



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE INFORMÁTICA APLICADA
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

AUGUSTO HEIL DE ASSUNÇÃO

**Acesso à Internet em áreas remotas: implantação e avaliação de desempenho em
uma propriedade rural em Leandro Ferreira/MG**

RIO DE JANEIRO

2024



AUGUSTO HEIL DE ASSUNÇÃO

**Acesso à Internet em áreas remotas: implantação e avaliação de desempenho em
uma propriedade rural em Leandro Ferreira/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Escola de Informática Aplicada da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Sidney de Cunha Lucena,
D.Sc.

Co-orientador: Prof. Jefferson Elbert Simões,
D.Sc.

Rio de Janeiro

2024

Catalogação informatizada pelo(a) autor(a)

H466	<p>Heil de Assunção, Augusto Acesso à Internet em áreas remotas: implantação e avaliação de desempenho em uma propriedade rural em Leandro Ferreira/MG / Augusto Heil de Assunção. -- Rio de Janeiro, 2024. 45</p> <p>Orientador: Sidney de Cunha Lucena. Coorientador: Jefferson Elbert Simões. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Graduação em Sistemas de Informação, 2024.</p> <p>1. Conexão áreas remotas. 2. Internet rural. 3. Última milha. I. de Cunha Lucena, Sidney, orient. II. Elbert Simões, Jefferson, coorient. III. Título.</p>
------	--

AUGUSTO HEIL DE ASSUNÇÃO

Acesso à Internet em áreas remotas: implantação e avaliação de desempenho em uma propriedade rural em Leandro Ferreira/MG

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Escola de Informática Aplicada da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em: 05 de setembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Sidney de Cunha Lucena, D.Sc. (Orientador)
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

Prof. Jefferson Elbert Simões, D.Sc. (Coorientador)
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

Prof. Morganna Carmem Diniz, D.Sc.
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão do meu curso.

Em primeiro lugar, agradeço imensamente à minha família, cujo apoio incondicional foi fundamental durante toda essa jornada. Minha mãe, com seu amor e dedicação, foi uma fonte constante de motivação e força. Sua confiança em mim e suas palavras de encorajamento foram essenciais para superar os desafios encontrados ao longo do caminho. À minha irmã, por sua compreensão e paciência, especialmente nos momentos de maior dificuldade, e à minha avó, cuja sabedoria e carinho iluminaram meus dias e me deram o suporte emocional necessário para alcançar meus objetivos.

Aos amigos que fiz durante o curso e na faculdade, meu sincero agradecimento. Cada um de vocês trouxe uma perspectiva única e contribuiu para tornar esta experiência mais rica e memorável. As conversas, as trocas de ideias e o apoio mútuo foram inestimáveis e me ajudaram a crescer tanto pessoal quanto academicamente.

Finalmente, agradeço à faculdade por me proporcionar esta oportunidade de aprendizado e desenvolvimento. A estrutura oferecida, os professores dedicados e o ambiente acadêmico foram cruciais para a minha formação e para a realização deste trabalho.

A todos, meu mais profundo agradecimento. Sem o apoio e a colaboração de cada um de vocês, esta conquista não teria sido possível.

“If the snow's white, then it's all right. Yellow or green, it's just not clean.”. (Brother Bear)

RESUMO

O presente trabalho aborda a implantação de uma solução de acesso à Internet em uma propriedade rural localizada no município de Leandro Ferreira, MG. Devido às dificuldades exacerbadas pela pandemia de Covid-19, como desigualdade de acesso e educação remota, a pesquisa explora diferentes tecnologias disponíveis para conexão em áreas isoladas, incluindo telefonia celular, rádio e satélite. A solução escolhida para implementação foi a tecnologia celular, considerando seu custo reduzido e maior disponibilidade no local. O estudo detalha o processo de instalação e os resultados obtidos, destacando a telefonia celular como a melhor alternativa em termos de custo-benefício e desempenho para a propriedade rural em questão.

Palavras-chave: Conexão áreas remotas; Internet rural; Última milha.

ABSTRACT

This work addresses the implementation of an Internet access solution in a rural property located in Leandro Ferreira, MG. Due to challenges exacerbated by the Covid-19 pandemic, the research explores various technologies available for connectivity in isolated areas, including cellular telephony, radio, and satellite. The chosen solution for implementation was cellular technology, considering its lower cost and greater availability in the area. The study details the installation process and the results obtained, highlighting cellular telephony as the best alternative in terms of cost-effectiveness and performance for the rural property in question.

Keywords: Remote areas connection; Rural internet; Last mile.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Gráfico de Tecnologias de acesso à Internet abordadas no trabalho. Fonte: Elaboração própria	4
Figura 2 - Diagrama de uma rede via rádio. Fonte: Elaboração própria	7
Figura 3 - Diagrama de funcionamento de uma ERB. Fonte: Elaboração própria	8
Figura 4 - Diagrama de funcionamento de satélite. Fonte: Elaboração própria	9
Figura 5 - Distribuição das áreas planas e montanhosas pelo Brasil e Alcance teórico das antenas. Fonte:MAPA, 2021	13
Figura 6 - Densidade de imóveis rurais no Brasil, cujas cores variam de Verde (menor densidade) à vermelho (maior densidade) Fonte: MAPA, 2021	14
Figura 7 - Renda média das propriedades rurais no Brasil, o mapa possui cinco categorias, variando de baixa renda (verde-escuro) à alta renda (vermelho-escuro) Fonte: MAPA, 2021	15
Figura 8 - Mapa indicando a localização da propriedade alvo. Fonte: Google Maps, 2023.	17
Figura 9 - Mapa topográfico das proximidades da propriedade alvo. Fonte: Topographic Map, 2022	18
Figura 10 - Mapa de cobertura de sinal telefônico da operadora Vivo na localização da propriedade alvo. Fonte: Vivo, 2022	18
Figura 11 - Mapa de cobertura de sinal telefônico da operadora Tim na localização da propriedade alvo. Fonte: Tim, 2023	18
Figura 12 - Mapa de cobertura de sinal telefônico da operadora Claro na localização da propriedade alvo. Fonte: Claro, 2023	19
Figura 13 - Aplicativo Aquário Analyzer. Fonte: Aquário App, 2023.	21
Figura 14 - Aquário Analyser 850 e 2600 MHz. Fonte: Aquário App, 2023.	22
Figura 15 - Antena 700MHz Direcional. Fonte: Próprio autor.	24
Figura 16 - Aparelho Amplimax com suas entradas e acessórios. Fonte: Elsys, 2022.	25
Figura 17 - Foto Satélite da propriedade. Fonte: Google Maps, 2022.	25
Figura 18 - Antena de rádio LiteBeam M5. Fonte: Ubiquity, 2022.	26
Figura 19 - Pacotes transmitidos (em %). Fonte: Elaboração própria.	26
Figura 20 - Histograma da frequência da taxa de transmissão (em Mbits/seg). Fonte: Elaboração própria.	27
Figura 21 - Taxa de transmissão (em horas do dia). Fonte: Elaboração própria.	27
Figura 22 - Histograma de Jitter (em ms). Fonte: Elaboração própria.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Opções de tecnologias a serem aplicadas e seus custos.

23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivos.....	2
2	ANÁLISE DOS MEIOS DE ACESSO DISPONÍVEIS.....	4
2.1	Rede com fio.....	5
2.2	Telefonia fixa.....	5
2.3	Fibra Óptica.....	6
2.4	Tecnologias de Rádio.....	6
2.4.1	Estação de Rádio Base - ERB.....	7
2.5	Ponto de Acesso WiFi Móvel.....	8
2.6	Satélite.....	8
2.7	Rede Móvel Celular para Comunicação de Voz e Dados.....	10
2.8	Long-Term Evolution - LTE.....	10
2.9	Parâmetros de qualidade.....	11
3	DESAFIOS DA CONECTIVIDADE RURAL E ÁREAS ISOLADAS.....	13
4	CENÁRIO DE APLICAÇÃO.....	17
5	SOLUÇÃO PROPOSTA.....	21
6	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	26
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
	REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da Arpanet, precursora da hoje denominada Internet, buscava interligar universidades e empresas americanas a fim de facilitar a troca de informações, fomentando a pesquisa e desenvolvimento. A interligação de estações de trabalho em uma rede comum gerou a necessidade da definição de diversos protocolos para a transmissão e o compartilhamento de dados, servindo como base para a criação e disponibilização do acesso a diversos conteúdos e facilitando a comunicação de pessoas em qualquer lugar do mundo (USP, 1997).

O acesso à Internet, atualmente, é considerado pela Organização das Nações Unidas (ONU) um direito humano (ONU, 2011). No Brasil, entretanto, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 82,7% dos brasileiros possuíam acesso ao meio de comunicação em 2019. Na zona rural, o valor é ainda menor, sendo 55,6% de uma população de mais de 31 milhões de pessoas (IBGE, 2021).

Para acessar a Internet, uma série de pré-requisitos se fazem necessários, como a aquisição de um *smartphone* ou computador, a existência da infraestrutura para conexão, seja cabeada, via celular, rádio ou satélite. Além disso, é preciso levar em conta o fator cultural e o fator financeiro.

A introdução e a difusão da Web no meio rural permitem, além do lazer, a melhoria da qualidade de ensino e aprendizado, e o desenvolvimento do setor primário da economia, dinamizando o espaço rural e possibilitando a implantação da era digital, marcada pela Agropecuária 4.0, na qual é vital a comunicação entre colaboradores, maquinários e prestadores de serviço de forma confiável para que se produza com mais eficiência (Massruhá; Leite, 2017).

Para ter o benefício do acesso à Internet, é necessário conexão à rede. O meio rural possui, como principal dificultador dos avanços tecnológicos, a sua distância aos grandes centros urbanos, existindo propriedades no Brasil com distâncias acima de 100 km para uma cidade de maior porte. Estas propriedades isoladas são conhecidas como clientes de última milha (Saito; Monteiro; Gomes, 2020) e, em sua maioria, possuem um custo, para fornecimento de acesso, superior à receita que podem gerar para a provedora. Desta forma, as provedoras se sentem desmotivadas a investir em infraestrutura para prover tal acesso (ADB, 2022). Incentivos públicos podem auxiliar nesse desenvolvimento, como por exemplo, o programa "Internet para todos", criado em março de 2018, pelo governo brasileiro visando ampliar o acesso à Internet na zona rural. O programa é voltado para disponibilizar Internet de qualidade a um valor acessível para os municípios brasileiros onde não existe a oferta do serviço de banda larga ou onde a prestação é inadequada (MCTIC, 2018).

Neste contexto, para solucionar o problema gerado pelo custo da infraestrutura em respeito à distância e visando atender o cliente de última milha, o uso da transmissão de dados via rádio atende de forma excepcional (ADB, 2022). A tecnologia, originada por volta de 1900 e com diversos inventores responsáveis pelo estado da arte, permite a transmissão de dados a longas distâncias sem a necessidade de utilizar cabeamento de forma extensiva, utilizando-se de repetidores entre o caminho.

As ondas de rádio são utilizadas atualmente de inúmeras formas, como na troca das mais diversas informações entre satélites e aparelhos receptores, por antenas de telefonia celular, dentre outras tecnologias (Anderson, 2005).

1.1 Objetivos

Este trabalho de conclusão de curso pretende analisar, planejar e implementar uma infraestrutura que permita a ligação de uma propriedade isolada com a rede de computadores mundial, obtendo-se uma velocidade de transmissão de dados mínima que seja suficiente para a operação da propriedade e para usos particulares. Desta forma, o presente trabalho aborda as principais opções oferecidas pelo mercado no ano de 2020 (data de início deste trabalho), e como foi implementada a tecnologia selecionada em uma propriedade rural no município de Leandro Ferreira, em Minas Gerais.

