RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

Modelagem Preditiva da Cobertura e do Tráfego do Serviço Móvel Pessoal (SMP) como Instrumento para o Desenvolvimento Tecnológico Municipal

Predictive Modeling of Personal Mobile Service (SMP) Coverage and Traffic as an Instrument for Municipal Technological Development

Henrique Dias Gomes

Resumo

A expansão da conectividade móvel tem ampliado a importância da infraestrutura de telecomunicações para o desenvolvimento tecnológico, econômico e social dos municípios. Nesse contexto, a predição da cobertura e do tráfego do Serviço Móvel Pessoal (SMP) constitui uma ferramenta relevante para o planejamento e a otimização das redes, permitindo identificar padrões de distribuição do sinal, estimar a demanda por conectividade e subsidiar decisões relacionadas à expansão da infraestrutura. Este estudo tem como objetivo analisar a importância da predição de cobertura e tráfego do SMP em âmbito municipal e sua contribuição para o desenvolvimento tecnológico e a inclusão digital. Para tanto, são abordados aspectos relacionados à evolução da telefonia móvel no Brasil, às características dos serviços de comunicação móvel e aos principais modelos de propagação utilizados na estimativa de cobertura, com destaque para os modelos de Lee, Okumura e Hata. A análise evidencia que a utilização de modelos preditivos, associada a informações sobre cobertura e tráfego, pode fornecer subsídios para o planejamento da infraestrutura de telecomunicações e para a identificação de áreas prioritárias para investimentos. Conclui-se que o aprimoramento da capacidade de análise e predição das redes móveis pode contribuir para a melhoria da conectividade, a redução de desigualdades territoriais de acesso e o fortalecimento do desenvolvimento tecnológico em âmbito municipal.

Palavras-chave: Telefonia móvel; Serviço Móvel Pessoal; Cobertura de rede; Tráfego de dados; Predição.

Abstract

The expansion of mobile connectivity has increased the importance of telecommunications infrastructure for the technological, economic, and social development of municipalities. In this context, predicting the coverage and traffic of the Personal Mobile Service (SMP) represents a relevant tool for network planning and optimization, allowing the identification of signal distribution patterns, the estimation of connectivity demand, and the support of decisions regarding infrastructure expansion. This study aims to analyze the importance of predicting SMP coverage and traffic at the municipal level and its contribution to technological development and digital inclusion. To this end, the study addresses aspects related to the evolution of mobile telephony in Brazil, the characteristics of mobile communication services, and the main propagation models used for coverage estimation, with emphasis on the Lee, Okumura, and Hata models. The analysis indicates that the use of predictive models, combined with information on network coverage and traffic, can provide relevant support for telecommunications infrastructure planning and for identifying areas requiring priority investments. It is concluded that improving the analytical and predictive capabilities of mobile networks can contribute to enhanced connectivity, the reduction of territorial inequalities in access to digital services, and the strengthening of technological development at the municipal level.

Keywords: Mobile telephony; Personal Mobile Service; Network coverage; Data traffic; Prediction; Technological development.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

1 INTRODUÇÃO

A conectividade móvel constitui atualmente um dos principais componentes da infraestrutura tecnológica necessária ao funcionamento da sociedade e das atividades econômicas. A expansão dos dispositivos móveis, dos serviços digitais e do acesso à Internet ampliou significativamente a dependência de redes de comunicação capazes de oferecer cobertura adequada, disponibilidade e capacidade compatível com a demanda dos usuários. Nesse contexto, o desempenho das redes de telefonia móvel apresenta implicações que ultrapassam a comunicação individual, alcançando atividades empresariais, serviços públicos, educação, comércio, acesso à informação e diferentes processos relacionados ao desenvolvimento tecnológico.

No âmbito municipal, a disponibilidade e a qualidade da infraestrutura de comunicação móvel assumem particular importância, uma vez que diferenças na cobertura e na capacidade das redes podem influenciar o acesso da população aos serviços digitais e limitar o aproveitamento de oportunidades associadas à transformação tecnológica. A identificação das condições de cobertura e da intensidade de utilização das redes permite compreender melhor a distribuição territorial da conectividade e reconhecer regiões que podem demandar investimentos adicionais em infraestrutura.

