

1 Introdução

O setor de telefonia celular, ao longo de sua existência de quatro décadas, se baseou exclusivamente em uma faixa do espectro conhecida como banda UHF (*Ultra High Frequencies*), que compreende apenas cerca de 1 por cento de todo o espectro regulamentado. Durante muito tempo se considerou esta faixa de frequências entre 300 MHz e 3 GHz para ser a faixa ideal para a rede móvel. Comprimentos de onda nesta faixa são suficientemente curtos, permitindo utilizar antenas menores que podem caber em aparelhos, mas suficiente para contornar ou penetrar obstáculos, como prédios e folhagens. Transmitidas mesmo em baixa potência, as ondas nesta faixa podem viajar de forma confiável para até vários quilômetros em, praticamente, qualquer rádio ambiente.

O problema é que não importa quanto as operadoras estão dispostas a pagar por este espectro, elas já não podem obter o suficiente dele. O uso de *smartphones* e *tablets* está crescendo, e como as pessoas navegam na *web*, compartilham vídeos e fotos em movimento, eles estão transmitindo mais dados usando redes sem fio. O tráfego móvel em todo o mundo está se duplicando a cada ano, de acordo com relatórios da Cisco e Ericsson, e este crescimento exponencial provavelmente continuará no futuro. Em 2020, o usuário poderia baixar entorno de 1 terabyte de dados por ano, o suficiente para ter acesso a mais de 1.000 filmes.

Grupos de padrões sem fio desenvolveram todos os tipos de correções inteligentes para ampliar a capacidade da quarta geração de redes celulares LTE (4G) de hoje, incluindo os que envolvem múltiplas antenas, células menores e mais inteligente coordenação entre os dispositivos, mas nenhuma dessas soluções irá sustentar o aumento de tráfego que se aproxima depois dos próximos 4-6 anos. Os especialistas do setor concordam que a quinta geração (5G) de tecnologia celular terá que chegar até o final desta década. E para lançar estas novas redes, as operadoras, sem dúvida, precisam de um novo espectro.

Felizmente, há uma enorme extensão acima de 3 GHz que, até agora, tem sido ignorada. Nós estamos falando sobre as ondas milimétricas. Pela definição da

UIT, a banda de ondas milimétricas, também chamada de banda EHF (*Extreme High Frequencies*), se estende de 30 a 300 GHz. Estima-se que os órgãos reguladores poderiam disponibilizar cerca de 100 GHz deste espectro para comunicações móveis, mais de 100 vezes maior do que a largura de banda das redes celulares de hoje. Ao utilizar este espectro, as operadoras podem oferecer centenas de vezes a capacidade de dados do sistema 4G LTE, permitindo taxas de *download* de até dezenas de gigabits por segundo, mantendo os preços para o consumidor relativamente baixo.

O cenário parece bom demais para ser verdade. Na verdade, até muito recentemente, a maioria dos especialistas em redes sem fio teria dito a mesma coisa. Historicamente, os operadores rejeitaram o espectro de ondas milimétricas, pois os componentes de rádio necessários eram caros e porque acreditavam que essas frequências iriam propagar mal entre as torres e aparelhos tradicionais. Eles também temiam que ondas milimétricas seriam excessivamente absorvidas ou espalhadas pela atmosfera, chuva, vegetação e que não penetrariam ambientes internos, mas essas crenças estão rapidamente desaparecendo. A recente pesquisa pretende convencer o setor de telefonia celular a voltar os olhos para este espectro vasto e subutilizado.

Apesar de ser nova nas comunicações móveis, a tecnologia de ondas milimétricas tem uma história surpreendentemente longa. Em 1895, um ano antes que Guglielmo Marconi, pioneiro de rádio italiano, impressionar o público com seu telégrafo sem fio, um sábio Índio chamado Jagadish Chandra Bose mostrou o primeiro aparelho de sinalização de ondas milimétricas do mundo, na prefeitura de Kolkata. Usando um transmissor *spark-gap*, ele teria enviado um sinal de 60 GHz através de três paredes e do corpo do vice-governador da região para uma antena corneta e um detector a uma distância de 23 metros. Como prova de sua jornada, ele tocou uma campainha, disparou uma arma, e explodiu uma pequena mina.

Passou-se mais de meio século, no entanto, antes que as invenções de Bose deixassem o laboratório. Soldados e astrônomos de rádio foram os primeiros a usar esses componentes de ondas milimétricas, que foram adaptados para radares

e radiotelescópios. Fabricantes de automóveis seguiram várias décadas mais tarde, aproveitando as frequências de ondas milimétricas para controle e sistemas de alerta de colisão.

A comunidade de telecomunicações inicialmente tomou conhecimento desta nova fronteira do espectro durante o *boom* do “.com” do final dos anos 1990. Algumas empresas de tecnologia perceberam que a abundante largura de banda poderia ser ideal para redes de banda larga locais, tais como aqueles em residências e empresas, e para a entrega de "última milha" de serviços de Internet, para lugares onde conexões com cabo são muito difíceis ou muito caras. Com grande alarde, os reguladores do governo em todo o mundo, inclusive na Europa, Coréia do Sul, Canadá e Estados Unidos, deixaram de lado ou leiloaram enormes lotes do espectro das ondas milimétricas para esses fins.