Logo, pode-se destacar como objetivos específicos deste trabalho:

- Apresentar tecnologias de transmissão de dados por meios não guiados;
 - Discutir os pontos positivos e negativos resultantes das tecnologias estudadas;
- Apresentar a infraestrutura mínima necessária para o caso em estudo;
- Apresentar a infraestrutura mais conveniente para o local considerando os seguintes critérios:
 - Baixo custo de implantação - A solução deve se utilizar de tecnologia disponível no mercado a preço acessível e de fácil aquisição;
 - Integração - Uma vez funcional, deve também suportar a implantação de diversos sensores voltados para o monitoramento do agronegócio;

- Robustez - Pelo local de instalação se tratar de um local remoto, espera-se que tenha disponibilidade para funcionar 24x7 com pouca manutenção;
- Instalar e testar a infraestrutura escolhida;
- Debater sobre as dificuldades encontradas para a instalação.

O presente projeto está estruturado da seguinte forma:

- No capítulo 2, são apresentados os conceitos fundamentais necessários para a compreensão deste trabalho, englobando tecnologias e infraestruturas de conexão à Internet existentes;
- No capítulo 3, é feita uma análise sobre estudo publicado dos desafios para conectar a área rural, apresentando-as e comparando suas vantagens, desvantagens e complexidade de operação e manutenção.
- No capítulo 4, é detalhada a situação da propriedade rural, alvo do estudo, em conjunto com os problemas existentes e limitações encontradas que antecedem a realização deste projeto.
- No capítulo 5, é apresentada a solução escolhida, ressaltando os motivos de sua escolha, e discorrendo sobre o processo de instalação da tecnologia na propriedade.
- No capítulo 6, são apresentados os resultados obtidos com a instalação da infraestrutura, e são discutidos os problemas encontrados e melhorias possíveis para um melhor desempenho da infraestrutura.
- No capítulo 7, as considerações finais trazem a situação do local após a instalação da Internet, com um resumo dos resultados, bem como sugestões de trabalhos futuros.

2 ANÁLISE DOS MEIOS DE ACESSO DISPONÍVEIS

Para ocorrer a comunicação entre dois dispositivos através de um certo meio físico de comunicação, seja ele guiado (como num cabo metálico ou numa fibra óptica) ou não guiado (caso das redes sem fio), esses dispositivos precisam seguir um conjunto de protocolos padronizados, geralmente definidos pelo Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (*Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE*) ou por outros órgãos regulamentadores. O objetivo desses protocolos é definir uma “linguagem” e operação padrões para que ambos os dispositivos consigam se comunicar, ou seja, para que o que for transmitido por um dispositivo consiga ser recebido e compreendido pelo outro, ou pelos outros, caso se tenha uma comunicação do tipo ponto-multiponto. As normas que definem esses protocolos determinam como a transmissão e a recepção devem se dar, os parâmetros mínimos conforme o meio de transmissão utilizado, e outros pormenores que não são escopo deste trabalho (CloudFlare, 2023)

Como os meios de acesso à Internet estão em constante evolução, este capítulo apresenta apenas as principais tecnologias com fio e sem fio mostradas na Figura 1.

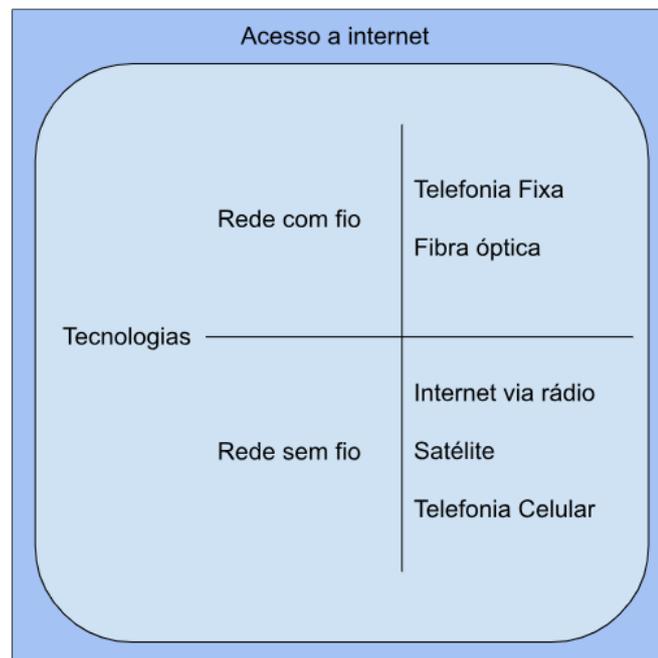


Figura 1. Gráfico de Tecnologias de acesso à Internet abordadas no trabalho. Fonte: Elaboração própria

2.1 Rede com fio

O cabeamento físico é o principal meio de transmissão para a Internet, ligando os principais servidores por todo o mundo.

A utilização dos cabos para a transmissão de dados geralmente apresenta vantagem na velocidade de transmissão, devido a uma menor atenuação do sinal luminoso/elétrico, ruído e distorção. Esses meios são também, a depender da tecnologia, são menos suscetíveis a ruídos e a interferências eletromagnéticas, sendo que as fibras ópticas são totalmente imunes a interferência eletromagnética (Matsuda; Yamamoto, 2002) e, conforme a qualidade da fibra, apresentam uma perda de potência de sinal muito pequena, permitindo que um mesmo enlace de fibra possa percorrer diversos quilômetros sem a necessidade de repetidores de sinal.

Para a realidade do consumidor final, três tipos de cabos fazem parte do seu dia a dia:

- Oriundo da telefonia fixa, o cabo telefônico, utilizam em seu princípio o protocolo “DSL” (*Digital Subscriber Line*) para entregar a conexão de Internet para o cliente, sendo gradualmente substituído pela fibra óptica;
- O cabo de fibra óptica, presente em sua maioria nos postes da cidade quando a fiação é aparente e, em alguns casos, chegando direto no *modem* da casa do cliente;
- O cabo de par trançado, associado à tecnologia de rede local Ethernet, possui quatro pares de fios de cobre trançados protegidos por uma capa plástica, geralmente de cor azul, vermelha, branca, amarela ou vermelha. É, provavelmente, mais conhecido pelo cliente final por realizar a ligação entre o modem e o computador do usuário.

2.2 Telefonia fixa

A telefonia fixa foi no Brasil, um dos primeiros facilitadores do acesso massificado à Internet nos centros urbanos. A existência de uma infraestrutura de cabos que já chegava aos diversos lares, permitiu inicialmente o uso da Internet discada (*dial-up*). Neste caso, a ligação com a Internet ocupava o telefone, não permitindo o uso do aparelho fixo para outras finalidades. (Teixeira; Toyoshima, 2003). Posteriormente foram desenvolvidas outras tecnologias, como a DSL (*Digital Subscriber Line*)

(Yen; Chou; Wang, 2001), que permitem o uso concomitantemente do aparelho fixo e o acesso à Internet pelo usuário.

Os sinais elétricos de alta frequência, utilizados para a transmissão de dados, são atenuados rapidamente nos fios de cobre, desta forma a distância útil do cliente final até a central telefônica é fator crucial para a velocidade e qualidade de sinal, assim quanto menor a distância, maior a velocidade possível para o cliente. A tecnologia DSL permite uma distância em torno de 5 km enquanto a VDSL, evolução da tecnologia anterior, permite distância máxima próxima de 1,5 km (Matsuda; Yamamoto, 2002).

Assim, o uso do meio na zona rural se torna inviável, pois as distâncias entre clientes podem superar em diversas situações o limite suportado pela tecnologia, apesar de em alguns locais existirem resquícios de redes fixas de telefonia.

2.3 Fibra Óptica

Cada tipo de cabo possui uma aplicação específica, seja a conectividade de uma rede local domiciliar, seja para a conectividade de dispositivos numa rede de campus ou numa rede metropolitana. Conforme o tipo de cabo, há uma capacidade máxima de transmissão medida em bits por segundo (bps) e uma distância máxima entre os dispositivos. Por exemplo, cabos de par trançado costumam ser usados em transmissões de até 1 Gbps (Gigabit por segundo, ou 10^9 bits por segundo) em até 90 metros de distância de acordo com as normas e recomendações do Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (IEEE) (Minico, 2007). Quanto melhor o desempenho oferecido pela tecnologia, geralmente maior é o custo do meio. Por exemplo, fibras ópticas também possuem sua regulamentação e limitações de distância conforme a tecnologia da fibra empregada, e de maneira geral são mais caras que cabos de par trançado, assim como as interfaces de rede que as conectam aos dispositivos (Matsuda; Yamamoto, 2002).

Para ser viável economicamente a passagem de cabos para atender ao público de uma região, é necessário haver um número mínimo de clientes próximos para que o compartilhamento da infraestrutura, caso possível, se pague com o passar do tempo, ou então que se tenha um incentivo governamental para atender tal público.

2.4 Tecnologias de Rádio

A utilização das ondas de rádio para a transmissão de dados digitais possibilitou ao mundo revolucionar a comunicação em rede, ampliando o alcance e a conectividade à Internet de regiões de mais difícil acesso e viabilizando a mobilidade dos usuários durante as comunicações.

Para permitir o acesso a uma propriedade remota com o uso do rádio, é necessário o uso de aparelhos transmissores específicos que operam de acordo com o padrão WiMax (Ye; Gao, 2015) ou similar / superior. Este padrão almeja levar acesso de banda larga à última milha, ou seja, ao usuário final. O alcance típico definido pelo padrão em sua elaboração contempla usuários de 3 a 10 km da estação, tendo os equipamentos mais modernos superando a marca de 50 km (UFRJ, 2020).

Considerando a utilização do rádio como forma de transmissão, seria necessário a contratação de um plano de Internet na cidade mais próxima, a aquisição de duas antenas com suporte à tecnologia e com um alcance ligeiramente superior ao necessário, a aquisição e montagem de uma torre na propriedade para a instalação da segunda antena e o aluguel de um terraço ou torre na cidade para a realização da transmissão do sinal, como exemplificado na Figura 2.

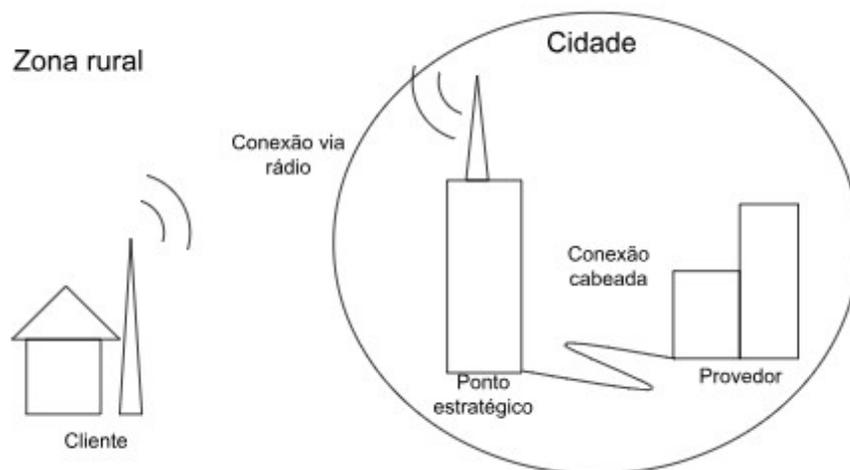


Figura 2. Diagrama de uma rede via rádio. Fonte: Elaboração própria

Assim, com espaço para a instalação da antena na cidade, será necessário configurar uma conexão ponto a ponto entre ambas as antenas e apontar para a direção da propriedade ou propriedades. Já no local da propriedade, deve-se encontrar um local com visada para a cidade ou com pouca obstrução, caso contrário, instalar uma torre com uma visada para a cidade que permita o alinhamento das antenas, de forma a diminuir a atenuação do sinal por interferência física como construções, montanhas e árvores.

