

Sistema Para Projeto de Redes Ópticas: Um Software Para Automação de Projetos de Rede FTTH

André Daniel Sobreira, Leonardo Barreto Campos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA)
Vitória da Conquista – BA – Brasil

andresobreira@live.com, leonardobcampos@ifba.edu.br

Abstract. This paper presents the development of a web-based system for automating PON network design. The main objective was to create a tool that simplifies and optimizes the planning process, reducing costs and time spent. Optimization algorithms such as Dijkstra and K-means were used. Developed with technologies like Python and JavaScript, the system features an intuitive interface integrated with online maps. Tests were conducted, confirming the system's effectiveness and efficiency in different scenarios. The results demonstrated that the solution is capable of generating optical network designs quickly and accurately, calculating shorter cabling routes and equipment positioning. The work concludes by highlighting the system's contributions to the telecommunications field and suggests future improvements.

Keywords: Optical networks, FTTH, Network design automation, Optimization algorithms, Web development.

Resumo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema web para automação de projetos de redes PON. O objetivo principal foi criar uma ferramenta que simplificasse e otimizasse o processo de planejamento, reduzindo custos e tempo gasto. Utiliza-se algoritmos de otimização, como Dijkstra e K-means. Desenvolvido com tecnologias como Python e JavaScript, o sistema tem interface intuitiva e integrada a mapas online. Foram realizados testes que confirmaram a eficácia e eficiência do sistema em diferentes cenários. Os resultados demonstraram que a solução é capaz de gerar projetos de redes ópticas de forma rápida, precisa e calculando rotas mais curtas de cabeamento e posicionamento de equipamentos. O trabalho conclui destacando as contribuições do sistema para o campo das telecomunicações e sugere melhorias futuras.

Palavras-chave: Redes ópticas, FTTH, Automação de projetos de rede, Algoritmos de otimização, Desenvolvimento web.

1. Introdução

No Brasil, o acesso a planos de internet de ultra velocidade em endereços comerciais e residenciais cresceu significativamente. De acordo com a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2022), os assinantes de banda larga fixa aumentaram de 36,3 milhões em dezembro de 2020 para 41,4 milhões em dezembro de 2021, um crescimento de 14%. A tecnologia de fibra óptica, que oferece vantagens como imunidade à interferência eletromagnética e alta capacidade de transmissão de dados, consolidou-se

como a principal escolha. Ainda segundo a ANATEL (2022), 90% dos lares brasileiros já possuíam acesso à internet banda larga no final do ano de 2021, com um aumento significativo nas áreas rurais.

Com a crescente demanda por modernização, Provedores de Serviço de Internet (*Internet Service Provider – ISP*) foram pressionados a adotar a fibra óptica e adaptar e/ou construir suas redes com essa tecnologia, muitas vezes sem o planejamento adequado. Segundo Takeuti (2005) um projeto de Rede Óptica Passiva (*Passive Optical Network - PON*) envolve diversos elementos. Para se criar um projeto óptico viável é essencial que ele seja eficaz e eficiente, cumprindo a finalidade estabelecida com o menor custo possível, garantindo ao mesmo tempo a qualidade esperada. Esses projetos podem ter diferentes classificações, baseadas no nível de incorporação de equipamentos passivos em sua estrutura (LOPEZ, 2008; PEREIRA, 2013). As principais classificações são *Fiber To The Home* (FTTH), *Fiber To The Building* (FTTB) e *Fiber To The Cabinet* (FTTCab). Conforme Lopez (2008), todas essas classificações asseguram largura de banda suficiente para diversos serviços e aplicações para o usuário final.

O sistema proposto, planejado como uma ferramenta *web*, visa automatizar a base do projeto de redes PON FTTH, calculando a melhor rota para cabeamento e a localização ideal de equipamentos, com base em entradas fornecidas pelo usuário, como quantidade de portas PON e coordenadas geográficas da área alvo do projeto. Utilizando mapas *online* existentes, o sistema proporciona uma representação visual intuitiva, facilitando o planejamento e implementação das redes ópticas, reduzindo custos e correções, otimizando o tempo gasto no desenvolvimento desses projetos e entregando soluções ótimas.

