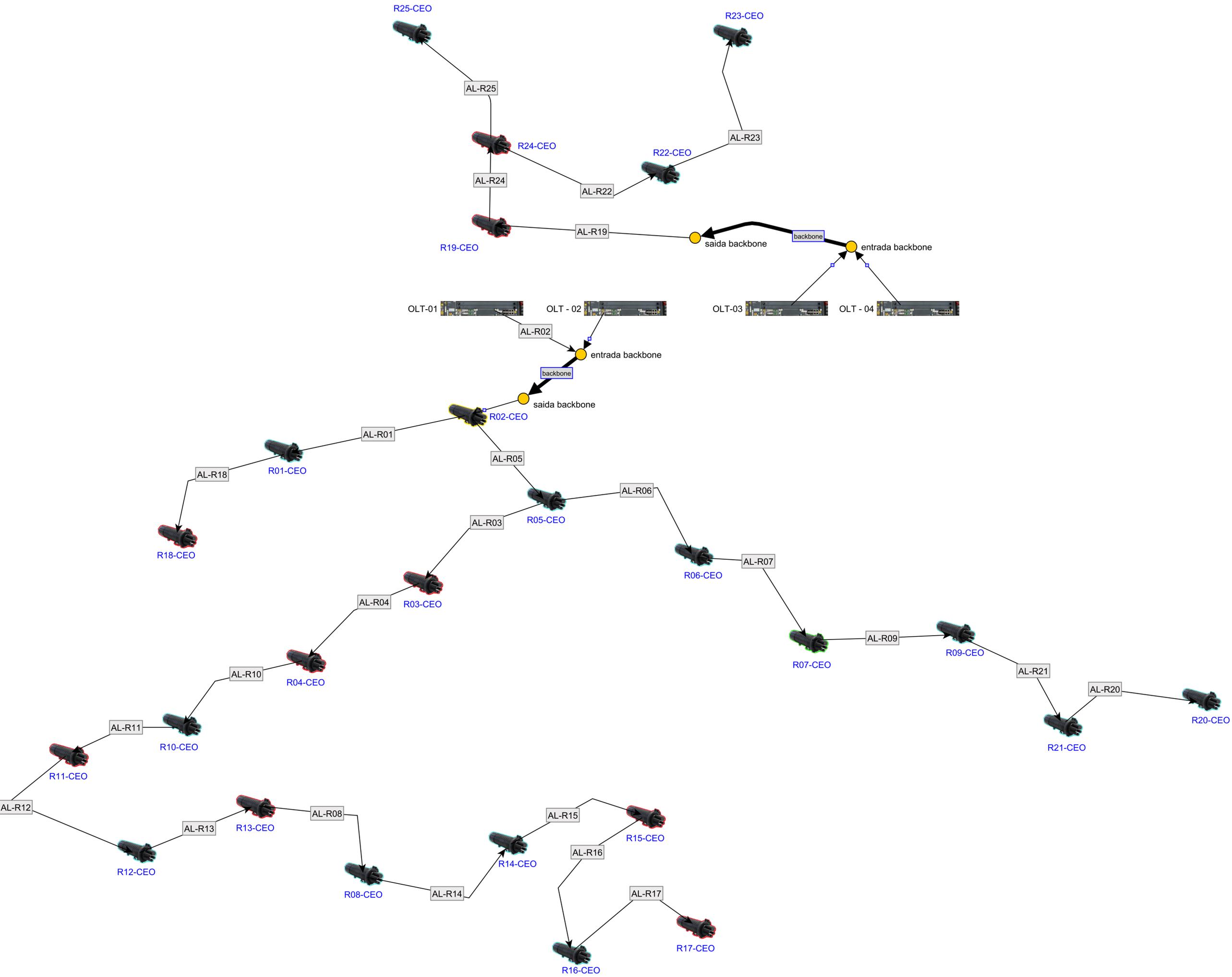


# Emenda Ramal 9

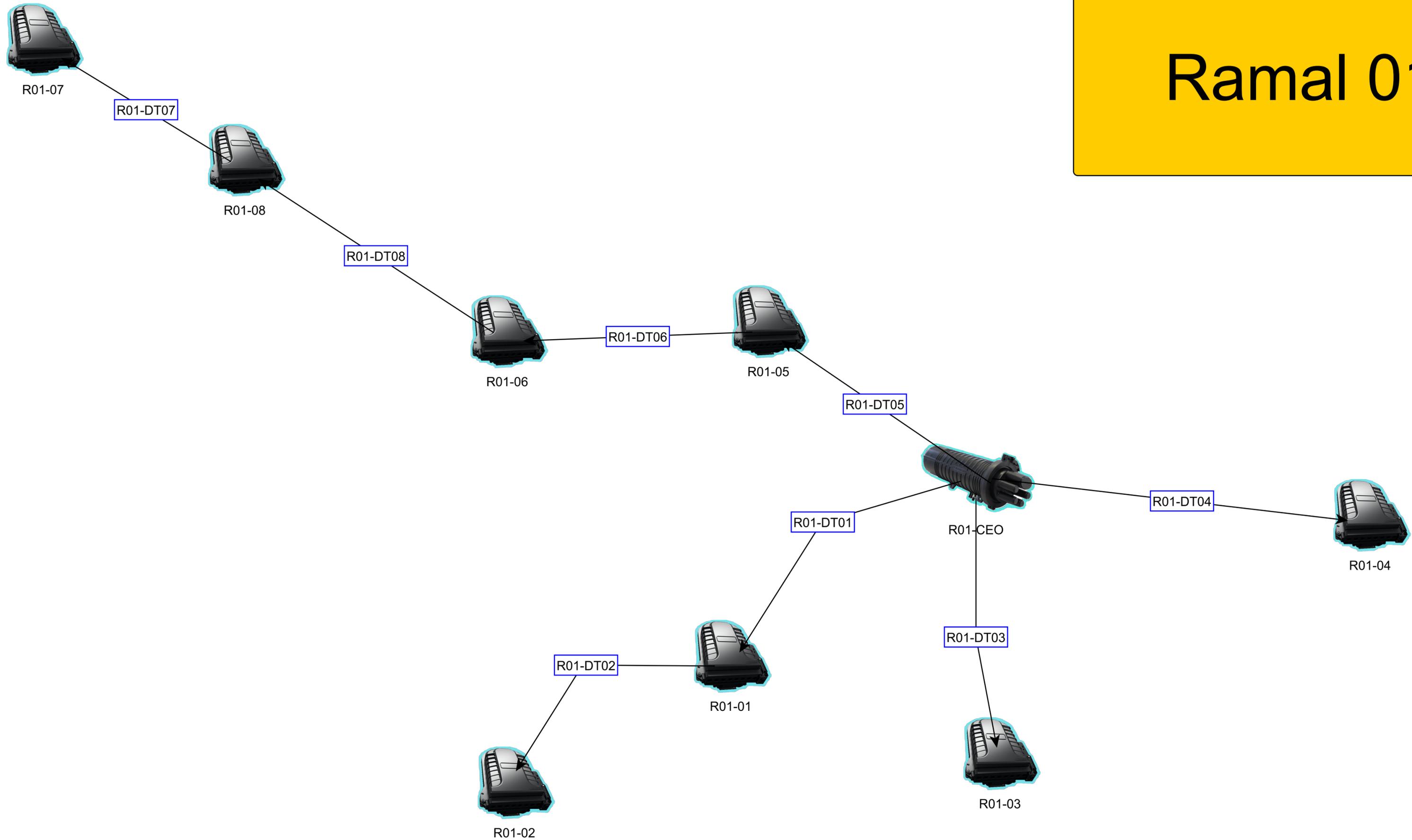
# Emenda Ramal 10

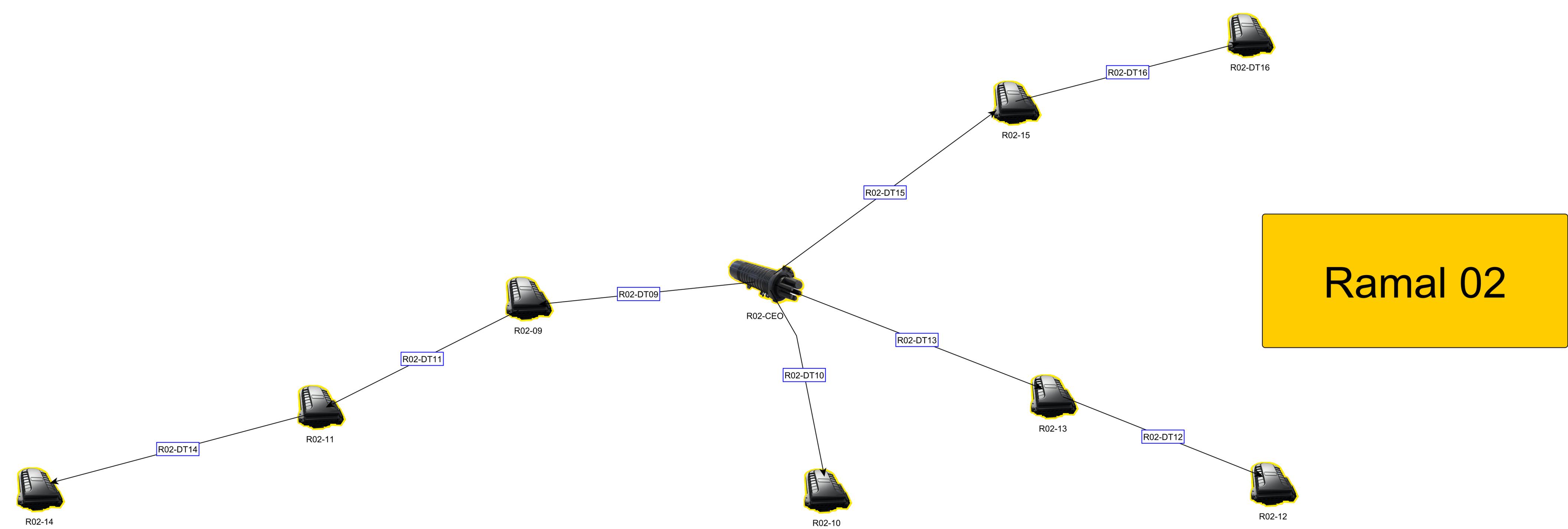


# Ramais das caixas de emendas ópticas

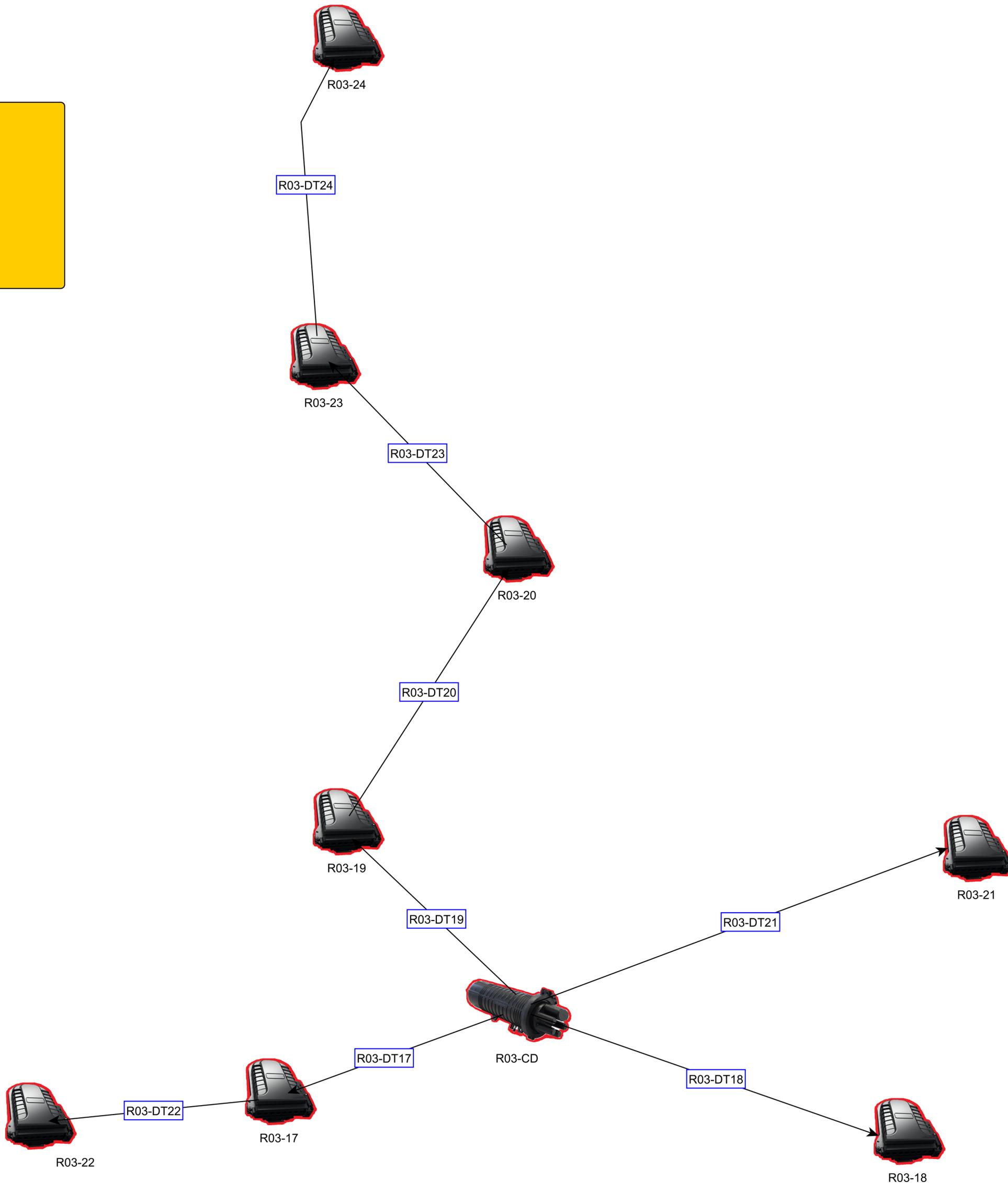


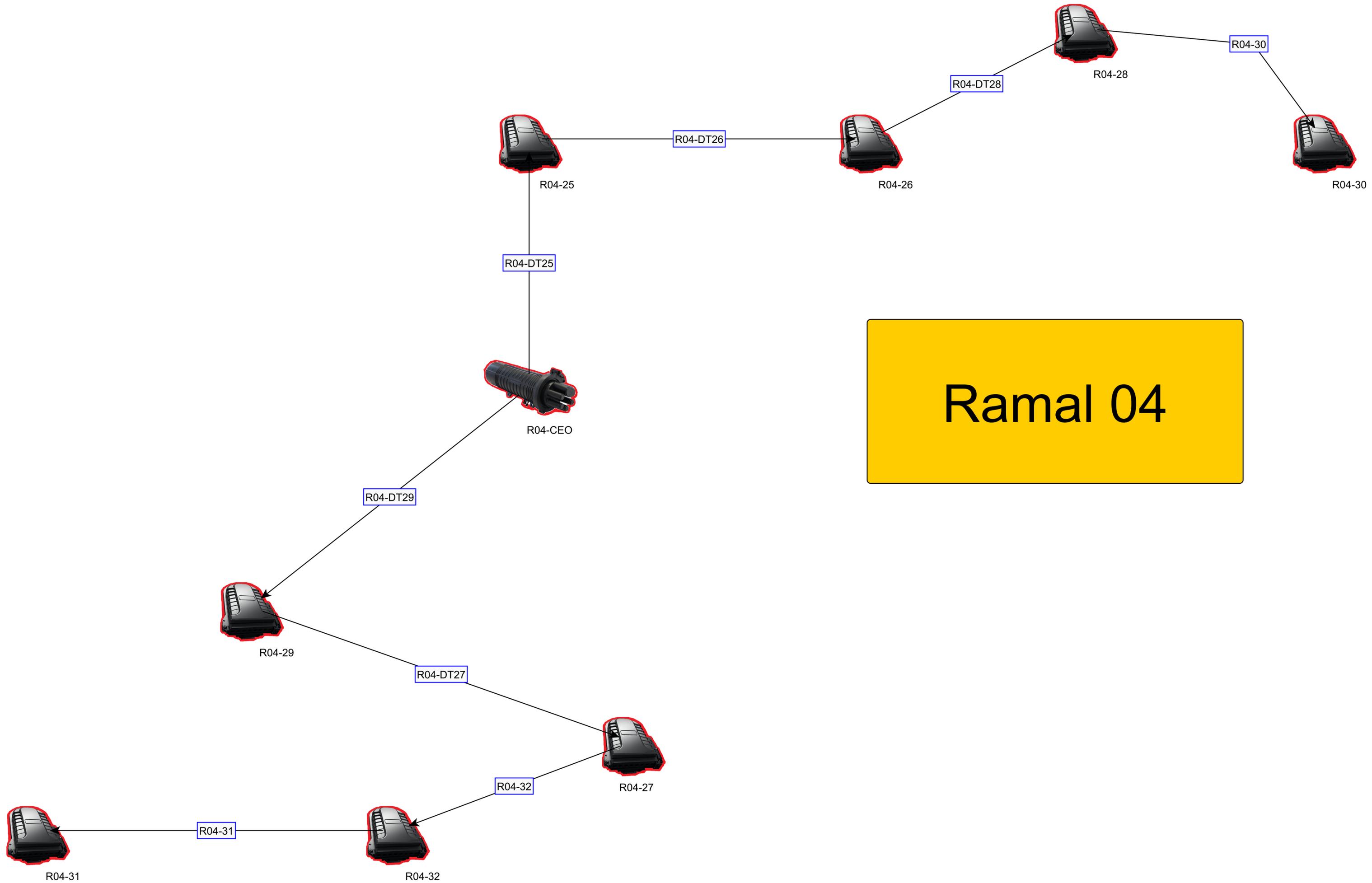
# Ramal 01



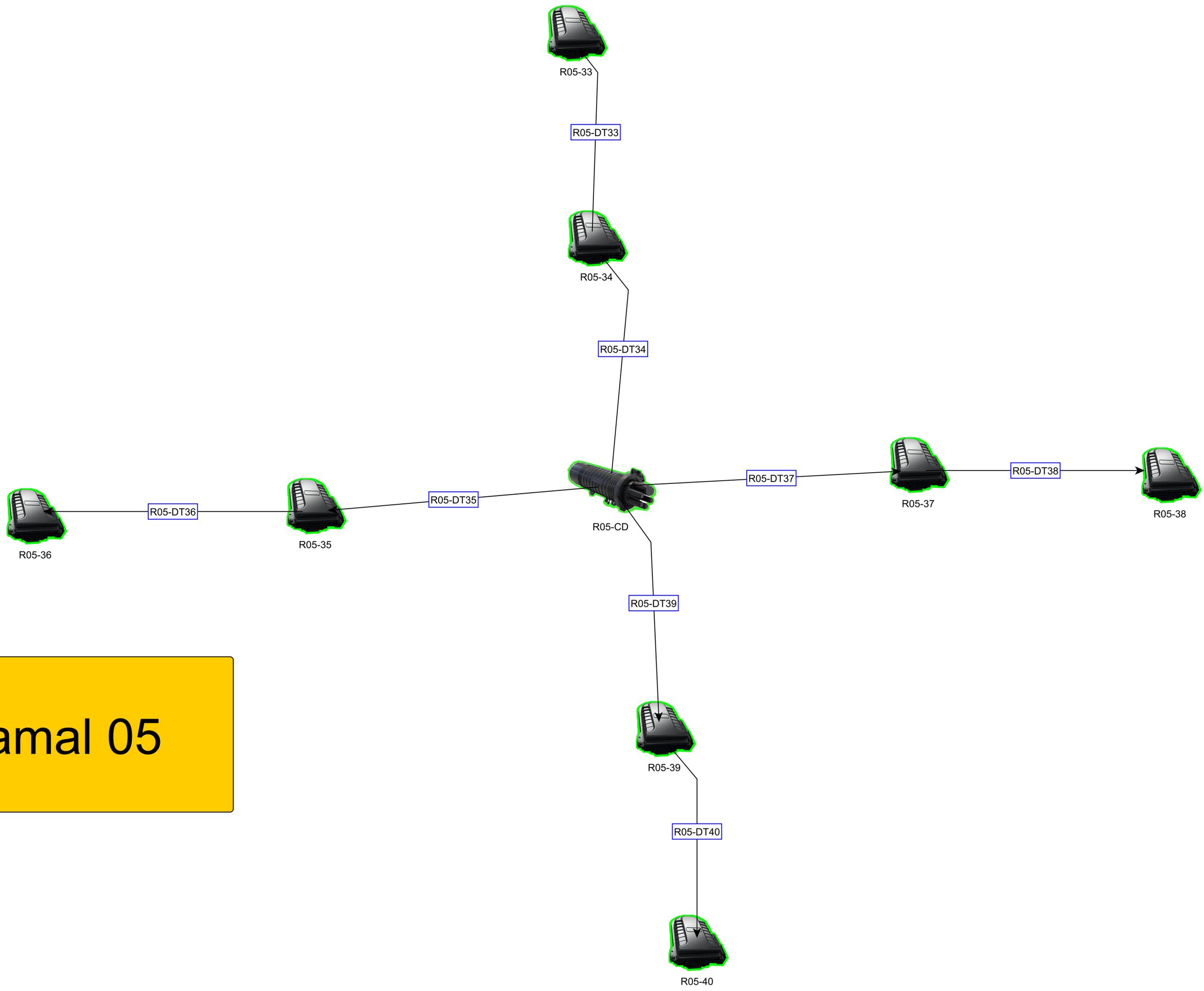


# Ramal 03

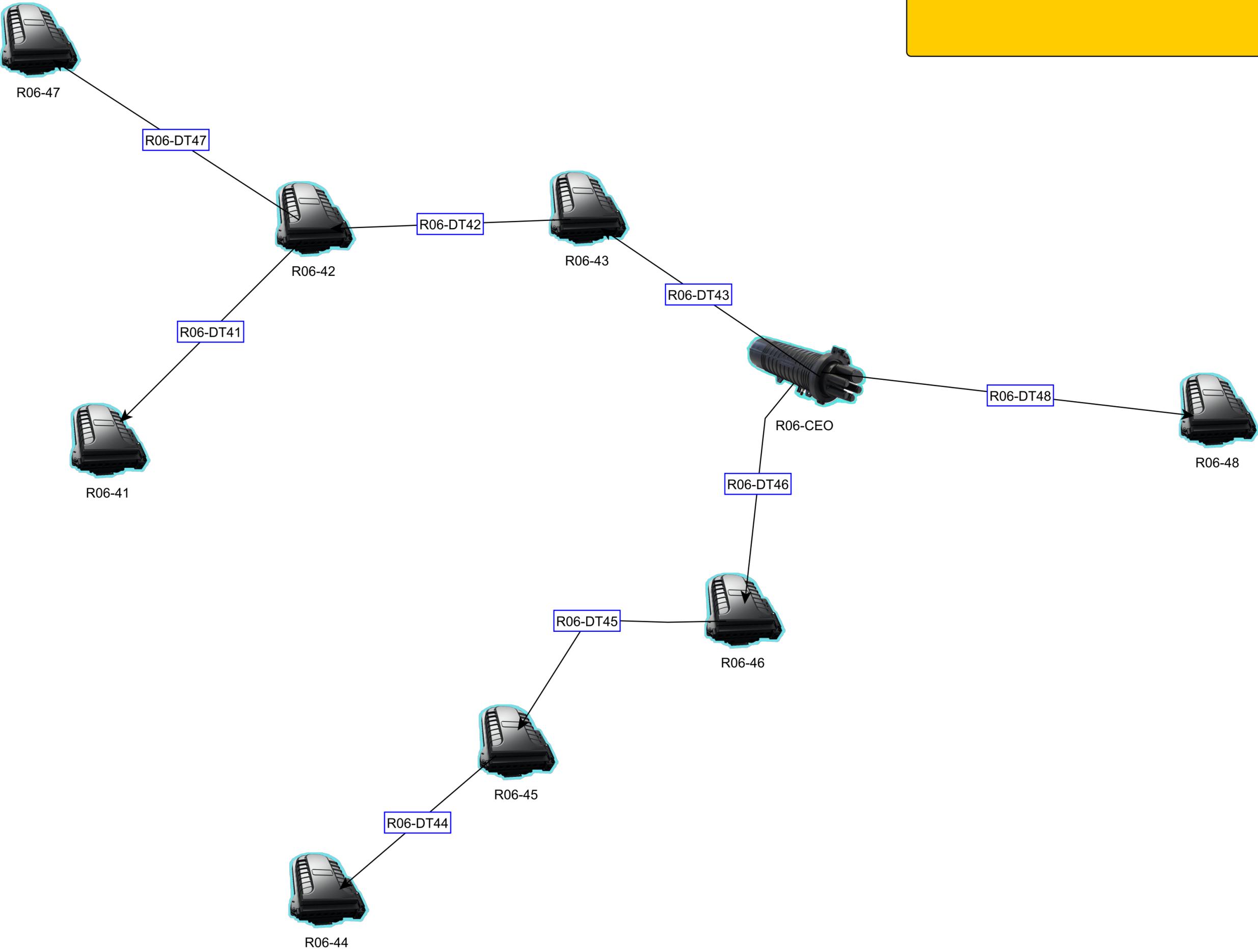


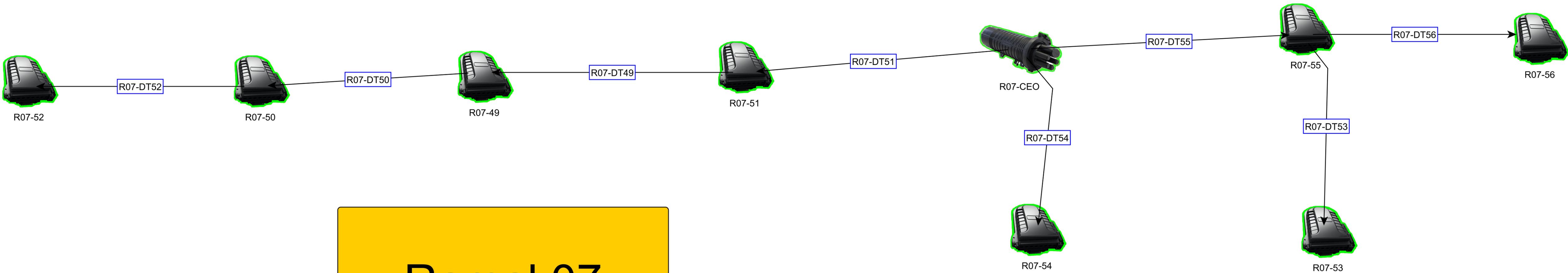


# Ramal 05



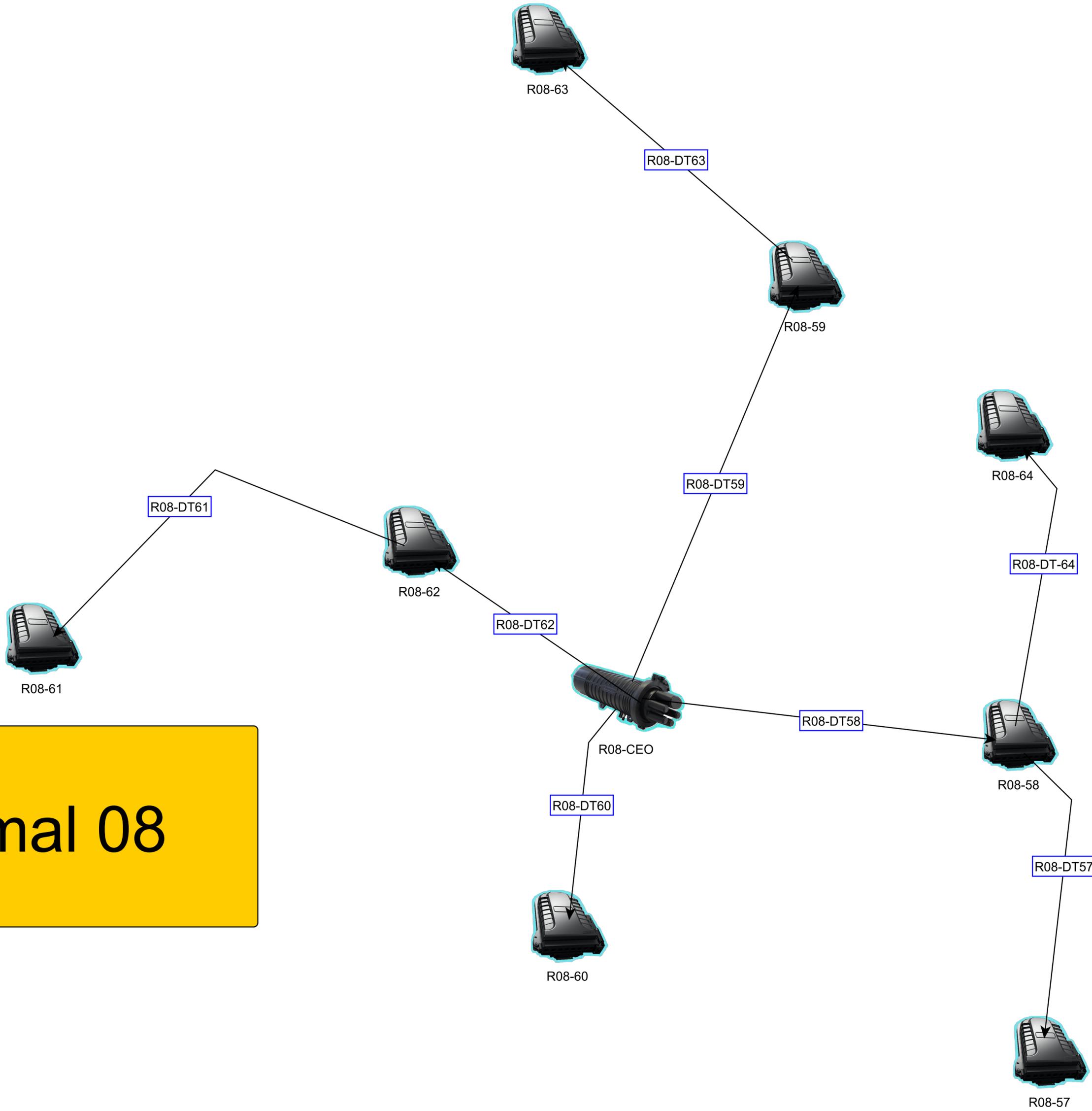
# Ramal 06



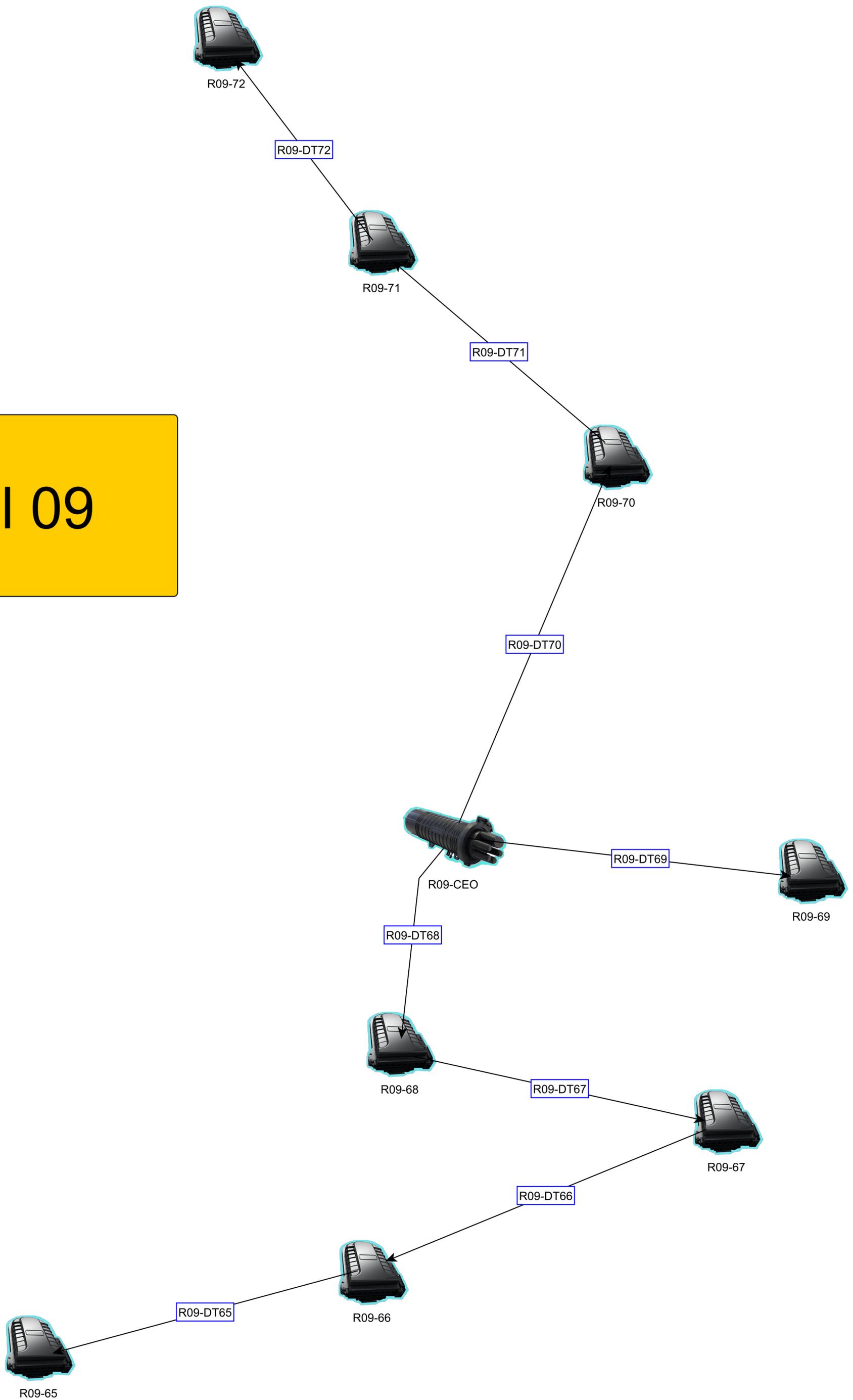


Ramal 07

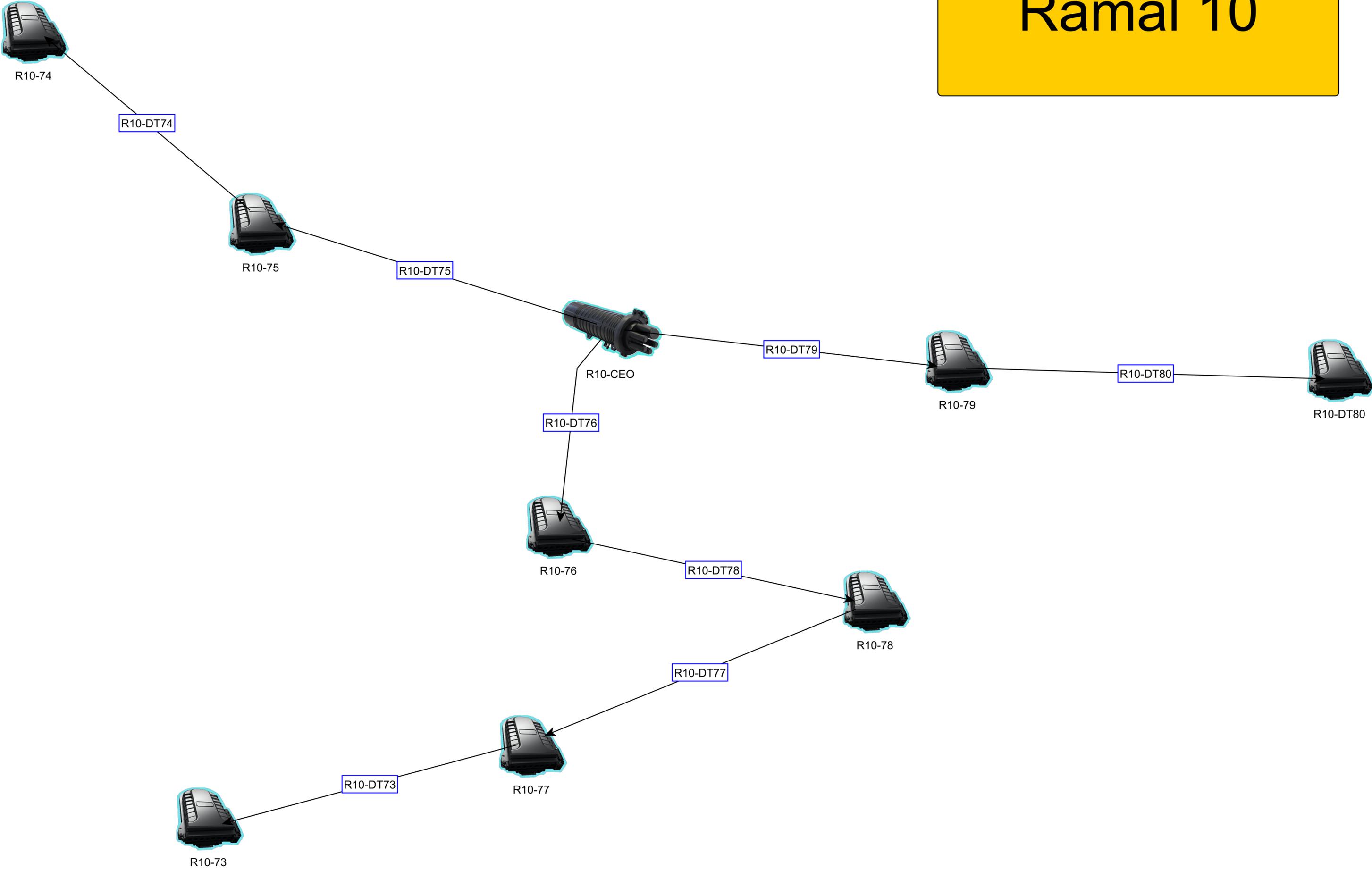
# Ramal 08



# Ramal 09



# Ramal 10



#### Anexo 04 – Posição dos equipamentos passivos e distância entre os ramais

Neste anexo será mostrado a posição dos elementos que compõe a rede passiva proposta em UTM, assim como as distâncias entre elas e a OLT. Tais dados são importantes para o levantamento do orçamento de potência, como mostrado no capítulo 05.

CTO	Coordenadas (UTM)		CEO	Coordenadas (UTM)		Distâncias CEO - CTOS (m)
	Longitude	Latitude		Longitude	Latitude	
1	204392.71 m E	9680253.80 m S	CEO 01	204459.00 m E	9680279.00 m S	76
2	204323.56 m E	9680230.41 m S				146
3	204489.08 m E	9680177.23 m S				114
4	204621.48 m E	9680350.83 m S				200
5	204427.53 m E	9680361.45 m S				92
6	204402.82 m E	9680434.91 m S				168
7	204255.56 m E	9680417.86 m S				519
8	204412.91 m E	9680506.61 m S				307
9	204517.55 m E	9680658.05 m S	CEO 02	204541.21 m E	9680667.46 m S	34
