

Modelo de loop de acesso para a análise econômica e o design otimizado de arquiteturas PON FTTx

com base na solução 10G XGS-PON da Ciena

1. Introdução

Este white paper apresenta um modelo de loop de acesso (assinante) para a análise técnico-econômica e design otimizado (custo mínimo) de arquiteturas de rede PON (Rede óptica passiva) FTTx (fibra para o lar, prédio, calçada) e FWA (Acesso wireless fixo) baseadas na solução 10G XGS-PON da Ciena. Com o tempo, a PON se estabeleceu como a tecnologia de acesso preferida entre as operadoras de rede de telecomunicações para a entrega massiva de serviços de banda larga a seus clientes.

O que torna atrativa a arquitetura PON é que ela tem uma Planta externa totalmente passiva (OSP)/Rede de distribuição óptica (ODN). Isso simplifica muito a operação e manutenção da rede, eliminando componentes eletrônicos ativos, que normalmente são pontos geradores de falhas, da OSP. Em redes baseadas em PON, os componentes eletrônicos ativos estão confinados ao terminal de linha óptica (OLT) do escritório central (CO) ou local (Local Exchange, LEX) e às instalações do cliente.

No entanto, apesar da grande promessa da arquitetura PON como veículo para a introdução massiva de fibra na rede de loop de acesso para alcançar redes totalmente ópticas, que suportem serviços de banda larga, o custo continua sendo uma grande barreira para atingir esse objetivo. O loop de acesso é a parte mais cara da rede de telecomunicações, constituindo aproximadamente 40% do custo da rede de ponta a ponta. Além disso, uma análise do custo do loop de acesso mostra que a OSP representa aproximadamente 70% do custo, decorrente dos altos custos de mão de obra e construção, enquanto o custo dos componentes eletrônicos é de cerca de 30%. Consequentemente, o custo da OSP, não o custo dos componentes eletrônicos, é a principal barreira que impede às operadoras de rede implantarem fibra no loop de acesso em larga escala.

Isso acontece especialmente dentro da demografia altamente suburbana na América do Norte, onde as distâncias de loop de acesso, do escritório central (CO)

às instalações do assinante, são normalmente muito longas e podem alcançar facilmente uma média de onze quilômetros. Dentro da demografia urbana e urbana densa na Europa e na Ásia, as distâncias do loop de acesso são normalmente inferiores a cinco quilômetros. Isso explica porque as operadoras de rede na Europa e na Ásia tiveram mais sucesso na implantação de fibra no loop de acesso do que suas contrapartes norte-americanas.

A Ciena propõe uma solução de rede de acesso que ajuda as operadoras a abordar o grande desafio do custo de OSP que enfrentam ao tentar implantar fibra no loop de acesso. Minimizar esses custos é essencial para permitir que as operadoras de rede alcancem a implementação massiva e rentável de arquiteturas de acesso PON FTTx para suportar serviços de banda larga, especialmente na América suburbana, onde o custo de implantação de redes de acesso em fibra é mais alto.

O modelo de rede de acesso apresentado neste trabalho atinge esse objetivo fundamental de ajudar as operadoras de rede a minimizar seus custos de OSP. Portanto, os objetivos deste white paper são três:

- Empregar um **modelo de loop de acesso (assinante) para a análise técnico-econômica e o projeto otimizado de arquiteturas de rede de fibra/rádio** para ajudar as operadoras a minimizar seus custos de OSP determinando a implementação física ideal da OSP que minimize o custo de rede da arquitetura de acesso PON FTTx
- Permitir que Vendas e Marketing da Ciena posicione a solução 10G XGS PON da Ciena à frente dos principais concorrentes como uma solução que aborda o principal ponto problemático: o custo OSP/ODN para as operadoras de rede, em vez de abordar apenas o custo dos componentes eletrônicos da OLT e da ONT (Terminal de rede óptica)
- Permitir que a solução 10G XGS PON da Ciena ofereça o menor custo por bit em comparação com os principais concorrentes

2. Estratégia para o design ideal de arquiteturas de acesso PON FTTx

Em uma arquitetura de acesso PON, a divisão (splitting) óptica de um sinal multiplexado em uma fibra alimentadora (feeder) na OLT pode ser implementada de várias maneiras, incluindo divisão óptica centralizada (ou de convergência local) ou em cascata e em nós de rede diferentes, incluindo os gabinetes e/ou os pontos de distribuição (DPs) ou nós de pedestal. Consequentemente, como (centralizado ou em cascata) e onde (gabinete ou nós no DP) a divisão óptica PON for implementada na rede, pode resultar em arquiteturas PON logicamente equivalentes, mas com implementações físicas muito diferentes.

A implementação física da arquitetura PON impacta a distribuição e diminui as distâncias e capacidades dos cabos de pontos de conexão (drop loops), causando uma ampla variação nos custos da rede OSP. Isso é resultado da dependência do custo de OSP em uma combinação de fatores, incluindo densidade de construção, custos de materiais e mão de obra e taxas de penetração do serviço, entre outros. Uma vez que esses parâmetros de rede e custos de material/instalação variam de uma rede para outra, é difícil projetar arquiteturas de acesso PON de forma consistente com base em práticas estabelecidas para o design de plantas externas, como é típico das operadoras de rede. Para minimizar o custo de rede ponta a ponta, as arquiteturas de acesso PON devem ser projetadas caso a caso, levando em consideração como esses fatores e variáveis estão mudando em uma rede específica. O modelo neste documento minimiza os custos de rede incluindo essas variáveis a modo de informações para determinar o design físico ideal da arquitetura de rede de acesso PON FTTx.

3. Aplicação do modelo: casos de uso

Os dois casos de uso a seguir demonstram o poder deste modelo para ajudar as operadoras de rede a minimizar seus custos de arquitetura FTTx de acesso PON:

- **Caso de uso 1:** o primeiro caso de uso analisa uma série de arquiteturas PON logicamente equivalentes com uma divisão óptica 1:32 e suas implementações físicas com base na solução 10G XGS PON da Ciena. Nesse caso de uso, a rede é projetada usando nós DP com vários números de linhas (*t-Line) para uma rede contendo 1.024 prédios com densidades de construção que variam de 500/km² (demografia suburbana) até 10.000/km² (demografia urbana ultradensa). Considera-se uma taxa de penetração de serviço de 100%.
- **Caso de uso 2:** o segundo caso de uso considera um ambiente competitivo com várias operadoras, ou um em que a operadora de rede toma uma decisão estratégica de focar apenas em edifícios SMB/E e pode esperar atingir uma taxa de penetração de apenas cerca de 20 a 25%.

Esta seção também examina a questão de como o design da rede precisa mudar (se necessário) do caso de uso 1 para atingir um design de rede de custo mínimo no caso de uso 2. Finalmente, esta seção emprega o modelo apresentado para demonstrar como resolver este problema.

4. A rede de loop de acesso (assinante)

A Figura 1 mostra a rede de loop de acesso (ou assinante). Consiste em uma concatenação de nós e links da seguinte maneira:

- i. O nó OLT no escritório central (CO)/Local Exchange (LEX)
- ii. O loop de alimentação
- iii. O nó do gabinete (às vezes chamado de Unidade de distribuição remota [RDU])
- iv. O loop de distribuição
- v. Os pontos de distribuição (DPs) ou nós do pedestal
- vi. O loop de ponto de conexão (drop loop)
- vii. O nó nas instalações do cliente ONT

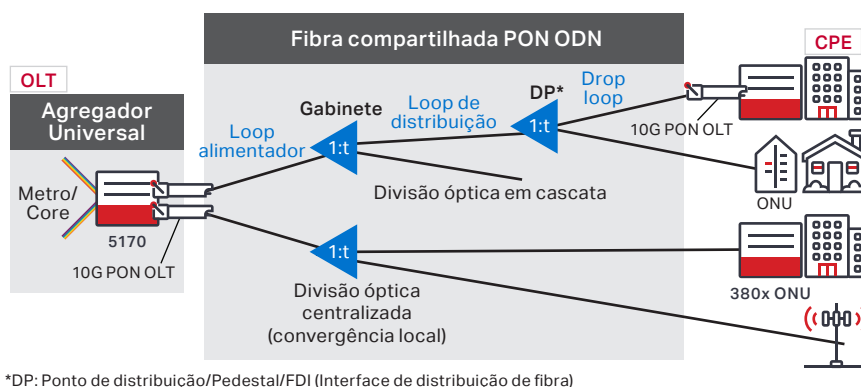


Figura 1. A rede de loop de acesso (assinante) baseada na solução 10G XGS PON da Ciena *t = 4, 8, 16 e 32

O custo da arquitetura de acesso PON OSP constitui aproximadamente 70% do custo da rede, em comparação com cerca de 30% correspondente aos componentes eletrônicos. Essa disparidade é causada por vários fatores, incluindo:

- Demografia da rede: densidade habitacional (ou quilômetros cobertos pela rede)
- Taxas de penetração do serviço
- Custos de material/mão de obra de instalação de OSP aérea, UG (subterrânea), conduíte/dutos, aterramento direto, etc.
- Como/onde a divisão óptica é implementada, resultando em arquiteturas PON logicamente equivalentes com diferentes implementações físicas que podem causar grandes variações de custo

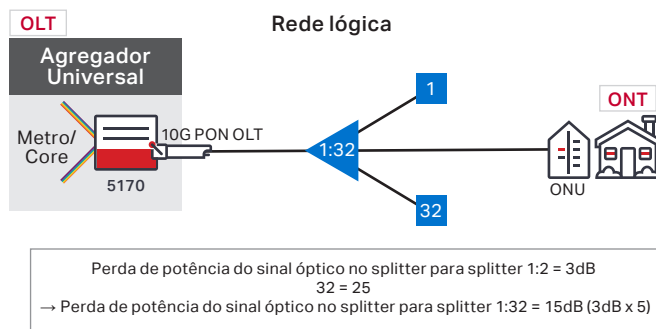
5. Análise de arquiteturas PON FTTx: Redes logicamente equivalentes e suas implementações físicas

Esta seção fornece uma análise de uma série de arquiteturas FTTH de acesso PON logicamente equivalentes e suas implementações físicas onde uma fibra alimentadora sofre uma divisão (splitting) óptica total de 1:32.