O objetivo deste trabalho, então, foi desenvolver um sistema web para automação de projetos de redes PON FTTH. Para alcançar esse objetivo, foi desenvolvido um algoritmo para cálculo da melhor rota para o cabeamento e posicionamento de equipamentos, visando a otimização de custos com material e tempo. Além disso, foram executadas algumas provas de conceito no sistema para validar seu funcionamento correto, com foco no resultado entregue.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 discute pesquisas e projetos similares ao aqui proposto e pontos de oportunidade; a seção 3 detalha o funcionamento do sistema proposto; a seção 4 avalia a eficácia do sistema por meio de testes e análises; e, por fim, a seção 5 apresenta a conclusão que resume os objetivos atingidos e sugere possíveis direções para trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A presente seção apresenta uma análise dos principais estudos e projetos existentes que envolvem a automação na criação de redes FTTH. Inicialmente é válido destacar citar que existem vários sistemas no mercado especializados na documentação de redes ópticas e que têm papel importante na gestão e manutenção dessas infraestruturas. Entre eles destacam-se o Geogrid Maps® que oferece uma solução robusta para o mapeamento e documentação detalhada de redes de fibra óptica; o OZMaps®, conhecido por sua capacidade de integrar dados de rede em um ambiente geoespacial, facilitando a análise e a documentação das conexões e o ConnectMaster®, uma plataforma abrangente que oferece ferramentas avançadas para o planejamento, documentação e gestão de redes ópticas.

Na academia, o estudo de Dias (2018) propõe a otimização de redes PON usando algoritmos genéticos, analisando também a viabilidade técnico-econômica da proposta PON-LAN. Com objetivos de minimizar custos de implantação, eliminar erros de projeto, reduzir o tempo de processo e garantir o funcionamento adequado da rede, o trabalho abrange a descrição de estruturas de redes, tecnologias FTTx e PON, e diferentes topologias. O autor realiza simulações e análises de CAPEX e OPEX, utilizando conceitos de teoria dos grafos e o algoritmo de Floyd-Warshall para otimizar distâncias na rede. Usando a plataforma OpenStreetMap® (OSM) e Matlab® para cálculos e simulações do seu trabalho, o estudo peca em não ter uma interface gráfica mais acessível, limitando sua aplicabilidade prática. Em suma, o trabalho oferece uma contribuição significativa ao campo das redes PON, destacando aspectos técnico-econômicos, apesar de seu foco técnico restringir o uso comercial.

O estudo de Sobrinho e Enomoto (2017) visa desenvolver uma ferramenta para projetar redes FTTx que auxilie na viabilidade técnica e econômica de projetos PON, com foco na tecnologia GPON e abordagens detalhadas sobre fibras ópticas e topologias de redes. Utilizando grafos como forma de representação visual da localização dos *splitters*, e o *software* Mathematica® para otimizações com o algoritmo de clustering k-means, o estudo não integra essas representações a mapas geográficos reais, mas sim ao próprio grafo, dificultando a visualização prática. Apesar de contribuir significativamente para o avanço de ferramentas de criação de redes ópticas e destacar a análise técnico-econômica, a falta de uma interface web e integração com APIs de mapas limita sua acessibilidade e aplicabilidade comercial.

O trabalho de Chianca (2020) tem como objetivo desenvolver uma interface de gestão de redes de fibras ópticas centrada no usuário, proporcionando uma experiência intuitiva e eficiente. A pesquisa enfatiza a importância do Design Centrado no Usuário e da Experiência do Usuário (UX) na criação de interfaces eficazes, e detalha os componentes de uma rede de fibra óptica, como cabos e pontos de presença. Utilizando ferramentas como React, Leaflet e a metodologia Scrum, o sistema permite operações CRUD para flexível gestão de dados e utiliza pop-ups para exibição de informações adicionais. Apesar de suas limitações na automatização de projetos, o sistema foi projetado para atender às necessidades específicas de um cliente chamado GigaCandanga, focando em uma solução mais eficiente e centrada no usuário. Em suma, o trabalho contribui significativamente para o estudo de interfaces web intuitivas, UI/UX, e para a gestão de redes ópticas, destacando a relevância do design centrado no usuário em sistemas de software.

3. Descrição da Aplicação

A proposta deste trabalho é desenvolver uma solução simples e eficaz para facilitar a criação de redes PON FTTH em provedores de internet, dando uma ideia inicial para o desenvolvimento dos seus projetos de redes. O software foi nomeado como Netmaker. Nessa seção será descrito como o Netmaker foi desenvolvido, apresentando as tecnologias e conceitos utilizados, detalhando os requisitos para funcionamento do sistema e o diagrama de atividades.