10	204582.67 m E	9680570.37 m S				106
11	204413.48 m E	9680565.10 m S				203
12	204765.97 m E	9680637.12 m S				312
13	204605.26 m E	9680694.15 m S				61
14	204317.04 m E	9680569.49 m S				339
15	204613.99 m E	9680767.59 m S				164
16	204502.41 m E	9680786.52 m S				321
17	204617.52 m E	9680882.47 m S	CEO 03	204597.33 m E	9680967.64 m S	95
18	204704.12 m E	9680975.14 m S				116
19	204558.34 m E	9680956.30 m S				47
20	204508.51 m E	9680990.84 m S				150
21	204671.28 m E	9681078.56 m S				182
22	204421.20 m E	9680845.51 m S				320
23	204466.15 m E	9681030.19 m S				215
24	204487.09 m E	9681157.25 m S				367
25	204415.56 m E	9681163.95 m S	CEO 04	204312.00 m E	9681142.00 m S	100
26	204304.27 m E	9681218.11 m S				221
27	204357.84 m E	9681096.29 m S				297
28	204400.74 m E	9681266.01 m S				406
29	204219.07 m E	9681108.27 m S				104
30	204582.98 m E	9681198.58 m S				611
31	204083.83 m E	9681000.19 m S				629
32	204242.21 m E	9681021.36 m S				448
33	204806.11 m E	9681098.07 m S	CEO 05	204855.08 m E	9680785.30 m S	328
34	204839.70 m E	9680844.79 m S				67
35	204824.94 m E	9680774.90 m S				31
36	204674.67 m E	9680719.00 m S				188
37	205064.83 m E	9680822.52 m S				210
38	205156.37 m E	9680788.79 m S				393
39	204882.38 m E	9680685.10 m S				111
40	204950.81 m E	9680392.72 m S				434
41	204783.50 m E	9681190.42 m S	CEO 06	205001.33 m E	9681103.97 m S	303
42	204825.17 m E	9681199.93 m S				262
43	204858.09 m E	9681096.63 m S				148