5.1 Arquitetura PON nº 1: divisão de 1:32 centralizada (convergência local) no gabinete

Análise da rede lógica

A Figura 2a mostra a arquitetura de rede lógica em que uma única fibra alimentadora da OLT é dividida em 32 fibras de distribuição por um splitter/acoplador óptico 1:32. A perda



*DP: Ponto de distribuição/Pedestal/FDI (Interface de distribuição de fibra)

Figura 2a. Arquitetura PON nº 1: divisão lógica 1:32 centralizada (convergência local) no nó do gabinete

de potência pela divisão do sinal óptico é calculada da seguinte forma:

- Perda de potência do sinal óptico no splitter para splitter 1:2 = 3dB
- Sendo $32 = 2^5$
- Portanto, a perda de potência pela divisão do sinal óptico de uma fibra alimentadora com divisão 1:32 = 15dB (3dB x 5)

Análise de implementação da rede física

A Figura 2b mostra a implementação da rede física da arquitetura onde uma única fibra alimentadora do OLT no CO/LEX é dividida em um cabo de distribuição de 32 fibras por um splitter óptico 1:32 localizado no nó do gabinete, conforme mostrado no gráfico. O cabo de distribuição de 32 fibras conecta 8 DPs de 4 linhas em uma cadeia margarida (daisy chain), com quatro fios de fibra sendo distribuídos em cada um dos oito nós DP. Cada nó DP conecta quatro clientes à rede por meio de cabos drop, conforme mostrado na figura.

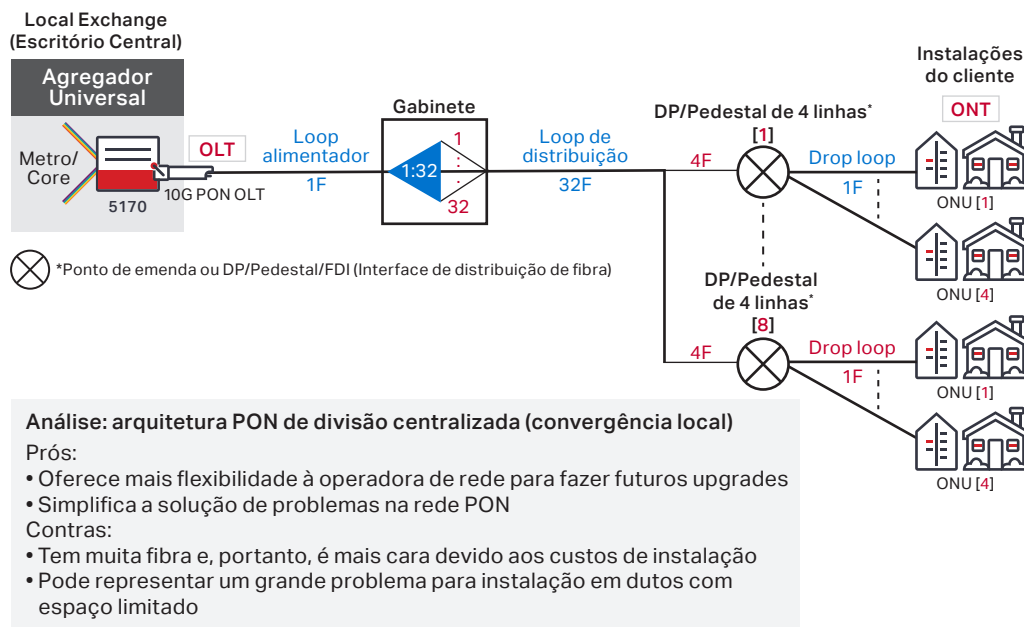


Figura 2b. Arquitetura PON nº 1: divisão de 1:32 centralizada (convergência local): divisão do gabinete: 1:32; DPs: sem divisão (com nós DP com capacidade para 4 linhas)

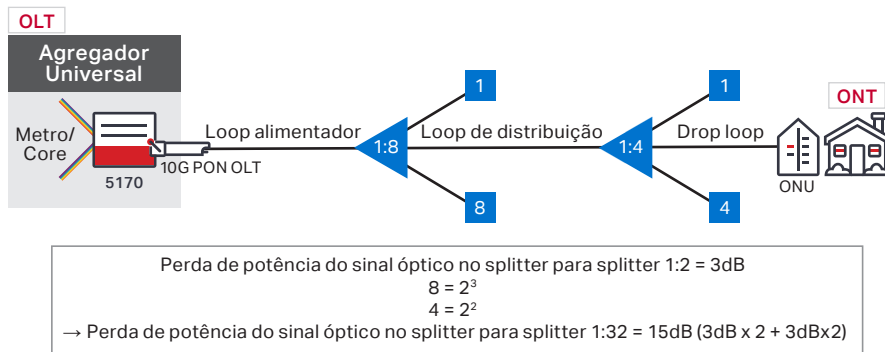


Figura 3a. Arquitetura PON nº 2: divisão óptica em cascata lógica 1:32: com divisões 1:8 e 1:4 em cascata

5.2 Arquitetura PON nº 2: divisão em cascata 1:32: gabinete: 1:8; DPs: 1:4

Análise da rede lógica

A Figura 3a mostra a arquitetura de rede lógica em que um sinal transportado por uma única fibra alimentadora do OLT é primeiro dividido em oito fibras de distribuição por um splitter óptico 1:8 no nó do gabinete. Cada uma das oito fibras de distribuição é ainda dividida em quatro cabos drop por acopladores 1:4 nos nós do DP para uma divisão total de 1:32 de uma fibra alimentadora. Portanto, a perda de potência pela divisão do sinal óptico total é calculada da seguinte forma:

- Perda de potência do sinal óptico no splitter para splitter 1:2 = 3dB
- Observe que $8 = 2^3$ e $4 = 2^2$
- Portanto, a perda de potência pela divisão do sinal óptico de uma fibra alimentadora com divisão total 1:32 = 15dB ($3\text{dB} \times 3 + 3\text{dB} \times 2$)

Análise de implementação da rede física

A Figura 3b mostra a implementação de rede física da arquitetura onde uma única fibra alimentadora do OLT é primeiro dividida em um cabo de distribuição de oito fibras por um splitter óptico 1:8 no nó do gabinete. O cabo de distribuição de oito fibras conecta oito DPs de 4 linhas em uma cadeia margarida (daisy chain) com cada um dos oito fios de fibra, posteriormente divididos por acopladores 1:4 nos nós do DP em quatro cabos drop em cada um dos oito nós DP. Cada nó DP conecta quatro clientes à rede por meio de cabos drop, conforme mostrado na figura.

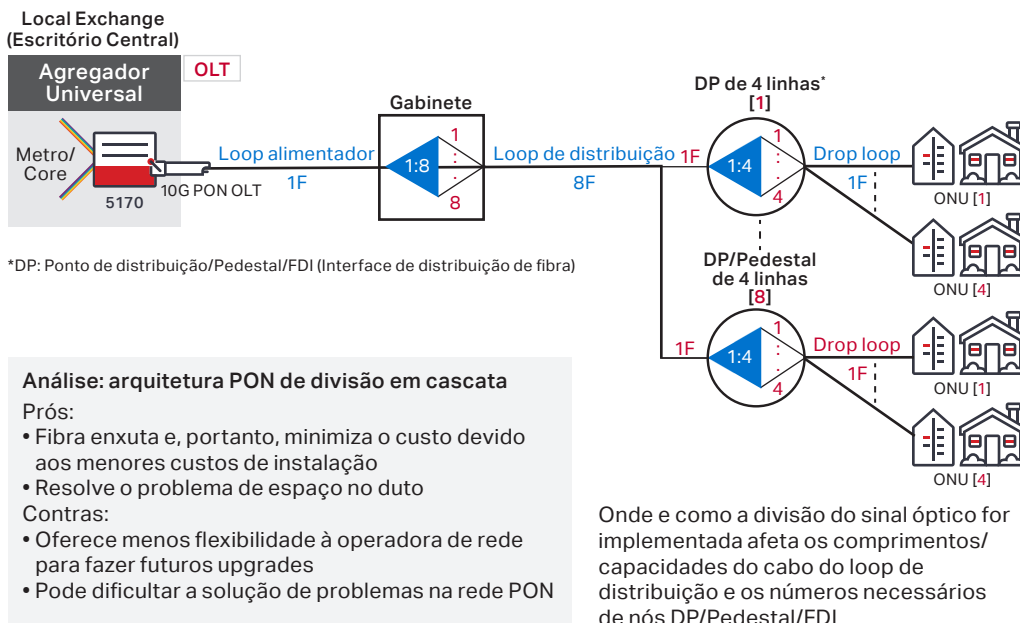


Figura 3b. Arquitetura PON nº 2: implementação física equivalente de divisão em cascata 1:32: divisão do gabinete: 1:8; divisão de nó DP: 1:4 com DPs com 4 linhas em cadeia

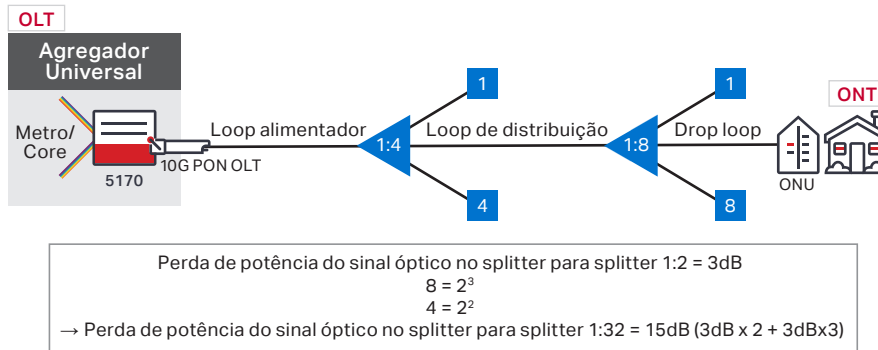


Figura 4a. Arquitetura PON n° 3: divisão óptica em cascata lógica 1:32: com divisões 1:4 e 1:8 em cascata

5.3 Arquitetura PON n° 3: divisão em cascata 1:32: Gabinete: 1:4; Nós do DP: 1:8

Análise da rede lógica

A Figura 4a mostra a arquitetura de rede lógica em que um sinal multiplexado em uma única fibra alimentadora do OLT é primeiro dividido em quatro fibras de distribuição por um acoplador óptico 1:4 no nó do gabinete. Cada uma das quatro fibras de distribuição é ainda dividida em oito cabos drop por acopladores 1:8 nos nós no DP para uma divisão total 1:32 de uma fibra alimentadora. Portanto, a perda de potência pela divisão do sinal óptico total é calculada da seguinte forma:

- Perda de potência do sinal óptico no splitter para splitter 1:2 = 3dB
- Sendo que $4 = 2^2$ e $8 = 2^3$
- Portanto, a perda de potência pela divisão do sinal óptico de uma fibra alimentadora com divisão total de 1:32 = 15dB ($3dB \times 2 + 3dB \times 3$)

Análise de implementação da rede física

A Figura 4b mostra a implementação de rede física da arquitetura onde um sinal transportado por uma única fibra alimentadora do OLT é primeiro dividido em um cabo de distribuição de quatro fibras por um acoplador óptico 1:4 no nó do gabinete. O cabo de distribuição de quatro fibras conecta 8 nós do DP de 4 linhas em uma cadeia margarida (daisy chain) com cada um dos quatro fios de fibra divididos por acopladores 1:8 nos nós do DP em oito cabos drop em cada um dos quatro nós do DP. Cada nó DP conecta oito clientes à rede por meio de cabos drop, conforme mostrado.