2.4.1 Estação de Rádio Base - ERB

Estação de Rádio Base (ERB) é uma unidade intermediária concentradora, estabelecida entre os dispositivos dos usuários e o Centro de Comutação e Comunicação (CCC) da empresa que opera o serviço de telefonia e dados móvel, como pode ser observado na Figura 3. A ERB, portanto, é a denominação dada na telecomunicação móvel para a estação física onde os aparelhos móveis se conectam. (AMERICAN TOWER, 2019). A área coberta, por sua vez, é função da potência do sinal irradiado pelas antenas da ERB em determinada área, assim como dos obstáculos ao seu redor, como prédios, morros e árvores, que podem provocar regiões de “sombra” que são áreas onde o sinal de rádio não consegue chegar com potência suficiente para ser explorado (International Telecommunication Union, 2017). As ERBs podem ser instaladas a partir do chão, por meio de torres, ou em telhados de edificações.

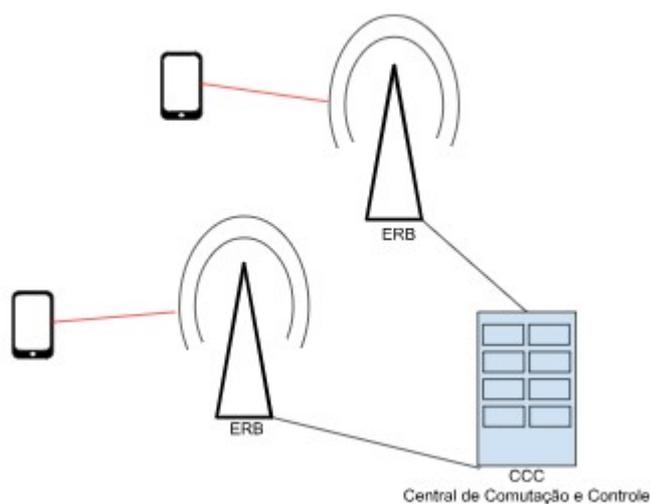


Figura 3. Diagrama de funcionamento de uma ERB. Fonte: Elaboração própria

2.5 Ponto de Acesso WiFi Móvel

Um ponto de acesso WiFi móvel, também conhecido como *Mobile Hotspot*, ou pelo nome de marca *MiFi*, é um dispositivo celular unicamente voltado a intermediar o acesso de computadores e outros dispositivos à Internet por meio da conexão móvel celular deste aparelho, que poderá usar tecnologias como o 3G, o 4G e o 5G (Intel, 2017). Portanto, o aparelho necessita de um chip de

telefonia celular válido, assim como de um pacote de dados, para seu funcionamento, e os dispositivos conectados a ele podem fazê-lo de maneira cabeada ou via WiFi.

2.6 Satélite

De forma similar ao rádio, a Internet via satélite utiliza ondas de rádio para fins de comunicação. A mesma se diferencia da Internet via rádio principalmente na distância entre o transmissor e receptor e frequências utilizadas, pois o satélite se encontra em órbita geoestacionária de baixa altitude com o planeta Terra. Este tipo de órbita, conhecida como LEO (do inglês *Low Earth Orbit*, órbita terrestre baixa).

A órbita terrestre baixa (LEO) está relativamente próxima à superfície da Terra, encontrando-se a uma altitude inferior a 1000 km, e podendo ser tão perto como 160 km do solo, sendo baixa comparada a outras órbitas, mas ainda muito acima do chão (ESA, 2020).

Diferente de satélites geoestacionários GEO que precisam orbitar sobre a linha do equador, satélites LEO podem ter sua órbita inclinada em relação ao centro do meridiano terrestre, possibilitando uma gama superior de rotas, o que faz que a órbita seja mais utilizada (ESA, 2020)

Satélites de comunicação que utilizam da órbita LEO costumam formar uma constelação de satélites, para garantir uma cobertura constante. As constelações de satélites podem ser formadas de diversos satélites do mesmo modelo ou similares, formando uma rede em volta da terra. Estes satélites cobrem uma grande área trabalhando de forma conjunta (ESA, 2020).

O uso desta tecnologia exige que o cliente possua uma antena específica direcionada para um satélite como mostrado na Figura 4 e um pacote de dados do provedor que detém ou aluga uma banda de frequência desse satélite, banda essa a ser dividida em bandas menores que serão alocadas para seus clientes. O satélite tem como sua principal vantagem a possibilidade de acesso sem a necessidade de instalação de uma infraestrutura na propriedade, visto que sempre haverá visada entre o dispositivo na propriedade e o satélite. No entanto, há graves desvantagens: o custo por largura de banda é muito mais caro, o que geralmente leva à contratação de bandas mais estreitas do que as oferecidas por outras tecnologias; a latência da comunicação costuma ser muito maior devido ao tempo de propagação do sinal entre o dispositivo terrestre e o satélite, o que necessariamente ocorre durante a transmissão e a recepção.

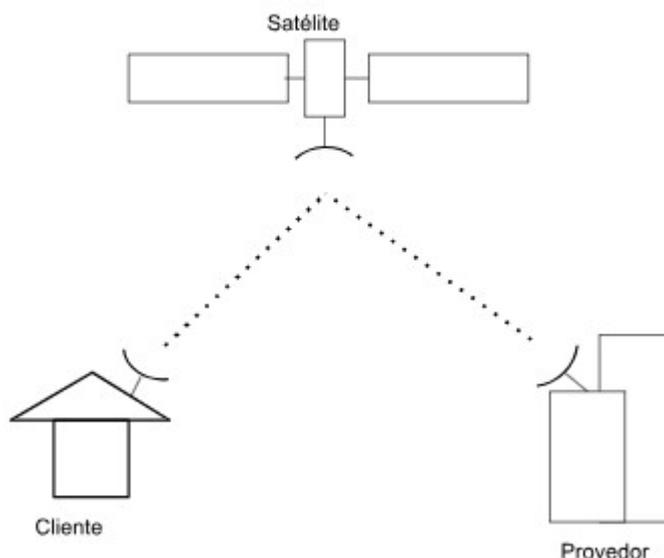


Figura 4. Diagrama de funcionamento de satélite. Fonte: Elaboração própria

Outra desvantagem no uso de satélite, que também pode ocorrer em enlaces terrestres de rádio, é a dificuldade das ondas eletromagnéticas penetrarem em gotículas de água. Assim, em dias nublados ou chuvosos, o acesso pode ficar comprometido, podendo até ser interrompido durante o período que perdurar o evento climático, conforme sua intensidade.

2.7 Rede Móvel Celular para Comunicação de Voz e Dados

A tecnologia celular é uma derivação do rádio e tornou-se hoje em um dos meios de comunicação mais populares, onde no Brasil existem mais de 234 milhões de números de acordo com a Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL (ANATEL, 2020).

O acesso à Internet via telefonia celular passou por diversas melhorias nos últimos anos, sendo que tais melhorias são identificadas conforme sua geração. A tecnologia 2G (2ª geração) já apresentava suporte para acesso à Internet, entretanto, devido a sua baixa capacidade de transmissão (largura de banda), a mesma se tornou inadequada para as necessidades de desempenho atuais. Logo com a evolução da tecnologia, a 3G (3ª geração) trouxe avanços significativos, permitindo velocidades de transmissão muito maiores e suportando a utilização de serviços mais pesados, como a navegação em sites, streaming de áudio e vídeo e aplicativos mais complexos. No entanto, com o aumento da demanda por dados e a necessidade de velocidades ainda mais rápidas, a 4G (4ª geração) surgiu como uma solução eficiente, oferecendo uma experiência de usuário muito mais rápida e

estável, além de permitir a transmissão de dados em alta definição e suportar uma grande variedade de aplicações móveis e serviços online.

Atualmente, a 5G (5ª geração) está em expansão e promete revolucionar ainda mais a forma como utilizamos a internet móvel. Com velocidades de download e upload muito superiores às das gerações anteriores e uma latência reduzida, a 5G possibilita novas aplicações, como a realidade aumentada e virtual, veículos autônomos e a Internet das Coisas (IoT), além de melhorar a conectividade em áreas urbanas densamente povoadas e em regiões remotas. Essa evolução contínua na tecnologia celular não só aprimora a experiência do usuário, mas também abre novas oportunidades para o desenvolvimento tecnológico e a transformação digital em diversos setores.

2.8 Long-Term Evolution - LTE

Long-Term Evolution (LTE) é a quarta evolução da Internet via celular, sendo um padrão de tecnologia para transmissão e recepção de dados de telefonia móvel e de terminais, resultado da evolução do 3G GSM. O LTE permite a utilização aprimorada do espectro de frequência, permitindo uma maior largura de banda e, portanto, uma maior capacidade de transmissão e recepção, sendo superior à tecnologia da terceira geração (3G) em até 10 vezes. Em linhas gerais, isso significa que um mesmo conteúdo tende a ser transmitido ou recebido num tempo cerca de 10 vezes menor (Agboje, 2017). Para isso, o LTE disponibiliza diversos benefícios, como:

- Picos de velocidade, podendo em alguns momentos atingir 100 Mbps de *download* e 50 Mbps de *upload*;
- Capacidade de controle dos usuários ativos, permitindo manter 200 usuários ativos a cada 5 MHz de banda do espectro de frequência;
- Redução na latência percebida pelo usuário;
- Flexibilidade no espectro de frequência, permitindo a operação da tecnologia desde 1,25 MHz até 20 MHz;
- Melhoria na utilização do espectro, o que resulta em uma maior transmissão de dados por meio de uma mesma banda de frequência, se comparado com tecnologias anteriores;

- Permite apenas a utilização de pacotes IP, não sendo possível a transmissão de voz sem que ela seja previamente digitalizada e convertida para dados binários;
- Melhoria no suporte ponto a ponto, onde se reduz a latência para o início da comunicação e a perda de pacotes, resultando em uma entrega de melhor qualidade;
- Maior mobilidade, permitindo ao usuário manter-se conectado ao se locomover em velocidades de até 500 km/h.

3 DESAFIOS DA CONECTIVIDADE RURAL E ÁREAS ISOLADAS

A conectividade rural apresenta desafios significativos quando almeja um alcance pleno e confiável da Internet devido a fatores chave como acesso geográfico, incentivos governamentais, densidade populacional e condições climáticas.

Quando pontuamos as limitações geográficas temos que observar a dimensão territorial apresentada pelo país e pela diversidade topográfica também encontrada no Brasil onde existem planaltos e planícies. Assim, áreas rurais podem possuir terreno acidentado, com morros, montanhas e vales que dificultam e encarecem a construção da infraestrutura de acesso a Internet. A instalação de cabos de fibra óptica ou torres de celular nestas áreas requerem altos gastos e podem se tornar um desafio técnico.

