

## MODELOS DE PROPAGAÇÃO PARA SINAIS WIFI<sup>1</sup>

*SAMUEL, Sheilla Costa<sup>2</sup>*  
*Centro Universitário Academia – UniAcademia*  
*COSTA, Luis Guilherme da Silva.<sup>3</sup>*  
*Centro Universitário Academia – UniAcademia*

Linha de pesquisa: Telecomunicações e Telemática

### RESUMO

As redes Wi-Fi surgiram devido à necessidade de mobilidade do usuário para se conectar à internet e também pela necessidade de redução da complexidade da infraestrutura de conexão existente quando há um grande número de computadores. No início dos estudos para criar um padrão para redes sem fio, era necessário que a transmissão de radiofrequência (RF) fosse feita pela banda ISM (Industrial, Científica e Médica). Muitos tipos de pesquisa foram conduzidos sobre as características da propagação do sinal Wi-Fi e, como é uma tecnologia recente, muitas vulnerabilidades foram observadas e foram desenvolvidos métodos para aumentar a segurança da rede Wi-Fi para estabelecer uma conexão segura em uma rede sem fio. Neste trabalho é apresentado um referencial teórico mostrando os principais componentes, características e limitações de uma rede Wi-Fi sem fio (WLAN) assim como os modelos de propagação de um sinal de Wi-Fi, estudo este, que possibilite obter informações sobre os níveis de potência alcançados pelos dispositivos Wi-Fi mostrando as equações que representam os efeitos reais da propagação de uma onda eletromagnética.

**Palavras-chaves:** Redes WIFI, Propagação de sinal, Modelos de área de cobertura.

---

<sup>1</sup>Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Academia - UniAcademia, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

<sup>3</sup>Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.  
Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Especialistas afirmam que a pandemia de COVID-19 aumentou a demanda por serviços de internet devido ao significativo acréscimo no número de pessoas que, principalmente, tem desenvolvido seu trabalho remotamente. Para muitos usuários que se encontram em regime de quarentena, os problemas de conectividade com a internet tornaram-se cada vez maiores, pois provedores de internet dependem da quantidade e da disponibilidade de técnicos em redes sem fio para resolver falhas que, em sua maioria, são relativamente simples de serem solucionados, por exemplo, oscilação da potência do sinal Wi-Fi. Os materiais utilizados na construção das residências e espaços comerciais podem interferir sobre a distância que o sinal da tecnologia Wi-Fi se propaga em um ambiente interno. Esses materiais podem diminuir a taxa de transferência de dados, especialmente quando existem muitos dispositivos conectados à internet ao mesmo tempo em um ambiente compartilhando o mesmo canal de RF trabalhando sob interferência.

As redes Wi-Fi são projetadas para permitir que os usuários naveguem na internet em velocidades de banda larga com dispositivos móveis sem fio por meio de um ponto de acesso (AP) ou no modo ad-hoc (KUROSE, 2014). Composta por vários componentes que se interagem para fornecer uma LAN sem fio, a arquitetura IEEE 802.11 foi desenvolvida para suportar a mobilidade da estação de forma transparente para as camadas de rede superiores e caracteriza as camadas de controle de acesso ao meio (MAC) e física (PHY).

Com o crescimento das redes sem fio em ambientes internos (*indoors*), os inúmeros serviços que são disponibilizados e a grande mobilidade que a rede permite ao usuário, torna-se de primordial importância um planejamento detalhado e minucioso para que o usuário final não venha enfrentar dificuldades de acesso e latência com taxa de transferência de dados mais baixa por potência de recepção baixa nos dispositivos Wi-Fi.

O presente trabalho busca apresentar modelos de propagação do sinal Wi-Fi e está organizado conforme as seções a seguir. Na seção 2 é abordado o referencial teórico do estudo, onde é feita uma contextualização de forma mais detalhada sobre as redes Wi-Fi, enquanto a seção 3 caracteriza as dificuldades de propagação de uma onda eletromagnética mostrando os principais fatores de atenuação do sinal Wi-Fi como a distância, reflexão, refração e o multipercurso. A seção 4 mostra os principais modelos de propagação e aborda a metodologia utilizada mostrando as equações de predição de sinal para cada modelo. A seção

5 apresenta a metodologia utilizada neste trabalho a partir de pesquisas bibliográficas e a seção 6 traz as conclusões finais abordando os modelos propostos.

