

Do Projeto à Operação: Implementando uma Rede Móvel 4G Privativa no Agronegócio

G. A. Paiva, E. S. Lima, R. Gauze, A. Pisaniello. Jr e H. R. D. Filgueiras

Resumo—O artigo descreve a implementação prática, em campo, de uma rede móvel privativa 4G no agronegócio, desde a concepção do projeto até a aceitação final e sustentação ao longo de um período de 60 meses. O processo contemplou o dimensionamento, a previsão de cobertura, a instalação dos equipamentos e a realização de medições práticas para validação. A rede foi projetada para atender às demandas específicas do setor, priorizando a redução de custos e a viabilização da conectividade em áreas rurais, com foco no tráfego de dados para telemetria. O core da rede foi implementado de forma virtualizada na nuvem, e a eficácia da implementação foi comprovada por meio de testes práticos realizados em pontos geográficos estratégicos para a operação.

Palavras-Chave—4G, conectividade rural, IoT e redes móveis privadas.

Abstract—This paper describes the practical implementation, in the field, of a private 4G mobile network in agribusiness, from the project conception to the final acceptance and support over a period of 60 months. The process included sizing, coverage prediction, equipment installation, as well as the execution of practical measurements for validation. The network was designed to meet the specific demands of the sector, prioritizing cost reduction and enabling connectivity in rural areas, with a focus on data traffic for telemetry. The core of the network was implemented in a virtualized cloud environment, and the effectiveness of the implementation was confirmed through practical tests conducted at strategic geographical points for operation.

Keywords—4G, IoT, mobile private networks and rural connectivity.

I. INTRODUÇÃO

A crescente integração da telemetria e dos dispositivos da Internet das Coisas (IoT) vem revolucionando o setor agrícola, impulsionando eficiência e crescimento acelerado em meio a desafios modernos [1]. Esta transformação tecnológica oferece oportunidades inéditas para maximizar o potencial da agricultura, permitindo monitoramento remoto em tempo real e tomada de decisões baseadas em dados precisos [2]. Ao conectar fazendas e campos de cultivo por meio de sensores inteligentes e redes de comunicação robustas, a conectividade no campo não é mais apenas uma conveniência, mas sim um requisito essencial para otimizar a produção agrícola e enfrentar os desafios da agricultura sustentável [3].

Gustavo Aguiar Paiva, departamento de Inovações e 5G, VS Telecom, São Paulo-SP, e-mail: gustavo.paiva@vstelecom.com.br; Eduardo Saia Lima, Departamento de Inovações e 5G, VS Telecom, São Paulo-SP, eduardo.lima@vstelecom.com.br; Rogério Gauze Rodrigues, Departamento de Operações, VS Telecom, São Paulo-SP, e-mail: gauze@vstelecom.com.br; Angelo Pisaniello Jr., Diretoria Executiva, VS Telecom, São Paulo-SP, e-mail: angelo@vstelecom.com.br; Hugo Rodrigues Dias Filgueiras, Departamento de Inovações e 5G, VS Telecom, São Paulo-SP, hugo.filgueiras@vstelecom.com.br.

Países de escala continental, como o Brasil, enfrentam sérios problemas de cobertura da rede móvel pública ofertada pelas grandes operadoras [4], [5]. Sabe-se que há investimento onde ocorrem o maior volume de tráfego, ou seja, aos redores de grandes cidades. Ao migrarmos para o campo, a falta de conectividade se torna um grande ofensor para a comunicação e telemetria eficiente [4], [5]. Com isso, novas maneiras de conexão se fazem necessárias, como redes móveis privadas de quarta geração (4G) montadas pelo próprio proprietário do negócio, redes satelitais ou conectividades como *Long Range* (LoRa) e ZigBee [6]; tecnologias de comunicação sem fio em frequência livre, de longo alcance projetada para atender a demanda de aplicações de IoT.