Em MAPA (2021) é apresentado um estudo sobre os cenários e perspectivas da conectividade para o agronegócio. O estudo aborda a implementação de conectividade em áreas rurais para melhorar a produtividade agrícola. Utilizou-se uma análise comparativa de tecnologias como satélite, rádio e telefonia móvel, sendo a antena 4G a solução mais viável. A pesquisa foi conduzida em uma propriedade rural em Leandro Ferreira, MG, beneficiando agricultores locais com maior acesso à internet e melhorando a adoção de tecnologias digitais, resultando em ganhos de produtividade.

Considerando o acesso ao 4G por meio de antenas, a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ estima um diâmetro de transmissão das antenas de 30 a 50 km em regiões planas e 15 a 25 km em regiões montanhosas, sendo necessário a interpolação do sinal destas antenas, como exemplificado na Figura 5 pela cor marrom-claro para áreas planas e marrom escuro para montanhosas.

Com base na topografia e no raio de ação das antenas, para levar a conectividade as áreas com necessidade de conexão no país são necessárias cerca de 19,500 antenas onde 4400 correspondem a torres já construídas atendendo 24,5% do necessário, assim sobram 15,100 antenas a serem instaladas que cobririam os 75,5% restantes. (MAPA, 2021)

A densidade populacional nas áreas mais remotas do país, considerando também pequenas cidades e povoados é significativamente menor que a de grandes centros urbanos. Isto torna menos viável economicamente aos provedores de Internet investir na construção de uma rede de cobertura, devido ao menor potencial de clientes para gerar retorno sobre o investimento. Assim, baseado na malha fundiária brasileira oriunda dos cadastros digitais existentes, os autores de MAPA (2021)

mostraram a Figura 6 para representar a densidade de imóveis no Brasil, onde as cores vão do verde (baixa densidade) ao vermelho (alta densidade).

A Figura 7 representa a renda média no Brasil com cinco categorias que variam da baixa renda (verde-escuro) à alta renda (vermelho-escuro). Ao observar as Figuras 6 e 7 em conjunto, é possível inferir quais regiões são mais propensas à adesão de serviços privados de telecomunicação e quais regiões são mais carentes e precisam da intervenção pública para garantir a inclusão digital.

- Diâmetro de transmissão das antenas (aproximação)
 - Em regiões planas: 50km (30 km)
 - Em regiões montanhosas: 25km (15 km)

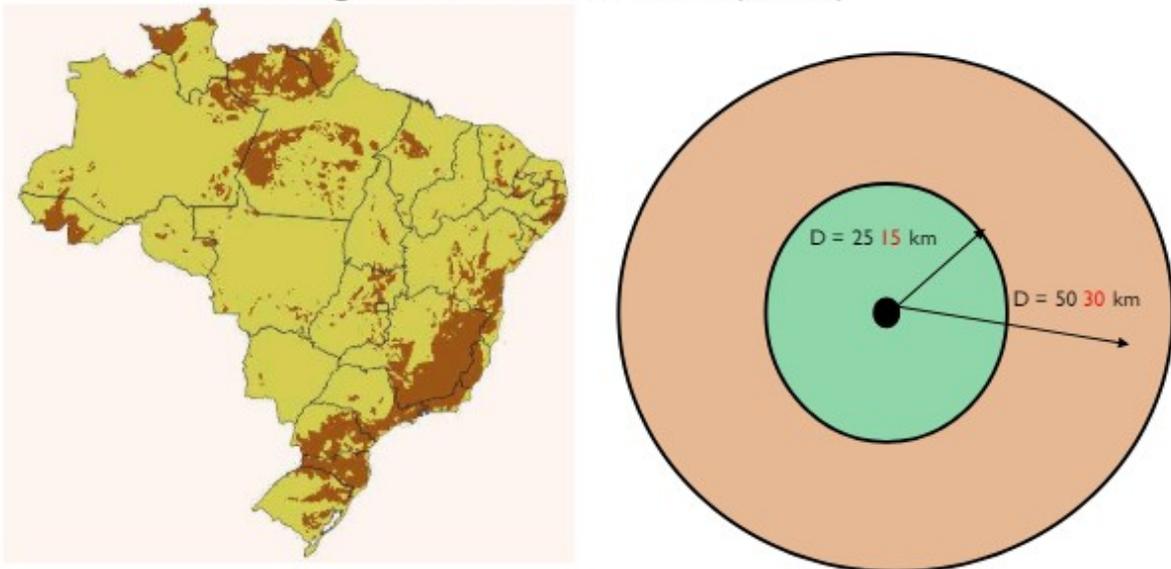


Figura 5. Distribuição das áreas planas e montanhosas pelo Brasil e alcance teórico das antenas. Fonte: MAPA, 2021

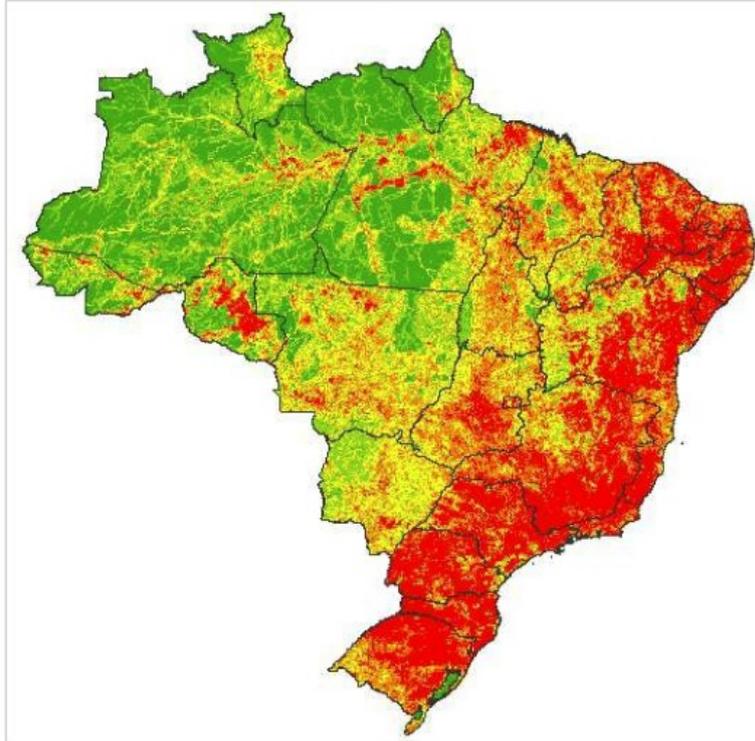


Figura 6. Densidade de imóveis rurais no Brasil, cujas cores variam de verde (menor densidade) à vermelho (maior densidade). Fonte: MAPA, 2021

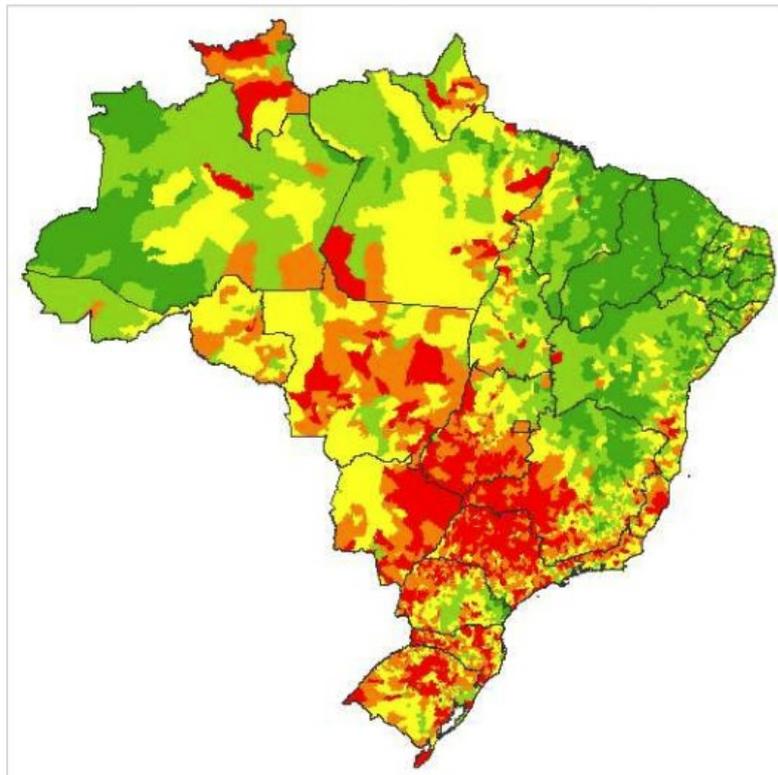


Figura 7 - Renda média das propriedades rurais no Brasil, o mapa possui cinco categorias, variando de baixa renda (verde-escuro) à alta renda (vermelho-escuro) Fonte: MAPA, 2021

Associando a limitação geográfica com a densidade populacional, observa-se uma necessidade de incentivos governamentais para a expansão da rede buscando prover acesso a áreas remotas. Sem subsídios do governo ou outros suportes financeiros os provedores tendem a investir em áreas mais densamente povoadas onde estes mercados tendem a retornar o investimento ali realizado mais prontamente. Dada a necessidade de incentivos financeiros, o governo federal tomou ações e criou incentivos para a oferta de banda larga no meio rural, sendo elas o Novo marco legal das telecomunicações, o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações - FUST, o Programa Nacional de Banda Larga - PNBL, a desoneração tributária de equipamentos e serviços de rede: Regime Especial de Tributação do Programa Nacional de Banda Larga - REPNBL, o programa Brasil Inteligente e o Internet para Todos, e o Decreto n 9.612/2018. (MAPA, 2021)

Baseado no levantamento do FUST para o ano de 2023, a expansão da cobertura do 4G ou superior apresenta valores próximos a 800 mil reais para cada ERB rural e 700 mil para urbanas onde este valor compreende a torre, o aparelho de rádio, a estrutura de conexão da torre a internet e o gabinete onde serão armazenados os equipamentos de rede. Onde a construção da torre representa quase 50% do valor do apresentado. É ressaltado também uma estimativa de 12 mil reais/km² no custo de expansão das redes de telefonia móvel por meio do projeto Torres Rurais do MAPA. (FUST, 2023).

Assim, para que se tenha uma cobertura esperada de 100% da área necessária e considerando a existência de 4400 torres, seria necessário um investimento de mais de 12 bilhões de reais contemplando as 15100 ERB ainda não construídas.

Incrementando uma dificuldade a mais no processo de disponibilização de infraestrutura, temos questões de impacto ambiental, uma vez que sabemos que qualquer atividade antrópica gera uma alteração no comportamento e equilíbrio local, podendo elas serem positivas ou negativas, essas alterações são chamadas de impacto ambiental (SILVA, 2009).

Antenas e torres de ERB's são fontes de impactos negativos ao meio, e dentre os impactos que podemos elencar, temos como principais: emissão de radiação (ondas eletromagnéticas), poluição visual, segurança das construções, emissões de ruído (SILVA, 2009).

Com os principais impactos em vista, é de suma importância reconhecer a necessidade de execução de estudos para a maioria das antenas a serem instaladas, buscando minimizar os impactos negativos advindos da construção e operação da ERB na sociedade e na natureza que rodeia o projeto.

4 CENÁRIO DE APLICAÇÃO

O presente trabalho foi pensado e implementado para atender a necessidade de uma propriedade rural voltada para a produção de leite denominada Fazenda dos Ipês, localizada no município de Leandro Ferreira, Minas Gerais.