Nesse cenário, a predição da cobertura e do tráfego do Serviço Móvel Pessoal (SMP) constitui uma ferramenta relevante para o planejamento e a gestão das redes de telecomunicações. A análise preditiva possibilita estimar o comportamento do sinal em diferentes áreas e avaliar a relação entre a infraestrutura disponível e a demanda por serviços de comunicação. Essas informações podem subsidiar decisões relacionadas à expansão da cobertura, ao dimensionamento da capacidade da rede e à priorização de investimentos, contribuindo para a melhoria da qualidade dos serviços oferecidos à população.

A utilização de modelos de propagação e de técnicas de análise de dados permite, ainda, considerar as particularidades geográficas e urbanísticas de cada território. Características como relevo, ocupação do solo, presença de edificações, vegetação, distribuição populacional e localização da infraestrutura podem interferir na propagação do sinal e na utilização das redes. Assim, a análise da cobertura e do tráfego deve considerar as especificidades do município estudado, evitando avaliações baseadas exclusivamente em parâmetros gerais.

Além da perspectiva técnica, o estudo da conectividade móvel apresenta relevância para o desenvolvimento tecnológico e para a inclusão digital. Uma infraestrutura de telecomunicações

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

adequada pode ampliar as condições de acesso da população a serviços digitais, favorecer atividades econômicas e contribuir para a integração dos municípios aos fluxos de informação e às novas tecnologias. Nesse sentido, compreender a distribuição e a capacidade das redes móveis pode fornecer subsídios para estratégias de desenvolvimento que considerem as necessidades tecnológicas específicas de cada localidade.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo geral analisar a importância da predição da cobertura e do tráfego do Serviço Móvel Pessoal (SMP) em âmbito municipal, considerando sua contribuição para o planejamento da infraestrutura de telecomunicações. Busca-se, dessa forma, evidenciar como a utilização de informações relacionadas à cobertura e à demanda por serviços móveis pode auxiliar na identificação de necessidades de expansão da conectividade e contribuir para o desenvolvimento tecnológico, a inclusão digital e o fortalecimento das condições econômicas e sociais do município analisado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Setor de Telecomunicações e a Estrutura dos Serviços de Comunicação Móvel no Brasil

Conforme informações fornecidas pela Associação Brasileira de Telecomunicações - TELEBRASIL (2017), o Setor de Telecomunicações está inserido no Setor de Tecnologia da Informação e Comunicação – TIC. No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na Pesquisa Anual de Serviços - PAS, classifica os Serviços de Informação da seguinte maneira:

- Serviços de Telecomunicações: Incluem Telefonia Fixa, Telefonia Celular, SME (Trunking), Telecomunicações por Satélites, provedores de Acesso à Internet, transmissão e recepção de sinais de TV e Rádio, serviços de instalação e outros.
- Serviços de Informática: Englobam o desenvolvimento de softwares, processamento de dados, consultoria, venda de equipamentos e softwares, outsourcing, suporte e manutenção de softwares e outros.
- Serviços Audiovisuais: Compreende publicidade e merchandising na TV aberta e no rádio, programação de TV por assinatura, exibição de filmes e serviços auxiliares da produção de programas de televisão.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

- Outros serviços: incluem edição, edição integrada à impressão, agências de notícias e serviços de jornalismo.

Conforme a TELEBRASIL (2017), os Serviços de Telecomunicações envolvem a transmissão, emissão ou recepção de símbolos, caracteres, sinais, escritos, imagens, sons ou informações de qualquer natureza, por meio de fio, rádio, eletricidade, meios ópticos ou qualquer outro processo eletromagnético. A prestação desses serviços é realizada por agentes que possuem concessão, permissão ou autorização. O Setor de Telecomunicações é conceituado como: setor da economia que engloba os Serviços de telecomunicações, serviços de valor agregado e produtos utilizados para a prestação destes serviços.

De acordo com dados obtidos através da Agenda Legislativa das Telecomunicações (2017), nos últimos anos, o setor de telecomunicações tem sido um dos ramos de infraestrutura que mais investem no país, respondendo por 4,2% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e gerando cerca de 500 mil postos de trabalho. A TELEBRASIL (2017) classifica o Setor de Telecomunicações em três segmentos:

- Segmentos Agentes Privados - Serviços de Telecomunicações Empresas que detêm concessão ou autorização para prestação de serviços, tais como Telefonia Fixa, Comunicações Móveis, Comunicação Multimídia, TV por Assinatura, Radiodifusão e outros.
- Produtos e serviços para as Prestadoras de Serviços de Telecomunicações - Fornecedores de equipamentos e prestadores de serviço que dão suporte à prestação de Serviços de Telecomunicações, inclusive fornecedores de capacidade espacial.
- Serviços de Valor Agregado - Empresas prestadoras de serviços que têm como suporte principal serviços de telecomunicações.