Para o desenvolvimento da aplicação foram escolhidas as linguagens de programação Python no *backend*, por sua facilidade de aprendizado e capacidades robustas, sendo ideal para diversos níveis de programadores, e JavaScript no *frontend* em

conjunto com HTML e CSS. Para realizar a comunicação do *backend* com o *frontend* foi utilizado o *framework* Django, que permite o desenvolvimento rápido de aplicativos web.

Parte importante da lógica da aplicação no *backend*, reside nos conceitos de grafos. Conforme descrito por Soares e Almeida (2022), um grafo é composto por um conjunto de vértices e arestas, onde cada aresta conecta dois vértices. Para encontrar a melhor rota entre dois pontos, simulando as rotas dos cabos, foi necessário utilizar algoritmos que atuam sobre grafos, sendo o algoritmo de Dijkstra o escolhido devido à sua capacidade de determinar o caminho mais curto ou de menor custo entre um ponto inicial e todos os outros pontos em um grafo. Este algoritmo é ideal para aplicações de mapeamento e roteamento, possuindo uma complexidade computacional que o torna eficiente mesmo para grandes grafos. Foi também analisado algoritmos de agrupamento (*clustering*), optando pelo algoritmo K-means, que é um método de aprendizado de máquina, que permite a identificação de grupos de objetos semelhantes, a fim de obtermos as melhores localizações para as caixas a partir da simulação da quantidade e localidade de possíveis moradores (grau de penetração) na área.

Tendo como base essas tecnologias e conceitos, foi desenvolvido um algoritmo computacional considerando quantidade de portas PON, capacidade de clientes por porta PON, quantidade de Caixas de Terminal Óptico (CTO) e Caixas de Emenda Óptica (CEO), a fim de gerar os trajetos dos cabos, a melhor localização das caixas e ponto central da rede.

4. Resultados

Para a validação no Netmaker foram realizados testes funcionais, de desempenho e de compatibilidade para validar o sistema e garantir que ele atenda aos requisitos propostos. Os testes foram realizados em um ambiente de desenvolvimento configurado com as seguintes especificações de Hardware: Notebook Samsung Galaxy Book2 com processador Intel Core i5 de 12ª Geração e 8GB de RAM; rodando sistema operacional Windows 11 Home Single Language, versão 23H2 e as seguintes versões das linguagens Python 3.12.3 e Django 5.0.1.

4.1. Testes Funcionais

Foram realizados testes funcionais para verificar se o software consegue gerar corretamente os pontos das caixas de CTOs e CEOs, ponto central da área e as rotas de cabos do ponto central para as caixas a partir da área delimitada por polígonos desenhados em quatro regiões diferentes da cidade de Vitória da Conquista, Bahia, com entradas de parâmetros distintos, assim como validar também a exportação dos dados. Os parâmetros tem alguns limites, de até quatro PONs, capacidade de 128 clientes por PON, 16 CTOs por PON e quatro CEOs totais no projeto, e a área delimitada pelo usuário por meio do desenho do polígono não tem limite, podendo o usuário editá-lo antes de confirmar o envio dos dados ao servidor, se necessário. Os testes se sucederam conforme apresentado na Tabela 1.

Como é possível observar, os resultados dos testes funcionais 1, 2 e 3 foram bem sucedidos, visto que houve o retorno em tela da rede dentro da área delimitada e também foi exportado com sucesso a rede em KML e os dados da mesma em TXT. No teste funcional 4, entretanto, apesar de ter havido o retorno em tela da rede dentro da área delimitada e foi exportado com sucesso em KML e em TXT, algumas rotas de cabos

poderiam ter sido melhor posicionadas, evitando algumas redundâncias de rotas. No geral, podemos concluir que os testes funcionais foram bem-sucedidos, com uma ressalva apenas no Teste Funcional 4.

