

**Conectividade no campo: infraestrutura digital para a inclusão socioprodutiva da
Agricultura Familiar**

***Connectivity in Rural Areas: Digital Infrastructure for the Socio-Productive Inclusion of
Family Farming***

Giovani William Gianetti

Instituto para Governança Territorial e Políticas Públicas. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

Ronaldo Torres

Instituto para Governança Territorial e Políticas Públicas. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

Marluce Scarabello

Instituto para Governança Territorial e Políticas Públicas. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

Alberto Barretto

Instituto para Governança Territorial e Políticas Públicas. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

Rodrigo Fernando Maule

Instituto para Governança Territorial e Políticas Públicas. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

GT 05 - Agricultura familiar, ruralidades e relações de gênero no meio rural

Resumo: A exclusão digital no meio rural brasileiro dificulta a inclusão produtiva e agrava as desigualdades, afetando principalmente a agricultura familiar e os grupos mais vulneráveis, limitando o acesso a informações, mercados e serviços essenciais. O presente estudo avalia a cobertura de internet no meio rural brasileiro e simula cenários de expansão da infraestrutura de conectividade, com foco na Agricultura Familiar e nos pequenos produtores, visando subsidiar políticas públicas mais eficientes, equitativas e territorialmente orientadas. A metodologia combina a integração de dados georreferenciados de 107 milhões de domicílios com registros fundiários e produtivos, além de dados sobre crédito rural e territórios tradicionais. Essa base foi utilizada em um modelo espacial de propagação de sinal, ao qual se aplicaram algoritmos de otimização para simular cenários de expansão baseados na maximização do número de domicílios atendidos. Os resultados evidenciam a profundidade da exclusão digital no campo: apenas 29,9% dos domicílios da Agricultura Familiar (AF) e dos pequenos produtores já dispõem de sinal de internet de qualidade adequada. As simulações indicam que a expansão da infraestrutura poderia elevar a cobertura total para 97,5% dos domicílios avaliados e para 87,3% dos domicílios de AF e pequenos produtores, mas a custos crescentes à medida que a rede avança sobre áreas mais remotas e dispersas. O custo médio por domicílio adicional atendido sobe de R\$ 1.348,25 nos primeiros agrupamentos para R\$ 16.192,68 nos últimos domicílios atendidos. Em conjunto, os resultados mostram que a conectividade rural exige estratégias tecnológicas e territoriais diferenciadas e que a modelagem proposta oferece uma base objetiva para orientar políticas públicas mais equitativas, eficientes e replicáveis em outras agendas, como saúde, educação e logística rural.

Palavras-chave: conectividade rural; telecomunicação; agricultura 4.0.

Abstract: Digital exclusion in rural Brazil constrains productive inclusion and deepens existing inequalities, particularly for family farming and other vulnerable groups, by limiting access to information, markets, and essential services. In this study, we assess internet coverage in rural Brazil and simulate alternative scenarios for expanding connectivity infrastructure, with a particular focus on family farming and smallholders, in order to inform more efficient, equitable, and territorially targeted public policies. Our methodology integrates georeferenced data on 107 million households with land tenure and production records, as well as information on rural credit and traditional territories. We use this database in a spatial signal propagation model and apply optimization algorithms to simulate expansion scenarios aimed at maximizing the number of households served. Our results highlight the depth of digital exclusion in rural areas: only 29.9% of households belonging to family farming (FF) and smallholders currently have access to internet service with adequate signal quality. The simulations indicate that infrastructure expansion could raise total coverage to 97.5% of all households assessed and to 87.3% of FF and smallholder households, but at sharply increasing costs as the network extends into more remote and sparsely populated areas. The average cost per additional household served rises from BRL 1,348.25 in the initial expansion clusters to BRL 16,192.68 in the final stages of coverage. Taken together, these findings show that rural connectivity requires differentiated technological and territorial strategies, and that the proposed modeling framework provides an objective basis for designing more equitable, efficient, and replicable public policies in other areas, including health, education, and rural logistics.

Keywords: rural connectivity; telecommunications; 4.0 agriculture.

1. Introdução

A conectividade digital tornou-se um elemento fundamental para o desenvolvimento econômico, social e produtivo, especialmente nas áreas rurais, onde o acesso à informação, aos serviços públicos e aos mercados ainda é limitado. A expansão da infraestrutura digital permite que pequenos produtores e empreendedores alcancem novos mercados, aumentem sua competitividade e melhorem sua renda, ao mesmo tempo em que promove inclusão social, ampliando o acesso a serviços de saúde, educação e informação (Niederle et al., 2021). No Brasil, onde a agricultura familiar representa 76,82% (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2017) dos estabelecimentos agropecuários e desempenha papel central na segurança alimentar e na economia local, o acesso à internet de qualidade torna-se cada vez mais decisivo para a inclusão produtiva, o acesso a serviços públicos e a adoção de tecnologias de precisão (Khan et al., 2022; Judijanto et al., 2024; Banik & VN, 2024).

Como novidade no Plano Safra 2025/26, foram incluídos investimentos voltados para conectividade no campo e equipamentos para acessibilidade. Destaca-se o Pronaf Conectividade, que oferece crédito para infraestrutura de conectividade rural, com limite de R\$ 100 mil para famílias de menor renda, a juros de 2,5% ao ano, e até R\$ 250 mil para as demais, com juros de 3% ao ano. Essa política busca reduzir as barreiras financeiras que limitam o acesso às tecnologias digitais, ampliando as oportunidades de inclusão produtiva e social no meio rural (Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar, 2025).

No entanto, a exclusão digital ainda é uma realidade para milhões de famílias no campo, sobretudo em regiões com baixa densidade populacional e infraestrutura precária. O acesso à internet e a inclusão digital aparecem entre os principais fatores com potencial de combater a desigualdade e melhorar a qualidade de vida da população rural. A conectividade permite o acesso às inovações tecnológicas digitais, à automação de processos produtivos, à informação, à Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) e aos mercados de insumos e de consumo, contribuindo não apenas para o aumento da produtividade e da rentabilidade das atividades agrícolas, mas também para a permanência da população no campo, especialmente dos jovens (Jolex & Tufa, 2022; Prahalathan & Babu, 2021).

Prover conectividade e soluções digitais às populações do campo, em especial à Agricultura Familiar, é afirmar o espaço rural como território-chave para o enfrentamento da pobreza, da fome, das desigualdades sociais e econômicas, do desmatamento, da perda de biodiversidade e dos efeitos das mudanças climáticas (Ngulube, 2025; Nepomoceno, 2023). Para tanto, é preciso garantir esse acesso à informação, a bens educacionais e culturais,

viabilizar a produção e a comercialização, gerando renda e promovendo o bem-estar e a qualidade de vida dessas pessoas.

Diante disso, cabe destacar que os desafios para a universalização da conectividade rural no Brasil são diversos, entre eles destacam-se: (i) a vasta extensão territorial, com grandes áreas de baixa densidade demográfica e acentuadas desigualdades regionais; (ii) a baixa atratividade para investimentos privados em telecomunicações em áreas remotas; (iii) a dificuldade de acesso a dispositivos de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) por populações em situação de pobreza; e (iv) os diferentes níveis de letramento digital, que dificultam a adoção das ferramentas disponíveis. Para superar esses desafios é necessário o desenvolvimento de um planejamento territorial, juntamente com a articulação interinstitucional, a mobilização de atores públicos e privados, além de políticas públicas e normas adequados e equitativas (Organisation for Economic Cooperation and Development - OECD, 2020; Cavalcante et al., 2021).