Dentre esses três segmentos, os serviços de telecomunicações incluem variados serviços, sendo a telefonia celular o serviço de comunicação móvel mais proeminente.

Este serviço é caracterizado pela mobilidade do usuário e é prestado no Brasil por detentores de autorização de Serviço Móvel Pessoal - SMP, regulamentado em 2010 pela Anatel, permitindo a existência de prestadoras virtuais (ANATEL, 2018).

Além disso, existem outros Serviços de Comunicação Móvel, tais como Serviço Móvel Especializado (SME), Serviço Móvel Especial de Radiochamada (SER), Serviço Móvel Global por Satélites (SMGS), Serviço Móvel Aeronáutico (SMA) e Serviço Móvel Marítimo (SMM) (TELEBRASIL, 2017).

Os Serviços de Comunicação Móvel são prestados por detentores de autorização para a prestação do serviço. No caso do SMP, até quatro empresas podem prestar serviço em cada

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

região do país. As prestadoras estão consolidadas nos seguintes grupos: Vivo, Claro, Tim, Oi, CTBC e Sercomtel (MOURA FILHO; 2021).

2.2 Evolução Histórica da Telefonia Móvel no Brasil

A implantação da telefonia móvel no Brasil ocorreu de forma gradual e representa um dos principais marcos da expansão das tecnologias de comunicação no país. A introdução comercial desse serviço ocorreu no início da década de 1990, tendo o Rio de Janeiro como a primeira cidade brasileira a disponibilizar a telefonia móvel, em 1990. No ano seguinte, o serviço foi implantado em Brasília, dando início a um processo de expansão que posteriormente alcançaria outras importantes cidades brasileiras, entre elas Belo Horizonte, Goiânia, São Paulo e Campo Grande (MOURA FILHO, 2021).

Os primeiros anos da telefonia móvel foram caracterizados por uma quantidade ainda reduzida de usuários. Dados da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) indicam que, em 1990, existiam aproximadamente 667 linhas de telefonia celular no país. Em apenas um ano, esse número aumentou para cerca de 6.700 linhas e, em 1992, ultrapassou a marca de 30 mil unidades, evidenciando o rápido crescimento da demanda por esse novo meio de comunicação (RAPPAPORT, 2009).

A expansão da telefonia móvel intensificou-se ao longo da década de 1990 e início dos anos 2000, acompanhando as transformações estruturais ocorridas no setor de telecomunicações brasileiro. Em fevereiro de 2004, o país já registrava 47.865.593 telefones celulares, resultado de um processo de crescimento sustentado pela ampliação da infraestrutura, pela disseminação dos aparelhos e pelas mudanças promovidas na organização do mercado (MOURA FILHO, 2021).

A reestruturação institucional do setor constituiu um fator decisivo para esse processo. A década de 1990 foi marcada pela privatização das empresas de telecomunicações e pela criação de um novo modelo regulatório, estabelecido a partir da Lei Geral de Telecomunicações. Esse marco legal promoveu mudanças significativas na organização do setor e criou a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), responsável pela regulamentação, fiscalização e acompanhamento das atividades de telecomunicações no território nacional (ALMEIDA, 2019).

No período inicial de desenvolvimento da telefonia móvel, a prestação dos serviços estava estruturada em diferentes faixas de radiofrequência. Segundo Quintella e Costa (2009), as

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

operadoras utilizavam as bandas A e B, sendo a primeira compreendida entre 825,03 e 834,99 MHz, correspondente aos canais de 1 a 333, e a segunda situada entre 835,02 e 844,98 MHz, abrangendo os canais de 334 a 666. Essa configuração fazia parte da estrutura tecnológica e regulatória utilizada para organizar a exploração dos serviços de comunicação móvel naquele período.

A introdução da banda B representou uma mudança importante na configuração competitiva do mercado. O serviço passou a ser disponibilizado nessa modalidade inicialmente no Distrito Federal, em 1997, contribuindo para a abertura do mercado à concorrência. Esse processo foi favorecido pela Lei nº 9.295, de 16 de julho de 1996, que estabeleceu condições para a expansão e reorganização dos serviços de telecomunicações e criou bases para uma maior participação de agentes privados no setor (MOURA FILHO, 2021).