Leandro Ferreira conta com uma população de 3200 habitantes, tendo uma densidade demográfica de 9,09 habitantes por km² (IBGE, 2022). Os municípios vizinhos, de Bom Despacho e Nova Serrana, são os principais centros de suporte, por contarem com uma população de 51 mil e 105 mil habitantes, respectivamente. Conforme observado na Figura 8, a propriedade encontra-se posicionada no centro do triângulo formado pelas três cidades, levando ao menos 30 minutos para chegar em uma delas.

O acesso à propriedade se dá por meio da BR-262, próximo ao km 460, onde se adentra por uma estrada de terra por nove quilômetros.

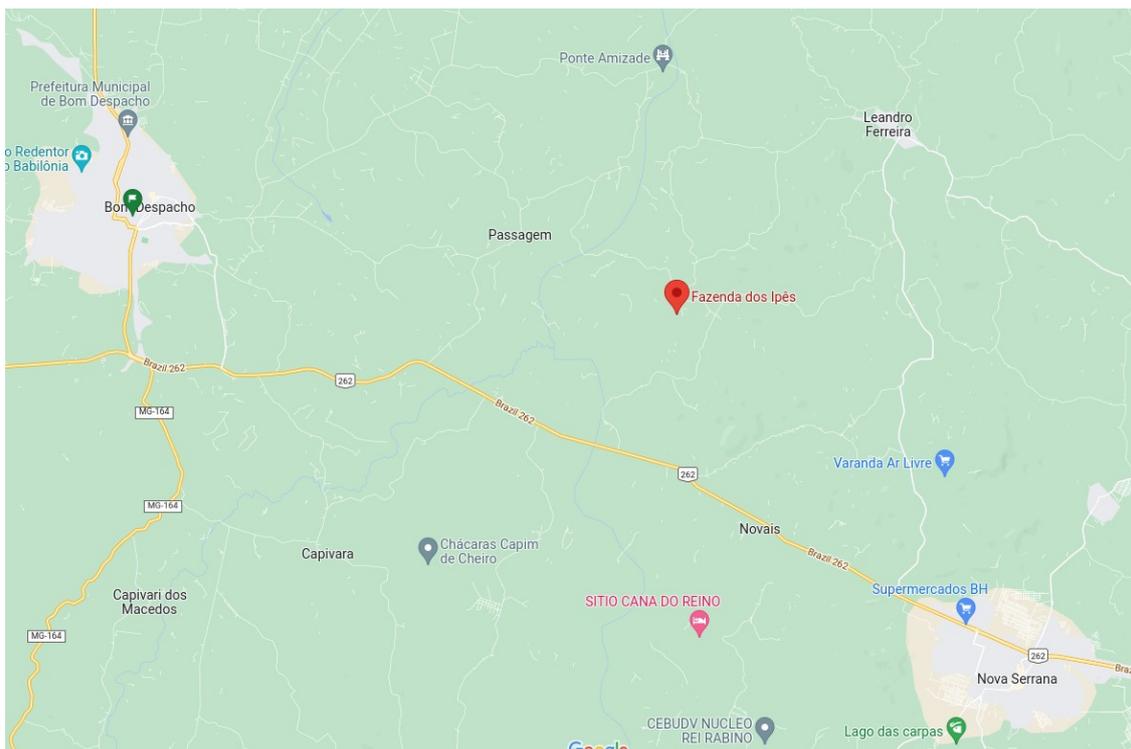


Figura 8. Mapa indicando a localização da propriedade alvo. Fonte: Google Maps, 2023.

A topografia da região, mostrada na Figura 9, apresenta montanhas e vales, com variação de altura entre 600 e 900 metros causando extensas áreas de sombra, onde o sinal de rádio não consegue alcançar. Isto dificulta a transmissão de dados sem fio como pode ser observado nos mapas de cobertura das operadoras Vivo, Tim, e Claro (Figuras 10 a 12).

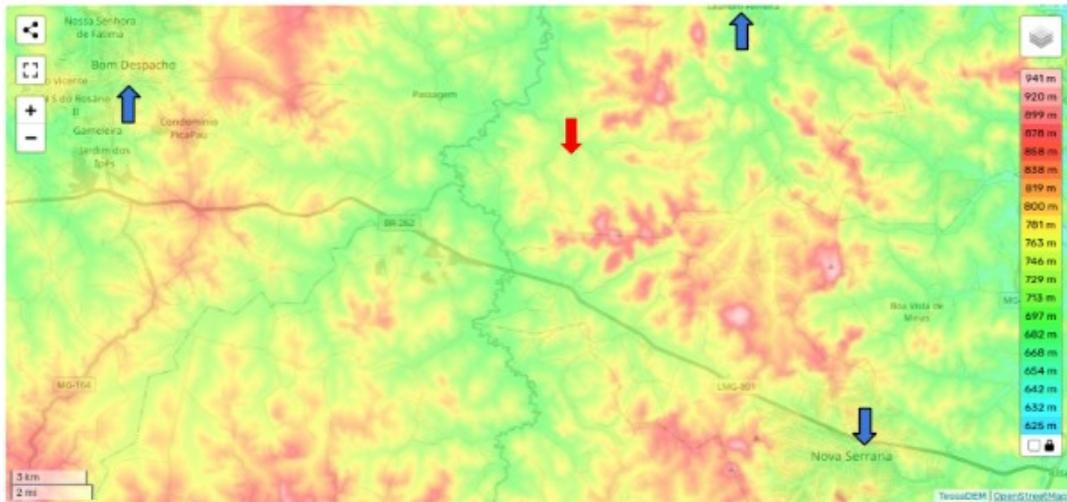


Figura 9 - Mapa topográfico das proximidades da propriedade alvo. Fonte: Topographic Map, 2022

A Figura 9 nos mostra o relevo próximo da fazenda alvo deste estudo, mostrando cadeias de montanhas com variações de 300 metros de altitude entre o terreno observado, evidenciando uma barreira física entre as cidades próximas.

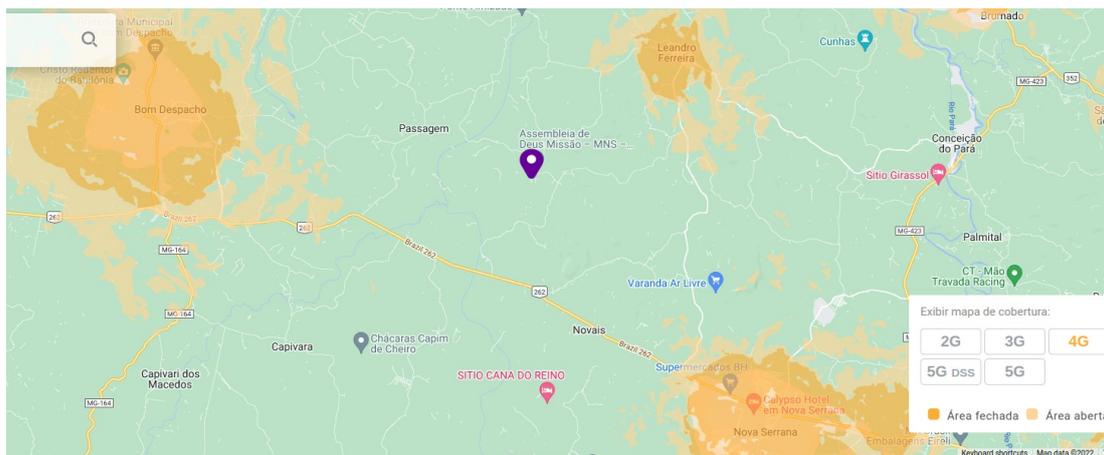


Figura 10 - Mapa de cobertura de sinal telefônico da operadora Vivo na localização da propriedade alvo. Fonte: Vivo, 2022

A Figura 10 dispõe a cobertura da operadora vivo, realçada de amarelo para a cobertura 4G onde se destaca a presença de sinal apenas nos centros urbanos e ao correlacionar com a Figura 9 realça o impacto do relevo na propagação do sinal.

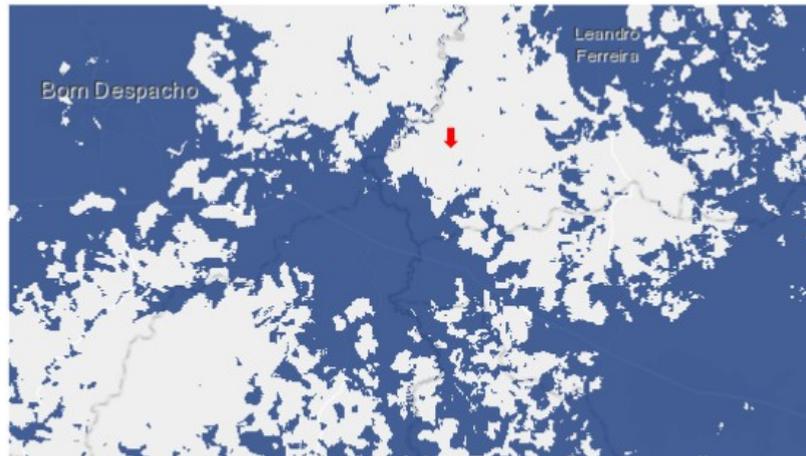


Figura 11 - Mapa de cobertura de sinal telefônico da operadora Tim na localização da propriedade alvo.

Fonte: Tim, 2023

A Figura 11 evidencia a cobertura da operadora TIM onde é possível ver uma mancha mais próxima da propriedade, esta ocorre pela existência de uma antena sob a BR-262 permitindo o adentramento do sinal sob a área de relevo acidentado.

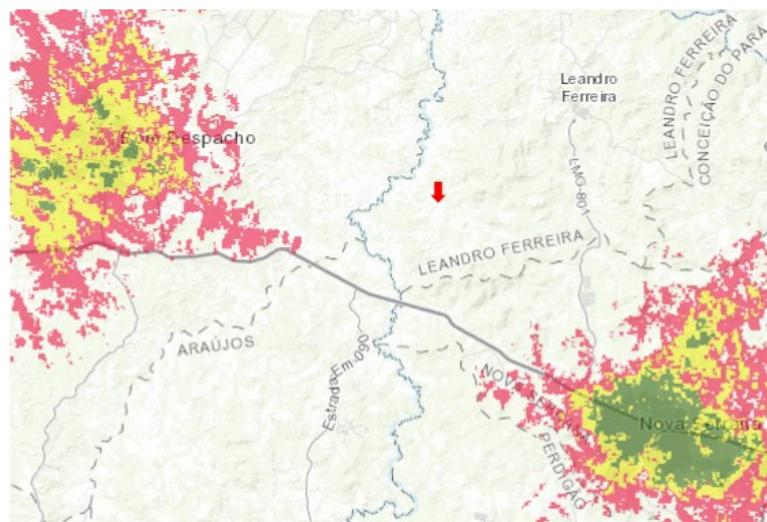


Figura 12 - Mapa de cobertura de sinal telefônico da operadora Claro na localização da propriedade

alvo. Fonte: Claro, 2023

Já na Figura 12 temos a cobertura da Claro, sendo a operadora com menor cobertura de todas, irradiando apenas sobre a cidade de Bom Despacho e Nova Serrana, não chegando a estar disponível em Leandro Ferreira, onde a fazenda pertence.

Pelas Figuras 10, 11 e 12, é possível observar, com exceção da Tim, a maior intensidade de sinal sobre as cidades, tendo pouco alcance sobre a parte rural. A Tim, Figura 11, demonstra em azul (tom mais escuro) as áreas de cobertura e em branco locais que não possuem sinal, desta forma é possível observar a existência de sinal sobre a rodovia BR-262, tendendo a se aproximar do local onde

se encontra a fazenda. Já a Vivo, na Figura 10, em seu mapa mostra em tons de laranja as zonas de cobertura, e a Claro, Figura 12, mostra em tons de verde, amarelo e vermelho, não possuem antenas voltadas para a zona rural, focando seu serviço nas cidades e apresentando um péssimo sinal fora destas áreas.