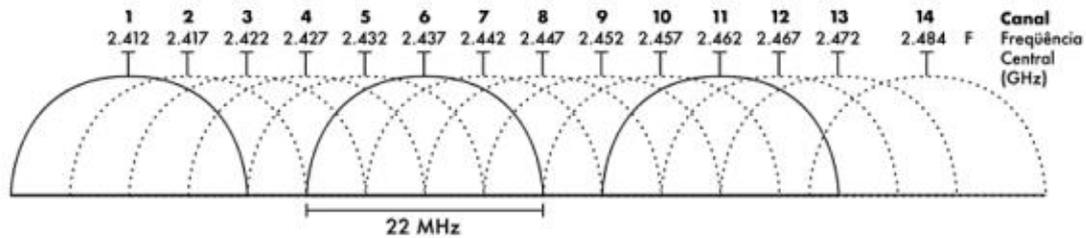
## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Redes sem fio baseadas no padrão IEEE 802.11, as redes sem fio se tornaram as mais utilizadas em diversos ambientes, como por exemplo residências, escritórios e até mesmo locais públicos, com as mesmas funcionalidades de uma rede cabeada, se tornando assim uma alternativa. Porém há a necessidade de um intenso planejamento para se determinar os locais onde serão instalados os pontos de acesso da rede, para que haja um desempenho satisfatório na área de cobertura dessa rede. Devido à necessidade desse planejamento, existem estudos do comportamento da propagação de ondas eletromagnéticas, que é um fenômeno físico que possui inúmeros mecanismos que dificultam sua determinação.

As redes Wi-Fi surgiram como uma alternativa às redes cabeadas ou convencionais, pois fornecem as mesmas funcionalidades, com o benefício de serem mais flexíveis e permitirem uma maior mobilidade dentro de um ambiente interno. Porém, este tipo de rede aberta conhecida com banda ISM (Industrial, Scientific & Medical) atualmente opera nas frequências de 2.4 GHz e 5 GHz (onde a primeira faixa segue o padrão IEEE 802.11b-g e n e a segunda segue o padrão IEEE 802.11a-n e AC) no Brasil e possuem suas limitações de alcance e largura de banda que impactam na taxa de transmissão.

A frequência de 2.4 GHz funciona com a técnica de espalhamento espectral DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) e trabalha com interferências nos canais adjacentes com banda de frequência de 2.400 a 2.483 GHz sendo padronizada em 14 canais, separados em 5 MHz a partir da frequência central da portadora e cada canal com largura de banda de 22 MHz. A Figura 1 mostra o espectro de frequência e a relação de canais e suas respectivas frequências de portadoras, porém somente os 11 primeiros canais são padronizados no Brasil, devido ao fato da maioria dos dispositivos operarem nessas faixas de frequências.

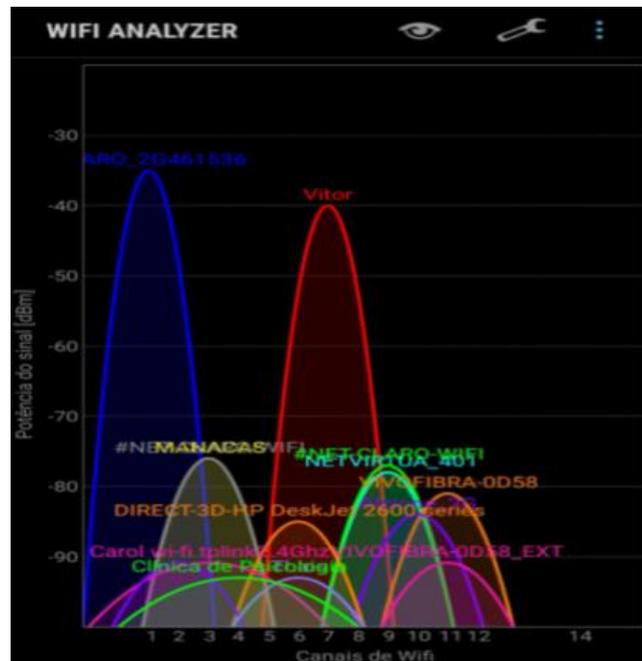
**Figura 1:** Representação do espectro de frequência



Fonte: Site Techtudo<sup>4</sup>

Na Figura 2 é apresentada a tela gráfica do software Wi-Fi Analyser que mostra várias redes Wi-Fi capturadas pelo software mostrando a interferência entre canais adjacentes operando com 11 canais com a indicação do RSSI (Received Signal Strength Indicator) com potências medidas variando entre -35 dBm a -92 dBm. É importante observar que a potência recebida pelo aplicativo somente está em condição de visada, LOS (Line of Sight), com os canais identificados nas cores azul e vermelha, recebendo potência mais alta.