Neste contexto, surge o seguinte questionamento: Como planejar a expansão da infraestrutura de conectividade no meio rural brasileiro de forma eficiente, equitativa e territorialmente orientada, considerando os desafios de custo, densidade populacional e a inclusão da Agricultura Familiar e de populações vulneráveis? Assim, o presente estudo avalia a cobertura de internet no meio rural brasileiro e simula cenários de expansão da infraestrutura de conectividade, com foco na Agricultura Familiar e nos pequenos produtores, visando subsidiar políticas públicas mais eficientes, equitativas e territorialmente orientadas.

2. Revisão da Literatura

Os diagnósticos nacionais sobre conectividade têm sido fundamentais para evidenciar a persistência das desigualdades digitais no Brasil, sobretudo entre áreas urbanas e rurais, entre classes de renda e entre regiões. O Comitê Gestor da Internet no Brasil (2023) mostra que, embora 84% dos domicílios brasileiros já tenham acesso à Internet, a proporção permanece inferior nas áreas rurais (74%) em relação às urbanas (86%), além de seguir mais baixa nas regiões Norte e Nordeste. O estudo também revela que a exclusão digital não se resume à ausência de conexão: entre os domicílios sem Internet, destacam-se como barreiras o custo (55%), a falta de habilidades digitais (50%) e a falta de interesse (49%). Ademais, indicadores de qualidade e adequação do acesso também permanecem desiguais, como sugere a maior incidência de compartilhamento da conexão em áreas rurais e entre domicílios das classes D/E, bem como a menor presença simultânea de computador e Internet nesses grupos. Em conjunto,

esses levantamentos cumprem papel central de diagnóstico, mas permanecem predominantemente descritivos, sem avançar para uma modelagem espacial da expansão da infraestrutura ou para a definição de critérios territoriais de priorização do investimento.

No campo da agricultura digital, Massruhá et al. (2020) reforçam que a conectividade deve ser entendida como condição habilitadora da transformação produtiva no meio rural. As tecnologias de informação e comunicação são elemento-chave para a modernização da agricultura, associando-as tanto à sustentabilidade quanto à ampliação do acesso à informação, com implicações relevantes para pequenos produtores e agricultores familiares. Os autores destacam, que entre as tecnologias digitais estão a obtenção de informações, planejamento das atividades, gestão da propriedade, comercialização, mapeamento do uso da terra e previsão de riscos climáticos. Ainda assim, o enfoque permanece centrado na digitalização da atividade agropecuária e no ecossistema de inovação do setor, não em uma estratégia territorial de implantação da infraestrutura de conectividade.

Na literatura internacional, observa-se avanço metodológico maior na direção do planejamento espacial da conectividade rural. Moncayo-Martínez e Salcedo (2023), por exemplo, propõem um algoritmo para expansão de fibra óptica em comunidades rurais mexicanas com base em OpenStreetMap, matriz de distâncias viárias, árvore geradora mínima e critérios de priorização associados à população atendida e ao comprimento da rede. O modelo permite ordenar a conexão das localidades conforme a comunidade mais próxima, a mais populosa ou a melhor relação entre população coberta e quilometragem de fibra, tendo sido testado em 597 comunidades. Já o estudo de Mayowa (2025) mobiliza GIS, análise de redes, análise multicritério e *cost-distance analysis* para identificar áreas desassistidas, simular cenários de implantação e priorizar zonas de investimento com base em necessidade populacional, dificuldade do terreno, proximidade à infraestrutura e custo. Apesar desses avanços, o foco de ambos permanece predominantemente infraestrutural e demográfico: as variáveis de priorização não incorporam características territoriais produtivas, estrutura fundiária ou públicos rurais específicos.

É justamente nesse ponto que este trabalho busca avançar. Ao combinar dados georreferenciados com atributos territoriais, produtivos e fundiários em um modelo de planejamento espacial, a proposta desloca a análise da constatação da desigualdade digital ou da otimização de rotas para um instrumento de política pública orientado por equidade, eficiência e relevância socioeconômica. Assim, a conectividade deixa de ser apenas um problema de cobertura técnica e passa a ser tratada como infraestrutura estruturante do

desenvolvimento rural, com potencial para apoiar não apenas a inclusão digital, mas também ações em saúde, educação, logística, comercialização agrícola e conservação ambiental.

3. Metodologia

3.1 Mapeamento das tipologias de domicílios

O mapeamento das tipologias de domicílios foi obtido de Grupo de Políticas Públicas (GPP, 2024) no qual foram utilizados dados do IBGE (2024), especificamente do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE) atualizados do Censo Demográfico de 2022, divididos em categorias. Para fins deste estudo, as categorias domicílios particulares e coletivos, estabelecimentos de saúde, estabelecimentos de outras finalidades, edificações em construção ou reforma, e estabelecimentos religiosos são doravante denominados “domicílios”.

Utilizando uma abordagem territorial espacial, os domicílios foram classificados a partir da combinação de diferentes fontes de dados: Cadastro Ambiental Rural (CAR); Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF); Sistema Nacional de Certificação de Imóveis Rurais (SNCI); Unidades de Conservação (UC); informações de operação de crédito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF); Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF); e, Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF).

A partir dessa metodologia, GPP (2024) identificou os domicílios, em todo território nacional, pertencentes a Agricultura Familiar de forma inequívoca (aqui denominado como “AF”) e domicílios que podem ser AF pelo tamanho do imóvel, mas sem confirmação pela ausência de variáveis acessórias, por exemplo, sobre as fontes de renda e trabalho (aqui denominado “pequenos”). Os demais pontos, que não se enquadram nas tipologias de AF e pequenos, foram classificados como “outros imóveis”, referindo-se as propriedades rurais de tamanho médio ou grande. Os domicílios localizados em Áreas Urbanizadas foram denominados como “Urbano” (IBGE, 2019). Por fim, os domicílios remanescentes não incluídos nas demais categorias foram denominados como “Sem classe”. A Tabela 1 sumariza o número total de domicílios em cada tipologia e na área urbana. Foram identificados quase 10 milhões de domicílios como pertencentes a classes de AF e pequenos.

Tabela 1. Número de domicílios por tipologia dos pontos avaliados

Tipologia de domicílios	Total de domicílios	
	Nº (mil)	Partic. (%)
AF e Pequenos (total)	9.942	9,3
AF	4.730	4,4
Pequenos	5.212	4,9
Outros Imóveis	4.191	3,9
Urbano	87.817	82
Sem Classe	5.093	4,8
Total (AF e pequenos + Urbano)	107.044	100

Fonte: adaptado de GPP (2024).

2.2 Aspectos técnicos da simulação de expansão da disponibilidade (oferta) de sinal de internet

As tecnologias de torres, *bachhaults*, antenas, rádios e demais equipamentos necessários para a instalação de tecnologia 4G¹ consistem na camada principal para expansão da oferta de sinal de internet no meio rural. Os aspectos técnicos para a simulação da expansão dessas tecnologias seguem a metodologia proposta por GPP (2024).