Dados os mapas de cobertura e correlacionando com o mapa de topografia do local, é possível observar o impacto que a topografia acidentada causa no sinal oriundo das cidades próximas, onde o sinal de suas antenas não consegue ultrapassar os morros, e, conseqüentemente, há redução da sua área de cobertura. Com exceção da operadora TIM que possui antenas distribuídas pela BR-262 entre Bom Despacho e Nova Serrana, as outras operadoras se limitam apenas aos centros urbanos. Desta forma, locais altos permitem a utilização do telefone celular e, às vezes, Internet 3G, devido à não sofrerem tanto com a topografia do terreno. Por outro lado, os vales e morros pouco elevados são prejudicados na recepção de sinais de telefone e rádio, com estes sendo praticamente inexistentes.

No caso da fazenda analisada, o curral encontra-se em um pico, a uma altitude de 790 m, e a sede em um vale, 15 metros de altitude abaixo do curral. Nas partes mais altas do morro onde o curral está instalado, é possível receber sinal de telefone, com qualidade. Sendo assim, ao se considerar as opções para realização do projeto, conclui-se que a instalação do receptor deveria ser feita no curral e, então, transmitido para a sede. As opções consideradas foram: Internet via satélite, via rádio e via celular.

5 SOLUÇÃO PROPOSTA

Para auxiliar na decisão da tecnologia a ser usada, foi utilizado o aplicativo *Aquário Analyzer*, que é uma aplicação Android voltada para identificar as frequências e sua intensidade reconhecidas pelo celular na área e assim o melhor local para a instalação de um receptor, conforme Figura 13. O aplicativo utiliza a tecnologia de radiofrequência (RF), embarcada no dispositivo, para listar os sinais de celular disponíveis em uma área, assim como sua intensidade e outras informações extraídas do sinal. Ele permite, ainda, localizar a direção da ERB a qual o telefone está conectado e a visualização das ERBs próximas por meio de um mapa.

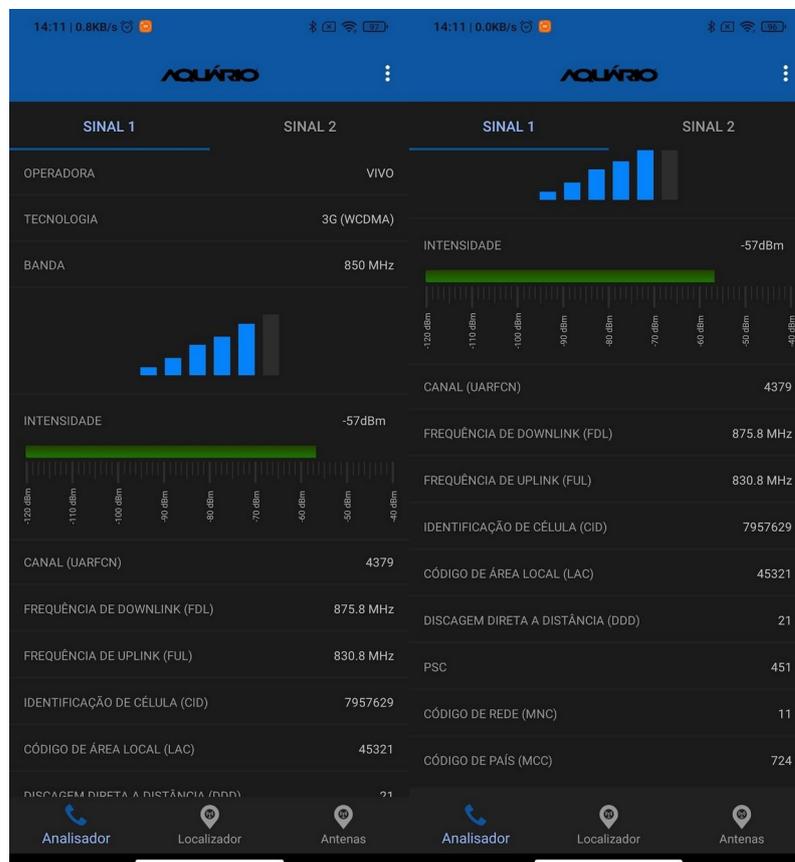


Figura 13. Aplicativo Aquário Analyzer. Fonte: Aquário App, 2023.

Utilizando os dados fornecidos pelo aplicativo pode-se encontrar as frequências (em MHz) disponíveis na região e suas intensidades. Estas frequências correspondem às tecnologias 4G, 3G, 2G e 2/3G. As opções mais interessantes para este projeto são as relacionadas à tecnologia 4G por suportarem maior capacidade de banda.

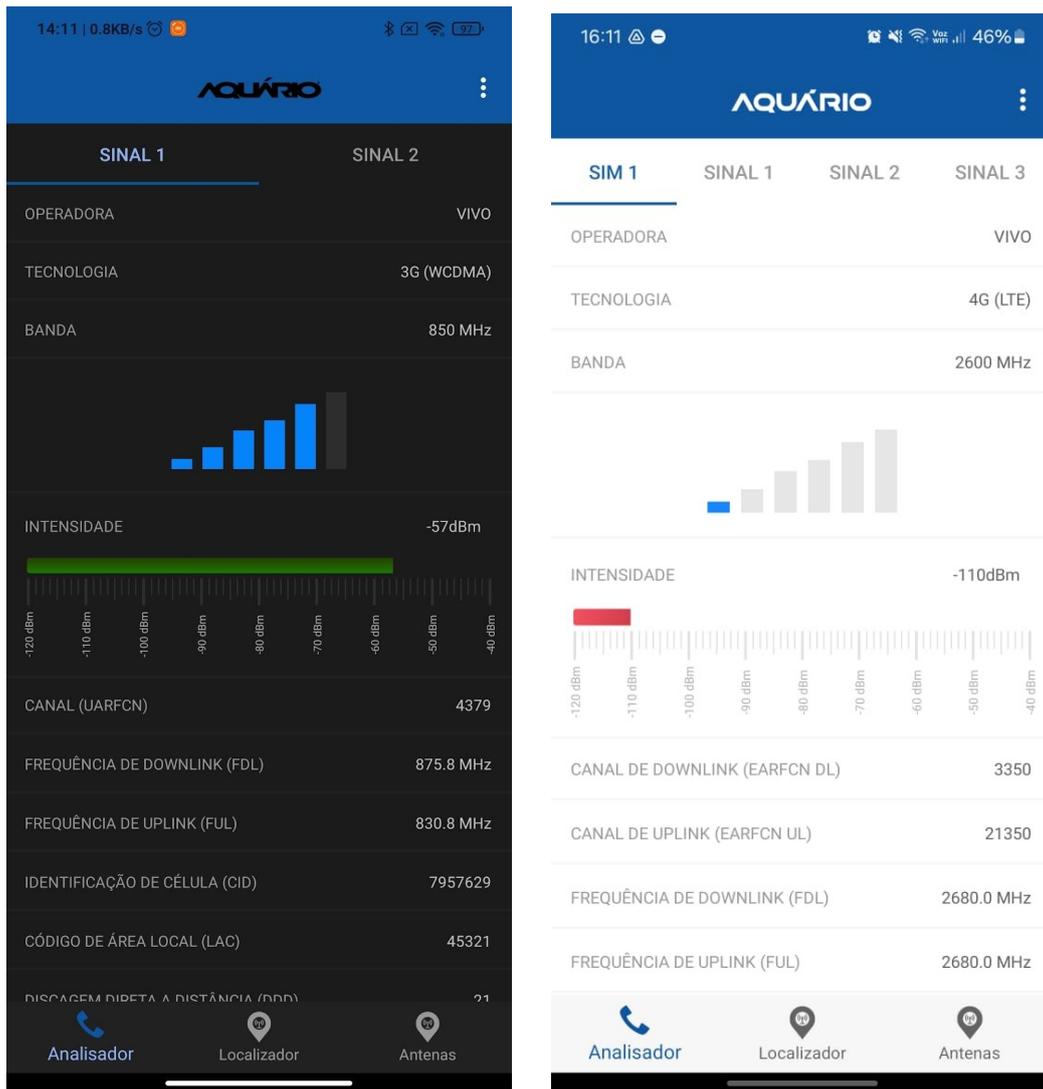


Figura 14. Aquário Analyser 850 e 2600 MHz. Fonte: Aquário App, 2023.

Com a frequência desejada em mente, é importante avaliar a intensidade de recepção da mesma, medida em decibéis (dB) de forma negativa, onde quanto mais próximo de zero, melhor e quanto maior o valor absoluto, pior. A frequência de 850 MHz conforme apresentado à esquerda na Figura 14, obteve uma intensidade média de -57 dB, o que é um sinal excelente. Em contrapartida, a imagem à direita mostra a intensidade de -110 dB, sendo um sinal que necessita de reforço. Ao realizar a análise na propriedade foi identificado o sinal da TIM com frequência de 700 MHz e intensidade de sinal de -117 dB.

Dadas as tecnologias apresentadas no capítulo anterior, e após obter a qualidade do sinal de celular na propriedade, validando a opção de telefonia celular, foi feita uma pesquisa dos custos para operação das tecnologias, obtendo-se os valores na Tabela 1.

Tabela 1. Opções de tecnologias a serem aplicadas e seus custos.

Tecnologia	Plano	Investimento inicial	Custo mensal	Custo Anual (Custo mensal x 12)	Custo total (Investimento inicial + Custo Anual)
Satélite	Pacote de dados 20Gb	R\$129,00	R\$209,00	R\$2508,00	R\$2637,00
Telefone Celular	Pacote de dados 30Gb	R\$1200,00	R\$59,60	R\$715,20	R\$1915,20
Rádio	Banda larga 300Mb	R\$1300,00	R\$200,00	R\$2400,00	R\$3700,00

Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar as opções, é necessário levar em consideração que não há uma garantia de taxas de transmissão pelas tecnologias, tampouco seus provedores e que há um investimento inicial, referente à aquisição e instalação de equipamentos que permitirão o acesso à Internet, e um custo mensal, referente ao serviço contratado. Para o satélite, o investimento inicial compreende à taxa de instalação da antena; no caso da telefonia celular, à aquisição do aparelho para a captação do sinal e de uma antena específica; e, para o rádio, à compra de duas antenas de 5Ghz e a instalação de duas torres para fixação das mesmas. Por outro lado, em relação ao custo mensal, tanto o satélite quanto o celular são ofertados como planos de pacote de dados limitados, tendo sido avaliado para o último o plano pós-pago do chip de celular (operadora Tim). O rádio, este considera o valor do plano de banda larga, sem limite de uso de dados, e o aluguel de um terraço na cidade.

Com as opções levantadas foram entrevistadas pessoas na região que possuíam algum tipo de acesso à internet no local, sendo observada uma insatisfação no serviço de satélite disponibilizado por uma empresa na região devido à taxa de transmissão baixa e pelo custo de renovação do pacote de dados uma vez consumido no mês. Para a telefonia celular foi ressaltado o problema de *hotspots* específicos onde se conseguia um acesso e não foram encontrados provedores de internet via rádio no momento da execução do trabalho.