44	204951.04 m E	9680977.66 m S				433
45	205089.63 m E	9681014.72 m S				245
46	205123.56 m E	9681052.83 m S				168

47	204814.08 m E	9681285.07 m S				358
48	205177.12 m E	9681112.65 m S				178
49	204920.50 m E	9681313.17 m S	CEO 07	204986.35 m E	9681319.47 m S	67
50	204887.12 m E	9681306.34 m S				102
51	204958.13 m E	9681315.85 m S				30
52	204849.00 m E	9681294.13 m S				141
53	205135.00 m E	9681304.00 m S				202
54	204988.53 m E	9681278.90 m S				42
55	205068.29 m E	9681328.40 m S				81
56	205164.87 m E	9681359.20 m S				181
57	204038.00 m E	9680760.00 m S				CEO 08
58	204014.11 m E	9680828.82 m S	186			
59	203869.94 m E	9680859.94 m S	159			
60	203829.28 m E	9680596.83 m S	210			
61	203746.03 m E	9680655.99 m S	196			
62	203755.79 m E	9680722.03 m S	92			
63	203789.53 m E	9680865.59 m S	268			
64	203991.31 m E	9680897.61 m S	262			
65	205099.24 m E	9681174.56 m S	CEO 09	205276.45 m E	9681412.85 m S	543
66	205174.27 m E	9681182.25 m S				464
67	205113.21 m E	9681232.24 m S				357
68	205285.52 m E	9681237.24 m S				162
69	205325.09 m E	9681439.25 m S				52
70	205220.07 m E	9681479.59 m S				116
71	205242.21 m E	9681542.10 m S				198
72	205320.46 m E	9681597.25 m S				323
73	203833.93 m E	9680913.32 m S	CEO 10	203889.98 m E	9681075.19 m S	543
74	203664.86 m E	9681120.57 m S				325
75	203770.58 m E	9681014.49 m S				135
76	203929.17 m E	9681027.42 m S				61
77	204045.79 m E	9680986.38 m S				320
78	204067.29 m E	9681058.16 m S				208