A utilização de redes 4G, *Long Term Evolution* (LTE), na faixa de frequência de 700 MHz, tem despertado um interesse significativo, pois oferece uma série de benefícios e oportunidades para o agronegócio. Utilizar essa faixa, denominada de Banda 28 (b28), garante a robustez de uma rede móvel, com longo alcance de comunicação. Por isso, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), visando impulsionar o desenvolvimento tecnológico, liberou as faixas de 703 a 708 MHz para *uplink* e 758 a 763 MHz para *downlink* na modalidade de Serviço Limitado Privado (SLP) [7], [8]. Tal ação representa um marco importante nesse cenário. Essa medida possibilita a implementação de redes privadas de comunicação LTE em larga escala sem depender das convencionais operadoras de telecomunicações, abrindo caminho para uma série de aplicações inovadoras e estratégias de conectividade adaptadas às necessidades específicas do agronegócio e com baixo investimento no que tange a aquisição de espectro quando comparado com as operadoras. As licenças de Serviço Limitado Privado com validade de 10 anos podem custar menos do que R\$ 10.000,00, contra milhões ou até bilhões de reais investidos pelas operadoras para exploração do Serviço Móvel Pessoal (SMP) [9].

Operações 4G utilizando a b28 oferecem uma vasta área de cobertura, com capacidade de alcançar distâncias consideráveis de até 25 km de raio, dependendo do relevo do terreno, altura da torre, potência de transmissão dos rádios e ganho das antenas [4], [5]. A implementação de sistemas LTE no agronegócio habilita diversas aplicações, incluindo [3]: monitoramento remoto e telemetria de uma ampla gama de sensores e dispositivos, como: sensores de umidade, sensores climáticos, drones de pulverização e irrigadores automatizados, gestão e manejo de rebanhos, agricultura de precisão com maquinário conectado utilizando sistema de posicionamento global (GPS), além de prover conectividade móvel com equipamentos denominados como *customer-premises equipment*

(CPEs), que utilizam a rede 4G como *backhaul* e criam uma rede sem fio *wireless fidelity* (Wi-Fi) para conectividade dos dispositivos móveis locais.

Neste artigo, apresentamos um estudo de caso da implementação de uma rede 4G projetada e implantada pela VS Telecom composta por duas estações rádio base operando em 700 MHz na b28. A rede 4G foi inicialmente projetada para cobrir parte de uma fazenda, com expectativa de expansão para operar em três fazendas, fornecendo conexão para 1350 dispositivos entre tratores, sensores e CPEs, melhorando consideravelmente os processos, produção e operação da Usina. A Seção II descreve o projeto da rede móvel privativa, considerando a predição de cobertura e o descritivo técnico da arquitetura utilizada na rede 4G, enquanto que a Seção III reporta a implementação e validação da operação da rede com medidas de potência de recepção e *speed-tests* em campo. Por fim, a Seção IV apresenta as considerações finais do projeto e trabalhos futuros, que englobam a visão de expansão da rede 4G.

II. PROJETO DE REDE PRIVADA 4G

O planejamento e os projetos de dimensionamento em redes 4G são essenciais para garantir a eficiência operacional e a disponibilidade dos serviços, possibilitando a expansão e atualização da rede sem investimentos desnecessários em infraestrutura. Nesse contexto, a predição de cobertura é uma ferramenta indispensável para garantir uma implementação eficaz da rede, com o correto dimensionamento no que diz respeito à quantidade de pontos de acesso ou rádios, a melhor localização e altura necessária das torres para instalações, a fim de garantir a cobertura nas áreas de interesse e a análise de toda operação. Por meio da predição, é possível antecipar o comportamento da propagação do sinal 4G antes da instalação real da infraestrutura, possibilitando avaliar a degradação no sinal causada por influência do terreno, bem como a presença de obstáculos, como árvores e edifícios.