Comparando as tecnologias em termos de custo, conforme apresentado na Tabela 1, observe-se que o custo da telefonia celular é menor que das outras opções. Avaliando outros fatores, como qualidade do sinal de Internet, a melhor opção seria rádio, visto que o satélite não funciona bem em dias nublados/chuvosos e seu tempo de latência é superior em relação às outras tecnologias, além dos relatos locais; e no caso do celular, a ERB não suporta a quantidade de usuários em horários de pico, prejudicando o sinal. Entretanto, o fato de não existir infraestrutura para o rádio demandaria não apenas a construção física das torres e instalação das antenas, mas também uma avaliação técnica, estudo ambiental e regulatório. Desta forma, considerando-se a complexidade de implementação,

optou-se pela utilização da tecnologia celular, sendo esta a tecnologia 4G LTE devido a vantagens como a taxa de propagação de sinal, o número de clientes suportados por uma antena e a existência de sinal na propriedade em detrimento da tecnologia 3G e 2G.

Sendo assim, a solução adotada foi a contratação do chip de celular, com plano pós-pago da Tim, a ser utilizado no aparelho provedor em conjunto com uma antena de celular de 700 MHz com ganho de 20 dBi, uma vez que a intensidade obtida foi de -117 dB, assim pode-se solucionar intensidades com valor absoluto igual ou maior que 90, utilizando uma antena direcional na faixa da frequência almejada (Figura 15), onde a antena foca o seu espectro de transmissão e permite um ganho de até 20 dBi conforme o equipamento utilizado. Para isso, é necessário um aparelho que realize o papel do dispositivo móvel onde será inserido o chip da operadora e a conexão com a antena.



Figura 15. Antena 700MHz Direcional. Fonte: Próprio autor.

O mercado apresenta diversas opções de aparelhos. Para o presente projeto, foi escolhido o Amplimax, da Elsys, uma vez que o dispositivo possui uma entrada de antena TNC fêmea e uma entrada para Micro-chip e vem com uma antena multibanda omnidirecional (Figura 16) contemplando as frequências utilizadas no mercado brasileiro e acompanha um escudo de ferro para melhorar o desempenho do aparelho, direcionando o feixe de rádio.

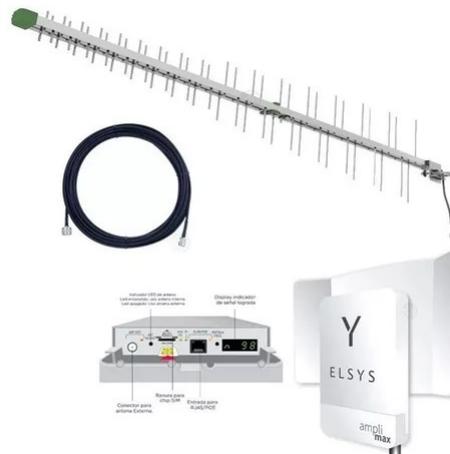


Figura 16. Aparelho Amplimax com suas entradas e acessórios. Fonte: Elsys, 2022.

Uma vez que foi possibilitado o acesso à internet na propriedade, círculo laranja, foi observado a necessidade de disponibilizar este acesso em diversos pontos, losangos verdes, como na Sede, na Oficina e no Curral, que são áreas de trânsito de pessoas, Figura 17. Tais áreas se encontram distantes uma da outra por distâncias superiores a 200 metros, assim foi escolhida a opção do rádio por meio de antenas Ubiquity LiteBeam como na figura 18, realizando o enlace interno. O uso de cabeamento físico foi descartado devido ao custo médio por metro de cabo e pela necessidade de repetidores de sinal para distâncias superiores a 90 metros.



Figura 17. Foto Satélite da propriedade. Fonte: Google Maps, 2022.



Figura 18. Antena de rádio LiteBeam M5. Fonte: Ubiquity, 2022.

6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Após a instalação, foram realizados experimentos por um mês utilizando o programa IPerf. Esta ferramenta permite o envio de dados através dos protocolos TCP e UDP com coleta de métricas de desempenho da conexão. Para estes experimentos, foi elaborado um script que realiza transmissões de dados uma vez por hora, tanto via TCP quanto via UDP, e as métricas de desempenho selecionadas foram taxa de transmissão, jitter e perdas de pacotes.

Em relação aos pacotes transmitidos, 61,5% foram recebidos com sucesso e 39,5% foram pacotes com erro (Figura 19). Este último teve um valor elevado, e pode ser explicado pelas características da tecnologia de transmissão, clima, umidade do ar, topografia do terreno, assim como o congestionamento da própria rede. Entretanto, pouco pode ser feito para mitigar o problema considerando a tecnologia utilizada.

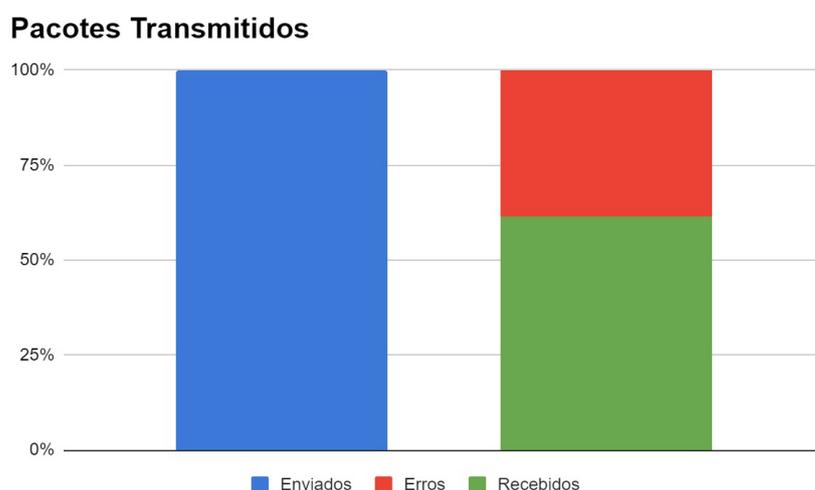


Figura 19. Pacotes transmitidos (em %). Fonte: Elaboração própria.

Analisando o histograma da taxa de transmissão, apresentado na Figura 20, tem-se que, desconsiderando os erros (entre 0,00 e 0,30 Mbits/seg), a maior frequência foi entre 4,20 e 4,50 Mbits/seg, seguida por 4,50 e 4,80 Mbits/seg e 3,90 e 4,20 Mbits/seg, respectivamente.

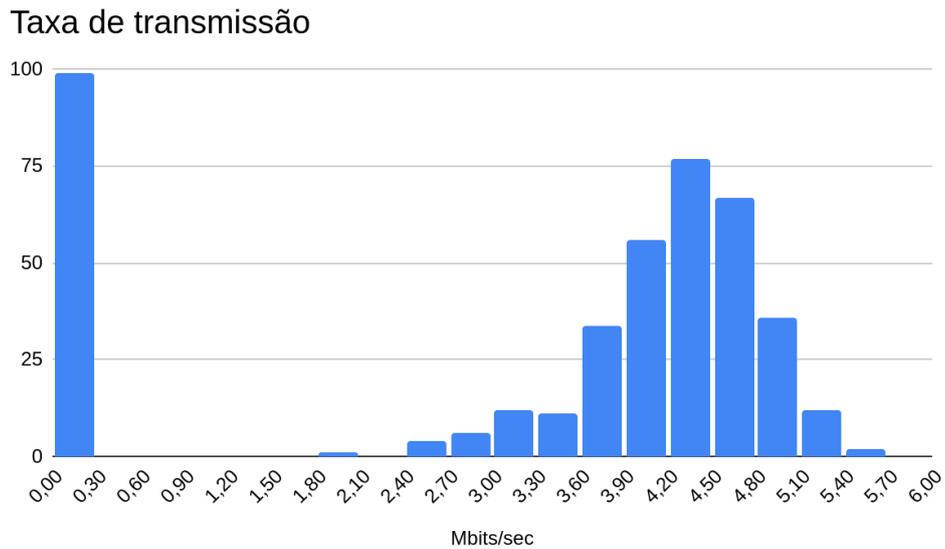


Figura 20. Histograma da frequência da taxa de transmissão (em Mbits/seg). Fonte: Elaboração própria.

Observou-se que, durante o horário comercial (9 às 19h), a conexão era razoável, alcançando picos de 5 Mbps, em especial no período da tarde (13 às 17h), conforme apresentado na Figura 21. No início da manhã (entre 7 e 8h), horário de almoço (entre 11 e 12h) e após o horário comercial (18 às 21h), a conexão era lenta, chegando a ter indisponibilidade. Acredita-se que tal piora ocorra devido ao uso do celular como principal fonte de acesso pelas famílias, gerando uma utilização maior da torre e, conseqüentemente, sobrecarga. Outro horário em que a conexão era razoável era de madrugada (23 às 6h), horário este em que as pessoas estão dormindo, logo a rede não está sendo utilizada.

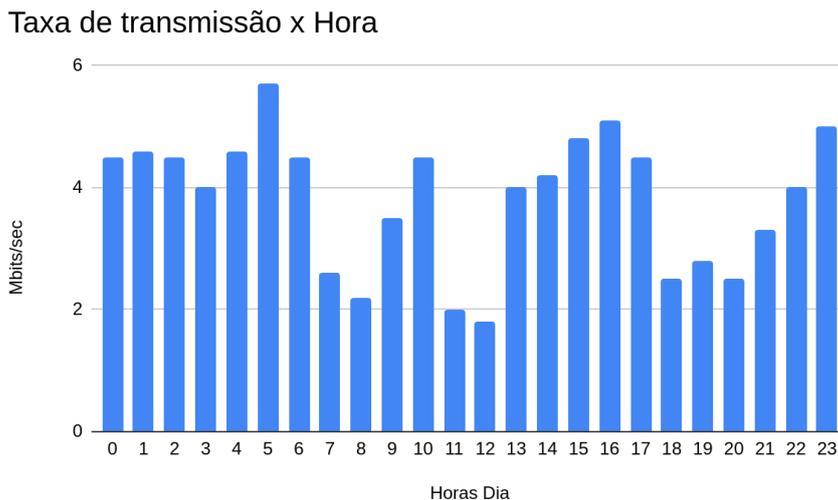


Figura 21. Taxa de transmissão (em horas do dia). Fonte: Elaboração própria.

No que se refere ao jitter, analisando o histograma apresentado na Figura 22, nota-se uma predominância de frequência dos valores entre 0 e 1 ms, estando o restante das observações todas inferiores a 11 ms, o que denota um excelente indicador para a conexão analisada.

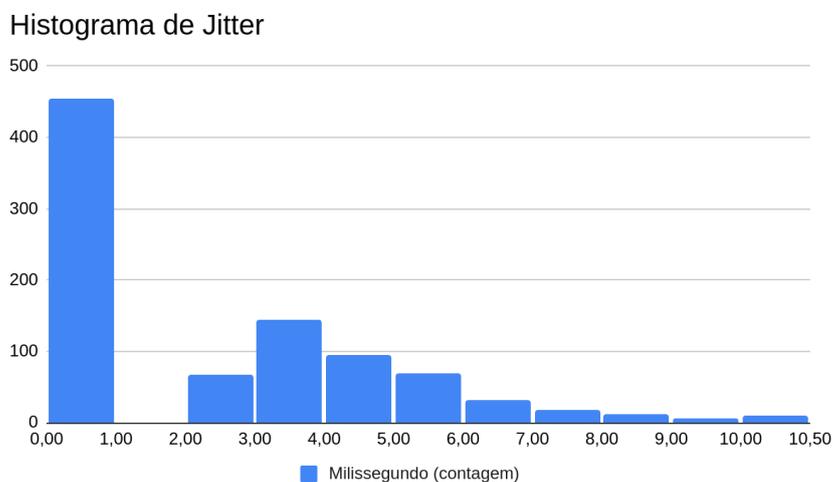


Figura 22. Histograma de Jitter (em ms). Fonte: Elaboração própria.