79	203994.00 m E	9681146.00 m S				125
80	204013.44 m E	9681228.59 m S				317
81	203955.18 m E	9681366.47 m S	CEO 11	203775.31 m E	9681353.12 m S	218
82	204064.44 m E	9681407.44 m S				346
83	204014.53 m E	9681248.82 m S				415
84	203818.51 m E	9681187.21 m S				208
85	203887.81 m E	9681492.72 m S				318
86	203653.91 m E	9681332.02 m S				371
87	203720.84 m E	9681458.62 m S				123
88	203707.37 m E	9681484.55 m S				155
89	203593.31 m E	9681493.06 m S	CEO 12	203569.00 m E	9681368.00 m S	157
90	203634.88 m E	9681380.27 m S				71
91	203560.02 m E	9681426.35 m S				61
92	203551.00 m E	9681472.00 m S				107
93	203466.02 m E	9681436.63 m S				193
94	203463.91 m E	9681349.95 m S				260
95	203501.79 m E	9681277.93 m S				166
96	203586.28 m E	9681291.56 m S				80

97	203459.21 m E	9681180.03 m S	CEO 13	203569.22 m E	9680990.38 m S	308
98	203714.50 m E	9681165.99 m S				295
99	203458.39 m E	9681082.48 m S				178
100	203560.28 m E	9681026.59 m S				43,3
101	203572.80 m E	9680966.88 m S				23
102	203547.38 m E	9680848.30 m S				196
103	203463.97 m E	9680870.53 m S				304
104	203444.18 m E	9680797.59 m S				342
105	203609.53 m E	9680806.25 m S	CEO 14	203605.00 m E	9680650.00 m S	150
106	203553.19 m E	9680724.08 m S				138
107	203669.03 m E	9680823.09 m S				214
108	203605.91 m E	9680691.46 m S				35
109	203488.86 m E	9680679.46 m S				246
110	203376.81 m E	9680588.12 m S				384
111	203587.07 m E	9680559.62 m S				93
112	203398.48 m E	9680519.13 m S				279