Tabela 1. Testes funcionais

	Teste Funcional 1	Teste Funcional 2	Teste Funcional 3	Teste Funcional 4
Descrição do Teste	Validação do funcionamento do sistema em uma região do bairro Alto Maron.	Validação do funcionamento do sistema numa região do bairro Candeias.	Validação do funcionamento do sistema numa região do bairro Vila Serrana.	Validação do funcionamento do sistema numa região do bairro Boa Vista.
Procedimento	Desenho de um polígono numa área de aproximadamente 6 hectares.	Desenho de um polígono numa área de aproximadamente 10 hectares.	Desenho de um polígono numa área de aproximadamente 12 hectares.	Desenho de um polígono numa área de aproximadamente 14 hectares.
Parâmetros	1 PON, capacidade de 128 clientes/PON. 16 CTOs por PON, 2 CEOs.	2 PONs, capacidade de 64 clientes/PON. 8 CTOs por PON, 2 CEOs.	3 PONs, capacidade de 128 clientes/PON. 8 CTOs por PON, 3 CEOs.	4 PONs, capacidade de 128 clientes/PON. 16 CTOs por PON, 4 CEOs.
Resultados Esperados	Retorno das 16 CTOs e 2 CEOs em tela, ponto central da área e os cabos derivando dele para as caixas. Download dos arquivos KML e TXT.	Retorno das 16 CTOs e 2 CEO, ponto central e os cabos derivando dele para as caixas. Download dos arquivos KML e TXT.	Retorno das 24 CTOs (8 por PON) e 3 CEOs, ponto central e cabos derivando dele para as caixas. Download dos arquivos KML e TXT.	Retorno das 64 CTOs (16 por PON) e 4 CEOs, ponto central e cabos derivando dele para as caixas. Download dos arquivos KML e TXT.
Resultados Observados	Retorno conforme esperado.	Retorno conforme esperado.	Retorno conforme esperado.	Retorno conforme esperado, porém com ressalva.
Conclusão	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.	Bem-sucedido, porém com ressalva.

4.2. Testes de Desempenho

Para o teste de desempenho o sistema foi executado quatro vezes, cada vez com uma combinação diferente de entradas de parâmetros, a fim de validar a performance da execução e tempo de retorno do software. Na primeira execução foi com as menores entradas possíveis de parâmetros de configuração da rede e uma área consideravelmente pequena; na segunda com parâmetros moderados e o dobro da área do primeiro teste; na terceira com entradas de parâmetros mais altas permitidas pelo sistema e o dobro da área do teste 2; e na última execução com as mesmas entradas mais altas do teste 3, porém com o dobro da área.

Para todos os testes o procedimento foi o mesmo: desenho de um polígono numa área do bairro Alto Maron, em Vitória da Conquista, apenas aumentando os parâmetros da rede e a área de um teste para o outro, não variando os bairros como no teste anterior intencionalmente, visto que aqui o propósito é de testar o aumento dos requisitos e validar o tempo de retorno. Os testes foram realizados conforme especificado na Tabela 2.

Pode-se observar que o tempo de execução dos testes foi satisfatório, ficando entre 3.05 segundos e 3.96 segundos, cumprindo o requisito não funcional de desempenho, no qual especifica um tempo menor a 10 segundos. Podemos concluir também que os testes foram bem-sucedidos, visto que o software se comportou conforme esperado e definido no requisito de desempenho, mesmo no teste 4, apesar do dobro da área do teste anterior, ainda manteve um bom tempo.

Tabela 2. Testes de desempenho

	Teste Desempenho 1	Teste Desempenho 2	Teste Desempenho 3	Teste Desempenho 4
Área	\cong 6 hectares	\cong 13 hectares	\cong 24 hectares	\cong 48 hectares
Parâmetros	1 PON, capacidade de 64 portas. 8 CTOs por PON, 1 CEO.	2 PONs, capacidade de 128 portas. 16 CTOs por PON, 2 CEOs.	4 PONs, capacidade de 128 portas. 16 CTOs por PON, 4 CEOs.	4 PONs, capacidade de 128 portas. 16 CTOs por PON, 4 CEOs.
Tempo de execução	3.05 segundos	3.17 segundos	3.44 segundos	3.96 segundos
Conclusão	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.

A Figura 1 apresenta a entrada de dados do Teste de Desempenho 4, descrito na Tabela 2.