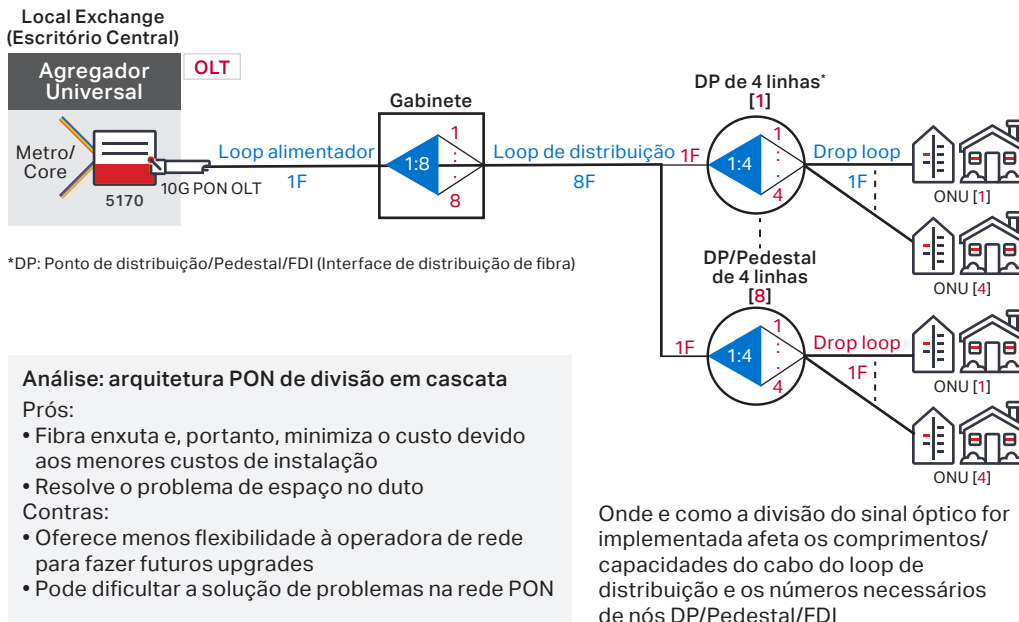


Figura 4b. Arquitetura PON n° 3: implementação física equivalente de 1:32; Divisão em cascata: divisão de gabinete: 1:4; Divisão nós DP 1:8; (com DPs de 8 linhas em cadeia)

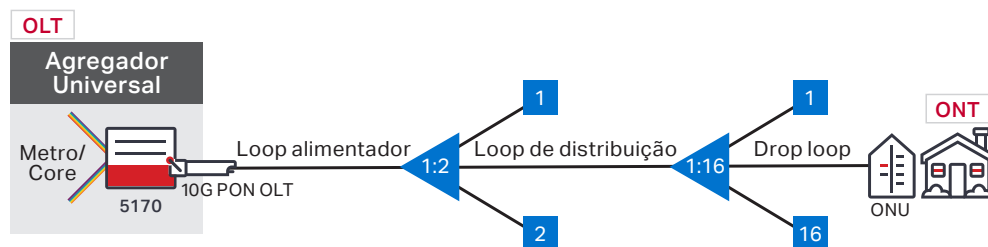


Figura 5a. Arquitetura PON nº 4: divisão óptica em cascata lógica 1:32: com divisões 1:2 e 1:16 em cascata

5.4 Arquitetura PON nº 4: divisão de 1:32 em cascata: gabinete: 1:2; Nós DP: 1:16

Análise da rede lógica

A Figura 5a mostra a arquitetura de rede lógica onde um sinal transportado por uma única fibra alimentadora do OLT é primeiro dividido em duas fibras de distribuição por um acoplador óptico 1:2 no nó do gabinete. Cada uma das duas fibras de distribuição é ainda dividida em 16 cabos drop por acopladores 1:16 nos nós DP para uma divisão total de 1:32 de uma fibra alimentadora. Portanto, a perda de potência pela divisão do sinal óptico total é calculada da seguinte forma:

- Perda de potência do sinal óptico no splitter para splitter 1:2 = 3dB
- Observe que $2 = 2^1$ e $16 = 2^4$
- Portanto, a perda de potência pela divisão óptica de uma fibra alimentadora com divisão total de 1:32 = 15dB ($3\text{dB} \times 1 + 4\text{dB} \times 3$)

Análise de implementação da rede física

A Figura 5b mostra a implementação da rede física da arquitetura onde uma única fibra alimentadora do OLT é primeiro dividida em um cabo de distribuição de duas fibras

por um acoplador óptico 1:2 no nó do gabinete. O cabo de distribuição de duas fibras conecta 2 nós DP de 16 linhas em uma cadeia margarida (daisy chain) com cada um dos dois fios de fibra divididos por acopladores 1:16 nos nós DP em 16 cabos drop em cada um dos dois nós DP. Cada nó DP conecta 16 clientes à rede por meio de cabos drop, conforme mostrado.

5.5 Arquitetura PON nº 5: divisão de 1:32 centralizada (convergência local): gabinete : sem divisão; Nós DP: 1:32

Análise da rede lógica

A Figura 6a mostra a arquitetura de rede lógica onde uma única fibra alimentadora do OLT é dividida em 32 cabos drop por um acoplador óptico 1:32 no nó DP. A perda de potência pela divisão do sinal óptico é calculada da seguinte forma:

- Perda de potência do sinal óptico no splitter para splitter 1:32 = 3dB
- $32 = 2^5$
- Portanto, a perda de potência pela divisão óptica de uma fibra alimentadora com divisão 1:32 = 15dB ($3\text{dB} \times 5$)

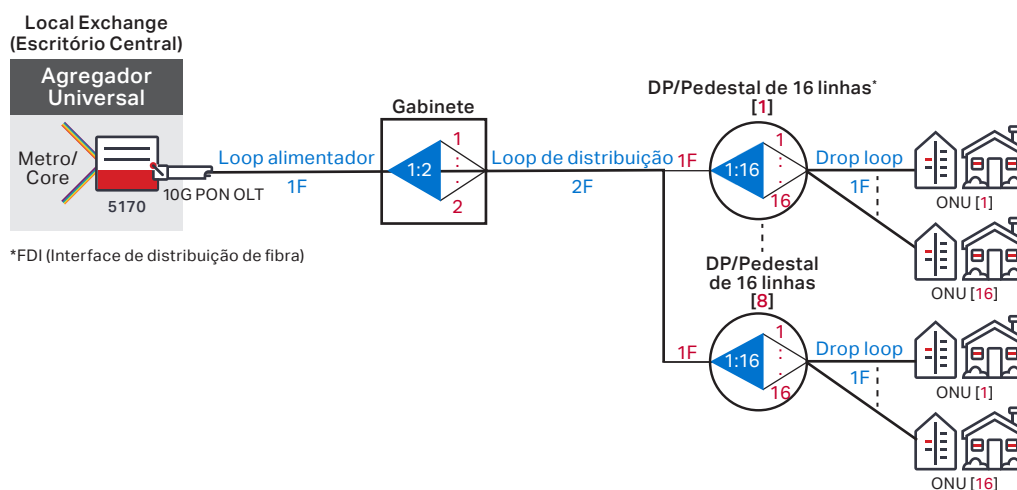


Figura 5b. Arquitetura PON nº 4: implementação física equivalente de 1:32: Divisão em cascata: Divisão de gabinete: 1:2; Divisão de nós DP: 1:16 (com pedestais/DP de 16 linhas em cadeia)

Análise de implementação da rede física

A Figura 6b mostra a implementação da rede física da arquitetura onde uma única fibra alimentadora do OLT é dividida em 32 cabos drop por um acoplador óptico 1:32 no nó DP, conforme mostrado no gráfico. Observe que, nesta arquitetura, o nó do gabinete é apenas um ponto de emenda.

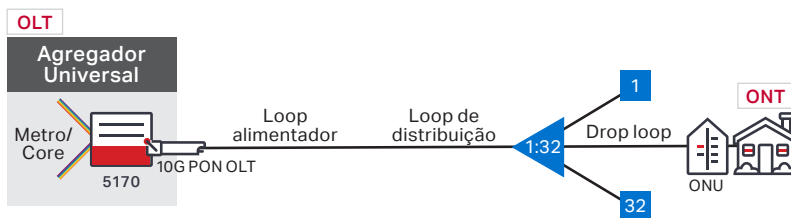


Figura 6a. Arquitetura PON nº 5: Divisão óptica centralizada lógica 1:32 (convergência local)

6. Modelo de loop de acesso para análise técnico-econômica e design otimizado de redes PON FTTx/FWA

O modelo pressupõe que o gabinete/RDU (Unidade de distribuição remota) é servido a partir de uma central local (Local Exchange, LEX) ou escritório central (CO) por meio de um cabo alimentador, conforme mostrado na Figura 7.