113	203631.02 m E	9680514.38 m S	CEO 15	203468.38 m E	9680361.68 m S	311
114	203548.08 m E	9680482.27 m S				140
115	203448.62 m E	9680450.69 m S				244
116	203394.16 m E	9680363.99 m S				93
117	203289.14 m E	9680305.70 m S				474
118	203224.72 m E	9680213.71 m S				348
119	203394.91 m E	9680244.63 m S				145
120	203467.50 m E	9680241.40 m S				366
121	203132.44 m E	9680235.86 m S	CEO 16	203118.05 m E	9680179.91 m S	106
122	203321.69 m E	9680189.28 m S				301
123	203207.54 m E	9680104.33 m S				207
124	203071.18 m E	9680192.43 m S				47
125	203019.67 m E	9680172.48 m S				240
126	203106.30 m E	9680121.98 m S				104
127	203055.00 m E	9680081.00 m S				181
128	203014.05 m E	9680142.41 m S				204
129	202989.39 m E	9680048.71 m S	CEO 17	202983.73 m E	9680020.29 m S	26,4
130	202930.03 m E	9680025.98 m S				58
131	203185.77 m E	9679996.28 m S				205
132	203189.20 m E	9679935.35 m S				273
133	202984.97 m E	9679967.95 m S				66,5
134	202931.92 m E	9679867.93 m S				217
135	202935.29 m E	9679945.56 m S				136
136	202836.00 m E	9679889.00 m S				342
137	203615.39 m E	9680292.54 m S	CEO 18	203806.97 m E	9680030.99 m S	361
138	203714.75 m E	9680122.76 m S				141
139	203882.09 m E	9679926.18 m S				121
140	204042.57 m E	9679938.22 m S				367
141	204244.50 m E	9680195.25 m S				776
142	203761.00 m E	9679992.00 m S				65
143	203688.00 m E	9680040.00 m S				169
144	203720.00 m E	9679954.00 m S				274
145	205111.92 m E	9680338.04 m S				795
146	205317.60 m E	9680424.12 m S				569