Utilizou-se o *software* RadioPlanner 3.0 da empresa Wireless Planning para as simulações, com as seguintes características gerais: modelo de propagação *Longley-ric*; base de relevo importada do Google Satellite; tipo de clutter rural; frequência central de *downlink*: 760,5 MHz; frequência central de *uplink*: 705,5 MHz; largura de banda: 5 MHz; prefixo cíclico: 4,7 μ s (Normal); implementação de três setores de 120° (abertura de feixe em 6 dB); ganho das antenas de 15 dBi; perdas totais considerando 4 metros de cabos Nm/Nm e divisores de potência 1/3: 6 dB/torre; potência de transmissão dos rádios (*downlink*): 40 W (46 dBm); altura média das antenas do móvel/CPE: 1,2 m; ganho das antenas do móvel/CPE: 5 dBi; potência de transmissão dos móveis (*uplink*): 0,6 W (27,78 dBm). A primeira ERB1 está instalada em uma elevação de terreno em relação ao nível do mar de 645,6 m e a altura de instalação do sistema 4G na torre foi de 36 m. A ERB2 está posicionada em uma elevação de 766,0 m em relação ao nível do mar e a instalação das antenas e rádio 4G com 62 metros. A Fig.1 apresenta a predição de potência de recepção da rede privativa 4G ao redor da fazenda (24x33,5 km), considerando duas estações rádio base (ERBs) 4G de 40W para cobrir a área de interesse da Usina.

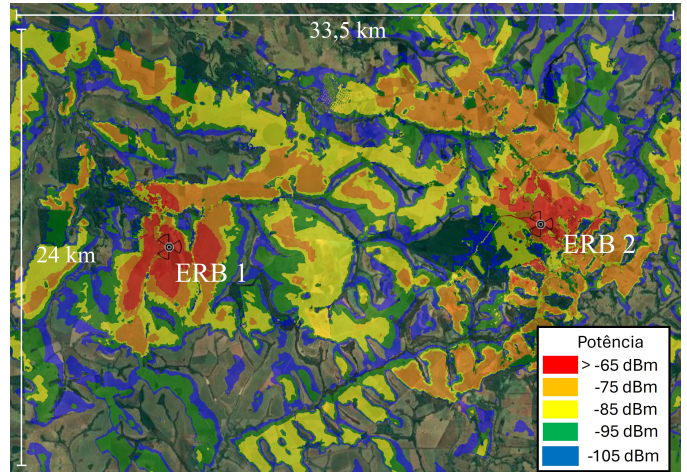


Fig. 1. Análise de potência de recepção da rede 4G privativa considerando duas estações rádio base.

Observa-se a potência de recepção calculada para a fazenda, considerando um móvel com 1,2 m e antena com 5 dBi de ganho. Vale ressaltar que a área de cobertura pode variar dependendo da sensibilidade de recepção do equipamento móvel, ou seja, a menor potência de recepção que o dispositivo é capaz de detectar e interpretar os dados transmitidos. Potências maiores que -95 dBm são consideradas adequadas para a grande maioria das redes, visto que uma faixa comum de sensibilidade de recepção de potência para dispositivos móveis é geralmente entre -90 dBm e -120 dBm [10], para sensores de baixo consumo e aparelhos celulares/CPEs, respectivamente. Assim, pode-se concluir que uma vasta área da fazenda em análise será coberta pela rede 4G, dado a distância de 18,6 km em linha reta entre as duas ERBs. Além disso, um arquivo de delimitação da área de atuação do cliente possibilitou a otimização da rede, dando ênfase em pontos de interesse com reposicionamento dos setores e *tilt* das antenas, entretanto, esse conteúdo é confidencial, pois impacta na atuação do cliente no mercado.