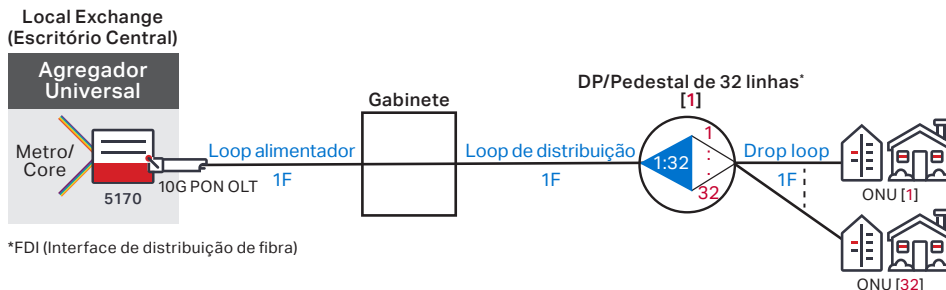


Figura 6b. Arquitetura PON nº 5: divisão óptica centralizada lógica 1:32 (convergência local) com gabinete: Sem divisões; Divisão de nó PD: 1:32 (com nós DP de 32 linhas)

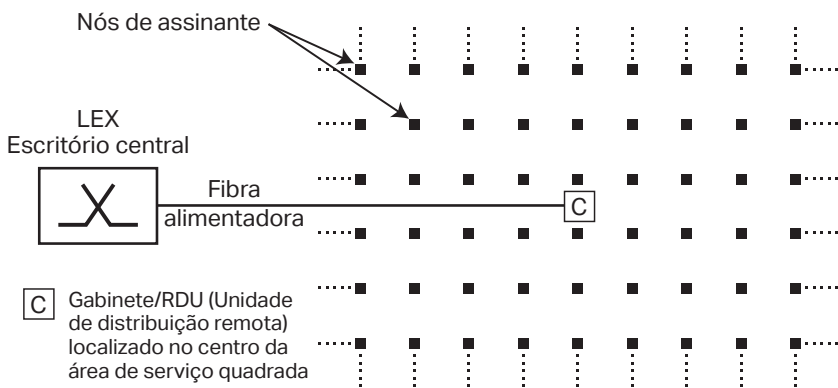
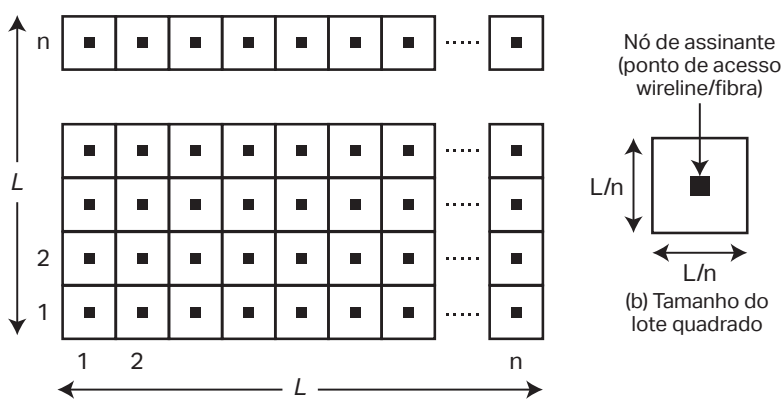


Figura 7. O modelo contempla uma área de serviço de formato quadrado do lado L contendo n^2 lotes residenciais uniformemente distribuídos e atendidos por meio de um cabo alimentador de fibra óptica do local exchange



(a) Gabinete quadrado/área de serviço RDU (considera-se que o nó RDU está localizado no centro da área de serviço)

Figura 8. Gabinete quadrado/modelo de área de serviço RDU com uma distribuição uniforme de assinantes

- Geralmente, em uma rede real, a área de serviço é normalmente um layout geográfico irregular onde os lotes residenciais não estão distribuídos de maneira uniforme.
- No entanto, para o propósito de desenvolver um modelo de rede, consideramos que a área de serviço do gabinete é um quadrado do lado L no qual lotes residenciais n^2 estão distribuídos de maneira uniforme, conforme mostrado na Figura 8.
- Essa suposição simplifica razoavelmente a modelagem de rede e ainda leva a resultados confiáveis.

6.1 Formulação do modelo para o cálculo da distribuição e dos comprimentos dos cabos aos pontos de conexão (drop loop)

Na Figura 8, é fácil mostrar que os lotes residenciais são quadrados de tamanho $L/n \times L/n$. Portanto, a área ocupada por um lote residencial é $(L/n)^2$, da qual a densidade de lotes residenciais é $= (n/L)^2$. A seguir, a figura mostra os algoritmos do modelo para gerar a distribuição e as distâncias do loop de conexão (drop loop) como funções paramétricas do tamanho do lote residencial, L/n .

6.2 Algoritmos do modelo

Em seguida, o algoritmo do modelo gera a distribuição e as distâncias do cabo ao ponto de conexão (drop loop) iterativamente, permitindo sua fácil implementação em um programa de computador. Os comprimentos totais do cabo de ponto de conexão (drop loop) b são gerados a partir do algoritmo:

$$b(j, k) = 2 \frac{L}{n} \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{j=0}^{p-1} (1+2j) + (1+2k) \quad \text{eqn. 1}$$

Onde L é o comprimento da lateral do gabinete quadrado/ área de serviço da rede RDU e n^2 é o número de lotes residenciais na área de serviço do gabinete onde j, k , são números inteiros.

Onde p_t, q_t são números inteiros cujos valores dependem da capacidade de terminação do DP, como segue:

- (i) $P_4 = 1$ e $q_4 = 1$ Para áreas de serviço do DP com capacidade para 4 linhas
- (ii) $P_8 = 2$ e $q_8 = 1$ Para áreas de serviço do DP com capacidade para 8 linhas
- (iii) $P_{16} = 4$ e $q_{16} = 1$ Para áreas de serviço do DP com capacidade para 16 linhas
- (iv) $P_{32} = 8$ e $q_{32} = 1$ Para áreas de serviço do DP com capacidade para 32 linhas

Da mesma forma, os comprimentos totais do cabo de loop de distribuição d são gerados a partir do algoritmo:

$$d(j, k) = 4 \frac{L}{n} \sum_{k=0}^{q(t)-1} \sum_{j=0}^{j(t)-1} ([2g(1+j)-1]p_t + (1+2k)q_t) \quad \text{eqn. 2}$$

Onde $g, j_d(t); k_d(t)$ são números inteiros

$$j_d(t) = n/4gP_t \text{ e } k_d(t) = n/4q_t$$

- $1 \leq g \leq n/4P_t$; g é um parâmetro de modelo crítico usado para configurar a rede de loop de distribuição conforme necessário:
 - $g = 1 \Rightarrow$ que os nós DP que são implantados em uma topologia ponto a ponto a partir do nó do gabinete
 - $g > 1 \Rightarrow$ que os nós DP que são encadeados a partir do nó do gabinete, onde g é o número de nós DP que compartilham um cabo de distribuição comum
- O modelo também pode implementar configurações de anel para proteção de caminho

As distâncias de loop são obtidas como funções de parâmetros do tamanho do lote residencial quadrado L/n . Portanto, para estimar distâncias de loop, o modelo requer apenas a modo de informação parâmetros geográficos/ demográficos e de rede que permitam estimar L/n .

Este modelo requer a modo de informação qualquer um dos seguintes parâmetros demográficos e de rede disponíveis:

- Densidade de construção
- Milhas/km cobertos pela rede

Dados do modelo

- Densidade de construção
- Milhas/km cobertos pela rede
- Sistema PON, material OSP e custo de instalação

Algoritmos do modelo

As distâncias dos loops de distribuição e de ponto de conexão (drop loop) são funções paramétricas do tamanho do lote residencial quadrado L/n .

$$b(j, k) = 2 \frac{L}{n} \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{j=0}^{p-1} (1+2j) + (1+2k)$$

$$d(j, k) = 4 \frac{L}{n} \sum_{k=0}^{q(t)-1} \sum_{j=0}^{j(t)-1} ([2g(1+j)-1]p_t + (1+2k)q_t)$$

Resultados do modelo

- Taxas ótimas do splitter dos nós do gabinete e do DP para minimizar o custo da rede PON de ponta a ponta
- Custo detalhados de links e nós
- Lista de materiais (Bill of Materials, BOM)
 - Comprimentos do cabo de loop de acesso (alimentador, distribuição e drop) e suas capacidades
 - Número necessário de emendas, pigtaills, conectores, terminais e outros materiais
 - Estimativas de custo de construção/instalação de OSP aéreo, aterramento direto, duto/conduíte