Na tecnologia 4G, as frequências não utilizadas do espectro de televisão, conhecidas como "espaços brancos" ou TV White Space (TVWS), oferecem características vantajosas para áreas rurais devido à sua capacidade de cobrir grandes áreas², mesmo através de obstáculos como paredes e vegetação. Essa tecnologia, embora semelhante na infraestrutura ao 4G, isto é, requer a instalação de uma estação base em uma torre conectada à internet para transmitir o sinal, e difere nos aspectos técnicos dos equipamentos.

Na análise dos cenários de simulação para a expansão da oferta de internet em áreas rurais, foram consideradas tanto a instalação de novas infraestruturas de 4G quanto o aproveitamento da infraestrutura existente para a instalação de TVWS. Após a consolidação da infraestrutura em determinado cenário, foi adicionalmente calculado um potencial de inclusão de cobertura se adotada a alternativa de equipamentos de internet via satélite. Esta possibilidade, são alternativas residuais aos domicílios não atendidos, mas não foi adotada como direcionadora do modelo de simulação de expansão da cobertura.

A tecnologia de Internet 4G apresenta um alcance de até 3 km. Já a tecnologia de Internet White Space (TVWS), que utiliza frequências de televisão ociosas, permite uma cobertura de até 10 km para comunicação. A internet por satélite, por sua vez, não apresenta

¹ Devido a defasagem da tecnologia 3G frente à 4G, apenas foi considerada a expansão com a tecnologia 4G.

² Alcance máximo de 10 quilômetros para comunicação, mais de três vezes superior ao alcance máximo de 3 quilômetros com a tecnologia 4G.

limite de alcance geográfico, sendo uma solução viável para áreas remotas. A conexão via *rooftop*, baseada em pontos elevados de recepção e retransmissão de sinal, oferece alcance de 1 km para comunicação.

A definição dos raios de cobertura levou em consideração a qualidade do sinal. No caso das tecnologias 4G e TVWS, quando a qualidade do sinal é classificada como “Muito Alta”, considera-se que há cobertura suficiente. Essas estimativas foram baseadas na localização dos domicílios rurais, conforme dados da base CNEFE.

A estratégia de simulação da expansão de infraestrutura se baseou na definição de pontos potenciais de instalação. Utilizando um algoritmo, foram simulados aleatoriamente 1.000 pontos de instalação de infraestrutura num raio de 20 quilômetros a partir da infraestrutura de *backhaul* existente. Para selecionar o local ótimo de instalação, o modelo identificou o ponto que oferecia a melhor relação custo-benefício, isto é, o menor custo médio por domicílio atendido, considerando todos os domicílios das categorias definidas nas seções anteriores. Este procedimento foi executado de forma iterativa, garantindo que cada expansão da infraestrutura atualizasse a estrutura de *backhaul* existente, que foi então considerada nas simulações futuras.

2.3 Custo-benefício da disponibilidade (oferta) de sinal de internet

O algoritmo de simulação para a expansão da infraestrutura de internet (4G e TVWS³) considera a instalação de nova infraestrutura, em locais a até 20 quilômetros de distância de infraestruturas de *backhaul* existentes, por meio de amostra aleatória de 1.000 pontos possíveis. O objetivo é maximizar a relação custo-benefício da nova oferta de sinal, por meio de índice de custo-benefício, calculado pela divisão do custo total de instalação e operação da infraestrutura pelo número de domicílios de todas as tipologias atendidos, resultando no custo médio por domicílio atendido. Assim, quanto menor o custo médio por domicílio, mais vantajosa é a relação custo-benefício. Este processo é executado de forma iterativa, com atualizações contínuas na infraestrutura disponível com base nos resultados da simulação anterior.

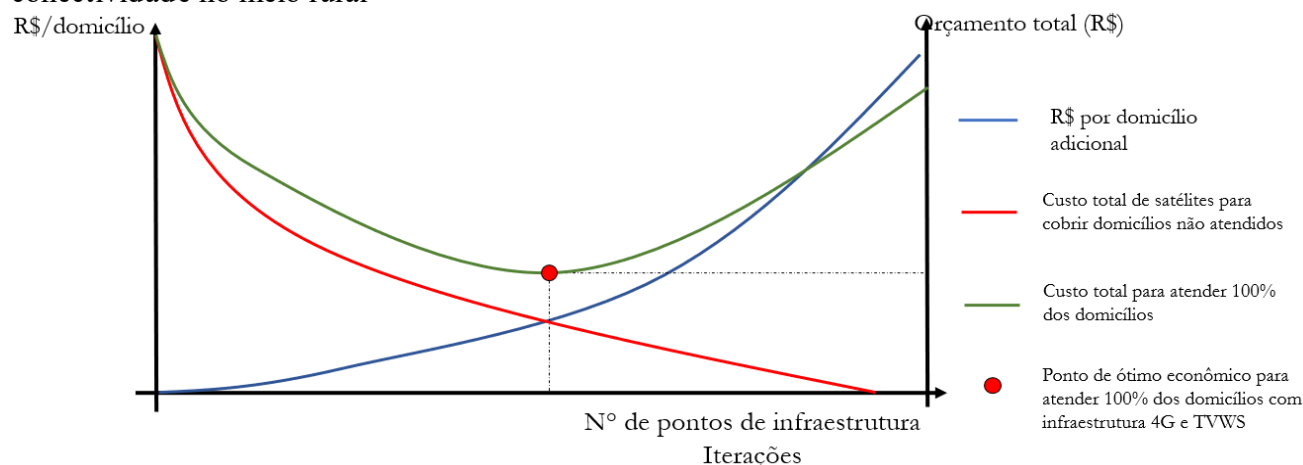
Inicialmente, foram utilizados todos os pontos de domicílios, tanto em áreas urbanas quanto rurais, como direcionadores do modelo de expansão da oferta de sinal de internet. Foi possível realizar o modelo para aproximadamente 50 mil iterações (pontos de simulação), contudo, esse número de iterações não foi suficiente para cobrir todos os domicílios do país,

³ Para a tecnologia TVWS somente foi considerada a possibilidade de uso de torres previamente existentes, porém não habilitadas com os equipamentos de rádio para oferta do sinal.

atingindo 97,5% de cobertura. Esse cenário de expansão "Business-as-Usual" (BAU) reflete um modelo no qual a intensidade da demanda por conectividade (quanto maior o número de domicílios, maior a demanda) predomina na definição da expansão da rede, similar ao modelo de negócios de empresas privadas.

A cobertura de internet via satélite não foi incluída nas métricas de custo-benefício. Esta decisão assegura que a consideração dessas infraestruturas, que proporcionam cobertura pontual, não influencie a alocação de novas torres e radio bases, as quais oferecem uma abrangência maior, potencialmente beneficiando as áreas de produção agropecuária. No entanto, foi realizado um cálculo de custos para os domicílios que poderiam ser atendidos por a rede satelital como uma verificação de *backstop*⁴ (Figura 1) indicando os locais onde o satélite ofereceria um melhor custo-benefício em comparação às alternativas 4G e TVWS, apesar de proporcionar um "benefício" diferenciado, focado na cobertura pontual do domicílio e não na área de produção agropecuária como um todo.