III. IMPLEMENTAÇÃO DE REDE PRIVATIVA 4G

Após a aprovação do devido local de instalação e da predição de cobertura pelo cliente, inicia-se o processo de instalação dos rádios. Vale ressaltar que deve haver o pedido de operação do Serviço Limitado Privado na ANATEL para legalizar a operação do sistema 4G, compreendendo: o pedido de outorga, ato de radiofrequência e licenciamento de Telecomunicações, ambos no Sistema Mosaico (<https://sistemas.anatel.gov.br/se>). A Fig. 2 descreve a arquitetura do sistema LTE implementado em cada torre. Dois técnicos em telecomunicações com as Normas Regulamentadoras 10 e 35 foram responsáveis por realizar a instalação do sistema 4G.

Foram utilizadas três antenas *Ultra high frequency* (UHF) painel com faixa de operação de 690 MHz até 960 MHz com 15 dBi de ganho e dois conectores N Fêmea. Dado que o rádio 4G opera com *Multiple-input-multiple-output* (MIMO) 2x2, cada antena painel foi alimentada com dois cabos de radiofrequência (RF) provenientes de dois divisores de potência 1/3 conectados diretamente no rádio. Além disso,

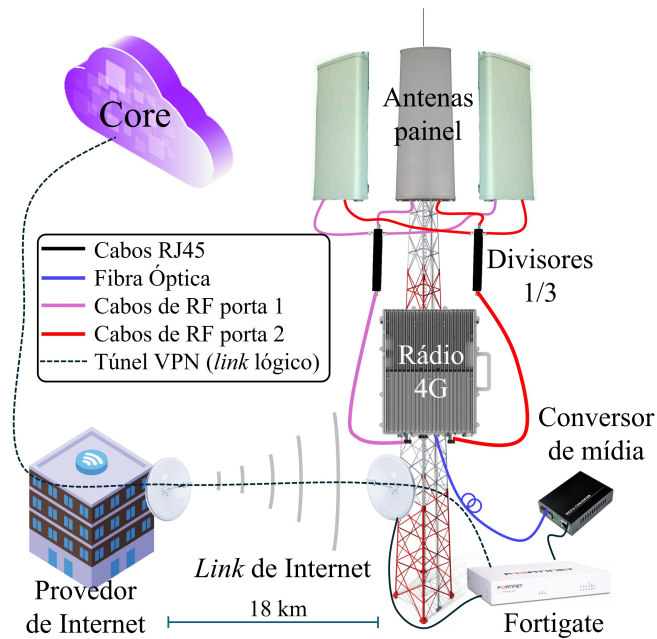


Fig. 2. Esquemático de implementação das estações rádio base 4G.

um kit de antena GPS foi adicionado à estrutura da torre provendo a localização precisa de cada estação rádio base e, principalmente, garantindo o sincronismo de *clock* entre as estações rádio base. As principais características do rádio sCELL-H2000 do fabricante Sunwave são: suporte MIMO 2x2; operação de acordo com *3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 13*; bandas de operação de 5 e 10 MHz na b28; esquema de modulações *Quadrature phase-shift keying (QPSK)*, 16- e 64-*Quadrature amplitude modulation (QAM)* dependendo da relação sinal-ruído (SNR); operação FDD; 192 usuários *Radio Resource Control (RRC)* conectados simultaneamente e 384 usuários RRC em modo de conexão *idle*; alimentação 220V AC ou -48V DC; consumo de até 350W; sensibilidade de recepção -101,5 dBm; peso igual a 22 kg e interfaces de acesso via RJ-45 (Ethernet) ou óptico utilizando *small form factor pluggable (SFP)*.

A conexão dos rádios com os equipamentos localizados na base torre foi realizada utilizando um cabo com proteção IP67. O grau de proteção 6 representa à prova de poeira (totalmente vedado) e o 7 significa que o cabo é protegido contra uma imersão temporária em água de até um metro por 30 minutos. O cabo contém quatro fibras com conectores ópticos LC nas extremidades e cabos PP para prover a alimentação do rádio. Além disso, o cabo foi devidamente acoplado à estrutura metálica da torre utilizando fixadores de cabo (*feeder clumps*) de três em três metros, evitando danos causados com vento ou movimentação indevida dos cabos. Vale ressaltar que a estrutura metálica da torre contém para-raios e aterramento, assim, o rádio foi devidamente aterrado na estrutura, evitando danos causados por surtos e descargas elétricas.