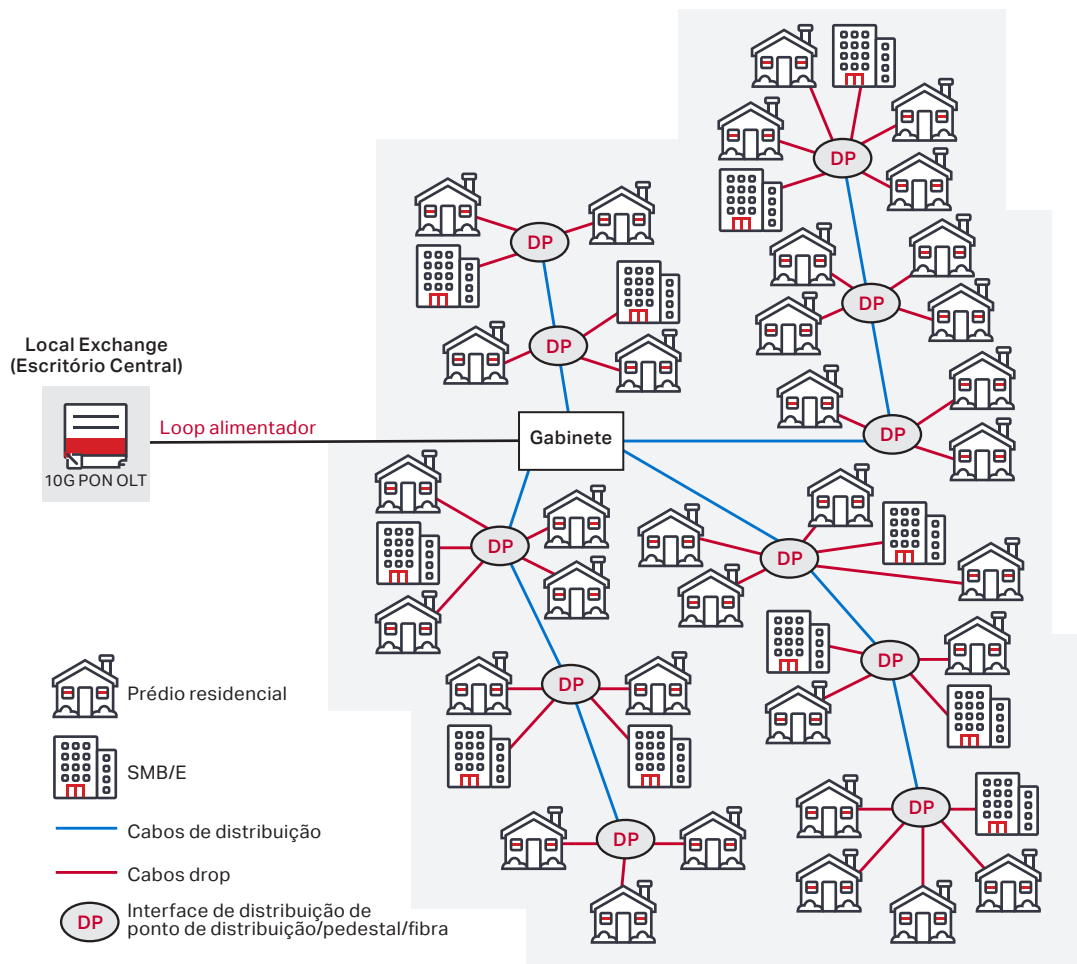


Figura 9a. Aplicação do modelo caso de uso 1: minimizar o custo da solução 10G XGS-PON da Ciena para residências e SMB/Es a uma taxa de penetração de 100%

7. Aplicação do modelo de loop de acesso: casos de uso

7.1 Caso de uso 1

A Figura 9 mostra uma área de serviço de gabinete de rede com 1.024 prédios atendidos a partir de um OLT no escritório central por meio de um cabo alimentador de fibra óptica. O objetivo é projetar uma arquitetura de rede PON FTTH de custo mínimo para a entrega de uma taxa de bits média por assinante de 311 Mb/s (Serviço de taxa de bits simétrica) tendo como base a solução 10G XGS PON da Ciena com uma divisão óptica total de 1:32 de um sinal multiplexado em uma fibra alimentadora. É necessário:

- Estimar os custos de rede ponta a ponta (OSP/ODN + componentes eletrônicos) para aprox. 1.024 prédios e o custo por assinante para densidades de construção de: 500/km²; 1.000/km²; 3.000/km²; 5.000/km²; e 10.000/km²
- Determinar a(s) arquitetura(s) de acesso PON, taxas ideais de splitter de acoplador óptico nos nós do gabinete e do DP, que minimizem o custo da rede de ponta a ponta
- Considerar uma taxa de penetração de serviço de 100%

7.2 Caso de uso 2

No caso de uso 1, e se as operações de rede na área não forem monopólios, mas operassem em um ambiente competitivo com duas ou três operadoras?

- Nesse cenário, é razoável esperar que as operadoras de rede atinjam não mais do que cerca de 20 a 25% de taxa de penetração.
- Ou, se a operadora de rede tomar uma decisão estratégica de segmentar apenas prédios SMB/E na rede, abrangendo apenas cerca de 20 a 25% dos prédios na rede, consulte a Figura 9b.
- Como deveria mudar, se necessário, o design da rede no caso de uso 1 com taxa de penetração de 100%, para que a operadora consiga um design de rede com custo mínimo neste novo cenário de menor taxa de penetração de serviço?

A seção a seguir mostra como empregar este modelo para minimizar o custo de uma rede PON FTTH baseada na solução 10G XGS-PON da Ciena, analisando uma série de arquiteturas de rede de acesso PON logicamente equivalentes, mas cujos designs/implementações físicas OSP/ODN têm como resultado uma ampla diferença nos custos de rede conforme a densidade habitacional e/ou as taxas de penetração do serviço variam.

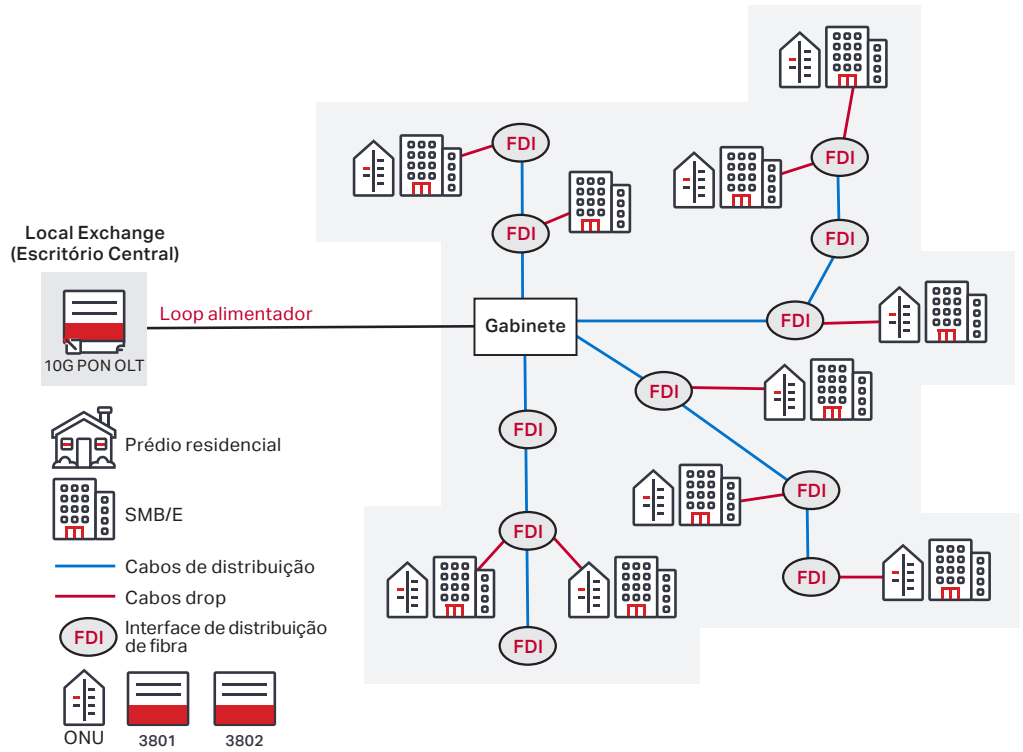
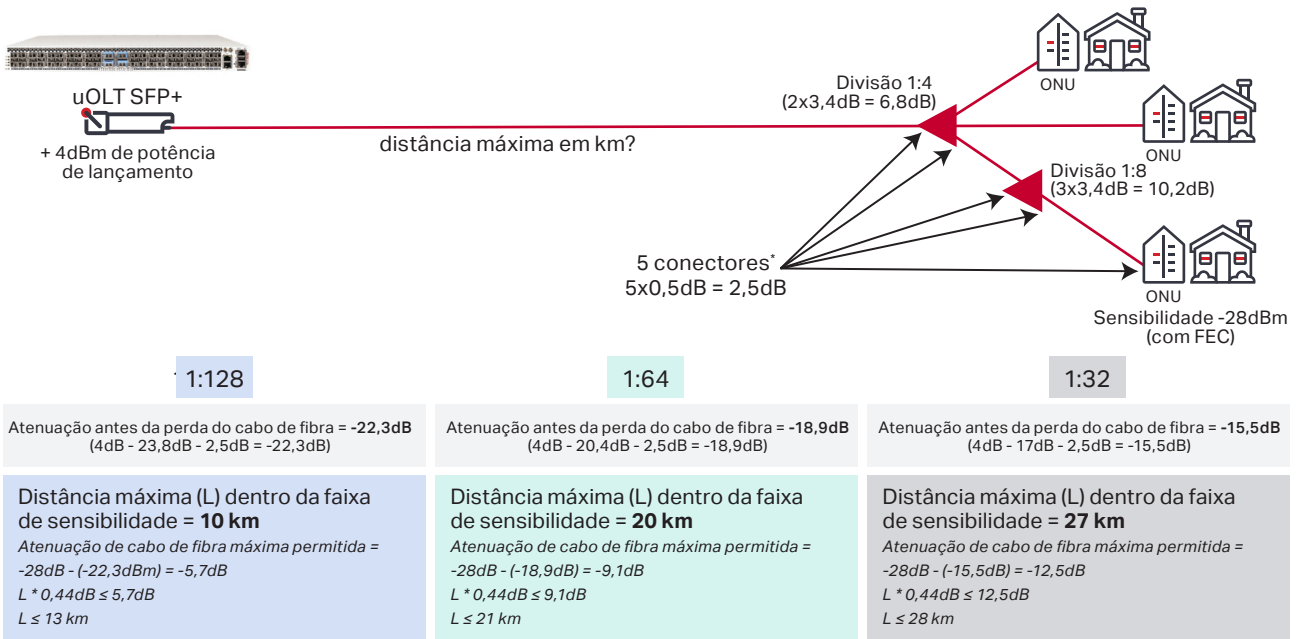


Figura 9b. Aplicação do modelo caso de uso 2: minimizar os custos da solução 10G XGS-PON da Ciena apenas para SMB/Es (aprox. 25% dos edifícios)

7.3 Configurações empregadas da solução 10G XGS-PON da Ciena



Números baseados nas especificações ITU. Variam conforme o fornecedor de óptica: alguns excedem as especificações e fornecem melhor alcance.

As margens EOL podem variar.

As distâncias influenciam em alguma margem. CoEx WDM não fatorado.

