

1

Introdução

Em 1895, M.G. Marconi dava início à comunicação rádio-móvel, estabelecendo um enlace rádio entre uma estação base situada em terra e um rebocador situado a 18 milhas, no mar. Inicialmente empregada nos serviços de segurança pública englobando policiamento e bombeiros, conservação florestal, manutenção de rodovias e serviços governamentais locais, a comunicação móvel foi, gradativamente, sendo aplicada no setor privado, conduzindo a um crescimento muito rápido do número de usuários.

Nos primeiros sistemas móveis uma estação base tinha o transmissor montado no topo de uma colina, dando cobertura a uma grande área num raio de 25 milhas, numa forma semelhante à radiodifusão, e geralmente com uma potência de transmissor de 200 ou 250 watts. Esses sistemas convencionais eram, em geral, isolados uns dos outros e alguns poucos deles acessavam o serviço de telefonia pública comutada e, nesse caso, eram denominados sistemas de telefonia móvel, onde a unidade de comunicação passava a ser o assinante.

As frequências designadas para os serviços móveis foram inicialmente empregadas em serviços de telefonia. Aos poucos, novas faixas de frequências iam sendo liberadas e, ao longo dos anos, novos serviços rádio móveis têm surgido como o *paging*, a telefonia sem fio, a telefonia celular, os PR *nets* (Packet Radio Networks) para comunicações de dados, as comunicações por satélite e as comunicações pessoais.

Com a chegada do sistema celular analógico, ou de 1ª geração (1G), testado inicialmente ao final da década de 70, uma grande contribuição foi trazida para os nossos sistemas atuais através do conceito da divisão da área a ser coberta por células e do reuso espectral, com isto crescendo a capacidade do sistema, nesse caso limitada pela interferência de outros usuários. Além do reuso espectral, os avanços nas tecnologias para acesso sem fio, no processamento digital de sinal, nos circuitos integrados e no tempo de vida das baterias contribuíram para um crescimento exponencial dos serviços de comunicações móveis e pessoais, conduzindo aos sistemas digitais, ou de 2ª geração (2G), onde as técnicas de

acesso empregadas são o TDMA e CDMA. Os sistemas de comunicação móvel, tanto terrestre como via satélite, baseados no conceito de cobertura celular, deverão ser a base para os sistemas *wireless* do futuro.

A necessidade pelos serviços de comunicações básicos como o de voz e, em menor escala, o de fax era predominante até os anos 90. A partir daí a *internet* mudou esse cenário. Além de voz e fax, os usuários passaram a necessitar de *e-mail*, áudio em tempo real, imagens e multimídia. Cada vez mais exigente, o usuário quer ter acessibilidade de qualquer parte do mundo a qualquer momento, em um único aparelho de telecomunicações, com mobilidade e qualidade. Os sistemas de 3ª geração (3G), abrangendo os sistemas digitais IMT-2000 e UMTS empregam a comunicação sem fio permitindo informações a altas taxas e com alta qualidade entre terminais pequenos e portáteis, que podem estar localizados em qualquer região do mundo.

A previsão é de que, por volta de 2006, os acessos sem fio ultrapassem os acessos fixos convencionais. Com tal crescimento dos sistemas de comunicações móveis, permitindo ao usuário o acesso a uma série de serviços e taxas cada vez mais altas, há a necessidade de faixas cada vez mais largas para transmissão. Torna-se necessário, portanto, o conhecimento aprofundado do canal por onde o sinal faixa larga vai se propagar, já que o canal tem suas características variando de um ambiente para outro. Sabe-se que o sinal rádio-móvel sofre, ao longo de seu percurso entre transmissor e receptor, uma série de influências do meio pelo qual se propaga. O espalhamento em objetos situados ao longo do percurso é o principal fenômeno a interferir no sinal e provoca o multipercurso do mesmo, influenciando fortemente nas características do canal. As réplicas de um sinal transmitido, vindas de diferentes multipercursos, chegam ao receptor com diferentes retardos e amplitudes causando, portanto, a dispersão do sinal no tempo, caracterizada pelo espalhamento de retardo. Como os sinais de multipercurso sofrem diferentes desvios Doppler, pois chegam de várias direções devido à variação do meio, tem-se como resultado não um desvio, mas um espalhamento Doppler. A dispersão do sinal na frequência vai aparecer devido ao deslocamento relativo entre o transmissor e o receptor, através do deslocamento

de um deles ou do deslocamento dos espalhadores, sendo caracterizada pelo espalhamento Doppler.

Para que se desenvolva um projeto de um sistema móvel é preciso que medidas de propagação sejam realizadas a fim de que parâmetros do canal como espalhamento de retardo e deslocamento Doppler possam ser calculados. Inicialmente realizadas em faixa estreita, com a transmissão de uma onda CW (*Continuous Wave*), tais medidas conduziam principalmente à obtenção da estatística de potência recebida em cada ambiente. Substituídas por medidas em faixa larga tornaram possível a obtenção das características de multipercurso do canal.