Na base da torre, utilizou-se uma SFP de 1,25 Gbit/s e um conversor de mídia para converter os sinais de óptico para elétrico. Dessa forma, foi possível conectar o rádio na porta LAN (*local area network*) do Firewall 40F do fabricante For-

tinnet. Sequencialmente, um provedor de Internet ISP (*Internet service provider*) local disponibilizou uma conexão à Internet com taxa de 80 Mbit/s, implementando um enlace de rádio de 18 km, o qual está conectado na porta WAN (*wide-area network*) do Firewall. Apesar de só ter um enlace de Internet no local da rede 4G, o Firewall possui duas portas WANs, possibilitando o balanço de tráfego entre enlaces de *backhaul*, habilitando redundância e melhorando consideravelmente a confiabilidade dos serviços em uma implementação futura. As opções de redundância são um segundo enlace ponto-a-ponto de outro ISP ou a contratação de um *link* de Internet via satélite. A Figura 3 apresenta uma foto da instalação da ERB2, realizada com auxílio de um *drone*. Observa-se as três antenas instaladas a 67 m de altura, espaçadas em setores de 120° conforme o projetado, além dos cabos e divisores de RF, kit GPS e o rádio 4G.

Posteriormente, o rádio foi conectado diretamente ao *core* de operação em nuvem via túnel *Virtual Private Network (VPN) IP Security Protocol (IPSec)*, habilitado no Firewall 40F. O *core* é o componente central da rede, responsável por realizar a gestão e operação, definindo quais usuários poderão se autenticar e usufruir dos serviços disponíveis. Nesse projeto, utilizou-se o *core* virtualizado C2n do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), devido à sua capacidade de prover conectividade agnóstica com diversos fabricantes de *hardware* e flexibilidade em sua implementação. Além disso, o *core* é instalado de forma centralizada, assim, um único elemento de gerência é capaz de administrar múltiplas ERBs na mesma rede 4G, garantindo um *soft handover* para os usuários e a possibilidade de futuras expansões da rede.

Por se tratar de uma rede privativa, até mesmo os *Subscriber*

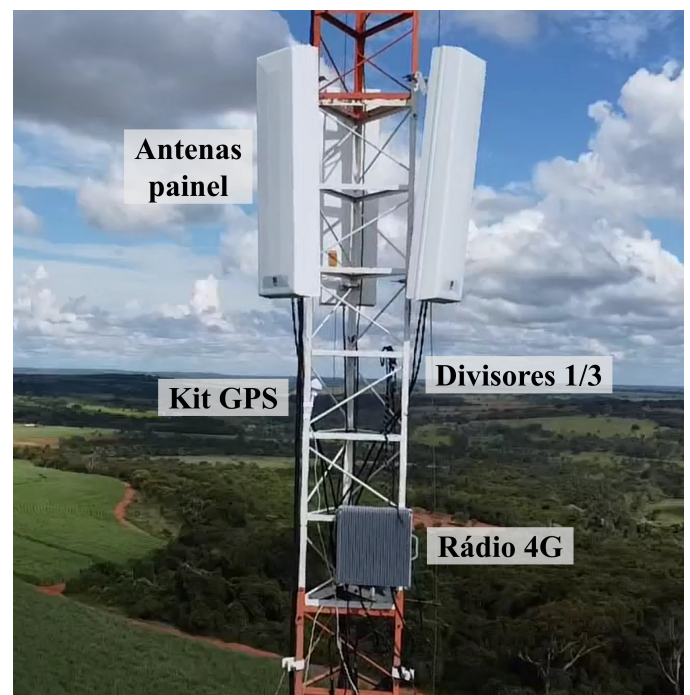


Fig. 3. Foto da instalação da rede 4G (ERB2).