*Apenas 4 conectores se usar plugue uONU

Figura 10. Solução 10G XGS-PON da Ciena: intervalos de divisão 1xn (n = 32, 64 ou 128)

Caso de uso 1: custo de arquitetura/assinante PON FTTH (com base na solução 10G XGS-PON da Ciena com divisão total de 1:32 de uma fibra alimentadora)

Variação do custo da rede com demografia e capacidade de terminação dos nós DP: Taxa de penetração do serviço: 100%
(Custos normalizados para o custo de nós DP com capacidade para 8 linhas)

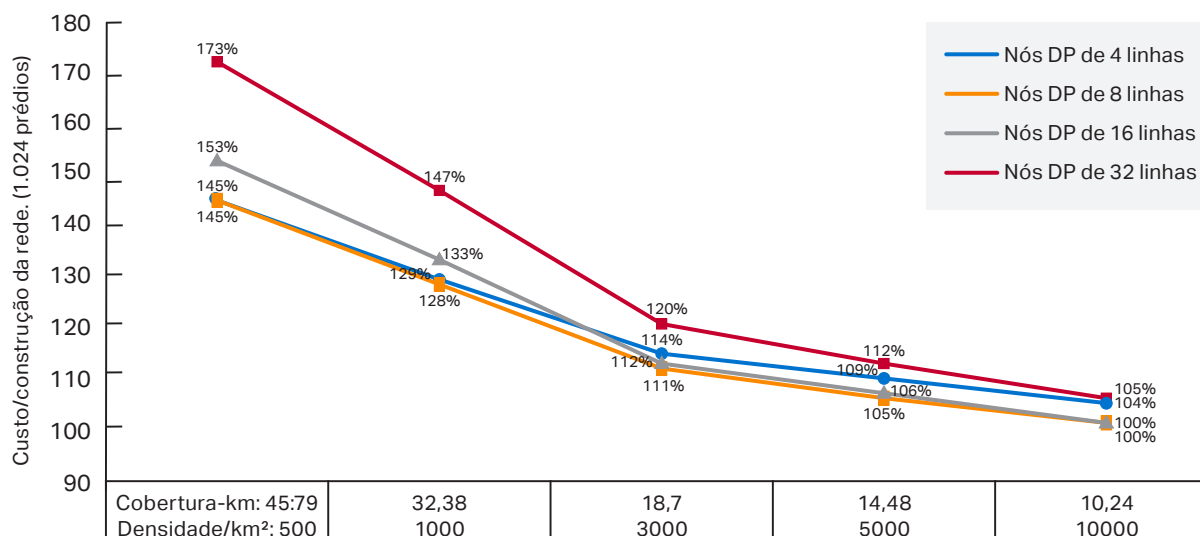


Figura 11a. Caso de uso 1: custo da arquitetura de acesso PON FTTH por assinante com base na solução 10G XGS-PON da Ciena com uma divisão óptica total 1:32 de uma fibra alimentadora (taxa de penetração do serviço: 100%)

8 Aplicações do modelo de loop de acesso: casos de uso: análise dos resultados

8.1 Caso de uso 1 (com 100% de taxa de penetração do serviço)

O caso de uso 1 emprega as seguintes quatro arquiteturas de acesso PON FTTH logicamente equivalentes:

1. Arquitetura PON nº 1: uma divisão em cascata 1:32: Gabinete: 1:8; DPs: 1:4 (nós DP com capacidade para 4 linhas)
2. Arquitetura PON nº 2: uma divisão em cascata 1:32: Gabinete: 1:4; DPs: 1:8 (nós DP com capacidade para 8 linhas)
3. Arquitetura PON nº 3: uma divisão em cascata 1:32: Gabinete: 1:2; DPs: 1:16 (nós DP com capacidade para 16 linhas)
4. Arquitetura PON nº 4: um gabinete de convergência centralizado/local 1:32: Sem divisão; DPs: 1:32 (nós DP com capacidade para 32 linhas)

Com base na solução 10G XGS-PON da Ciena, a Figura 11a mostra a variação dos quatro custos de arquitetura de acesso PON FTTH por assinante em função da densidade habitacional e capacidade de terminação do nó DP. Os custos são normalizados para o custo dos nós DP com capacidade para 8 linhas, o qual produz o custo mais baixo a uma densidade habitacional de 10.000 por km².

Tabela 1: caso de uso 1: custo da arquitetura PON FTTH (com base na solução 10G XGS-PON da Ciena: custos normalizados para o custo de nós DP de 8 linhas com densidade habitacional de 10.000/km²; Taxa de penetração do serviço: 100%

Densidade/km²	500	1000	3000	5000	10000
Cobertura-km	45,79	32,38	18,7	14,48	10,24
HHP	1024	1024	1024	1024	1024
HHP com taxa de aceitação de 100%	1024	1024	1024	1024	1024
Nós DP de 4 linhas	145%	129%	114%	109%	104%
Nós DP de 8 linhas	145%	128%	111%	105%	100%
Nós DP de 16 linhas	153%	133%	112%	106%	100%
Nós DP de 32 linhas	173%	147%	120%	112%	105%
Se o design da arquitetura PON não for otimizado: custo máximo (usando nós DP de 32 linhas)	173%	147%	120%	112%	105%
Se o design da arquitetura PON for otimizado: custo mínimo (usando nós DP de 8 linhas)	145%	128%	111%	105%	100%
Diferença/aumento de custo para rede de acesso PON projetada de maneira não otimizada	28%	19%	9%	6%	5%

Figura 11b. Caso de uso 1: custo da arquitetura PON FTTH baseada na solução 10G XGS-PON da Ciena: custos normalizados para o custo de nós DP de 8 linhas com densidade habitacional de 10.000 por km² (taxa de penetração do serviço: 100%)

Análise dos resultados: caso de uso 1

Os custos da arquitetura de acesso PON FTTH apresentam grande variação inversa em função da densidade habitacional.

As Figuras 11a e 11b mostram:

- O custo da arquitetura PON FTTH apresenta uma variação inversa em relação à densidade habitacional; ou seja, os custos da arquitetura PON FTTH diminuem à medida que a densidade habitacional aumenta.
 - Por exemplo, para arquitetura PON FTTH com nós DP com capacidade para 8 linhas, o custo diminui em 45% (de 145% para 100%) conforme a densidade habitacional aumenta de 500 por km² para 10.000 por km².
 - Para arquitetura PON FTTH com nós DP com capacidade para 32 linhas, o custo diminui em 68% (de 173% para 105%) conforme a densidade habitacional aumenta de 500 por km² para 10.000 por km².

Os custos da arquitetura de acesso PON FTTH apresentam alta sensibilidade à capacidade de terminação do nó DP em baixas densidades habitacionais.

Em uma baixa densidade habitacional de 500 por km², há uma diferença de custo muito grande (28%) entre o custo mínimo alcançado com nós DP com capacidade para 8/4 linhas e o custo máximo alcançado com nós DP com capacidade para 32 linhas (Figura 11b).

No entanto, em densidades habitacionais muito altas de 5.000 por km² e 10.000 por km², há pouca diferença no custo

das arquiteturas em função da capacidade de terminação dos nós DP, uma diferença de apenas 5 a 6%.

As operadoras de rede conseguiram implantar PON FTTH de maneira econômica no loop de acesso em redes urbanas densas pelas seguintes razões:

- Primeiro, em redes de alta densidade habitacional, os custos de rede ponta a ponta são mais baratos devido às distâncias de loop mais curtas.
- Portanto, há pouco aumento ou impacto de custo ao selecionar uma arquitetura PON não otimizada, apenas cerca de 6% em densidades habitacionais muito altas de 5.000 por km².

No entanto, em uma baixa densidade habitacional de 500 por km², a seleção de uma arquitetura PON não otimizada tem um impacto de custo muito alto, um aumento de custo de 28%.

Portanto, em redes de baixa densidade habitacional, como os subúrbios dos Estados Unidos, o design da rede de acesso PON não pode ser baseado em algumas práticas estabelecidas para o design de plantas externas. Em baixas densidades habitacionais, o custo da rede de acesso PON é altamente sensível a vários fatores, incluindo:

- Demografia: densidade habitacional (ou equivalente, km de cobertura) da área de serviço da rede
- Taxas de penetração do serviço
- Custos de material e instalação de OSP/ODN
- Capacidade de terminação de nós DP

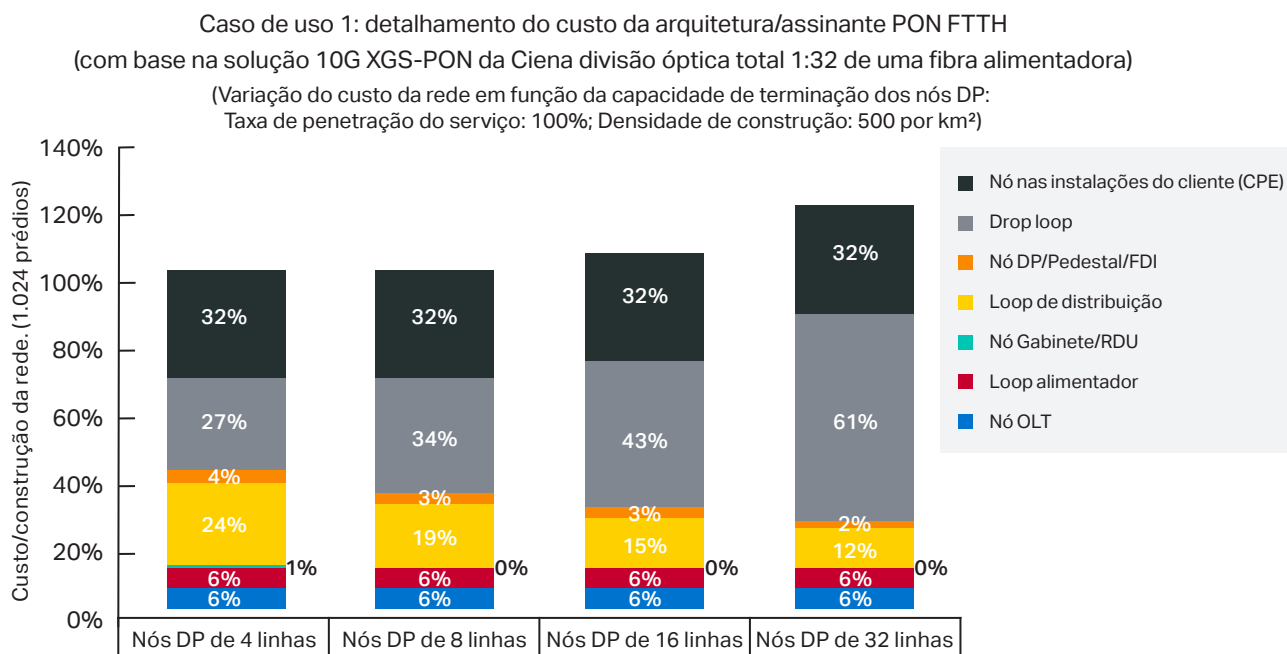


Figura 11c. Caso de uso 1: detalhamento do custo da arquitetura/assinante PON FTTH (com base na solução 10G XGS-PON da Ciena de divisão óptica total 1:32 de uma fibra alimentadora (taxa de penetração do serviço: 100%)

O modelo de loop de acesso apresentado neste white paper pode ajudar as operadoras de rede a projetar redes de acesso PON de maneira otimizada, determinando a(s) arquitetura(s) PON que minimizem o custo da rede em função dessas variáveis.