147	205521.59 m E	9680510.09 m S	CEO 19	205843.57 m E	9680644.67 m S	348
148	205697.12 m E	9680580.93 m S				153
149	205541.00 m E	9680459.00 m S				396
150	205681.24 m E	9680711.56 m S				175
151	205926.27 m E	9680741.62 m S				165
152	205524.46 m E	9680842.11 m S				433
153	205323.00 m E	9681921.00 m S	CEO 20	205415.00 m E	9681578.00 m S	403
154	205429.00 m E	9681871.00 m S				456
155	205366.00 m E	9681750.00 m S				233
156	205470.00 m E	9681783.00 m S				361
157	205291.00 m E	9681719.00 m S				321
158	205358.00 m E	9681682.00 m S				118
159	205550.00 m E	9681654.00 m S				348
160	205627.94 m E	9681644.23 m S				217
161	205498.37 m E	9681603.35 m S	CEO 21	205415.00 m E	9681520.00 m S	147
162	205633.90 m E	9681604.04 m S				223
163	205672.00 m E	9681556.00 m S				313
164	205463.88 m E	9681542.36 m S				46
165	205473.00 m E	9681339.00 m S				184
166	205580.09 m E	9681136.24 m S				488
167	205791.27 m E	9681085.95 m S				972
168	205629.19 m E	9681026.77 m S				732
169	205274.00 m E	9680865.04 m S	CEO 22	205801.91 m E	9680993.28 m S	1000
170	205502.60 m E	9681017.72 m S				590
171	205643.25 m E	9680863.04 m S				287
172	205864.00 m E	9680824.00 m S				225
173	205848.27 m E	9681051.34 m S				73
174	205956.00 m E	9680949.00 m S				390
175	206101.94 m E	9680902.61 m S				767
176	206256.00 m E	9680986.00 m S				982
177	206463.00 m E	9681030.00 m S	CEO 23	206572.79 m E	9680800.77 m S	617
178	206271.00 m E	9680856.00 m S				598
179	206362.00 m E	9680827.00 m S				498
180	206480.00 m E	9680875.00 m S				214
181	206559.00 m E	9680962.00 m S				329
182	206290.00 m E	9680628.00 m S				439
183	206402.42 m E	9680559.97 m S				306
184	206469.69 m E	9680652.91 m S				184
185	206497.94 m E	9680626.48 m S	CEO 24	206533.19 m E	9680336.01 m S	416
186	206656.00 m E	9680629.00 m S				713
187	206606.00 m E	9680468.00 m S				190
188	206730.00 m E	9680639.00 m S				800
189	206911.00 m E	9680542.00 m S				694
190	206771.00 m E	9680428.00 m S				478
191	206508.70 m E	9680340.37 m S				28,3
192	206751.88 m E	9680253.59 m S				229
193	206728.00 m E	9680343.00 m S	CEO 25	206944.50 m E	9680178.30 m S	367
194	206957.00 m E	9680409.00 m S				486
195	207123.19 m E	9680593.20 m S				788
196	207055.64 m E	9680164.17 m S				114

197	207133.00 m E	9680349.00 m S				274
198	207289.30 m E	9680201.80 m S				395
199	207495.26 m E	9680196.72 m S				942
200	207542.78 m E	9680022.80 m S				654

## Anexo 05 – Orçamento de potência de todos os ramais

Neste anexo será mostrado o orçamento de potência completo de todos os ramais que compõe a rede óptica proposta.

CTO	Dist. Fibra (m)	PESC	PF1490	PF1310	OP	MARGEM PF 1490	MARGEM PF 1310	POT. OLT	POT Down. 1490	POT up. 1310
R01 - CTO 01	987	23,2	0,25	0,35	31	3,00	3,00	6	-20,45	-22,55
R01 - CTO 02	1057	23,2	0,26	0,37	31	3,00	3,00	6	-20,46	-22,57
R01 - CTO 03	1025	23,2	0,26	0,36	31	3,00	3,00	6	-20,46	-22,56
R01 - CTO 04	1111	23,2	0,28	0,39	31	3,00	3,00	6	-20,48	-22,59
R01 - CTO 05	1003	23,2	0,25	0,35	31	3,00	3,00	6	-20,45	-22,55
R01 - CTO 06	1079	23,2	0,27	0,38	31	3,00	3,00	6	-20,47	-22,58
R01 - CTO 07	1430	23,2	0,36	0,50	31	3,00	3,00	6	-20,56	-22,70
R01 - CTO 08	1218	23,2	0,30	0,43	31	3,00	3,00	6	-20,50	-22,63
R02 - CTO 09	400	23,2	0,10	0,14	31	3,00	3,00	6	-20,30	-22,34
R02 - CTO 10	472	23,2	0,12	0,17	31	3,00	3,00	6	-20,32	-22,37
R02 - CTO 11	569	23,2	0,14	0,20	31	3,00	3,00	6	-20,34	-22,40
R02 - CTO 12	678	23,2	0,17	0,24	31	3,00	3,00	6	-20,37	-22,44
R02 - CTO 13	427	23,2	0,11	0,15	31	3,00	3,00	6	-20,31	-22,35
R02 - CTO 14	705	23,2	0,18	0,25	31	3,00	3,00	6	-20,38	-22,45
R02 - CTO 15	530	23,2	0,13	0,19	31	3,00	3,00	6	-20,33	-22,39
R02 - CTO 16	687	23,2	0,17	0,24	31	3,00	3,00	6	-20,37	-22,44
R03 - CTO 17	1233	23,2	0,31	0,43	31	3,00	3,00	6	-20,51	-22,63
R03 - CTO 18	1254	23,2	0,31	0,44	31	3,00	3,00	6	-20,51	-22,64
R03 - CTO 19	1185	23,2	0,30	0,41	31	3,00	3,00	6	-20,50	-22,61
R03 - CTO 20	1288	23,2	0,32	0,45	31	3,00	3,00	6	-20,52	-22,65
R03 - CTO 21	1320	23,2	0,33	0,46	31	3,00	3,00	6	-20,53	-22,66
R03 - CTO 22	1458	23,2	0,36	0,51	31	3,00	3,00	6	-20,56	-22,71
R03 - CTO 23	1353	23,2	0,34	0,47	31	3,00	3,00	6	-20,54	-22,67
R03 - CTO 24	1505	23,2	0,38	0,53	31	3,00	3,00	6	-20,58	-22,73
R04 - CTO 25	1729	23,2	0,43	0,61	31	3,00	3,00	6	-20,63	-22,81
R04 - CTO 26	1850	23,2	0,46	0,65	31	3,00	3,00	6	-20,66	-22,85
R04 - CTO 27	1926	23,2	0,48	0,67	31	3,00	3,00	6	-20,68	-22,87
R04 - CTO 28	2035	23,2	0,51	0,71	31	3,00	3,00	6	-20,71	-22,91
R04 - CTO 29	1733	23,2	0,43	0,61	31	3,00	3,00	6	-20,63	-22,81
R04 - CTO 30	2240	23,2	0,56	0,78	31	3,00	3,00	6	-20,76	-22,98
R04 - CTO 31	2258	23,2	0,56	0,79	31	3,00	3,00	6	-20,76	-22,99
R04 - CTO 32	2077	23,2	0,52	0,73	31	3,00	3,00	6	-20,72	-22,93
R05 - CTO 33	1028	23,2	0,26	0,36	31	3,00	3,00	6	-20,46	-22,56
R05 - CTO 34	767	23,2	0,19	0,27	31	3,00	3,00	6	-20,39	-22,47
R05 - CTO 35	731	23,2	0,18	0,26	31	3,00	3,00	6	-20,38	-22,46
R05 - CTO 36	888	23,2	0,22	0,31	31	3,00	3,00	6	-20,42	-22,51
R05 - CTO 37	910	23,2	0,23	0,32	31	3,00	3,00	6	-20,43	-22,52
R05 - CTO 38	1093	23,2	0,27	0,38	31	3,00	3,00	6	-20,47	-22,58
R05 - CTO 39	811	23,2	0,20	0,28	31	3,00	3,00	6	-20,40	-22,48
R05 - CTO 40	1134	23,2	0,28	0,40	31	3,00	3,00	6	-20,48	-22,60
R06-CTO 41	1438	23,2	0,36	0,50	31	3,00	3,00	6	-20,56	-22,70
R06-CTO 42	1397	23,2	0,35	0,49	31	3,00	3,00	6	-20,55	-22,69
R06-CTO 43	1283	23,2	0,32	0,45	31	3,00	3,00	6	-20,52	-22,65
R06-CTO 44	1568	23,2	0,39	0,55	31	3,00	3,00	6	-20,59	-22,75
R06-CTO 45	1380	23,2	0,35	0,48	31	3,00	3,00	6	-20,55	-22,68
R06-CTO 46	1303	23,2	0,33	0,46	31	3,00	3,00	6	-20,53	-22,66