Como a resposta ao impulso descreve completamente o canal de propagação rádio para cada faixa de frequências, a mesma é obtida através de medidas de propagação em banda larga, possibilitando a obtenção de informações básicas para projeto, otimização e planejamento dos sistemas rádio-móveis, tais como: máxima taxa de transmissão de dados permitida, localização ótima para a instalação de antenas, separação mínima de frequências ou de tempo para efeito de diversidade em frequência ou no tempo, respectivamente, limiar de ruído dos sistemas digitais, dentre outros.

Muitos são os espalhadores do sinal rádio-móvel em ambiente urbano contribuindo para o multipercurso de sinal. Dentre eles, porém, a vegetação tem se tornado importante, pois cada vez mais o homem vem se conscientizando da necessidade do “verde” nas grandes cidades. Isto leva o projetista do sistema a considerar mais um fator quando se trata de regiões urbanas: a vegetação. O que se sabe é que, em frequências de microondas, o sombreamento, o espalhamento e a absorção do sinal pela vegetação causados pela distribuição aleatória das folhas e galhos das árvores, introduz uma perda substancial no nível de sinal recebido. A despolarização da onda de rádio também aparece como consequência da interação da onda com a vegetação já que as folhas, devido à sua condutividade, suportam correntes induzidas que tendem a ser orientadas aleatoriamente, produzindo tal efeito.

A predição de perda de sinal devido à vegetação é difícil de se determinar devido ao grande número de variáveis envolvidas, como por exemplo: a altura, a

forma, a densidade e a distribuição das árvores, a distribuição angular das folhas e galhos. Há ainda que se considerar que a densidade da folhagem varia de acordo com a estação do ano. Nos modelos usuais de propagação a influência da vegetação na perda de sinal no percurso não é considerada em suas equações ou se acha embutida nas mesmas, já que os modelos empíricos existentes foram obtidos de medidas realizadas em ambientes diversos, onde possivelmente havia alguma arborização. O que existe em termos de modelagem para o efeito da vegetação é específico para um determinado tipo de vegetação, em geral floresta densa, numa certa faixa de frequências.

Muitos artigos fornecem os resultados de medidas de sinal realizadas em meios arborizados enquanto outros tratam de modelos onde há a influência de certo tipo de arborização na perda de sinal, porém são específicos para certas áreas e cada qual tem suas restrições. Dentre eles:

[1] Weissberger, em 1982, reviu os modelos obtidos por inúmeros autores e concluiu que um decaimento exponencial (MED) era apropriado para distâncias até 400 m e frequências na faixa 230 MHz/95 GHz, aplicável onde um percurso de sinal é bloqueado por árvores densas ou sem folhas e secas, encontradas em climas temperados.

[2] Al Nuaimi e Stephens trabalharam com a otimização de modelos de predição para a atenuação de sinal em meio vegetado, nas frequências de 11,2 e 20 GHz, através de medidas realizadas em fileiras de árvores à beira de uma estrada e árvores isoladas. Chegaram a um modelo aplicado na faixa 10/40 GHz que serve tanto para o caso das árvores com folhas quanto sem folhas.

[3] Torrico et al. desenvolveram um modelo de propagação para ambientes residenciais com fileiras de árvores intercaladas pelas residências (edifícios ou casas). É um modelo teórico que trabalha com a propagação da onda eletromagnética no meio aleatório. As árvores são representadas por um conjunto aleatório discreto de folhas e galhos, com localização prescrita e orientação aleatória. As copas das árvores estão localizadas adjacentes e acima das residências.

[4] Tamir estudou o comportamento das ondas eletromagnéticas na floresta,

operando na faixa 1-100 MHz, com antenas transmissora e receptora dentro da vegetação. Chegou a uma expressão teórica para a perda de sinal na floresta e realizou medidas para fins de comparação.

[5] Tamir, adotando percursos mistos, parcialmente na floresta e parcialmente fora dela, desenvolveu expressões para o campo recebido nas diversas regiões: dentro da floresta, acima da floresta, fora da floresta na altura das copas das árvores e acima das copas. Operando na faixa de 2 a 200 MHz, empregou como antena transmissora um dipolo vertical localizado na região de floresta.

[6] Tewari et al. realizaram medidas em florestas tropicais úmidas da Índia, na faixa de 50 a 800 MHz, nas épocas em que as árvores estavam sem e com folhas. Com a variação da altura de antena de 1,5 a 16,5 m acima da terra e transmissões com polarização vertical e horizontal, desenvolveram um modelo empírico para a perda de sinal no percurso entre transmissor e receptor.

[7] Al-Nuaimi et al. realizaram medidas em 11,2 GHz e desenvolveram um modelo de predição para a perda de sinal que atravessa a vegetação, baseados na teoria da transferência de energia radiativa, onde a vegetação era tratada como um meio homogêneo estatisticamente aleatório, de espalhadores discretos com perdas.