Paralelamente às transformações regulatórias, novas empresas passaram a participar do mercado brasileiro de telefonia móvel. A Telesp Celular, que iniciou suas atividades em 1993, destacou-se entre as empresas responsáveis pela expansão do serviço, utilizando sistemas digitais de telefonia celular em suas operações (ALMEIDA, 2019). Posteriormente, a abertura e a reorganização do mercado favoreceram a entrada e a consolidação de diferentes grupos empresariais, ampliando a concorrência e contribuindo para a expansão da oferta dos serviços móveis.

A evolução tecnológica da telefonia celular brasileira pode ser compreendida também a partir da sucessão de diferentes gerações de redes móveis. Oliveira (2013) apresenta essa trajetória considerando as tecnologias empregadas pelas operadoras e as transformações decorrentes da evolução dos sistemas de comunicação. A transição entre gerações possibilitou o aumento progressivo da capacidade das redes, da velocidade de transmissão de dados e da variedade de serviços oferecidos aos usuários.

Com a abertura e a expansão do mercado, diferentes empresas passaram a atuar na prestação de serviços de comunicação móvel no Brasil. Entre os grupos e marcas que integraram a trajetória do setor encontram-se TIM, Claro, CTBC, Oi, Porto Seguro Conecta, Vivo, Sercomtel e Nextel, em diferentes períodos e configurações empresariais. A ampliação do número de prestadoras contribuiu para intensificar a concorrência, estimular a expansão da cobertura e diversificar as alternativas de acesso aos serviços de comunicação móvel.

Nesse contexto, a prestação dos serviços de comunicação móvel passou a envolver não apenas as operadoras responsáveis diretamente pela infraestrutura e pela oferta dos serviços, mas também diferentes modelos de atuação e parceiros comerciais. A autorização regulatória e a

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

estrutura de prestação dos serviços constituíram, assim, elementos fundamentais para a expansão da telefonia móvel e para a consolidação das redes de comunicação em diferentes regiões do território brasileiro.

A trajetória histórica da telefonia móvel demonstra, portanto, uma transformação significativa na infraestrutura de telecomunicações brasileira. De um serviço inicialmente restrito a poucos usuários e concentrado em determinadas áreas urbanas, a comunicação móvel evoluiu para uma infraestrutura de ampla abrangência territorial, essencial para o acesso à comunicação e à conectividade digital. Essa evolução torna particularmente relevante a análise da cobertura e do tráfego das redes do Serviço Móvel Pessoal (SMP), uma vez que a distribuição territorial da infraestrutura e a intensidade de utilização dos serviços podem fornecer informações importantes para o planejamento tecnológico e para a identificação das necessidades de expansão da conectividade nos municípios brasileiros.

2.3 Evolução Tecnológica, Características e Aplicações da Telefonia Móvel

O desenvolvimento das tecnologias de comunicação proporcionou profundas transformações nas formas de interação entre indivíduos e no acesso à informação. Nesse processo, a telefonia móvel consolidou-se como uma tecnologia caracterizada pela possibilidade de comunicação sem a necessidade de conexão física permanente, permitindo ao usuário estabelecer contato com outras pessoas e acessar informações independentemente de sua localização e, em grande medida, do momento em que necessita desses recursos (NOVO, 2011).

A expansão da conectividade móvel acompanhou o crescimento do acesso à Internet no Brasil. Em 2013, aproximadamente 75 milhões de brasileiros utilizavam a Internet, correspondendo a cerca de 40% da população. Naquele período, o país ocupava uma posição de destaque entre as nações com maior número absoluto de usuários conectados à rede mundial de computadores (LUNARDI; DOLCI; WENDLAND, 2013). Paralelamente, o mercado de telefonia móvel apresentava forte expansão, alcançando mais de 250 milhões de linhas ativas, número que evidencia a dimensão adquirida pelos serviços móveis no território nacional.

Esse crescimento esteve associado à combinação de diferentes fatores, entre eles a evolução tecnológica das redes, os investimentos realizados na infraestrutura de telecomunicações, a redução progressiva dos custos de acesso e a crescente demanda da população por serviços de comunicação e conectividade. A popularização de dispositivos móveis, especialmente smartphones e tablets, também contribuiu significativamente para a ampliação do número de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

usuários e para a diversificação das formas de utilização das redes móveis.