R06-CTO 47	1493	23,2	0,37	0,52	31	3,00	3,00	6	-20,57	-22,72
R06-CTO 48	1313	23,2	0,33	0,46	31	3,00	3,00	6	-20,53	-22,66
R07 - CTO 49	1414	23,2	0,35	0,49	31	3,00	3,00	6	-20,55	-22,69
R07 - CTO 50	1449	23,2	0,36	0,51	31	3,00	3,00	6	-20,56	-22,71
R07 - CTO 51	1377	23,2	0,34	0,48	31	3,00	3,00	6	-20,54	-22,68
R07 - CTO 52	1488	23,2	0,37	0,52	31	3,00	3,00	6	-20,57	-22,72
R07 - CTO 53	1549	23,2	0,39	0,54	31	3,00	3,00	6	-20,59	-22,74
R07 - CTO 54	1389	23,2	0,35	0,49	31	3,00	3,00	6	-20,55	-22,69
R07 - CTO 55	1428	23,2	0,36	0,50	31	3,00	3,00	6	-20,56	-22,70
R07 - CTO 56	1528	23,2	0,38	0,53	31	3,00	3,00	6	-20,58	-22,73
R08 - CTO 57	3854	23,2	0,96	1,35	31	3,00	3,00	6	-21,16	-23,55
R08 - CTO 58	3783	23,2	0,95	1,32	31	3,00	3,00	6	-21,15	-23,52
R08 - CTO 59	3756	23,2	0,94	1,31	31	3,00	3,00	6	-21,14	-23,51
R08 - CTO 60	3807	23,2	0,95	1,33	31	3,00	3,00	6	-21,15	-23,53
R08 - CTO 61	3793	23,2	0,95	1,33	31	3,00	3,00	6	-21,15	-23,53
R08 - CTO 62	3689	23,2	0,92	1,29	31	3,00	3,00	6	-21,12	-23,49
R08 - CTO 63	3865	23,2	0,97	1,35	31	3,00	3,00	6	-21,17	-23,55
R08 - CTO 64	3859	23,2	0,96	1,35	31	3,00	3,00	6	-21,16	-23,55
R09 - CTO 65	2169	23,2	0,54	0,76	31	3,00	3,00	6	-20,74	-22,96
R09 - CTO 66	2090	23,2	0,52	0,73	31	3,00	3,00	6	-20,72	-22,93
R09 - CTO 67	1983	23,2	0,50	0,69	31	3,00	3,00	6	-20,70	-22,89
R09 - CTO 68	1788	23,2	0,45	0,63	31	3,00	3,00	6	-20,65	-22,83
R09 - CTO 69	1678	23,2	0,42	0,59	31	3,00	3,00	6	-20,62	-22,79
R09 - CTO 70	1742	23,2	0,44	0,61	31	3,00	3,00	6	-20,64	-22,81
R09 - CTO 71	1824	23,2	0,46	0,64	31	3,00	3,00	6	-20,66	-22,84
R09 - CTO 72	1949	23,2	0,49	0,68	31	3,00	3,00	6	-20,69	-22,88
R10 - CTO 73	2656	23,2	0,66	0,93	31	3,00	3,00	6	-20,86	-23,13
R10 - CTO 74	2438	23,2	0,61	0,85	31	3,00	3,00	6	-20,81	-23,05
R10 - CTO 75	2248	23,2	0,56	0,79	31	3,00	3,00	6	-20,76	-22,99
R10 - CTO 76	2174	23,2	0,54	0,76	31	3,00	3,00	6	-20,74	-22,96
R10 - CTO 77	2433	23,2	0,61	0,85	31	3,00	3,00	6	-20,81	-23,05
R10 - CTO 78	2321	23,2	0,58	0,81	31	3,00	3,00	6	-20,78	-23,01
R10 - CTO 79	2238	23,2	0,56	0,78	31	3,00	3,00	6	-20,76	-22,98
R10 - CTO 80	2430	23,2	0,61	0,85	31	3,00	3,00	6	-20,81	-23,05
R 11 - CTO 81	2640	23,2	0,66	0,92	31	3,00	3,00	6	-20,86	-23,12
R 11 - CTO 82	2768	23,2	0,69	0,97	31	3,00	3,00	6	-20,89	-23,17
R 11 - CTO 83	2837	23,2	0,71	0,99	31	3,00	3,00	6	-20,91	-23,19
R 11 - CTO 84	2630	23,2	0,66	0,92	31	3,00	3,00	6	-20,86	-23,12
R 11 - CTO 85	2740	23,2	0,69	0,96	31	3,00	3,00	6	-20,89	-23,16
R 11 - CTO 86	2793	23,2	0,70	0,98	31	3,00	3,00	6	-20,90	-23,18
R 11 - CTO 87	2545	23,2	0,64	0,89	31	3,00	3,00	6	-20,84	-23,09
R 11 - CTO 88	2577	23,2	0,64	0,90	31	3,00	3,00	6	-20,84	-23,10
R 12- CTO 89	2842	23,2	0,71	0,99	31	3,00	3,00	6	-20,91	-23,19
R 12- CTO 90	2756	23,2	0,69	0,96	31	3,00	3,00	6	-20,89	-23,16
R 12- CTO 91	2746	26,9	0,69	0,96	31	3,00	3,00	6	-24,59	-26,86
R 12- CTO 92	2792	26,9	0,70	0,98	31	3,00	3,00	6	-24,60	-26,88
R 12- CTO 93	2878	26,9	0,72	1,01	31	3,00	3,00	6	-24,62	-26,91
R 12- CTO 94	2945	26,9	0,74	1,03	31	3,00	3,00	6	-24,64	-26,93
R 12- CTO 95	2851	26,9	0,71	1,00	31	3,00	3,00	6	-24,61	-26,90
R 12- CTO 96	2765	26,9	0,69	0,97	31	3,00	3,00	6	-24,59	-26,87

R 13 - CTO 97	3427	26,9	0,86	1,20	31	3,00	3,00	6	-24,76	-27,10
R 13 - CTO 98	3414	26,9	0,85	1,19	31	3,00	3,00	6	-24,75	-27,09
R 13 - CTO 99	3297	26,9	0,82	1,15	31	3,00	3,00	6	-24,72	-27,05
R 13 - CTO 100	3162,3	26,9	0,79	1,11	31	3,00	3,00	6	-24,69	-27,01
R 13 - CTO 101	3142	26,9	0,79	1,10	31	3,00	3,00	6	-24,69	-27,00
R 13 - CTO 102	3315	26,9	0,83	1,16	31	3,00	3,00	6	-24,73	-27,06
R 13 - CTO 103	3423	26,9	0,86	1,20	31	3,00	3,00	6	-24,76	-27,10
R 13 - CTO 104	3461	26,9	0,87	1,21	31	3,00	3,00	6	-24,77	-27,11
R 14 - CTO 105	4032	26,9	1,01	1,41	31	3,00	3,00	6	-24,91	-27,31
R 14 - CTO 106	4020	26,9	1,01	1,41	31	3,00	3,00	6	-24,91	-27,31
R 14 - CTO 107	4096	26,9	1,02	1,43	31	3,00	3,00	6	-24,92	-27,33
R 14 - CTO 108	3917	26,9	0,98	1,37	31	3,00	3,00	6	-24,88	-27,27
R 14 - CTO 109	4128	26,9	1,03	1,44	31	3,00	3,00	6	-24,93	-27,34
R 14 - CTO 110	4266	26,9	1,07	1,49	31	3,00	3,00	6	-24,97	-27,39
R 14 - CTO 111	3975	26,9	0,99	1,39	31	3,00	3,00	6	-24,89	-27,29
R 14 - CTO 112	4161	26,9	1,04	1,46	31	3,00	3,00	6	-24,94	-27,36
R 15 - CTO 113	2200	26,9	0,55	0,77	31	3,00	3,00	6	-24,45	-26,67
R 15 - CTO 114	2029	26,9	0,51	0,71	31	3,00	3,00	6	-24,41	-26,61
R 15 - CTO 115	2133	26,9	0,53	0,75	31	3,00	3,00	6	-24,43	-26,65
R 15 - CTO 116	1982	26,9	0,50	0,69	31	3,00	3,00	6	-24,40	-26,59
R 15 - CTO 117	2363	26,9	0,59	0,83	31	3,00	3,00	6	-24,49	-26,73
R 15 - CTO 118	2237	26,9	0,56	0,78	31	3,00	3,00	6	-24,46	-26,68
R 15 - CTO 119	2034	26,9	0,51	0,71	31	3,00	3,00	6	-24,41	-26,61
R 15 - CTO 120	2255	26,9	0,56	0,79	31	3,00	3,00	6	-24,46	-26,69
R 16 - CTO 121	4988	23,1	1,25	1,75	31	3,00	3,00	6	-21,35	-23,85
R 16 - CTO 122	5183	23,1	1,30	1,81	31	3,00	3,00	6	-21,40	-23,91
R 16 - CTO 123	5089	23,1	1,27	1,78	31	3,00	3,00	6	-21,37	-23,88
R 16 - CTO 124	4929	23,1	1,23	1,73	31	3,00	3,00	6	-21,33	-23,83
R 16 - CTO 125	5122	23,1	1,28	1,79	31	3,00	3,00	6	-21,38	-23,89
R 16 - CTO 126	4986	23,1	1,25	1,75	31	3,00	3,00	6	-21,35	-23,85
R 16 - CTO 127	5063	23,1	1,27	1,77	31	3,00	3,00	6	-21,37	-23,87
R 16 - CTO 128	5086	23,1	1,27	1,78	31	3,00	3,00	6	-21,37	-23,88
R 17 - CTO 129	5018	23,1	1,25	1,76	31	3,00	3,00	6	-21,35	-23,86
R 17 - CTO 130	5050	23,1	1,26	1,77	31	3,00	3,00	6	-21,36	-23,87
R 17 - CTO 131	5197	23,1	1,30	1,82	31	3,00	3,00	6	-21,40	-23,92
R 17 - CTO 132	5265	23,1	1,32	1,84	31	3,00	3,00	6	-21,42	-23,94
R 17 - CTO 133	5059	23,1	1,26	1,77	31	3,00	3,00	6	-21,36	-23,87
R 17 - CTO 134	5209	23,1	1,30	1,82	31	3,00	3,00	6	-21,40	-23,92
R 17 - CTO 135	5128	23,1	1,28	1,79	31	3,00	3,00	6	-21,38	-23,89
R 17 - CTO 136	5334	23,1	1,33	1,87	31	3,00	3,00	6	-21,43	-23,97
R 18 - CTO 137	2958	26,9	0,74	1,04	31	3,00	3,00	6	-24,64	-26,94
R 18 - CTO 138	2738	26,9	0,68	0,96	31	3,00	3,00	6	-24,58	-26,86
R 18 - CTO 139	2718	26,9	0,68	0,95	31	3,00	3,00	6	-24,58	-26,85
R 18 - CTO 140	2964	26,9	0,74	1,04	31	3,00	3,00	6	-24,64	-26,94
R 18 - CTO 141	3373	26,9	0,84	1,18	31	3,00	3,00	6	-24,74	-27,08
R 18 - CTO 142	2662	26,9	0,67	0,93	31	3,00	3,00	6	-24,57	-26,83
R 18 - CTO 143	2766	26,9	0,69	0,97	31	3,00	3,00	6	-24,59	-26,87
R 18 - CTO 144	2871	26,9	0,72	1,00	31	3,00	3,00	6	-24,62	-26,90
R 19 - CTO 145	2208	26,9	0,55	0,77	31	3,00	3,00	6	-24,45	-26,67
R 19 - CTO 146	1982	26,9	0,50	0,69	31	3,00	3,00	6	-24,40	-26,59