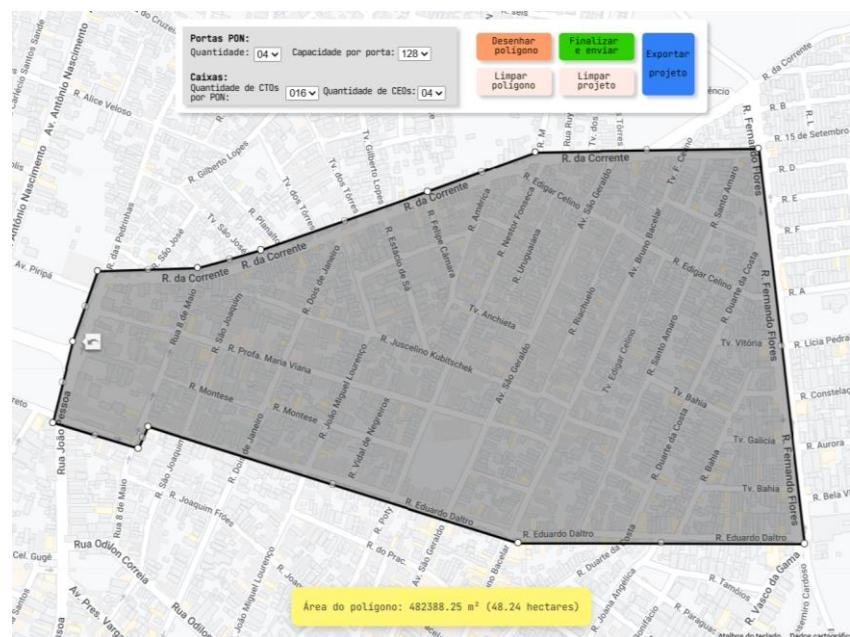


Figura 1. Delimitação área do Teste Desempenho 4

Na Figura 2 são apresentados os resultado da execução do Teste de Desempenho 4.

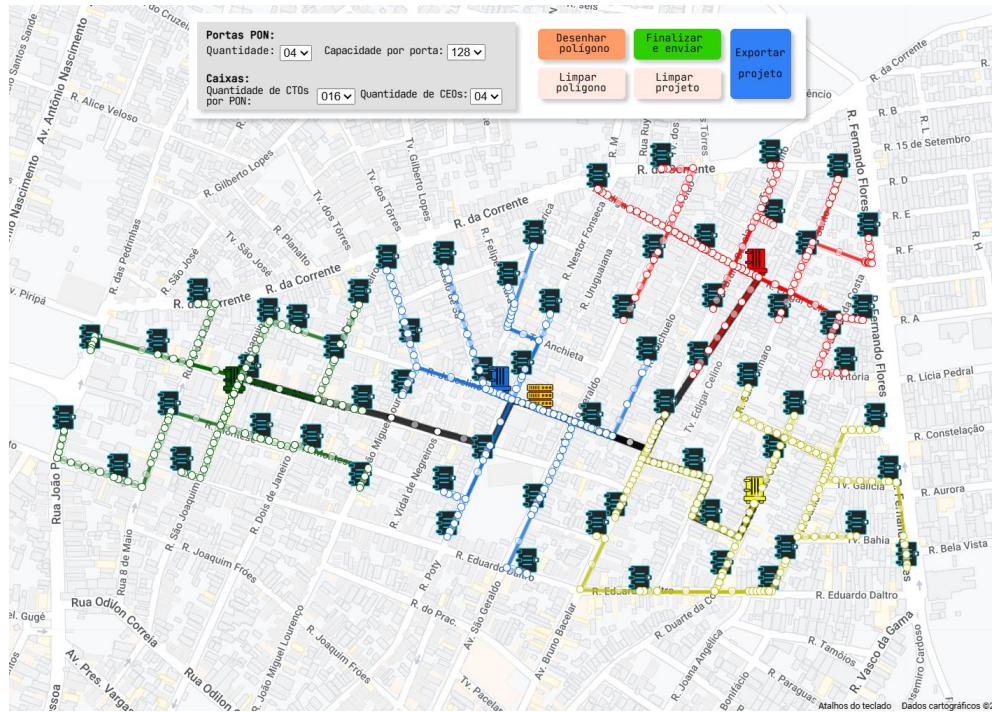


Figura 2. Retorno do Teste Desempenho 4

4.3. Testes de Compatibilidade

Para os testes de compatibilidade, foi validado se o software opera corretamente em diferentes navegadores, a fim de garantir o seu requisito de compatibilidade. Como critério de aceitação do mesmo foi decidido que o sistema deve funcionar corretamente, com os maiores parâmetros na execução em, pelo menos, nos 4 (quatro) mais populares navegadores web atuais, sendo eles o Google Chrome®, Microsoft Edge®, Mozilla Firefox® e Opera® (SYOZI, 2024). Para evitar a execução em paralelo de extensões nos navegadores e cache e/ou *cookies* acumulados, todos foram realizados em janelas anônimas ou equivalentes, conforme Tabela 3.