A trajetória tecnológica da telefonia móvel brasileira foi marcada pela substituição progressiva de sistemas de primeira geração, baseados em tecnologias analógicas como o AMPS, por padrões digitais capazes de oferecer maior capacidade, qualidade e diversidade de serviços. Nesse processo, destacam-se tecnologias como GSM, 3G, 4G e, posteriormente, 5G, cuja evolução ampliou não apenas a capacidade de comunicação por voz, mas também a transmissão de dados e o acesso a aplicações dependentes de conectividade móvel (ALMEIDA, 2019).

A expansão das redes móveis também foi favorecida pela concorrência entre as prestadoras de serviços de telecomunicações. A disputa pelo mercado estimulou a criação de diferentes modalidades de planos, pacotes de dados e serviços, ampliando as alternativas disponíveis aos consumidores e contribuindo para a disseminação da conectividade móvel (MOURA FILHO, 2021).

Os efeitos dessa expansão ultrapassaram o âmbito da comunicação interpessoal. A telefonia móvel passou a desempenhar função relevante no acesso à informação, na utilização de serviços digitais, no desenvolvimento de aplicativos, nas atividades comerciais e na comunicação profissional. A ampliação da conectividade móvel também favoreceu o crescimento do comércio eletrônico e a criação de novos modelos de negócios baseados em aplicações e serviços digitais (ANATEL, 2016).

A relevância dos dispositivos móveis tornou-se ainda mais evidente com a mudança nos padrões de acesso à Internet. A partir da expansão dos smartphones e das redes móveis, o acesso à Internet por meio de dispositivos portáteis passou a apresentar crescimento expressivo em relação ao uso tradicional de computadores de mesa. Esse processo contribuiu para o fortalecimento do comércio móvel e para o desenvolvimento de sistemas e aplicações concebidos especificamente para ambientes caracterizados pela mobilidade (SILVA JÚNIOR, 2013).

As características da telefonia e da Internet móvel podem ser analisadas a partir de três dimensões complementares: usuário, ambiente e sistema (KELLER et al., 2019). Sob a perspectiva do usuário, os dispositivos móveis apresentam elevado grau de personalização e individualização. Smartphones e tablets são, em geral, utilizados como dispositivos pessoais, permanecendo próximos de seus proprietários durante grande parte do dia. Essa característica possibilita acesso contínuo a informações, redes sociais, aplicativos, serviços de comunicação e conteúdos personalizados.

A dimensão ambiental está relacionada à mobilidade e à disponibilidade da conexão.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

Diferentemente dos sistemas tradicionais de acesso fixo, as tecnologias móveis permitem que o usuário estabeleça conexão com a Internet enquanto se desloca ou se encontra em diferentes localidades. Essa característica amplia significativamente as possibilidades de utilização dos serviços digitais, uma vez que a conectividade deixa de estar necessariamente vinculada a um ponto físico específico. Do ponto de vista sistêmico, entretanto, os dispositivos móveis tradicionalmente apresentam limitações quando comparados aos equipamentos utilizados em ambientes de Internet fixa. Questões relacionadas à capacidade computacional, autonomia energética, tamanho da tela, armazenamento e disponibilidade de recursos podem influenciar a experiência de utilização dos serviços móveis. Ainda assim, a evolução dos dispositivos e das redes tem reduzido progressivamente parte dessas limitações, permitindo a execução de aplicações cada vez mais complexas (LUNARDI; DOLCI; WENDLAND, 2013).

A diversidade de aplicações disponíveis nos ambientes móveis pode ser agrupada em três grandes categorias: comércio, comunicação e conteúdo. A categoria de comércio compreende serviços como operações bancárias por dispositivos móveis, pagamentos eletrônicos e aquisição de produtos e serviços. A comunicação engloba recursos como correio eletrônico, mensagens instantâneas, chamadas e plataformas interativas. Já a categoria de conteúdo inclui notícias, informações sobre trânsito, dados financeiros, downloads e outros conteúdos que podem ser disponibilizados de acordo com o momento ou a localização do usuário (MOURA FILHO, 2021; ALMEIDA, 2019).

No Brasil, a expansão das possibilidades de utilização da telefonia móvel ganhou novo impulso com a implantação das redes de terceira geração (3G), disponibilizadas comercialmente no país a partir de 2007. A introdução dessa tecnologia representou uma mudança importante no perfil de utilização das redes móveis, pois permitiu maior capacidade de transmissão de dados e possibilitou o desenvolvimento e a popularização de serviços que demandavam conexão mais rápida e estável (RAPPAPORT, 2009).