Os custos são normalizados para o custo dos nós DP com capacidade para 16 linhas, o qual produz o custo mais baixo em uma densidade habitacional de 10.000 por km².

Fatores de custo

A Figura 11c mostra que o principal fator de custo em uma baixa densidade habitacional de 500 por km² é o loop de ponto de conexão (drop loop) e tem o maior impacto nos nós DPs com capacidade para 16 e 32 linhas, que compreendem entre 43 e 61% dos custos da rede de ponta a ponta, respectivamente.

8.2 Caso de uso 2 (com taxa de penetração de serviço de 25%)

O caso de uso 2 emprega as mesmas quatro arquiteturas de acesso PON FTTH logicamente equivalentes do caso de uso 1.

A Figura 12a mostra a variação de custos da arquitetura de acesso dos quatro PON FTTH por assinante em função da densidade habitacional e capacidade de terminação de nó DP, com base na solução do sistema 10G XGS-PON da Ciena.

Tabela 2: caso de uso 2: Custo da arquitetura PON FTTH (com base na solução 10G XGS-PON da Ciena: Custos normalizados para o custo de nós DP de 16 linhas com densidade de habitação de 10.000/km ²)					
Densidade/km ²	500	1000	3000	5000	10000
Cobertura-km	45,79	32,38	18,7	14,48	10,24
HHP	1024	1024	1024	1024	1024
HHP com taxa de aceitação de 100%	256	256	256	256	256
Nós DP de 4 linhas	188%	163%	136%	128%	120%
Nós DP de 8 linhas	171%	147%	122%	114%	106%
Nós DP de 16 linhas	165%	140%	115%	108%	100%
Nós DP de 32 linhas	166%	140%	114%	106%	101%
Se o design da arquitetura PON não for otimizado: custo máximo (usando nós DP de 32 linhas)	188%	163%	136%	128%	120%
Se o design da arquitetura PON for otimizado: custo mínimo (usando nós DP de 8 linhas)	165%	140%	114%	106%	100%
Diferença/aumento de custo para rede de acesso PON projetada de maneira não otimizada	24%	22%	22%	22%	20%

Figura 11b. Caso de uso 1: custo da arquitetura PON FTTH baseada na solução 10G XGS-PON da Ciena: custos normalizados para o custo de nós DP de 8 linhas com densidade habitacional de 10.000 por km² (taxa de penetração do serviço: 100%)

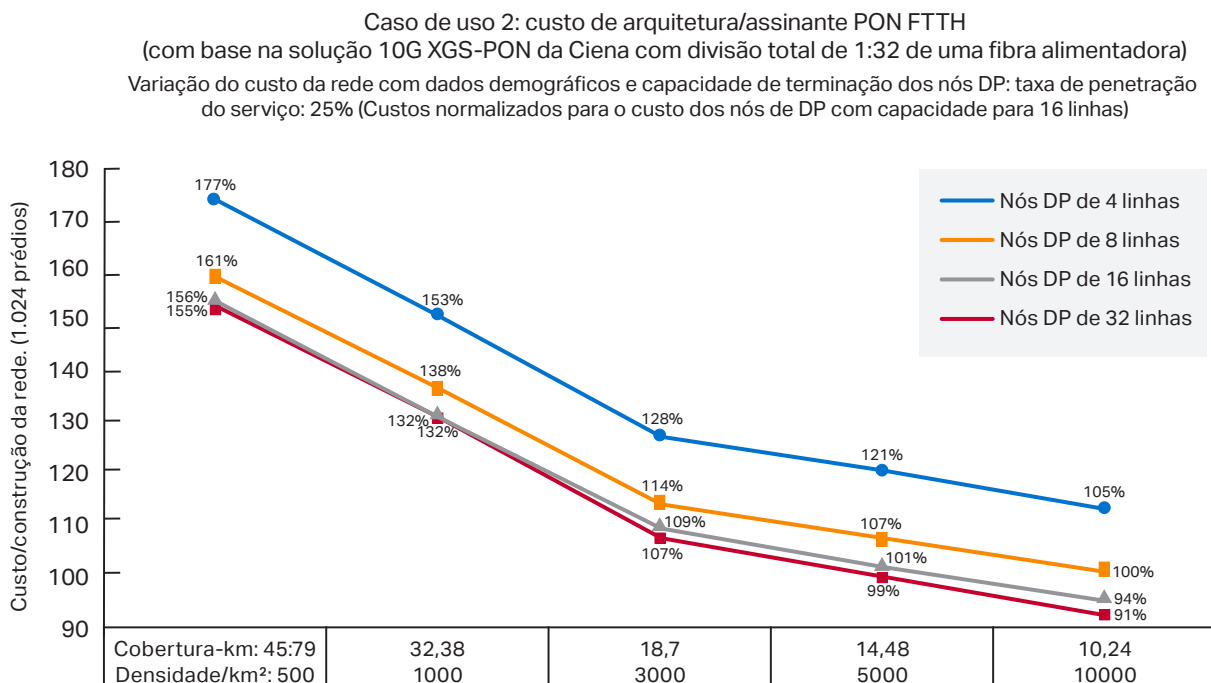


Figura 11a. Caso de uso 1: custo da arquitetura de acesso PON FTTH por assinante com base na solução 10G XGS-PON da Ciena com uma divisão óptica total 1:32 de uma fibra alimentadora (taxa de penetração do serviço: 100%)

Análise dos resultados: caso de uso 2

Da mesma forma que aconteceu no caso de uso 1 com taxa de penetração de serviço de 100%, o caso de uso 2, com taxa de penetração de serviço de 25%, mostra que os custos da arquitetura de acesso PON FTTH apresentam uma enorme variação inversa em função da densidade habitacional.

As Figuras 12a e 12b mostram que o custo da arquitetura PON FTTH exibe uma variação inversa em relação à densidade habitacional, ou seja, os custos da arquitetura PON FTTH diminuem conforme as densidades habitacionais aumentam. Por exemplo, para a arquitetura PON FTTH com nós DP com capacidade para 16 linhas, o custo diminuiu em 65% (de 165% para 100%) conforme a densidade habitacional aumenta de 500 por km² para 10.000 por km².

Quando as taxas de penetração do serviço são baixas, os custos da arquitetura de acesso PON FTTH apresentam alta sensibilidade à capacidade de terminação do nó DP, tanto em baixas como em altas densidades habitacionais.

Em uma baixa densidade habitacional de 500 por km², existe uma diferença de custo muito grande (24%) entre o custo mínimo alcançado com nós DP com capacidade para 16/32 linhas e o custo máximo alcançado com nós DP com capacidade para 4 linhas.

Em densidades habitacionais muito altas de 5.000 por km², também existe uma diferença de custo similarmente alta de 22% entre o custo mínimo alcançado com nós DP com capacidade para 16 linhas e o custo máximo alcançado com nós DP com capacidade para 4 linhas.

Consequentemente, uma combinação de baixas densidades habitacionais e baixas taxas de penetração de serviço representa o maior desafio para as operadoras de rede na implantação de arquiteturas de acesso PON devido à alta sensibilidade do custo de PON OSP/ODN em relação às baixas densidades habitacionais e baixas taxas de penetração de serviço, bem como as capacidades de terminação dos nós DP, que afetam a distribuição e reduzem os custos de loop de ponto de conexão (drop loop). Portanto, a seleção de capacidades de terminação de nós DP incorretas leva a um design não otimizado da arquitetura de rede de acesso PON, com um impacto/aumento de custo muito alto.

Assim, em redes com uma combinação de baixa densidade habitacional e baixas taxas de penetração de serviço, tentar projetar redes de acesso PON com base em algumas práticas estabelecidas para design de planta externa provavelmente terá como resultado redes projetadas de forma não otimizada, com custos aumentando em 20% ou mais do que o necessário. Isso ocorre porque o custo da rede de acesso PON é altamente sensível a vários fatores, incluindo:

- Demografia: densidade habitacional (ou, equivalentemente, km de cobertura) da área de serviço da rede
- Taxas de penetração do serviço
- Custos do material e instalação de OSP/ODN
- Capacidade de terminação dos nós DP

O modelo de loop de acesso apresentado neste white paper pode ajudar as operadoras de rede a projetar redes de acesso PON de maneira otimizada, determinando a(s) arquitetura(s) PON que minimizem o custo da rede em função dessas variáveis.

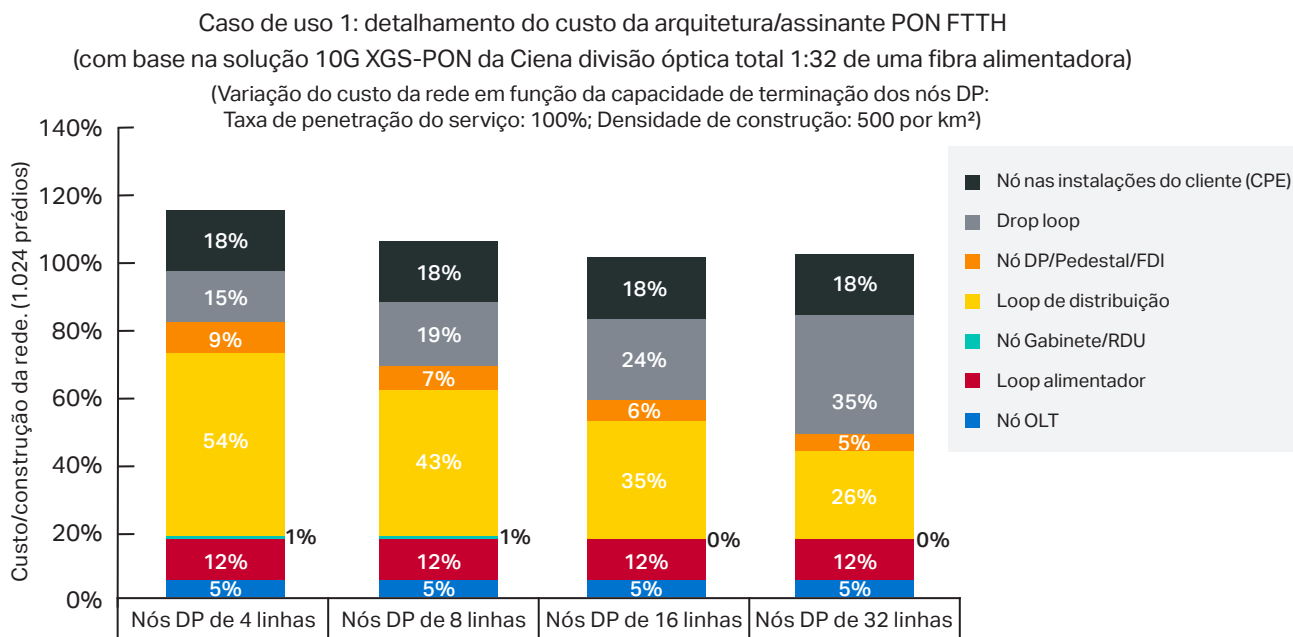


Figura 12c. Caso de uso 2: detalhamento do custo da arquitetura/assinante PON FTTH com base na solução 10G XGS-PON da Ciena de divisão óptica total 1:32 de uma fibra alimentadora (taxa de penetração do serviço: 25%)