IMSI	Uso Atual	Média Diária	Sessões Ativas ↓	APN/DNNs Ativas	Endereço IP da Sessão
IMSI ██████████00002502	323.59mb	106.26mb	1	mobile.vstelecom.com.br	192.168.128.45
IMSI ██████████00002509	152.00bytes	109.70bytes	1	APNNAME1	192.168.128.36
IMSI ██████████00002522	0	89.09bytes	1	██████████	192.168.128.197
IMSI ██████████00002538	0.00bytes	23.75bytes	1	██████████	192.168.128.249
IMSI ██████████00003137	323.89mb	71.51mb	1	APNNAME1	192.168.128.13
IMSI ██████████00003138	296.01kb	94.69mb	1	APNNAME1	192.168.128.187

Fig. 4. Informações dos assinantes autenticados no *core* da rede 4G privada.

Identity Module (SIM) cards devem ser gravados. Os dados contidos em cada um são: *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI); *Public Land Mobile Network ID* (PLMN-ID); chaves *Key identification* (Ki) e *Derived Operator Code* (OPC). Todos os SIM Cards gravados devem estar devidamente cadastrados no *Home Subscriber Server* (HSS) do *core* para que a autenticação seja bem-sucedida. Além disso, para que os usuários possam adquirir um endereço IP no plano de dados do *core*, é necessário o cadastro de ao menos uma *access point name* (APN) nos dispositivos móveis e no *core*, atuando também como um nível adicional de segurança por autenticação. Duas APNs foram cadastradas, a primeira, denominada "APNNAME1", foi criada para que o cliente pudesse utilizar os equipamentos das redes legadas sem novas configurações e a segunda, denominada "mobile.vstelecom.com.br", para novos dispositivos.

Ao longo da operação, verificou-se que alguns dispositivos necessitavam conectar-se também a redes públicas de grandes operadoras, o que faziam com que eles buscassem as APNs de suas operadoras quando tentavam se conectar à rede privada. Para que não fosse necessário que o cliente ficasse reconfigurando as APNs de seus móveis a cada nova conexão, realizou-se um trabalho investigativo e as novas APNs foram configuradas no *core*. A Fig. 4 apresenta uma sessão da plataforma de gestão do *core* onde é possível identificar algumas informações importantes dos assinantes, como: IMSI dos SIM cards, uso atual e médio de dados, sessões ativas, APNs ativas e endereço IP da sessão.

A aceitação da rede se deu pela medida de tráfego e intensidade em alguns pontos geográficos estratégicos para a operação do cliente, principalmente onde existem áreas de colheita. Essas medidas são fundamentais para avaliar o desempenho da rede em condições reais de operação e para identificar eventuais áreas de sombras, qualidade nos pontos de demanda elevada e problemas de qualidade de serviço. As medidas foram realizadas diretamente por um aparelho celular, com aplicativo *network cell info* instalado. Um arquivo .csv é gerado para posteriormente ser importado no *Google Earth*. A Fig. 5 apresenta os resultados plotados com as informações de potência de recepção. Além disso, a Fig. 6 (a) mostra a intensidade do sinal (-73 dBm) em um ponto localizado logo abaixo da torre, com taxas de *download* (23,3 Mbits/s)

e *upload* (11,7 Mbits/s), conforme esperado com uma banda 5 MHz. Caso o dispositivo móvel suportasse MIMO, o dobro da taxa poderia ser atingido. A Fig. 6 (b) mostra a intensidade do sinal (-99 dBm) em um ponto localizado a 0,94 km em linha reta da torre, resultando em taxas de *download* (11,8 Mbits/s) e *upload* (9,46 Mbits/s). Por outro lado, a Fig. 6 (c) mostra a intensidade do sinal (-104 dBm) em ponto localizado a 1,68 km em linha reta da torre, próximo à sensibilidade do dispositivo de -110 dBm, resultando em uma queda de desempenho e, conseqüentemente, taxas de *download* (5,79 Mbits/s) e *upload* (1,33 Mbits/s) menores. É importante ressaltar que, mesmo com um nível de potência de recepção alto, como o dispositivo móvel não suporta MIMO, não foi possível atingir as máximas taxas de comunicação que o rádio provê.