Estes resultados indicam que a solução proposta atendeu ao objetivo de forma parcial. Embora tenha permitido o acesso à Internet, o que não era possível antes de sua instalação, e a transmissão apresentou baixo valor de jitter, a taxa de transmissão e a confiabilidade da rede estiveram abaixo do desejado, o que impediu a implantação de sistemas dependentes de uma conexão estável.

Entretanto com o acesso a internet, foi possível a instalação de sensores para o monitoramento do maquinário e animais, e reduzindo o tempo parado dos equipamentos por problemas mecânicos, melhorando o controle zootécnico dos animais por meio da identificação do cio, leitura da temperatura, produção e outros fatores importantes para o negócio.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal analisar e implementar uma solução de conectividade à internet em uma propriedade rural em Leandro Ferreira/MG, visando superar os desafios da baixa cobertura de sinal em áreas distantes dos centros urbanos. Através de uma pesquisa detalhada das tecnologias disponíveis, como telefonia celular, rádio e satélite, foi possível selecionar a antena 4G como a opção mais viável em termos de custo e eficiência. Após a instalação do sistema, realizou-se uma avaliação de desempenho baseada em critérios como taxa de transmissão e estabilidade da conexão. A solução implementada proporcionou acesso à internet, beneficiando diretamente os moradores da propriedade e abrindo caminho para a adoção de tecnologias agrícolas digitais, promovendo a inclusão digital no setor rural e elevando a produtividade local.

Dado o fato de o objetivo ter sido alcançado de forma parcial, é interessante discutirmos a possível realização por meio de outras tecnologias discutidas aqui neste trabalho. As tecnologias via satélite e rádio também apresentariam problemas relacionados à disponibilidade em períodos chuvosos, porém existe a possibilidade de apresentarem velocidades superiores às alcançadas nesta execução, devido a características de tecnologia e avanços futuros. Uma melhor cobertura de sinal das operadoras de telefonia também melhoraria o resultado alcançado, entretanto não é algo possível a ser feito pelo cliente.

Ao analisar as características da tecnologia 4G e o dispositivo utilizado, acredita-se que fazer a transição para um dispositivo compatível com a tecnologia MiMo, onde se utiliza mais de uma antena para transmitir e receber dados, pode resultar em uma considerável melhoria na qualidade e velocidade da conexão, devido às especificidades dessa tecnologia.

Decorrente disso, surge uma dificuldade relacionada à faixa de operação utilizada pelas operadoras de 4G no Brasil, especialmente na região de Minas Gerais, onde é adotada a banda 28 de 700 MHz. No entanto, o mercado de modems e roteadores LTE possui uma variedade limitada de produtos que suportam essa faixa específica, sendo escassos os fabricantes e os produtos disponíveis no país.

Assim, visando trabalhos futuros, creio na necessidade da avaliação de outras tecnologias de conectividade, buscando novas soluções tecnológicas, como o uso de redes 5G, que estão se expandindo no Brasil, e verificar seu desempenho em áreas rurais comparado às soluções 4G e de rádio.

Também a necessidade de realizar um estudo mais aprofundado sobre o impacto econômico da solução, avaliando o retorno do investimento e os ganhos de produtividade ao longo de vários anos.

Deve-se explorar a integração da conectividade rural com tecnologias avançadas da Agropecuária 4.0, como monitoramento por drones, sensores de solo e sistemas automatizados de irrigação, para maximizar a eficiência e o impacto econômico das soluções de conectividade.

REFERÊNCIAS

AGBOJE, O. E.; ONI, O. O.; NKORDEH, N. S. An overview of mobile broadband in 4G long term evolution and emerging strategies for resolving deployment limitations in developing countries. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 12, n. 17, p. 6447-6451, 2017. Disponível em: <https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n17_18.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2024.

AMERICAN TOWER DO BRASIL COMUNICAÇÃO LTDA. **Estudo de Impacto de Vizinhança: Empreendimento American Tower**. Canela, RS, 2019. Disponível em: <https://canela.rs.gov.br/meioambiente/wp-content/uploads/2020/06/EIV_American_Tower_2019_11081.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

ANATEL. **Relatório de acompanhamento do setor de telecomunicações**. 2º sem. 2020. Disponível em: <https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?eEP-wqk1skrd8hSlk5Z3rN4EVg9uLJqrLYJw_9INcO4NT86aq4DZSJMWh9gBoilhtRgvXnEhjT6dqYhPLeIC2xMriZOLrD6LEYnf1psEzllJAq9-LHel_G9fbuXRrs7UR>. Acesso em: 28 ago. 2024.

ANDERSON, J. Q. **Imagining the Internet: Personalities, Predictions, Perspectives**. [S.l.]: Rowman & Littlefield Publishers, Incorporated, 2005. ISBN 9781299785021.

ADB – ASIAN DEVELOPMENT BANK. **Last mile connectivity: Affordability at the frontier**. Dez. 2022. Disponível em: <<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/847626/sdwp-083-last-mile-connectivity-affordability-frontier.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2023.

CISCO. **Jitter and packet loss in voice**. 2 fev. 2006. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/18902-jitter-packet-voice.html>>. Acesso em: 07 jan. 2024.

CISCO. **Wireless throughput calculations and limitations**. 17 maio 2023. Disponível em: <https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi_Basics_and_Best_Practices/Wireless_Throughput_Calculations_and_Limitations>. Acesso em: 07 jan. 2024.

CISCO. **What is low latency?** Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center/data-center-networking/what-is-low-latency.html>>. Acesso em: 07 jan. 2024.

CLARO. **Mapa de cobertura**. Disponível em: <<https://www.claro.com.br/mapa-de-cobertura>>. Acesso em: 08 jan. 2023.

CLOUDFLARE. **How does the Internet work?** Disponível em: <<https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/how-does-the-internet-work/>>. Acesso em: 30 set. 2023.

ELSYS. **Modem 4G para Internet**. Disponível em: <<https://loja.elsys.com/modem-4g-para-Internet/p>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

ESA – AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA. **Low Earth Orbit**. Disponível em: <https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/03/Low_Earth_orbit>. Acesso em: 08 jan. 2023.

FUST. **Caderno de Projetos do Conselho Gestor do Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações – CG-FUST**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/arquivos/fust/CadernodeProjetosCGFUST2023verso_final_aprovada.pdf> Acesso em: 10 jun. 2024.

GONÇALVES, A. de P. e P. C. R. **Window Based Monitoring: Packet Drop Detection in the Network Data Plane**. 2022. 75p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação e Engenharia de Computação) - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2022. Disponível em: <<https://www.dpss.inesc-id.pt/~ler/reports/afonsogoncalvesmsc.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2024

IBGE. **População rural e urbana**. 2021 Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20da,brasileiros%20vivem%20em%20%C3%A1reas%20rurais>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

IBGE. **Censo Populacional**. 2022 Disponível em:< <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/>>. Acesso em 25/8/2024

IEEE. **IEEE guide for the planning, design, installation, and repair of submarine power cable systems**. [S.l.: s.n.], 2005. ISBN 9780738144726.

INTEL. **What is a hotspot?** Disponível em: <<https://www.intel.com/content/www/us/en/tech-tips-and-tricks/what-is-a-hotspot.html>>. Acesso em: 30 set. 2023.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **Yearbook of Statistics 2015: Telecommunication/ICT Indicators 2005-2014**. [S.l.]: United Nations Fund for Population Activities, 2017. 314 p. ISBN 9789213620045.

MAPA. **Cenários e perspectivas da conectividade para o agro**. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília: MAPA/AECS, 2021. ISBN 978-65-86803-45-7. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/ruralconectado/livro>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. Agro 4.0 – rumo à agricultura digital. In: MAGNONI JÚNIOR, L. et al. (Org.). **JC na Escola: Ciência, Tecnologia e Sociedade**. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p. 28-35. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166203/1/PL-Agro4.0-JC-na-Escola.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2023.

MATSUDA, T.; YAMAMOTO, M. Performance analysis of TCP fairness between wired and wireless sessions. In: **13th IEEE International Symposium On Personal Indoor And Mobile Radio Communications** (PIMRC 2002), Pavilhão Atlântico, Lisboa, Portugal. [S.l.]: IEEE, 2002.

ISBN 0780375890. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/pimrc.2002.1046580>>. Acesso em: 30 set. 2023.

MCTIC – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Disponível em: <https://Internetparatodos.mctic.gov.br/portal_ipt/opencms/perguntas_frequentes/index.html>. Acesso em: 08 jan. 2023.

MINICO, C. Network Topologies and Distances. 2007. Disponível em: <https://www.ieee802.org/3/hssg/public/nov07/diminico_01_1107.pdf>.

USP. **A ARPANET**. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~is/abc/abc/node20.html>>. Acesso em: 30 set. 2023.

UFES. **Diretrizes para infraestrutura de redes de computadores**. Vitória, ES, 2011 Disponível em: < <https://npd.ufes.br/sites/npd.ufes.br/files/Diretrizes-Rede-UFES-20111215.pdf> >. Acesso em: 30 set. 2023.

UFRJ. **WiMAX**. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/06_1/wimax/intro.html>. Acesso em: 08 jan. 2023.

ONU. Disponível em: <https://www2.ohchr.org/english/bodies/hrcouncil/docs/17session/A.HRC.17.27_en.pdf>. Acesso em: 30 set. 2023.

SAITO, C.; MONTEIRO, R.; GOMES, C. **ÚLTIMA MILHA: UM GRANDE DESAFIO NA LOGÍSTICA DAS VENDAS VIA INTERNET**. 2020. Disponível em: <<http://bt.fatecsp.br/system/articles/370/original/arq52.pdf>>.

SILVA, D. F. **Análise dos condicionantes para licenciamento das estações rádio base de telefonia celular no município do Salvador - BA**. 2009. 196 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

TEIXEIRA, R.; TOYOSHIMA, S. Evolução das telecomunicações no Brasil, 1950–2001: o caso da telefonia. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 55-78, jan.-mar. 2003.

TELECO. **Mapa de cobertura**. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/ncel.asp>. Acesso em: 10 nov. 2022.

TIM. **Mapa de cobertura e roaming**. Disponível em: <https://www.tim.com.br/mg/para-voce/cobertura-e-roaming/mapa-de-cobertura>. Acesso em: 08 jan. 2023.

TOPOGRAPHIC MAP. Minas Gerais. Disponível em: <https://pt-br.topographic-map.com/map-vsbt6/Minas-Gerais/?center=-19.80482%2C-45.10059&zoom=12>. Acesso em: 08 jan. 2023.

VIVO. **Cobertura**. Disponível em: <https://www.vivo.com.br/para-voce/por-que-vivo/qualidade/cobertura>. Acesso em: 12 nov. 2022.

M. Ye and P. Gao, "A Novel Frequency and Pattern Reconfigurable Antenna for WiMAX and WLAN Communication Application" 2015 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), Hangzhou, China, 2015, pp. 538-541, doi: 10.1109/ISCID.2015.36.

YEN, D. C.; CHOU, D. C.; WANG, J.-C. **DSL: the promising standard for new Internet era**. *Computer Standards & Interfaces*, v. 23, n. 1, p. 29–37, mar. 2001.