Entre os recursos favorecidos pela expansão das redes 3G destacaram-se o acesso à Internet em velocidades superiores às disponíveis nas gerações anteriores, as videochamadas e a utilização de aplicações móveis mais sofisticadas. A ampliação da capacidade de transmissão de dados modificou gradualmente o comportamento dos usuários, que passaram a utilizar os dispositivos móveis não apenas para chamadas telefônicas e mensagens, mas também para acessar informações, utilizar serviços digitais, consumir conteúdo e realizar diferentes atividades cotidianas (SILVA JÚNIOR, 2013).

Posteriormente, a evolução para redes de quarta e quinta gerações ampliou ainda mais as

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

possibilidades de utilização da conectividade móvel, com aumento da capacidade de transmissão de dados, redução da latência e suporte a um número crescente de dispositivos e aplicações conectados. Nesse cenário, a telefonia móvel deixou de ser compreendida exclusivamente como um serviço destinado à comunicação por voz e passou a constituir parte fundamental da infraestrutura digital contemporânea.

Essa transformação evidencia a importância da infraestrutura de comunicação móvel para a sociedade e para o desenvolvimento tecnológico. A qualidade e a disponibilidade dos serviços dependem diretamente da capacidade das redes, da distribuição territorial das estações e da adequação da infraestrutura à demanda existente. Consequentemente, variáveis relacionadas à cobertura e ao tráfego das redes móveis tornam-se relevantes para compreender os padrões de utilização dos serviços e subsidiar estratégias de expansão da conectividade, especialmente em municípios com diferentes níveis de desenvolvimento e necessidades tecnológicas.

2.4 Modelos de Predição de Cobertura em Redes de Comunicação Móvel

A estimativa da cobertura de uma rede de comunicação móvel constitui uma etapa essencial no planejamento e na otimização de sistemas celulares. A predição permite avaliar a distribuição espacial do sinal, estimar os níveis de potência recebida e identificar regiões nas quais a qualidade da comunicação pode ser comprometida. Dessa forma, os modelos de propagação desempenham papel relevante no dimensionamento da infraestrutura e na definição de estratégias para expansão ou adequação das redes.

Ao longo do desenvolvimento das telecomunicações, diferentes modelos de propagação foram formulados com o objetivo de representar o comportamento das ondas eletromagnéticas em ambientes distintos. A seleção do modelo mais adequado depende das características da área analisada, da frequência de operação, das propriedades do terreno, da distância entre transmissor e receptor e de outros parâmetros associados à infraestrutura da rede. Modelos empíricos e semiempíricos são particularmente utilizados nesse contexto por permitirem estimativas baseadas em medições experimentais e em parâmetros ajustados às características de determinados ambientes.

A caracterização do ambiente de propagação constitui, portanto, um aspecto importante para a obtenção de resultados confiáveis. De maneira geral, as áreas podem ser classificadas em três categorias principais: rural ou aberta, suburbana e urbana. As regiões rurais apresentam, em comparação com os ambientes urbanos, menor quantidade de edificações e obstáculos capazes

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

de interferir significativamente na propagação do sinal. Em áreas suburbanas, observa-se uma ocupação intermediária, caracterizada pela presença de residências, vegetação e outros obstáculos distribuídos de forma menos concentrada. Já os ambientes urbanos apresentam elevada densidade de edificações, estruturas e vegetação, podendo produzir fenômenos como reflexão, difração, espalhamento e sombreamento do sinal (VINHAL, 2020).

Entre os modelos empregados para estimar a propagação em redes móveis encontra-se o Modelo de Lee, desenvolvido por W. C. Y. Lee a partir de medições experimentais realizadas em diferentes ambientes. Trata-se de um modelo empírico, também associado aos modelos estatísticos ou estocásticos de propagação, utilizado para estimar a intensidade do sinal recebido e auxiliar no planejamento de sistemas de comunicação móvel (ALMEIDA, 2019).

O Modelo de Lee foi desenvolvido na década de 1980 e apresenta aplicação particularmente associada a frequências próximas de 900 MHz e a ambientes com características topográficas relativamente regulares. Sua utilização em regiões montanhosas ou com condições de propagação significativamente diferentes daquelas observadas nos experimentos originais pode produzir resultados distintos dos valores teóricos, exigindo atenção à calibração dos parâmetros utilizados. Uma das características do Modelo de Lee é a possibilidade de realizar estimativas sem a necessidade de representar detalhadamente todos os elementos presentes na morfologia da região. O modelo utiliza informações relacionadas ao tipo de ambiente e parâmetros específicos de propagação, permitindo sua aplicação em diferentes cenários. Os estudos experimentais que fundamentaram sua formulação possibilitaram estabelecer parâmetros para condições como ambientes urbanos e suburbanos, áreas com vegetação mais densa e regiões próximas a corpos d'água. Essa característica torna o modelo uma alternativa relativamente simples para análises de cobertura, especialmente quando não estão disponíveis informações detalhadas sobre a distribuição das edificações (VINHAL, 2020).