IV. CONCLUSÕES

O artigo apresentou uma implementação real, fim-a-fim, de uma rede móvel privada LTE composta por duas eNodeBs.

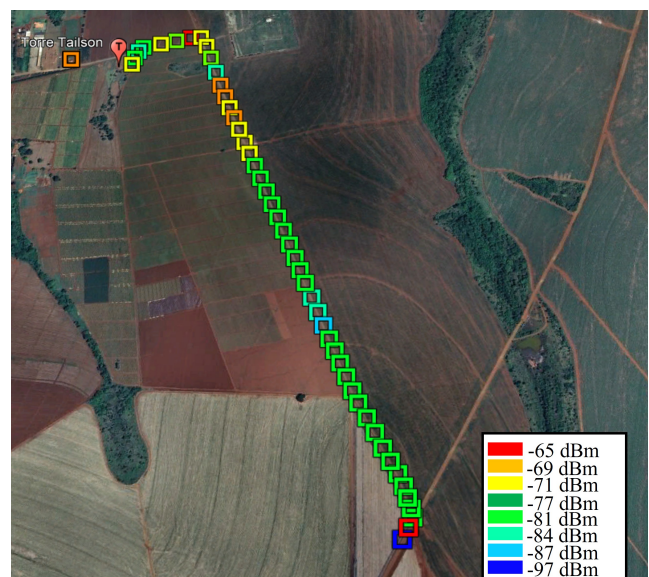


Fig. 5. Medidas em campo da potência de recepção da ERB1 em diversos pontos.

A rede foi implementada para atender demandas do setor de agronegócio, cujo principal objetivo é prover conectividade no campo sem a necessidade de serviços de grandes operadoras de telecomunicações. Todo o projeto, incluindo predição de cobertura, dimensionamento da rede, instalação dos equipamentos e implementação do *core* foi projetado visando a redução de custo para atendimento desse nicho de mercado específico. O *core* de rede foi implementado em nuvem a fim de aumentar a disponibilidade, confiabilidade e flexibilidade. A aceitação da rede ocorreu por meio de medidas práticas em pontos geográficos estratégicos e os resultados obtidos demonstraram operação de acordo com o especificado pelo fabricante dos rádios e conforme os resultados das simulações de predição de cobertura. Além disso, retornos positivos do próprio cliente em relação à fidelidade da simulação com a cobertura real dos rádios corroboram com a boa aceitação da rede. Como próximos passos, busca-se a expansão da rede para até 13 torres e análises práticas de aumento da produtividade da produção agrícola devido à viabilização da conectividade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao provedor de Internet Master Data pelo apoio e suporte com os *links*, ao CPqD pelo suporte na implementação e operação do *core* de rede, a Sunwave, nomeadamente, Amanda Mendonça e Daniel Lira, pelo apoio técnico e suporte ágil quando solicitado e ao Rodrigo Dutra pelo apoio comercial.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Maroli, V. S. Narwane, and B. B. Gardas, "Applications of IoT for achieving sustainability in agricultural sector: A comprehensive review," *Journal of Environmental Management*, vol. 298, p. 113488, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721015504>
- [2] M. F. Khan, V. M. Thorup, and Z. Luo, "Delineating Mastitis Cases in Dairy Cows: Development of an IoT-Enabled Intelligent Decision Support System for Dairy Farms," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, pp. 1–10, 2024.
- [3] H. Devaraj, S. Sohail, M. Ooi, B. Li, N. Hudson, M. Baughman, K. Chard, R. Chard, E. Casella, I. Foster, and O. Rana, "RuralAI in Tomato Farming: Integrated Sensor System, Distributed Computing, and Hierarchical Federated Learning for Crop Health Monitoring," *IEEE Sensors Letters*, vol. 8, no. 5, pp. 1–4, 2024.
- [4] W. Dias, A. Ferreira, R. Kagami, J. S. Ferreira, D. Silva, and L. Mendes, "5G-RANGE: A transceiver for remote areas based on software-defined radio," in *2020 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. IEEE, 2020, pp. 100–104.
- [5] I. Philbeck, "Connecting the unconnected: Working together to achieve connect 2020 agenda targets," *ITU White Paper*, 2017.
- [6] J. Bravo-Arrabal, P. Zambrana, J. J. Fernandez-Lozano, J. A. Gomez-Ruiz, J. S. Barba, and A. García-Cerezo, "Realistic Deployment of Hybrid Wireless Sensor Networks Based on ZigBee and LoRa for Search and Rescue Applications," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 64 618–64 637, 2022.
- [7] ANATEL. (2022) Resolução nº 757, de 08 de novembro de 2022. [Online]. Available: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2022/1760-resolucao-757>
- [8] —. (2023) Resolução nº 759, de 19 de janeiro de 2023. [Online]. Available: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2023/1834-resolucao-759>
- [9] Ministério das Comunicações. (2022) Leilão do 5G deve movimentar R\$ 169 bilhões em investimentos. [Online]. Available: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2021/outubro/leilao-do-5g-deve-movimentar-r-169-bilhoes-em-investimentos>
- [10] U. T. R. Access, "Evolved universal terrestrial radio access (e-utra)," *Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT)*, 2022.