Figura 1. Representação esquemática da análise custo-benefício para a ampliação da conectividade no meio rural



Fonte: elaboração própria, 2025.

2.4 Custos de infraestrutura para oferta de sinal de internet

Este estudo adotou uma abordagem simplificada para os custos de implantação (investimentos ou *Capital Expenditure* – CAPEX) e operação (*Operational Expenditure* – OPEX), baseando-se principalmente nas diretrizes do Conselho Gestor do Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (CG-Fust) para o ano de 2023 (Brasil, 2023). Essas diretrizes definiram os projetos elegíveis para a utilização dos recursos do Fust, instituído pela Lei 9.998, de 17 de agosto de 2000 (Brasil, 2000). Além disso, o estudo se apoiou

⁴ Considerado como o ponto em que uma expansão de disponibilidade de internet de fonte alternativa, como a conexão via satélite, passa a ser economicamente mais vantajosa ou tecnicamente preferível às infraestruturas de 4G ou TVWS.

no trabalho de Lopez et al. (2022), uma colaboração técnica entre o Grupo BID e a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), que avaliou a expansão da conectividade em áreas rurais.

Os parâmetros de investimento (CAPEX) para a implantação da infraestrutura de conexão por meio da rede 4G baseiam-se em componentes passivos (torre, cabo) e ativos (antenas, equipamento de link de rádio), conforme descrito pelo CG-Fust (Brasil, 2023), e os valores máximos estipulados são apresentados no Quadro 1. Nota-se que há diferenças entre as torres instaladas em telhados (*rooftop*) e as torres dedicadas. Em relação aos elementos passivos, é importante destacar que o custo da fibra ótica é calculado por quilômetro, enquanto os equipamentos de rádio requerem enlaces a cada 5 quilômetros ao longo da rede. Considerando que o modelo de simulação abrange um raio de 20 quilômetros, os novos pontos de oferta de sinal podem necessitar de até 20 quilômetros de cabos de fibra ótica e no máximo 4 enlaces de rádio. Portanto, o investimento necessário para a implantação de cada novo ponto é calculado pelo modelo de simulação, utilizando fórmulas adequadas que se baseiam nos parâmetros apresentados anteriormente.

Quadro 1. Custo específico para cada tipo equipamento de implantação da internet 4G

Especificação do equipamento	Custo (R\$)
Elementos ativos	
Estação Rádio Base 4G Urbana ou rural (Torre Telhado + Rádio+ <i>Backhaul</i> + Gabinete)	470.834,24
Estação Rádio Base 4G Urbana ou rural (Rádio+ <i>Backhaul</i> + Gabinete)	326.487,62
Elementos passivos	
Torre	445.955,54
Cabo fibra ótica por quilômetro	61.763,45
Rádio de alta capacidade	107.821,07

Fonte: CG-Fust (2023).

O equipamento de rádio para propagação do sinal de TVWS considerado suporta até 120 conexões por equipamento, a um custo de USD 10.000,00 (R\$ 55.900,00). Além disso, para a utilização efetiva do sinal e sua integração com sistemas Wi-Fi, cada usuário necessita de um Multiplexador de Equipamentos nas Instalações do Cliente (CPE - *Customer Premises Equipment*), com um custo individual de USD 1.000,00 (R\$ 5.590,00). Assim, o CAPEX atribuído para cada 120 domicílios conectados foi de USD 10.000,00 (R\$ 55.900,00), com um custo adicional de USD 1.000,00 (R\$ 5.590,00) por domicílio conectado.

Além dos investimentos iniciais, espera-se que as empresas também incorram em custos e despesas operacionais (OPEX), necessários para a manutenção e expansão das atividades empresariais. No entanto, a variação no impacto desses componentes decorrente do aumento da infraestrutura apresenta desafios para a sua mensuração. Neste contexto, Lopez et al. (2022)

propuseram uma estratégia para estimar o OPEX com base no CAPEX, na proporção de 10% do CAPEX passivo e de 5% do CAPEX ativo.

$$OPEX = CAPEX_{Passivo} * 10\% + CAPEX_{Ativo} * 5\% \quad (1)$$

onde o $CAPEX_{Passivo}$ é a composição dos custos de implementação da torre e do cabeamento de fibra óptica até o local de implementação da antena, e o $CAPEX_{Ativo}$ seria a composição do rádio, *backhaul* e gabinete.

Adicionalmente, considerou-se um benefício fiscal para o OPEX relacionado ao Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ) e à Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), uma dedução de 34%.

Contudo, é importante destacar que o OPEX é recorrente anualmente, enquanto o CAPEX representa um desembolso inicial para o estabelecimento do sinal de internet. Devido à variação no valor do dinheiro ao longo do tempo, foi preciso transformar os desembolsos anuais em um único valor presente. Para isso, adotou-se o procedimento de cálculo do Valor Presente (VP) (Assaf Neto, 2020). A taxa de desconto utilizada baseia-se no *benchmark* nominal de operações do Fust, imputado neste estudo com 7,6% ao ano, apesar de existirem diversas taxas conforme as operações. Essa taxa foi ajustada para termos reais, considerando uma inflação média de 4% ao ano, resultando em uma taxa de desconto real de 3,46% ao ano. Foi considerado o período de 15 anos como horizonte temporal de operação, com fundamento no Fust.

$$VP = \frac{FV}{(1 + i)^t} \quad (2)$$

onde: VP : Valor presente; FV : Valor futuro (fluxo de caixa futuro); i : Taxa de desconto (taxa de juros por período); t : Número de períodos até o fluxo de caixa.

Em relação à conexão via satélite, que não são fundamentais para a infraestrutura de expansão da oferta de internet, foram realizados cálculos para determinar o número de usuários e os recursos potencialmente necessários para cada conexão domiciliar. Adotou-se um parâmetro do CG-Fust (Brasil, 2023), que estabelece um custo de R\$ 12.742,49 por conexão via satélite.

Por fim, dado que o mercado de infraestrutura, incluindo rádios, antenas, torres e cabeamento, é concentrado, há simplificações no dimensionamento de investimentos e custos para a ampliação da infraestrutura. Por exemplo, o custo de frete dos componentes pode variar pelo território, podem existir diferenciais na mão de obra para instalação e execução dos serviços, entre outras variações nos preços dos insumos, que podem resultar empiricamente em diferenças nos custos médios por domicílio. Além disso, a própria expansão da demanda por

itens de infraestrutura poderia gerar efeitos de equilíbrio na economia, levando a ajustes de preços e disponibilidade dos insumos. Portanto, a análise considera um equilíbrio parcial, utilizando apenas uma comparação estática. Esta abordagem é importante para entender as variações nos domicílios atendidos, custo-benefício e recursos necessários à medida que a rede se expande, mas a definição exata de recursos deve ser abordada com cautela.

4. Resultados

Por meio do modelo de simulação, foi possível avaliar a adição de 50.000 pontos de infraestrutura, proporcionando uma cobertura adicional de 12,61 milhões de domicílios no Brasil, o que representa 11,8% do total de domicílios do país (Tabela 2). Assim, a cobertura aumentaria de aproximadamente 91,7 milhões de domicílios (86,1% dos domicílios do país) para 104,4 milhões de domicílios (97,5%). Para alcançar essa expansão, seriam necessários investimentos, custos e despesas operacionais, totalizando R\$ 86,2 bilhões, com um custo médio de R\$ 6.836,05 por domicílio adicional atendido.