É possível verificar que os resultados esperados dos testes foram obtidos conforme esperado, visto que a rede foi exibida corretamente em tela e os arquivos KML e TXT também foram exportados corretamente. Concluímos então que os testes foram bem-sucedidos, visto que o software se comportou conforme esperado nos diferentes navegadores.

Tabela 3. Testes de compatibilidade

	Google Chrome	Microsoft Edge	Mozilla Firefox	Opera
Versão navegador	126.0.6478.183 (64 bits)	126.0.2592.102 (64 bits)	128.0 (64-bits)	112.0.5197.30 (64-bits)
Parâmetros rede	Região \cong 30 hectares. 4 PONs, capacidade de 128 portas. 16 CTOs por PON, 4 CEOs.	Região \cong 31 hectares. 4 PONs, capacidade de 128 portas. 16 CTOs por PON, 4 CEOs.	Região \cong 32 hectares. 4 PONs, capacidade de 128 portas. 16 CTOs por PON, 4 CEOs.	Região \cong 31 hectares. 4 PONs, capacidade de 128 portas. 16 CTOs por PON, 4 CEOs.
Resultados Esperados	Apresentação da rede de acordo com os parâmetros enviados e permitir a exportação da rede.	Apresentação da rede de acordo com os parâmetros enviados e permitir a exportação da rede.	Apresentação da rede de acordo com os parâmetros enviados e permitir a exportação da rede.	Apresentação da rede de acordo com os parâmetros enviados e permitir a exportação da rede.
Resultados Observados	Conforme esperado.	Conforme esperado.	Conforme esperado.	Conforme esperado.
Conclusão	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.	Bem-sucedido.

5. Conclusão

O desenvolvimento do sistema Netmaker demonstrou ser uma solução eficaz para automatizar a criação de projetos de redes PON FTTH, proporcionando uma interface amigável e intuitiva que facilita o planejamento e a implementação de redes. Utilizando algoritmos de otimização, como o Dijkstra para encontrar a rota mais curta, o sistema conseguiu calcular as melhores rotas de cabeamento e posicionamento de equipamentos, resultando em uma redução significativa de custos e principalmente tempo de desenvolvimento.

Os testes funcionais, de desempenho e compatibilidade confirmaram a eficiência do sistema, destacando a importância de uma ferramenta que automatize processos que antes eram realizados manualmente, muitas vezes de forma ineficaz e demorada. A integração com mapas online permitiu uma representação visual clara e detalhada, além de atualizada, essencial para o planejamento preciso de redes ópticas e garantindo sua escalabilidade e garantia de atualização.

Em comparação com outros estudos e ferramentas existentes, o Netmaker se destaca por sua capacidade de simplificar o processo de criação de redes ópticas, tornando-se uma solução viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. A interface web desenvolvida com Django, Python, JavaScript, HTML e CSS provou ser robusta e acessível, além de escalável, permitindo que usuários com diferentes níveis de habilidade técnica possam utilizar o sistema de maneira eficiente, e tornando-o possível de melhorias sem complicações.

Apesar das contribuições significativas, o estudo apresenta uma limitação na precisão dos dados geográficos que podem variar dependendo da qualidade dos dados

retornados pelas API utilizadas, que a depender da região geográfica podem estar desatualizados. Para trabalhos futuros, sugere-se possibilitar a importação de postes pelo usuário, a fim de se ter as marcações corretas das coordenadas e, assim, as rotas dos cabos serem mais precisas e reais. Sugere-se também possibilitar a importação da localização dos clientes ou integração com alguma API que forneça esses dados, ou mesmo algo semelhante, a fim do grau de penetração nas regiões do mapa ser mais precisa e realista, tendo, consequentemente, a localização das CTOs mais assertiva, uma vez que hoje o sistema simula esses dados de forma aleatória.

Sugere-se ainda permitir a estimativa de custo do projeto, criando um menu ou tela de configurações em que o usuário possa cadastrar os modelos de equipamentos a serem usados no projeto associados a custos, a fim de, no final do projeto ter este retorno também. Permitir a indicação fixa do ponto central da rede, visto que na prática ela pode não necessariamente estar no centro da área. Além disso, desenvolver versões móveis do sistema para ampliar seu alcance e usabilidade também é sugerido. A continuação do aprimoramento do Netmaker pode contribuir significativamente para a simplificação e evolução do planejamento e implementação de redes ópticas, atendendo às crescentes demandas do mercado de telecomunicações.