**Figura 2:** Medida do RSSI com o software WIFI Analyser

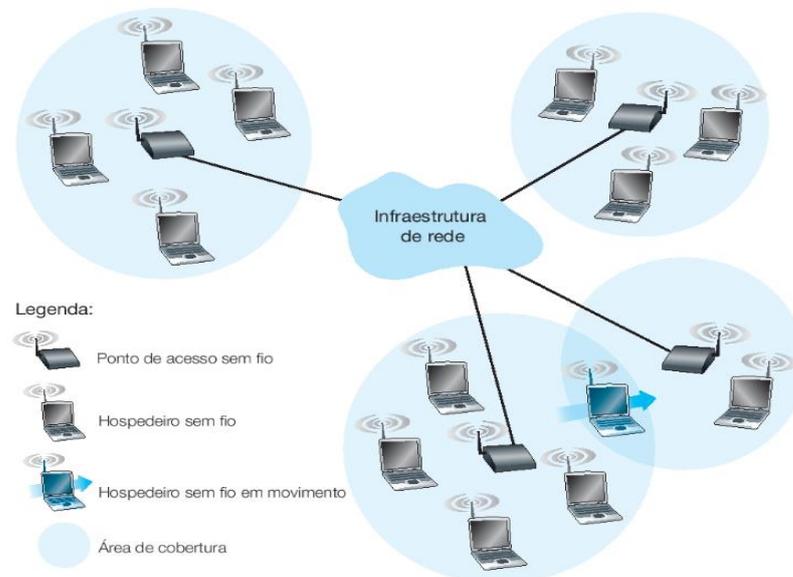


Fonte: Autor.

<sup>4</sup>Disponível em: < <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2016/03/veja-qual-largura-do-canal-usar-no-roteador-para-melhorar-o-wi-fi.html> > Acesso em: 07 set. 2021.

A rede sem fio nada mais é, portanto, que o compartilhamento do canal entre dois ou mais dispositivos, feita por meio de ondas eletromagnéticas, ao invés de cabos metálicos. A Figura 3 apresenta o cenário no qual serão considerados os tópicos de comunicação de dados e mobilidade sem fio através de um sinal Wi-Fi que será descrita a seguir.

**Figura 3:** Elementos de uma rede sem fio.



Fonte: KUROSE, ROSS, 2013

Segundo Kurose (2013) na figura 3 pode-se identificar os seguintes elementos:

- **Hospedeiros sem fio (*Wireless Hosts*):** "Host de rede", dispositivo que faz a comunicação com outros dispositivos presentes em uma rede. Em uma rede os hosts incluem clientes e servidores – que se encontram enviando ou recebendo dados, serviços ou aplicativos.
- **Ponto de acesso sem fio (*Wireless Access Point*):** Conhecido como WAP é um dispositivo de hardware configurado em uma rede local (LAN) que faz interconexão entre dispositivos sem fio. Apresentam transmissores de rádio e antenas, afim de facilitar a conectividade entre os dispositivos e a Internet ou uma rede.
- **Enlaces sem fio (*Wireless Links*):** É uma transmissão sem fio composta por um nó de origem (transmissor) e um nó de destino (receptor).

### 3 CARACTERIZAÇÃO DO SINAL DE RÁDIO

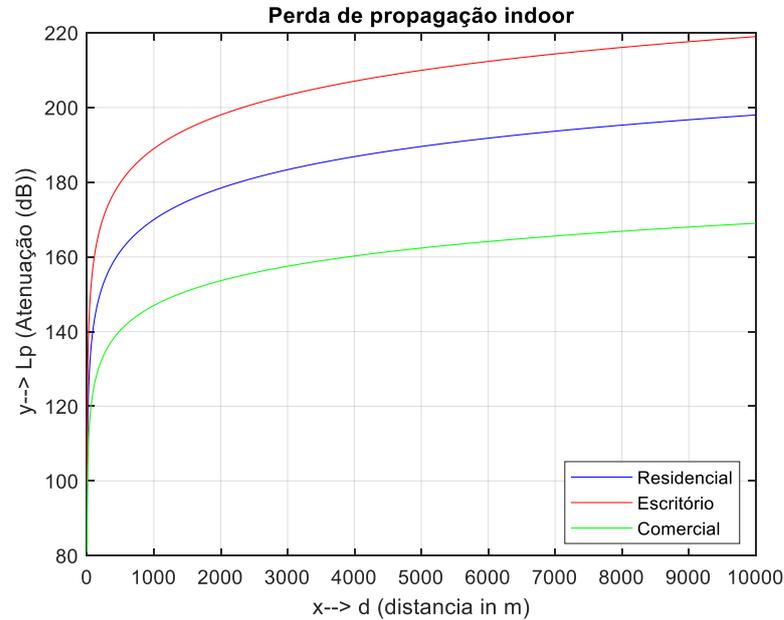
Quando tratamos de ambientes *indoors*, ou seja, ambientes internos, o canal de rádio sofre alguns efeitos com as seguintes características: existe variação de nível de sinal de acordo com o aumento a distância percorrida e também variação de larga e pequena escala do sinal. Na maioria dos casos, o modo de propagação com obstáculo é dominante entre transmissor e receptor aumentando a atenuação. Mesmo ocorrendo as perdas em obstáculos por reflexões e difrações ainda é possível fornecer uma potência do sinal suficiente para que a comunicação ocorra. No entanto, o modo de propagação parcialmente obstruído é geralmente determinado quando o raio do primeiro elipsoide de Fresnel encontra-se, no máximo, 40% obstruído. De modo similar, 60% do raio da 1ª Zona de Fresnel está desobstruída (SEYBOLD, 2005). Neste caso, modelos de previsão de propagação de sinais mais sofisticados são necessários para estimar a atenuação da propagação e conseqüentemente a potência de recepção.