Tabela 1. Resultados do modelo de simulação para expansão da disponibilidade (oferta) de sinal de internet no Brasil: domicílios, pontos de infraestrutura e custos para conjuntos de 2,5 milhões de domicílios adicionais cobertos

Ordem de simulação	Domicílios adicionais atendidos (mil)	Percentual acumulado de domicílios atendidos (% do total)	Pontos adicionais de infraestrutura	Custo da infraestrutura (R\$ bilhões)	Custo por domicílio (R\$)
1	2.500	88,0	2.187	3,37	1.348,25
2	2.500	90,4	4.676	7,31	2.924,53
3	2.500	92,7	6.600	12,73	5.094,44
4	2.500	95,0	9.713	19,13	7.653,45
5	2.500	97,4	24.840	40,48	16.192,68
6	114	97,5	1.984	3,19	28.013,15
Total	12.613	97,5	50.000	86,22	6.836,05

Fonte: elaboração própria.

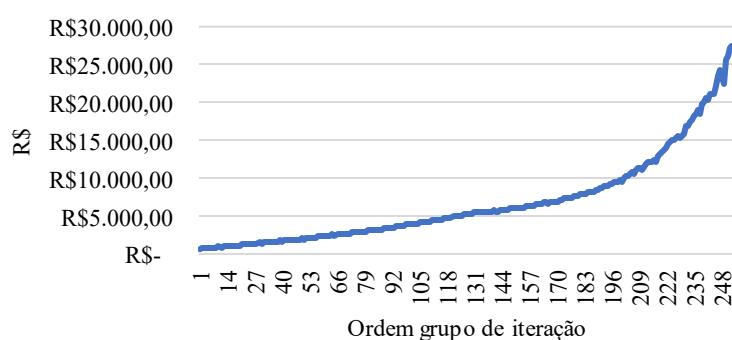
A análise por segmentos de 2,5 milhões de domicílios mostrou que o primeiro conjunto de domicílios adicionais atendidos exigiria 2.187 pontos de infraestrutura ao custo de R\$ 3,4 bilhões, resultando em um custo de R\$ 1.348,25 por domicílio. No entanto, conforme a infraestrutura se expande para áreas de menor densidade demográfica, os custos aumentam proporcionalmente à cobertura adicional. Por exemplo, para o quinto conjunto de expansão, que abrange de 10 milhões a 12,5 milhões de domicílios, seriam necessários 24.840 pontos de infraestrutura, utilizando R\$ 40,5 bilhões em recursos, a um custo de R\$ 16.192,68 por domicílio. Isso representa um aumento de 1.035,8% nos pontos de infraestrutura e um aumento de 1.101% nos recursos financeiros necessários em comparação com o primeiro conjunto. A

análise do último conjunto, que cobre 114 mil domicílios adicionais, mostra que o custo ultrapassaria R\$ 28.013,15 por domicílio.

Embora tenha sido realizada a simulação com 50 mil pontos de infraestrutura, observou-se que, após 29.147 pontos, o custo médio por 10.000 domicílios ultrapassaria o limite de R\$ 12.742,49 por conexão via satélite. Caso esse limiar seja considerado, 20.853 pontos de infraestrutura, ao custo de R\$ 33,72 bilhões, não seriam implementados, implicando necessidade de 1,75 milhão de domicílios atendidos por satélite. O custo do atendimento via satélite de R\$ 22,26 bilhões seria R\$ 11,45 bilhões menor (34%) em comparação com a expansão da infraestrutura física. No entanto, foram resumidos os resultados com base na hipótese de atendimento de todos os domicílios pela expansão da infraestrutura, levando em consideração os potenciais benefícios da área de cobertura (além dos domicílios) e a segurança nacional proporcionada pela autonomia na prestação do serviço.

A Figura 2 ilustra a evolução do custo-benefício médio adicional por grupo de 50.000 domicílios pela infraestrutura de oferta de sinal simulados pelo modelo. Os dados mostram que o custo-benefício para o primeiro grupo de domicílios seria de R\$ 615,38, enquanto para o último grupo atinge R\$ 27.453,31 refletindo um aumento superior a 4.361% no custo por unidade adicional atendida. Esse aumento destaca o desafio de expandir a conectividade em áreas rurais, especialmente aquelas mais distantes dos centros urbanos, onde a densidade populacional é menor e os custos de expansão são proporcionalmente mais altos.

Figura 2. Custo médio por 50.000 domicílios adicionais atendidos pela infraestrutura de oferta de sinal



Fonte: elaboração própria.

3.1 Resultados por tipologia do público atendido

Conforme mencionado anteriormente, este estudo caracteriza os domicílios em todo o território nacional e destaca, dentro desse universo, a Agricultura Familiar (AF) e os pequenos estabelecimentos rurais. Este recorte permite analisar a necessidade de ações para expansão da disponibilidade de sinal de internet. A Tabela 2 exibe os resultados do modelo de simulação

por tipologia de domicílios, apresentando o público total, aquele já atendido pela infraestrutura atual de internet e os adicionalmente atendidos pelo modelo de simulação ao final de todas as iterações e instalações de infraestrutura discutidas previamente.

Em relação ao total de domicílios, a maioria (82%) está localizada em áreas urbanas, enquanto 13,2% estão em áreas rurais e 4,8% são imóveis sem classe, representando o público-alvo. Desses, 4,3% dos domicílios estão categorizados como AF e os outros 4,9% estão classificados como pequenos produtores (legenda “Pequenos” na Tabela 2).

Os domicílios urbanos possuem uma cobertura atual de sinal de internet de 95,6%. Em contraste, nas áreas rurais, outros imóveis possuem cobertura de 70,1%, seguido por pequenos produtores, que em relação aos AF e Pequenos, têm a maior cobertura percentual, embora ela represente apenas 34,5% dos domicílios desta tipologia. No geral, somando AF e pequenos, 29,9% dos domicílios estão atualmente atendidos. O total de domicílios dentro da tipologia AF para expansão da oferta de sinal é de 3,5 milhões, e os demais pequenos produtores (legenda Pequenos na Tabela 2) somam 3,4 milhões, totalizando 6,8 milhões de domicílios para expansão, ou seja, atualmente não atendidos.