Referências

- ANATEL. Balanço dos serviços de telecom mostra crescimento expressivo da banda larga.** ANATEL, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/educacao-e-pesquisa/2022/02/balanco-dos-servicos-de-telecom-mostra-crescimento-expressivo-da-banda-larga>>. Acesso em: 31 março de 2024.
- ANATEL. Internet chegou a 90% dos domicílios brasileiros no ano passado.** ANATEL, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/educacao-e-pesquisa/2022/09/internet-chegou-a-90-dos-domiciliros-brasileiros-no-ano-passado>>. Acesso em: 31 de março de 2024.
- APPOLINÁRIO, Fábio. Metodologia da Ciência: Filosofia e Prática da Pesquisa.** 2^a Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- CAMACHO, Daniel Ramos de Matos. Ferramenta para análise de implementação de redes de acesso.** Orientador: Dr. Pedro Renato Tavares de Pinho. 2020. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Área Departamental de Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações e de Computadores, Lisboa, 2020.
- CARLESSO, Leandro. Sistema de Gerência e Documentação para Redes PON (FTTH).** Orientador: Prof. Ms. Edson Moacir Ahlert. 2017. 72 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2017.
- CHIANCA, Rafael Martins Pereira. Interface Web Para Sistema De Gestão De Redes Seguindo Projeto Centrado Em Usuário.** Orientador: Prof. André Costa Drummond. 2020. 54 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Computação) - Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Ciência da Computação, Brasília, 2020.
- DIAS, Leonardo Pereira. Otimização de Redes de Acesso PON Utilizando Algoritmos Genéticos e Análise Técnico-Econômica da Proposta PON-LAN.** Orientador: Prof. Dr.

Karcius Day Rosário Assis. 2018. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

DJANGO Software Foundation. **The web framework for perfectionists with deadlines: Overview.** Django Project, 2024. Disponível em: <<https://www.djangoproject.com/start/overview/>>. Acesso em: 21 de maio de 2024.

FEOFILOFF, Paulo. **Distâncias com pesos e o algoritmo de Dijkstra.** IME: Instituto de Matemática e Estatística da USP, 31 dez. 2021. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~pf/analise_de_algoritmos/aulas/dijkstra.html>. Acesso em: 21 de maio de 2024.

LOPEZ, Maurício Bonilla. **Análise Crítica de Plataformas GPON e EPON para Aplicação em Redes Ópticas de Acesso de Alta Capacidade.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

PEREIRA, Francisco Carlos De Lima. **Proposta de um Método Para Otimização e Dimensionamento de Redes GPON.** Dissertação (Mestrado em Informática). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2013.

PYTHON Software Fundation. **Documentação: O tutorial de Python.** [S. l.]: Python Software Foundation, 21 maio 2024. Disponível em: <<https://docs.python.org/pt-br/3/tutorial/index.html>> . Acesso em: 21 de maio de 2024.

IBM. **RATIONAL Software Architect: Diagramas de Atividades.** 9.7.0. [S. l.], 2 mar. 2021. Copyright IBM Corporation 2015. Disponível em: <<https://www.ibm.com/docs/pt-br/rational-soft-arch/9.7.0?topic=diagrams-activity>>. Acesso em: 21 de julho de 2024.

SYOZI, Ricardo. Quais são os navegadores mais usados no Brasil?. Terra, 2024. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/byte/quais-sao-os-navegadores-mais-usados-no-brasil,17ebc3cbed88f7f56d13c5cf6fd87be64ammbly.html>>. Acesso em: 08 de agosto de 2024.

SOARES, Allan de Sousa; ALMEIDA, Edson Patrício Barreto de. **MATEMÁTICA DISCRETA II: Com Foco em Linguagem Python.** 1. ed. Vitória da Conquista: [s. n.], 2022. 186 p. v. 1. E-book.

SOBRINHO, Claudio Roberto Durigan; ENOMOTO, Matheus Lopes. **Estudo De Viabilidade Técnica e Econômica em Diferentes Topologias de Projetos de Instalação FTTX com Tecnologia GPON.** Orientador: Prof. Dr. Marcelo Eduardo Pellenz. 2017. 66 f. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba, Paraná, 2017.

SOMMERVILLE, I. Engenharia de Software. 9 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TAKEUTI, Paulo. **Projeto e Dimensionamento de Redes Ópticas Passivas (PONs).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.