Os produtos para os usuários, entretanto, demoraram a chegar. As empresas perceberam, rapidamente, que os equipamentos necessários para esta banda (antenas, circuitos RF) eram muito caros. A indústria de semicondutores simplesmente não tinha a capacidade ou demanda do mercado para fabricar equipamentos suficientemente rápidos para operar em frequências de onda milimétrica num grau comercial. Assim, por quase duas décadas, essa enorme faixa de largura de banda estava praticamente vazia.

Isso, no entanto, está mudando. Graças em parte à Lei de Moore e a crescente popularidade do estacionamento automático e outros luxos à base de radar em carros, agora é possível empacotar um rádio de ondas milimétricas todo em um único CMOS ou num *chip* de silício-germânio. Assim, produtos de ondas milimétricas estão finalmente chegando ao mercado em massa. Muitos *smartphones* de última geração, televisores e jogos portáteis, por exemplo, já incluem conjuntos de *chips* sem fio com base em dois padrões de ondas milimétricas: *WirelessHD* e *Wireless Gigabit (WiGig)*. Estas tecnologias não são destinadas para a comunicação entre um *smartphone* e uma torre de celular. Em vez disso, elas são usadas para transferir grandes quantidades de dados, como vídeo não comprimido, curtas distâncias entre máquinas sem *Ethernet* ou cabos HDMI. Ambos sistemas, *WirelessHD* e *WiGig*, operam em torno de 60 GHz em

uma faixa de frequência tipicamente cerca de 5-7 GHz. Tais bandas permitem taxas até cerca de 7 gigabits por segundo.

Fabricantes de equipamentos para redes celulares estão começando a tirar proveito do espectro de ondas milimétricas. Diversos fornecedores, incluindo Ericsson, Huawei e Nokia, estão usando ondas milimétricas para fornecer conexões com linha de visada de alta velocidade entre estações de base e redes de *backbone*, eliminando a necessidade de conexões de fibra muito custosas.

Embora as ondas milimétricas estejam possibilitando novos serviços sem fio e em interiores, muitos especialistas duvidam de que essas frequências possam suportar enlaces celulares. Uma preocupação importante é que as redes móveis de ondas milimétricas não serão capazes de proporcionar uma cobertura total, particularmente em ambientes ao ar livre tais como cidades, porque eles não podem garantir sempre uma conexão com linha de visada a partir de uma estação base para um aparelho. Se, por exemplo, um usuário do *smartphone* fosse passar, de repente, atrás de uma árvore ou outra estrutura, uma transmissão de ondas milimétricas provavelmente não poderia penetrar esses obstáculos, no entanto, a natureza altamente reflexiva destas ondas se converte numa vantagem. Como elas refletem em materiais sólidos, tais como edifícios, sinais, e pessoas, as ondas se espalham por todo o ambiente, aumentando a chance de que o receptor pegue um destes sinais. É claro que, como em qualquer sistema sem fio, a probabilidade de perder uma conexão aumenta na medida em que o receptor se afasta do transmissor. Alguns estudos mostram que a perda do sinal começa entorno de 200 a 300 metros. Esta gama limitada pode ter sido um problema para as gerações anteriores de sistemas celulares, em que um raio de célula típico se estendia até vários quilômetros, mas, na última década, as operadoras diminuíram este tamanho significativamente, a fim de expandir a capacidade. Especialmente em centros urbanos densos, começaram a implantação de pequenas células, estações base compactas instaladas em postes de iluminação ou quiosques nas estações de ônibus, com distâncias não superiores a 100 metros.

Há mais outra razão para que células pequenas sejam ideais para comunicações de ondas milimétricas. É sabido que a chuva e o ar podem atenuar

ondas milimétricas para grandes distâncias, fazendo com que percam energia mais rapidamente do que as frequências da banda UHF. Pesquisas anteriores mostram que, ao longo de intervalos relativamente curtos de algumas centenas de metros, estes elementos naturais têm pouco efeito sobre a maioria das frequências de ondas milimétricas, embora haja algumas exceções.

Uma solução para o uso de ondas milimétricas em redes celulares, é o uso de antenas receptoras capazes de receber a maior quantidade do sinal espalhado. Neste presente trabalho uma antena cônica de 90° é analisada e reprojeta a partir de [6][20] para oferecer uma abertura maior que 100 graus, numa frequência de 60 GHz. O projeto da antena foi realizado mediante o uso do programa de simulação HFSS [21], duas antenas foram construídas e testadas, usando dois transceptores comerciais.

No capítulo 2, uma breve história da evolução das tecnologias móveis é descrita para introduzir a nova geração 5G, para qual, as ondas milimétricas são o foco de pesquisas recentes. Neste mesmo capítulo, são citadas as características das ondas milimétricas, especificamente na faixa de 60 GHz.

No Capítulo 3, são descritos os principais parâmetros das antenas, sendo também será abordado o processo de desenho e simulação de dois tipos de antenas para 60 GHz, o qual é o foco deste trabalho.

No Capítulo 4 é descrito o equipamento experimental de medições, que compreende de dois transceptores comerciais, a antena transmissora e a antena receptora. Os resultados obtidos são mostrados neste capítulo.

Finalmente, no capítulo 5, são mencionadas as conclusões deste trabalho, assim como as sugestões para trabalhos futuros.