Tabela 2. Resultados gerais da disponibilidade atual e do modelo de simulação para expansão da disponibilidade de sinal de internet no Brasil: tipologias de domicílios

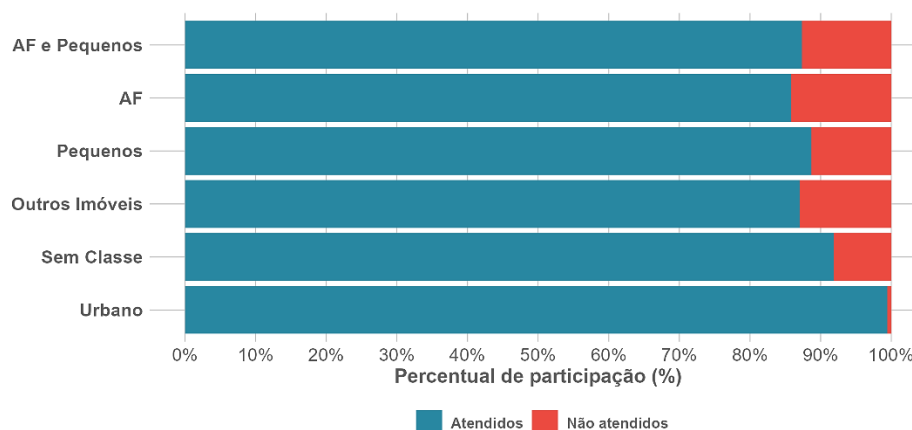
Tipologia de domicílios	Total de Domicílios		Domicílios atendidos (atual)		Domicílios adicionais atendidos (simulado)		Domicílios finais atendidos		Domicílios não atendidos	
	Nº (mil)	Partic. (%)	Nº (mil)	(%)	Nº (mil)	(%)	Nº (mil)	(%)	Nº (mil)	(%)
AF e Pequenos (total)	9.942	9,3	2.971	29,9	5.714	57,5	8.685	87,3	1.258	12,7
AF	4.730	4,3	1.174	24,8	2.888	61,06	4.062	85,87	669	14,14
Pequenos	5.212	4,9	1.797	34,5	2.826	54,2	4.623	88,7	589	11,3
Outros Imóveis	4.191	3,9	2.938	70,1	710	16,9	3.648	87	544	13
Urbano	87.817	82	83.963	95,6	3.371	3,8	87.334	99,4	484	0,6
Sem Classe	5.093	4,8	1.863	36,6	2.818	55,3	4.681	91,9	412	8,1
Total	107.044	100	91.734	85,7	12.613	11,8	104.347	97,5	2.697	2,5

Fonte: elaboração própria.

O modelo de simulação para a expansão da oferta de sinal de internet resultou na cobertura de qualidade para comunicação de 5,7 milhões de domicílios adicionais entre Agricultura Familiar (AF) e pequenos produtores, representando 57,5% do total de domicílios desse público (Tabela 2). Combinado com o atendimento atual, a nova infraestrutura elevaria a cobertura para 87,3% do público de AF e pequenos produtores, conforme ilustrado na Figura 6. A expansão da conectividade para os 12,7% de domicílios atualmente não atendidos pela

simulação, poderia ser viabilizada por meio da tecnologia via satélite, com um custo estimado de R\$ 16,0 bilhões pela referência dos valores limítrofes do CG-Fust (Brasil, 2023).

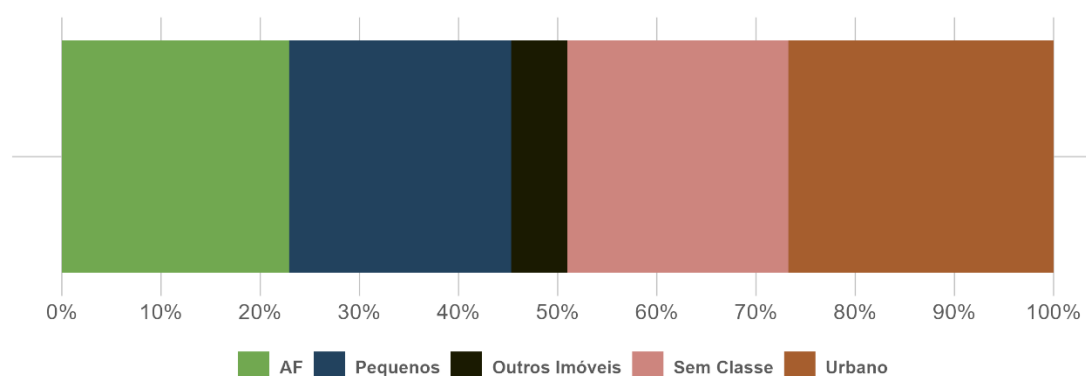
Figura 6. Percentual de domicílios atendidos com sinal de internet no Brasil após o modelo de simulação da expansão da cobertura



Fonte: elaboração própria.

Da totalidade dos domicílios adicionais atendidos por sinal de internet, 45,3% pertenceriam à AF e pequenos produtores. Outros imóveis representariam 5,6%, sem classe com 22,3% e domicílios em áreas urbanas 26,7%, conforme Figura 7.

Figura 7. Participação percentual por perfil de domicílios no total da ampliação da disponibilidade de sinal de internet no Brasil após o modelo de simulação



Fonte: elaboração própria.

Além da disponibilidade de sinal de internet de qualidade Muito alta (direcionada para “comunicação”), também é possível considerar sinais de qualidade Alta (direcionada para “digitalização”), conforme detalhado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Isso possibilitaria que 14,4% dos domicílios de AF e Pequenos tivessem algum nível de acesso à conectividade, mesmo que com qualidade inferior, elevando o total de domicílios desse público com acesso ao sinal para 95,1%.

Tabela 3. Resultados do modelo de simulação para expansão da disponibilidade de sinal de internet no Brasil: qualidade digitalização

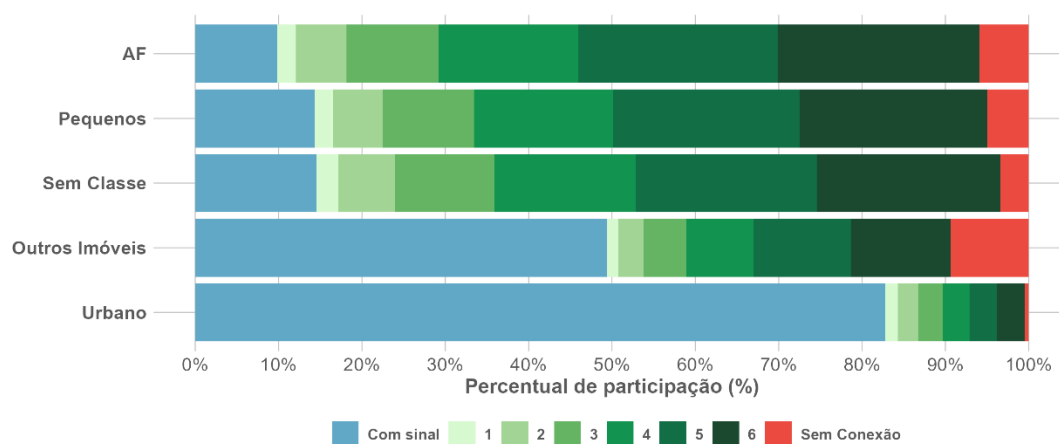
Tipologia dos domicílios	Total de domicílios		Domicílios adicionais atendidos (digitalização)	
	Nº (mil)	Partic. (%)	Nº (mil)	(%)
AF e Pequenos	9.942	9,3	776	7,8
AF	4.730	4,4	377	0
Pequenos	5.212	4,9	399	7,7
Outros Imóveis	4.191	3,9	269	6,4
Urbano	87.817	82	5	0
Sem Classe	5.093	4,8	269	5,3
Total	107.044	100	1.319	1,2

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

3.2 Resultados por tipologia do público atendido e agrupamento de simulação

O modelo de simulação opera por meio de um algoritmo iterativo que visa otimizar a relação custo-benefício (minimizando o custo médio por domicílio) na expansão da disponibilidade de sinal de internet em todo o território. Devido a isso, observa-se uma heterogeneidade estrutural na localização desses públicos em relação à infraestrutura já existente. Por exemplo, públicos situados mais próximos à rede atual, como em áreas urbanas, tendem a ser atendidos antes daqueles em locais mais remotos. Diante disso, esta seção detalha os resultados da simulação agrupados por segmentos de 2,5 milhões de domicílios (grupos 1-5), como mostrado na Figura 8, evidenciada pelo crescimento das barras verdes.