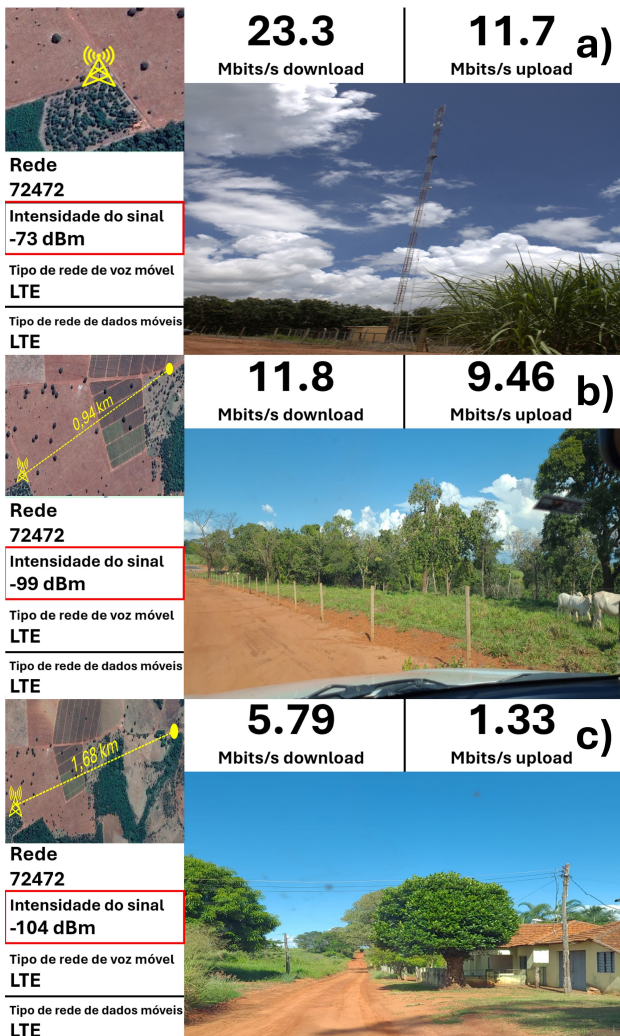


Fig. 6. Intensidade do sinal e taxas de comunicação em diferentes locais.