Outro modelo tradicionalmente empregado na estimativa de propagação de sinais em ambientes externos é o Modelo de Okumura, desenvolvido por Yoshihisa Okumura a partir de extensas campanhas de medições realizadas no Japão durante a década de 1960. Por possuir fundamentação empírica, o modelo foi construído com base em observações reais da intensidade do sinal em diferentes condições de propagação e tornou-se uma referência para estudos de cobertura em sistemas de comunicação móvel. O Modelo de Okumura apresenta aplicação principalmente em ambientes urbanos e suburbanos, nos quais os efeitos provocados pela presença de edificações e pela ocupação do território exercem influência significativa sobre a propagação. Sua utilização envolve parâmetros relacionados à frequência de operação, à altura

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

da antena da estação transmissora e à distância entre a estação base e o terminal móvel. Embora possa ser empregado em diferentes condições, sua precisão tende a ser menor em ambientes rurais quando comparada às situações para as quais foi originalmente desenvolvido (VINHAL, 2020).

A partir do trabalho de Okumura, Masaharu Hata desenvolveu, em 1980, um modelo matemático destinado a representar de maneira mais simples os resultados obtidos pelo modelo original. O Modelo de Hata constitui, assim, uma formulação empírica derivada das curvas e medições de Okumura, permitindo sua utilização em cálculos de propagação sem a necessidade de consultar diretamente os gráficos experimentais que caracterizam o modelo de origem.

Uma das principais vantagens do Modelo de Hata está relacionada à sua simplicidade matemática e à facilidade de implementação em ferramentas computacionais de simulação e planejamento de redes. Entretanto, sua aplicação está condicionada a determinados intervalos de frequência, alturas de antena e distâncias entre a estação base e o terminal móvel. Dessa maneira, a adequação do modelo deve ser verificada de acordo com as características específicas do cenário analisado (VINHAL, 2020).

Os modelos de Lee, Okumura e Hata apresentam, portanto, diferentes características e níveis de complexidade, mas possuem em comum a finalidade de estimar o comportamento do sinal de rádio em condições específicas de propagação. A escolha entre essas abordagens deve considerar as características geográficas e urbanísticas da região, os parâmetros de operação da rede e a disponibilidade de dados para calibração.

No contexto da análise de cobertura do Serviço Móvel Pessoal (SMP), a utilização de modelos de propagação permite transformar características físicas e técnicas da rede em estimativas quantitativas da distribuição do sinal. Essas estimativas podem ser associadas a informações de tráfego e utilização da rede, possibilitando análises mais abrangentes sobre a relação entre infraestrutura disponível, demanda por conectividade e distribuição territorial dos serviços de comunicação móvel. Dessa forma, a modelagem da cobertura constitui uma etapa fundamental para estudos voltados à predição e ao planejamento da infraestrutura de telecomunicações em escala municipal.

CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou a importância da telefonia móvel como componente fundamental da infraestrutura tecnológica contemporânea e como elemento diretamente relacionado à

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

ampliação da conectividade e ao desenvolvimento socioeconômico. A expansão das redes móveis no Brasil modificou significativamente as formas de comunicação, acesso à informação e utilização de serviços digitais, tornando a conectividade móvel parte integrante das atividades pessoais, profissionais e econômicas da população.

A análise realizada permitiu observar que as características de mobilidade, acessibilidade e disponibilidade dos dispositivos e serviços móveis contribuíram para ampliar as possibilidades de comunicação e acesso à Internet. Além da comunicação interpessoal, as redes móveis passaram a sustentar uma ampla variedade de aplicações relacionadas ao comércio, à prestação de serviços, ao entretenimento, à disseminação de informações e às atividades profissionais, reforçando sua relevância para a sociedade e para a economia.

Nesse contexto, a qualidade e a disponibilidade da cobertura de rede constituem fatores determinantes para a efetividade da conectividade móvel. A distribuição espacial do sinal, a potência recebida e as características físicas e urbanísticas dos locais atendidos influenciam diretamente o desempenho das redes. Por essa razão, a predição de cobertura constitui uma ferramenta importante para o planejamento, dimensionamento e otimização da infraestrutura de telecomunicações.