[8] Koh et al. buscaram um modelo teórico para a perda de sinal em ambientes de floresta, considerando as 4 camadas do meio: a dos troncos, a das copas das árvores, a de ar acima das copas e a de terra, abaixo dos troncos. Analisaram as características de propagação das ondas de rádio em ambientes de floresta, onde a antena transmissora se achava na altura dos troncos e a receptora, na altura das copas das árvores. Empregando frequências até 2 GHz chegaram a uma expressão para a perda de propagação quando um dipolo inclinado era empregado na transmissão e uma antena receptora vertical, na recepção.

[9] Lagrone e Chapman realizaram medidas na frequência de 2,88 GHz. Empregando sinal polarizado verticalmente, realizaram medidas com árvores no percurso muito próximas à antena receptora, de forma a estudar as técnicas de comparação de feixe empregadas em radares, que ficam sujeitas a erros de apontamento quando uma árvore é interceptada pelo feixe principal da antena de rastreamento.

[10] Vogel e Goldhirsh empregaram transmissão de sinal em UHF, na frequência de 869 MHz, entre um avião pilotado remotamente e um veículo estacionário, a fim de estudar o sombreamento provocado pelas árvores nas estradas numa comunicação terra-satélite.

[11] Dal Bello realizou medidas de atenuação em floresta urbana, caracterizando os desvanecimentos rápidos provocados pela propagação por multipercurso.

[12] Swarup e Tewari estudaram a despolarização das ondas de rádio devido a seu espalhamento pela vegetação em floresta tropical. Realizaram campanha de medidas na faixa 50-800 MHz, com transmissor e receptor dentro de 2 tipos de florestas tropicais, ao norte da Índia.

[13] Reudink e Wazowicz realizaram medidas nas frequências de 836 MHz e 11,2 GHz, nas estações de verão e inverno. O transmissor era colocado no topo de uma colina em zona suburbana e o sinal era recebido nos arredores.

[14] Seker e Schneider realizaram um programa de medidas para caracterizar a propagação de onda de rádio na banda de UHF e os resultados foram comparados com predições baseadas em modelo de meio aleatório discreto.

[15] Low realizou medidas em florestas na Alemanha, nas frequências de 457 e 914 MHz, para estudar a variação do sinal com as estações do ano.

Dentre os muitos trabalhos relativos à propagação em meios vegetados, o que se observa é o estudo da perda de sinal no percurso de propagação. Não se tem conhecimento, porém, da dispersão causada no sinal rádio-móvel pela presença da vegetação.

O objetivo deste trabalho é, através de medições realizadas em diversos ambientes arborizados, determinar os principais parâmetros de dispersão em meios vegetados, para melhor caracterizá-los, conduzindo a uma melhoria nos projetos dos atuais sistemas rádio-móveis, que estão operando na faixa entre 1,8 e 2,0 GHz. A frequência de trabalho empregada será de 1,880 GHz e o interesse é realizar as medições em áreas urbanas, onde se encontra a maior concentração de usuários, com diferentes tipos de vegetação.

O Capítulo 2 tratará da caracterização do canal rádio-móvel e das

definições dos principais parâmetros de dispersão, discorrendo sobre sua importância nos projetos de sistemas móveis.

Operando em faixa larga, na portadora de 1,880 GHz, serão realizadas sondagens em meios arborizados com a finalidade de se avaliar a dispersão causada no sinal rádio-móvel pela presença da vegetação, em ambientes urbanos. Para realizar tais sondagens, um sinal de faixa larga será transmitido através do canal, recebido e processado de forma a se extrair dados do mesmo. Para a aquisição das medidas é necessário que uma técnica de sondagem seja escolhida e implementada. Partindo do princípio básico da técnica STDCC (*Sweep Time Delay Cross Correlation*) desenvolvida por Cox [16] e estudando diversas sondas já testadas, será implementada uma sonda STDCC empregando a geração digital do sinal filtrado, visando uma maior faixa dinâmica de sinal à saída do amplificador de potência, para menor interferência nos sistemas vizinhos.

O Capítulo 3 será dedicado à descrição do sistema de sondagem transmissor-receptor desenvolvido e montado no CETUC, relatando seu funcionamento, suas características e limitações. Também será descrita toda a operação realizada sobre o sinal de teste empregado no sistema e serão mostrados os resultados das simulações realizadas.

Realizados os testes iniciais com o sistema transmissor-receptor montado, as medidas serão estendidas a áreas arborizadas devidamente escolhidas. O processamento dos dados permitirá que se determine alguns parâmetros de dispersão. O processo de aquisição e o processamento desses dados serão tratados no Capítulo 4.

No Capítulo 5 serão definidos os ambientes de medidas com as rotas traçadas e serão fornecidas características específicas das medições.

No Capítulo 6 será feita a análise dos resultados. Finalmente, no Capítulo 7, serão dadas as conclusões a respeito do trabalho realizado, com sugestões de outros trabalhos que possam dar continuidade ao mesmo.