Figura 8. Percentual de domicílios atendidos por sinal de internet no Brasil por agrupamento de simulação

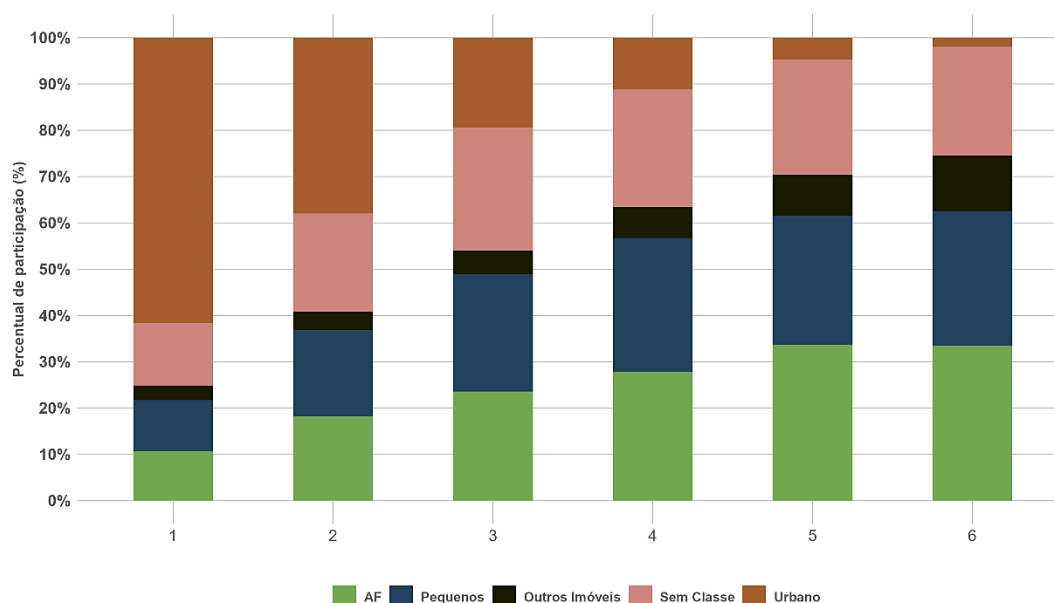


Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Conforme demonstrado anteriormente, o custo médio por domicílio atendido no primeiro agrupamento de simulação foi de R\$ 1.348,25, enquanto no quinto agrupamento, esse custo aumentou para R\$ 16.192,68, representando um crescimento de 1.101,0%. Este

incremento destaca os desafios econômicos associados à expansão da conectividade em regiões menos densamente povoadas e mais remotas.

Figura 9. Participação percentual por tipologia de domicílios no total da ampliação da disponibilidade de sinal de internet no Brasil por agrupamento de simulação



Fonte: resultados originais da pesquisa.

Esta ampliação de domicílios das tipologias AF e pequenos produtores sendo atendidos com a consolidação da infraestrutura no decorrer dos agrupamentos de simulação é justificado pela diminuição do atendimento de público em áreas urbanas e outros tipos de imóveis. Haveria aumento de aproximadamente 1,5 milhão de domicílios urbanos no primeiro agrupamento de simulação, o que corresponderia a 61,6% dos domicílios atendidos neste agrupamento, ilustrado na Figura 9. Contudo, a participação do público urbano decresceria gradativamente, atingindo apenas 4,7% no quinto agrupamento. Por outro lado, a participação de todos os públicos da AF e pequenos produtores crescería. Como mostrado anteriormente, na Tabela 2 e Figura 6, cerca de metade dos domicílios adicionais atendidos com sinal de internet estariam na tipologia de pequenos, enquanto a outra metade estaria dentro de AF, o que fica representado nas proporções da Figura 9.

5. Considerações finais

Este estudo evidenciou que a conectividade no meio rural brasileiro permanece marcada por desigualdades territoriais e sociais, afetando de forma mais intensa a Agricultura Familiar e os pequenos produtores. Entre os 9,94 milhões de domicílios classificados nesses grupos, apenas 29,9% dispõem atualmente de sinal de internet de maior qualidade. Ao mesmo tempo, os resultados mostram que existe espaço para expansão: a simulação indica potencial para

elevar a cobertura total para 97,5% dos domicílios avaliados e para 87,3% entre AF e pequenos produtores.

Entretanto, o trabalho também demonstra que a universalização da conectividade rural não pode ser tratada como simples extensão incremental da lógica de mercado. À medida que a rede avança sobre áreas mais remotas e menos densamente povoadas, os custos crescem de forma acentuada: enquanto os primeiros 2,5 milhões de domicílios adicionais poderiam ser conectados a um custo médio de R\$ 1.348,25 por unidade, nas etapas mais avançadas esse valor supera R\$ 16 mil por domicílio. Isso revela que políticas baseadas exclusivamente em densidade populacional, escala ou menor custo unitário tendem a reproduzir e até aprofundar a exclusão digital justamente onde ela é mais severa.

Os resultados também sugerem que uma estratégia mais efetiva para o meio rural brasileiro deve combinar diferentes soluções tecnológicas e institucionais. A complementaridade entre redes terrestres, como 4G e TVWS, e soluções via satélite aparece como elemento central para ampliar cobertura com maior racionalidade econômica, especialmente em áreas dispersas e de difícil acesso, onde o satélite pode representar alternativa mais vantajosa do que a expansão física convencional. Mais do que um problema de telecomunicações, portanto, a conectividade no campo deve ser compreendida como infraestrutura estratégica para o desenvolvimento rural, com efeitos potenciais sobre produção, comercialização, acesso a políticas públicas, assistência técnica, educação, saúde e permanência da população no território. A focalização analítica sobre agricultores familiares e outros grupos vulneráveis reforça, ainda, que a inclusão digital pode ampliar a efetividade de políticas já existentes, como crédito rural e ATER, ao permitir maior integração entre bases territoriais, produtivas e sociais.

Por fim, a principal contribuição do estudo reside na integração de bases fundiárias, produtivas e territoriais em larga escala com modelos espaciais de propagação de sinal e algoritmos de otimização de custo-benefício, produzindo uma ferramenta replicável para o planejamento público. Ainda assim, os resultados devem ser interpretados à luz de algumas limitações: a qualidade do sinal foi estimada com base em modelos teóricos, sem validação empírica de campo; as bases utilizadas podem conter lacunas ou desatualizações, sobretudo em áreas mais isoladas; e o modelo não incorpora plenamente restrições políticas, institucionais e logísticas da implementação real. Como agenda futura, recomenda-se avançar para simulações sem o limite atual de iterações, incorporar validação empírica da cobertura estimada e desenvolver cenários de priorização voltados especificamente à Agricultura Familiar e aos

pequenos produtores, permitindo comparar custos, cobertura e impactos distributivos de diferentes estratégias de expansão.