A análise dos modelos de propagação apresentados neste estudo, especialmente os modelos de Lee, Okumura e Hata, demonstrou a existência de diferentes abordagens para estimar o comportamento do sinal em distintos ambientes de propagação. Embora cada modelo apresente características, parâmetros e condições específicas de aplicação, essas metodologias fornecem subsídios relevantes para a avaliação da cobertura em áreas urbanas, suburbanas e rurais. A escolha do modelo deve considerar as características do território, a frequência utilizada, a infraestrutura disponível e as condições específicas do ambiente analisado.

A evolução das redes móveis, desde as primeiras tecnologias analógicas até as gerações mais recentes, demonstra que o planejamento da infraestrutura precisa acompanhar não apenas o crescimento da quantidade de usuários, mas também a crescente demanda por capacidade de transmissão de dados. Nesse sentido, a expansão das redes de quinta geração representa uma nova etapa no desenvolvimento das telecomunicações, com potencial para ampliar a velocidade de transmissão, reduzir a latência e viabilizar aplicações que dependem de maior capacidade e confiabilidade de conexão.

A identificação de áreas que ainda apresentam limitações de cobertura ou ausência de tecnologias mais avançadas, como o 5G, deve ser compreendida como um importante elemento para o planejamento de futuras ações de expansão da infraestrutura. A melhoria da

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

conectividade pode contribuir para reduzir desigualdades territoriais de acesso às tecnologias digitais e ampliar as condições necessárias ao desenvolvimento de serviços, atividades econômicas e soluções tecnológicas nos municípios.

No caso específico do Maranhão, as discussões envolvendo órgãos públicos, entidades reguladoras e representantes das empresas de telecomunicações demonstram a relevância da articulação entre os diferentes agentes envolvidos na prestação dos serviços. Iniciativas dessa natureza podem contribuir para a identificação de deficiências, definição de prioridades e elaboração de estratégias destinadas à melhoria da cobertura e da qualidade dos serviços de comunicação móvel.

Dessa forma, conclui-se que a expansão da telefonia móvel deve ser acompanhada por mecanismos de planejamento capazes de considerar simultaneamente a distribuição da infraestrutura, as características do território, os níveis de cobertura e a demanda efetiva por conectividade. A utilização de modelos de predição, associada à análise de dados de cobertura e tráfego do Serviço Móvel Pessoal (SMP), apresenta-se como uma abordagem relevante para subsidiar decisões relacionadas ao planejamento e à expansão das redes.

Por fim, o estudo reforça que o aprimoramento contínuo da infraestrutura de telecomunicações é fundamental para acompanhar a crescente demanda por conectividade e favorecer o desenvolvimento tecnológico dos municípios. A análise preditiva da cobertura e do tráfego pode contribuir não apenas para a melhoria da eficiência das redes, mas também para a identificação de áreas prioritárias de investimento, fornecendo informações capazes de apoiar políticas públicas e estratégias de expansão da conectividade móvel no território brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Yan Ribeiro de et al. **Privatizações, concentração de mercado e seus impactos no setor de telecomunicações:** uma abordagem sobre telefonia móvel. 2019.

Anatel – **Indicadores de acessos de Comunicação Multimídia**, 2016. Disponível em: http://www.anatel.gov.br.

KELLER, Clara Iglesias et al. **Regulação nacional de serviços na Internet:** exceção, legitimidade e o papel do Estado. Uerj, 2019.

MCOM - Ministério das Comunicações. **MCom vai coordenar análise conjunta sobre serviço móvel no Maranhão.** [Notícia]. 14 jul. 2023.

MOURA FILHO, Ronaldo Neves. Impactos do Edital 5G no cenário da prestação de serviços de telecomunicações no Brasil: diversificação de atores. **IDP,** 2021.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VI, v.1 2025 | submissão: 24/12/2025 | aceito: 27/12/2025 | publicação: 30/12/2025

OLIVEIRA, Lúcia Lippi. Sinais da modernidade na Era Vargas: vida literária, cinema e rádio. V.2. Rio de Janeiro: **Civilização Brasileira,** 2013.
RAPPAPORT, THEODORES. **Comunicações sem fio:** princípios e práticas. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

VINHAL, Matheus Padilha. **Evolução da telefonia móvel celular, cumprimento de leis e análise de modelos de propagação.** 2020 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2020.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.