R 19 - CTO 147	1761	26,9	0,44	0,62	31	3,00	3,00	6	-24,34	-26,52
R 19 - CTO 148	1566	26,9	0,39	0,55	31	3,00	3,00	6	-24,29	-26,45
R 19 - CTO 149	1809	26,9	0,45	0,63	31	3,00	3,00	6	-24,35	-26,53
R 19 - CTO 150	1588	26,9	0,40	0,56	31	3,00	3,00	6	-24,30	-26,46
R 19 - CTO 151	1578	26,9	0,39	0,55	31	3,00	3,00	6	-24,29	-26,45
R 19 - CTO 152	1846	26,9	0,46	0,65	31	3,00	3,00	6	-24,36	-26,55
R 20 - CTO 153	2302	26,9	0,58	0,81	31	3,00	3,00	6	-24,48	-26,71
R 20 - CTO 154	2355	26,9	0,59	0,82	31	3,00	3,00	6	-24,49	-26,72
R 20 - CTO 155	2132	26,9	0,53	0,75	31	3,00	3,00	6	-24,43	-26,65
R 20 - CTO 156	2260	26,9	0,57	0,79	31	3,00	3,00	6	-24,47	-26,69
R 20 - CTO 157	2220	26,9	0,56	0,78	31	3,00	3,00	6	-24,46	-26,68
R 20 - CTO 158	2017	26,9	0,50	0,71	31	3,00	3,00	6	-24,40	-26,61
R 20 - CTO 159	2247	26,9	0,56	0,79	31	3,00	3,00	6	-24,46	-26,69
R 20 - CTO 160	2116	26,9	0,53	0,74	31	3,00	3,00	6	-24,43	-26,64
R 21 - CTO 161	1994	26,9	0,50	0,70	31	3,00	3,00	6	-24,40	-26,60
R 21 - CTO 162	2070	26,9	0,52	0,72	31	3,00	3,00	6	-24,42	-26,62
R 21 - CTO 163	2160	26,9	0,54	0,76	31	3,00	3,00	6	-24,44	-26,66
R 21 - CTO 164	1893	26,9	0,47	0,66	31	3,00	3,00	6	-24,37	-26,56
R 21 - CTO 165	2031	26,9	0,51	0,71	31	3,00	3,00	6	-24,41	-26,61
R 21 - CTO 166	2335	26,9	0,58	0,82	31	3,00	3,00	6	-24,48	-26,72
R 21 - CTO 167	2819	26,9	0,70	0,99	31	3,00	3,00	6	-24,60	-26,89
R 21 - CTO 168	2579	26,9	0,64	0,90	31	3,00	3,00	6	-24,54	-26,80
R 22 - CTO 169	2909	26,9	0,73	1,02	31	3,00	3,00	6	-24,63	-26,92
R 22 - CTO 170	2499	26,9	0,62	0,87	31	3,00	3,00	6	-24,52	-26,77
R 22 - CTO 171	2196	26,9	0,55	0,77	31	3,00	3,00	6	-24,45	-26,67
R 22 - CTO 172	2134	26,9	0,53	0,75	31	3,00	3,00	6	-24,43	-26,65
R 22 - CTO 173	1982	26,9	0,50	0,69	31	3,00	3,00	6	-24,40	-26,59
R 22 - CTO 174	2299	26,9	0,57	0,80	31	3,00	3,00	6	-24,47	-26,70
R 22 - CTO 175	2676	26,9	0,67	0,94	31	3,00	3,00	6	-24,57	-26,84
R 22 - CTO 176	2891	26,9	0,72	1,01	31	3,00	3,00	6	-24,62	-26,91
R 23 - CTO 177	3662	23,1	0,92	1,28	31	3,00	3,00	6	-21,02	-23,38
R 23 - CTO 178	3643	23,1	0,91	1,28	31	3,00	3,00	6	-21,01	-23,38
R 23 - CTO 179	3543	23,1	0,89	1,24	31	3,00	3,00	6	-20,99	-23,34
R 23 - CTO 180	3259	23,1	0,81	1,14	31	3,00	3,00	6	-20,91	-23,24
R 23 - CTO 181	3374	23,1	0,84	1,18	31	3,00	3,00	6	-20,94	-23,28
R 23 - CTO 182	3484	23,1	0,87	1,22	31	3,00	3,00	6	-20,97	-23,32
R 23 - CTO 183	3351	23,1	0,84	1,17	31	3,00	3,00	6	-20,94	-23,27
R 23 - CTO 184	3229	23,1	0,81	1,13	31	3,00	3,00	6	-20,91	-23,23
R 24 - CTO 185	2552	26,9	0,64	0,89	31	3,00	3,00	6	-24,54	-26,79
R 24 - CTO 186	2849	26,9	0,71	1,00	31	3,00	3,00	6	-24,61	-26,90
R 24 - CTO 187	2326	26,9	0,58	0,81	31	3,00	3,00	6	-24,48	-26,71
R 24 - CTO 188	2936	26,9	0,73	1,03	31	3,00	3,00	6	-24,63	-26,93
R 24 - CTO 189	2830	26,9	0,71	0,99	31	3,00	3,00	6	-24,61	-26,89
R 24 - CTO 190	2614	26,9	0,65	0,91	31	3,00	3,00	6	-24,55	-26,81
R 24 - CTO 191	2164	26,9	0,54	0,76	31	3,00	3,00	6	-24,44	-26,66
R 24 - CTO 192	2365	26,9	0,59	0,83	31	3,00	3,00	6	-24,49	-26,73
R 25 - CTO 193	3677	26,9	0,92	1,29	31	3,00	3,00	6	-24,82	-27,19
R 25 - CTO 194	3796	26,9	0,95	1,33	31	3,00	3,00	6	-24,85	-27,23
R 25 - CTO 195	4098	26,9	1,02	1,43	31	3,00	3,00	6	-24,92	-27,33
R 25 - CTO 196	3424	26,9	0,86	1,20	31	3,00	3,00	6	-24,76	-27,10

R 25 - CTO 197	3584	26,9	0,90	1,25	31	3,00	3,00	6	-24,80	-27,15
R 25 - CTO 198	3705	26,9	0,93	1,30	31	3,00	3,00	6	-24,83	-27,20
R 25 - CTO 199	4252	26,9	1,06	1,49	31	3,00	3,00	6	-24,96	-27,39
R 25 - CTO 200	3964	26,9	0,99	1,39	31	3,00	3,00	6	-24,89	-27,29