Referências

- ALARCON LOPEZ, L. G.; AYALA ROA, M.; MARQUES DA COSTA JACOMASSI, E. *C2DB: crowdsourcing para identificar brechas digitais y estimar el costo de cerrarlas*. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- ANAYA FIGUEROA, T.; MONTALVO CASTRO, J.; CALDERÓN, A. I.; ARISPE ALBURQUEQUE, C. Escuelas rurales en el Perú: factores que acentúan las brechas digitales en tiempos de pandemia (COVID-19) y recomendaciones para reducirlas. *Educación*, [S.l.], v. 30, n. 58, p. 11-33, 2021.
- ASSAF NETO, A. *Finanças corporativas e valor*. São Paulo: Atlas, 2020.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Banco Central do Brasil*. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2026.
- BANIK, T.; VN, N. Farming in the digital age: unleashing the power of farming as a service (FaaS). *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, [S.l.], v. 7, p. 99-102, 2024.
- BHAERMAN, R. D. *Integrating Education, Health, and Social Services in Rural Communities: Service Integration through the Rural Prism*. Philadelphia: Research for Better Schools, 1994.
- BRASIL. *Lei nº 9.998, de 17 de agosto de 2000*. Institui o Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST). Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19998.htm. Acesso em: 30 mar. 2026.
- BRASIL. Ministério das Comunicações. *Caderno de projetos CG-FUST 2023: versão final aprovada*. Brasília, DF: Ministério das Comunicações, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcom/pt-br/arquivos/fust/caderno-de-projetos-cg-fust-2023-versao_final_aprovada.pdf. Acesso em: 30 mar. 2026.
- CAVALCANTE, A. M.; MARQUEZINI, M. V.; MENDES, L.; MORENO, C. S. 5G for remote areas: challenges, opportunities and business modeling for Brazil. *IEEE Access*, [S.l.], v. 9, p. 10829-10843, 2021.
- CERNIK, J. A. Education and Rural America: interconnected problems. In: *HANDBOOK OF RESEARCH ON SOCIAL INEQUALITY AND EDUCATION*. [S.l.]: IGI Global, 2019. p. 149-166.
- COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL (CGI.br). *Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros: TIC Domicílios 2023*. São Paulo: Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR – NIC.br, 2024. Livro eletrônico. Disponível em: https://www.cgi.br/media/docs/publicacoes/2/20241104102822/tic_domicilios_2023_livro_el_electronico.pdf. Acesso em: 30 mar. 2026.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB/CAR). *GeoServer – CAR (Cadastro Ambiental Rural)*. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://geoserver.car.gov.br>. Acesso em: 6 jul. 2025.

EMMANUEL, M. *Leveraging GIS for Rural Broadband Deployment Strategy Optimization*. [S.l.], 2025. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/392713549_Leveraging_GIS_for_Rural_Broadband_Deployment_Strategy_Optimization. Acesso em: 30 mar. 2026.

FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS INDÍGENAS (FUNAI). *Geoserver FUNAI*. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://geoserver.funai.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2026.

GOVERNO DO BRASIL. *Unidades de conservação*. Brasília, DF, 2025. Conjunto de dados. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/unidadesdeconservacao>. Acesso em: 6 jul. 2025.

GRUPO DE POLÍTICAS PÚBLICAS; FUNDAÇÃO DE ESTUDOS AGRÁRIOS LUIZ DE QUEIROZ. *Ampliação do acesso da agricultura familiar aos mercados nacionais e internacionais, fortalecendo políticas públicas e projetos estratégicos relacionados à bioeconomia, ao extrativismo e à biodiversidade*. [S.l.]: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura; Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/resultados-definitivos.html>. Acesso em: 30 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular em domicílios brasileiros*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/f070dbf1d5a8e94ff1d37b7b516e0eb5.pdf. Acesso em: 30 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-fins-estatisticos.html>. Acesso em: 30 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Áreas urbanizadas*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Cartas e mapas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 30 mar. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). *Exportação de dados vetoriais (CSV/SHAPE)*. [S.l.], 2025. Disponível em: https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py. Acesso em: 30 mar. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). *Certificação de imóveis rurais*. [S.l.], 2025. Disponível em: <http://certificacao.incra.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2026.

JOLEX, A.; TUFA, A. The effect of ICT use on the profitability of young agripreneurs in Malawi. *Sustainability*, [S.l.], v. 14, n. 5, art. 2536, 2022.

JUDIJANTO, L.; ZAKI, A.; RAZAK, F. The Precision Agriculture Revolution in the United States: the utilization of drone technology and Big Data. *Techno Agriculturae Studium of Research*, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 137-148, 2024.

KHAN, N.; RAY, R. L.; KASSEM, H. S.; KHAN, F. U.; IHTISHAM, M.; ZHANG, S. Does the adoption of mobile internet technology promote wheat productivity? Evidence from rural farmers. *Sustainability*, [S.l.], v. 14, n. 13, art. 7614, 2022.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; EVANGELISTA, S. R. M. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S. et al. (org.). *Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas*. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 1, p. 20-45. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126214/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2026.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO E AGRICULTURA FAMILIAR. *Plano Safra da Agricultura Familiar 2025/26 terá investimento de R\$ 89 bilhões*. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/noticias/plano-safra-da-agricultura-familiar-2025-26-tera-investimento-de-r-89-bilhoes>. Acesso em: 30 mar. 2026.

MONCAYO-MARTÍNEZ, L. A.; SALCEDO, A. Optimising the Optic Fibre Deployment in Small Rural Communities: the case of Mexico. *Axioms*, [S.l.], v. 12, n. 3, art. 269, 2023.

NEPOMOCENO, T. A. R.; CARNIATTO, I. Correlations between climate resilience in family farming and sustainable rural development. *Ambio*, [S.l.], v. 52, n. 7, p. 1233-1247, 2023.

NGULUBE, P. Leveraging information and communication technologies for sustainable agriculture and environmental protection among smallholder farmers in tropical Africa. *Discover Environment*, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 1-17, 2025.

NIEDERLE, P.; SCHNEIDER, S.; CASSOL, A. (org.). *Mercados alimentares digitais: inclusão produtiva, cooperativismo e políticas públicas*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2021. Recurso eletrônico.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Going Digital in Brazil*. Paris: OECD Publishing, 2020. (OECD Reviews of Digital Transformation). Disponível em: <https://doi.org/10.1787/e9bf7f8a-en>. Acesso em: 30 mar. 2026.

PRAHALATHAN, G.; BABU, S. K. Digitalization and Automation in Agriculture Industry. In: *INNOVATIONS IN THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIOT) AND SMART FACTORY*. [S.l.]: IGI Global Scientific Publishing, 2021. p. 205-216.

TELTONIKA NETWORKS. *Mobile Signal Strength Recommendations*. [S.l.], 2018. Disponível em: https://wiki.teltonika.lt/view/Mobile_Signal_Strength_Recommendations. Acesso em: 30 mar. 2026.