Fatores de custo

A Figura 12c mostra os principais fatores de custos em uma baixa densidade habitacional de 500 por km² e baixa taxa de penetração de 25%. Nesse caso, o principal gerador de custos agora é o custo do loop de distribuição, que é muito alto para nós DP de 4 e 8 linhas, com 54% e 43% dos custos de rede ponta a ponta, respectivamente. No caso de uso 1, o loop de ponto de conexão (drop loop) foi o principal gerador de custos e teve o maior impacto nos nós DPs com capacidade para 16 e 32 linhas, que abrangem 43% e 61% do custo da rede de ponta a ponta, respectivamente.

9. Conclusões

Este white paper apresenta um modelo de loop de acesso para a análise técnico-econômica e design ideal (custo mínimo) de arquiteturas de rede PON FTTx e FWA (Fixed Wireless Access). Ele examina dois casos de uso com base na solução 10G XGS-PON da Ciena. Este análise destaca o principal desafio para as operadoras de rede: o custo muito alto de implantação de fibra em redes de loop de acesso em áreas demográficas de baixa densidade habitacional, como os subúrbios dos EUA, onde os altos custos de rede são impulsionados principalmente pelo custo de OSP/ODN.

O artigo demonstra como empregar este modelo para minimizar o custo das redes PON FTTH, analisando uma série de arquiteturas de rede de acesso PON logicamente equivalentes, mas cujos designs/implementações físicas OSP/ODN resultam em grandes diferenças nos custos de rede conforme a densidade habitacional e/ou as taxas de penetração do serviço variam.

9.1 Principais conclusões

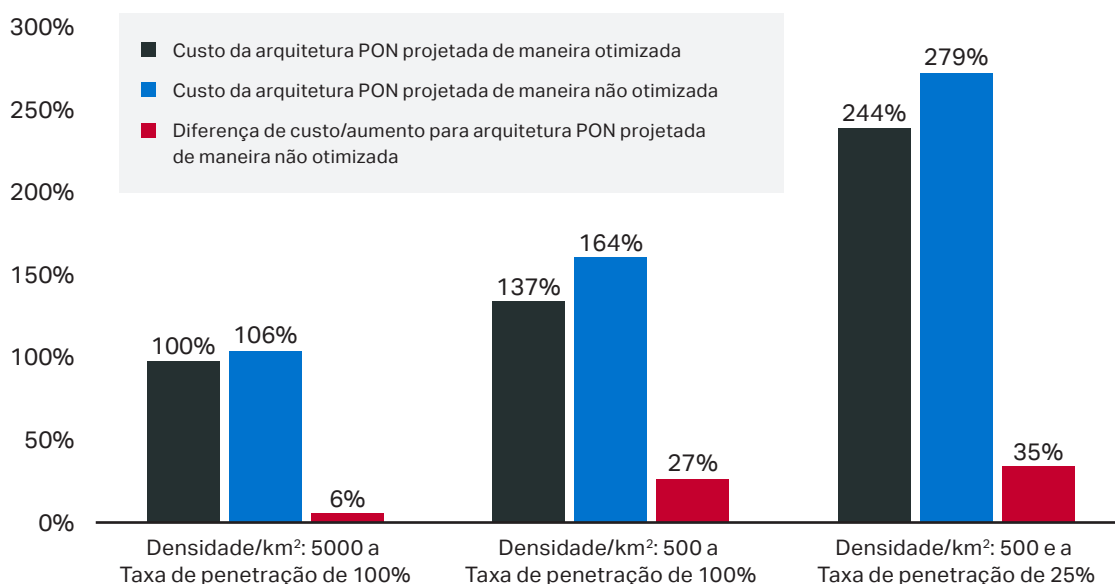
Em redes com altas densidades habitacionais e altas taxas de penetração de serviço, o custo da rede de acesso PON tem sensibilidade limitada ao design OSP/ODN.

A Figura 13 descreve como o custo da arquitetura de rede de acesso PON varia em função das densidades habitacionais e taxas de penetração de serviço para arquiteturas PON projetadas de forma otimizada e não otimizada. Os custos são normalizados para custos em uma densidade habitacional de 5.000 por km² e taxa de penetração de 100%.

Em uma densidade habitacional muito alta de 5.000 por km², a diferença de custo, ou seja, a diferença entre o custo de uma arquitetura de acesso PON projetada de forma otimizada (ou de custo mínimo) é de apenas cerca de 6%.

Quando a densidade habitacional é alta e o design da rede é para uma taxa de penetração de serviço de 100%, a diferença para um design de arquitetura PON não otimizado é mínima. Portanto, há pouca diferença de custo para a operadora para redes de acesso PON projetadas de forma não otimizada em áreas de alta densidade. As operadoras de rede não requerem nenhuma sofisticação ou práticas estabelecidas especiais para design de plantas externas, e a regra geral é mais que suficiente.

Variação do custo da arquitetura de acesso PON em função da densidade habitacional, taxas de penetração do serviço



Diferença de custo para arquitetura de rede de acesso PON projetada de maneira não otimizada	Design de arquitetura PON não otimizada	Design de arquitetura PON otimizada (custo mínimo)	Diferença/aumento de custo
Densidade/km ² : 5000 a uma taxa de penetração de 100%	106%	100%	6%
Densidade/km ² : 500 a uma taxa de penetração de 100%	164%	137%	27%
Densidade/km ² : 500 e a uma taxa de penetração de 25%	279%	244%	35%

Figura 14. Diferença de custo para arquitetura de rede de acesso PON projetada de maneira não otimizada

Isso explica porque as operadoras de rede têm sido capazes de implantar PON FTTH de maneira econômica no loop de acesso em redes urbanas densas. No entanto, a implantação de redes PON FTTH no loop de acesso em áreas de baixa densidade habitacional (especialmente nos subúrbios dos EUA) tem sido particularmente desafiador para as operadoras pelas razões abaixo.

Em redes com baixas densidades habitacionais e/ou baixas taxas de penetração de serviço, o custo da rede de acesso PON é altamente sensível ao design OSP/ODN, e arquiteturas de acesso PON projetadas de forma não otimizada sob esses cenários podem aumentar o custo drasticamente, de 27 a 35%.

Conforme mostrado na Figura 13, em uma baixa densidade habitacional de 500 por km² e taxa de penetração de 100%, quando a arquitetura PON é projetada de forma otimizada, o custo é 37% maior do que o custo em uma densidade habitacional de 5.000 por km² (ver Figura 14). No entanto, se a arquitetura PON for projetada de forma não otimizada, o custo de baixa densidade habitacional de 500 por km² é 64% maior do que se a densidade habitacional fosse de 5.000 por km². A diferença de custo para o design não otimizado da arquitetura de acesso PON aumenta 27% em uma densidade habitacional baixa de 500 por km², em comparação com apenas 6% em uma densidade habitacional alta de 5.000 por km².

Além disso, como mostrado na Figura 14, em uma baixa densidade habitacional de 500 por km² e uma baixa taxa de penetração de serviço de 25%, quando a arquitetura PON é projetada de forma otimizada, o custo é 114% maior do que o custo em uma densidade habitacional de 5.000 por km² e taxa de penetração de 100%.

Se o design da arquitetura PON não for otimizado, o custo em uma baixa densidade habitacional de 500 por km² e baixa taxa de penetração de serviço de 25% é 179% maior do que o custo em uma densidade habitacional de 5.000 por km² e taxa de penetração de 100%. A diferença de custo

para o design não otimizado da arquitetura de acesso PON vai para 35% em uma densidade habitacional baixa de 500 por km² e baixa taxa de penetração de serviço de 25%, em comparação com uma diferença de custo de apenas 6% em uma densidade habitacional alta de 5.000 por km² com uma taxa de penetração de serviço de 100%.

Isso representa um desafio para as operadoras de rede que tentam implantar redes de acesso PON em áreas de diferentes densidades habitacionais e/ou baixas taxas de penetração de serviço. A diferença de custo para a implantação de arquiteturas de acesso PON com design não otimizado é muito alta. Conseqüentemente, em redes de baixa densidade habitacional, como os subúrbios da América, o design da rede de acesso PON não pode ser baseado em algumas práticas estabelecidas ou regra geral para o design da planta externa porque em baixas densidades habitacionais, o custo da rede de acesso PON é altamente sensível a vários fatores incluindo:

- Demografia: densidade habitacional (ou equivalente, km de cobertura) da área de serviço da rede
- Taxas de penetração do serviço
- Custos de material e instalação de OSP/ODN
- Capacidade de terminação de nós DP

O modelo de loop de acesso apresentado neste white paper pode ajudar as operadoras de rede a projetar redes de acesso PON de maneira otimizada, determinando a(s) arquitetura(s) PON que minimizem os custos da rede em função dessas variáveis. Este modelo de loop de acesso versátil também é usado para o design de custo mínimo de redes 5G mmWave híbridas de fibra/FWA de células pequenas onde muitas variáveis conflitantes, como frequência de espectro, custo de espectro, tamanho da célula pequena e requisitos de densificação de fibra no backhaul precisam ser considerados para minimizar custos.

Este conteúdo foi útil?