#### 3.1 DEPENDÊNCIA COM A DISTÂNCIA

Quando uma onda eletromagnética se propaga por um meio, o nível de potência reduz com o quadrado da distância, porém, quando se trata principalmente de ambientes internos (*indoor*) a atenuação dessa onda pode ser elevada à quinta potência devido à obstáculos que podem influenciar no nível do sinal. O gráfico da Figura 4 apresenta a perda do sinal de acordo com a distância em metros de um edifício de 10 andares. A variação média é caracterizada por variabilidades de pequena e larga escala e o valor médio de atenuação do sinal pode ser verificado em 3 tipos de construções diferentes.

Na Figura 4, pode-se observar que no início das curvas o decaimento é mais acentuado e após certo ponto o decaimento começa a ser mais lento. Cada uma das situações apresentadas possui um grau de atenuação do sinal variando com a distância, dependendo da estrutura da edificação, tamanho das janelas, portas, distribuição dos móveis e movimentação de pessoas. Com todas essas variáveis presentes entre transmissor e receptor é difícil prever o nível de potência de recepção em um dispositivo.

**Figura 4:** Perda de propagação em relação à distância



Fonte: Site MathWorks<sup>5</sup>

Ao tratar-se de um mesmo ambiente, a localização do ponto de quebra depende das menores distâncias à parede e ao solo. Quando se trata de dependência em relação ao solo, devemos levar em consideração, além da frequência de operação, a altura da antena transmissora assim como da receptora.

$$d_{pq} = \frac{4h_t h_r}{\lambda}, (1)$$

onde  $d_{pq}$  é definido como a distância entre transmissor e receptor,  $h_t$  sendo a altura da antena transmissora em metros, para a altura da antena receptora teremos  $h_r$  dado em metros e  $\lambda$  será o comprimento de onda dado em metros.

### 3.2 VARIABILIDADE DE LARGA ESCALA

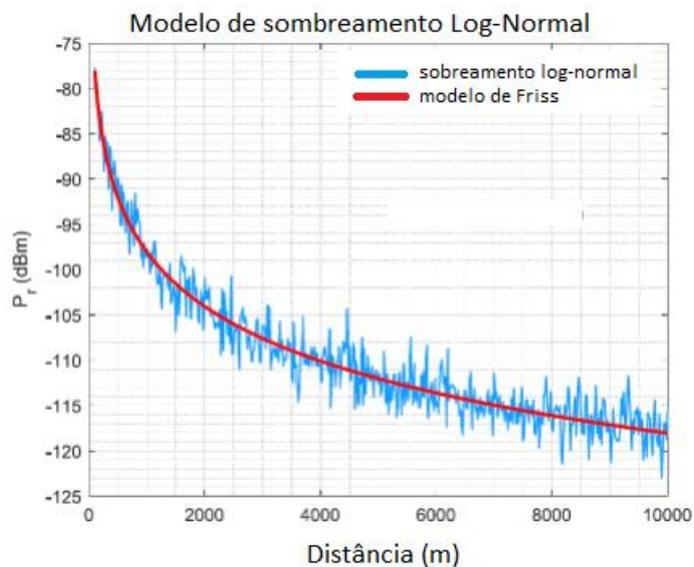
Fator causador de atenuação no sinal recebido nos dispositivos móveis a variabilidade ou o chamado sombreamento é caracterizada por períodos mais suaves que os de pequena

<sup>5</sup>Disponível em: <[https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/39319-indoor-path-loss-models?s\\_tid=srchtitle\\_path%2520loss%2520indoor%2520\\_1](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/39319-indoor-path-loss-models?s_tid=srchtitle_path%2520loss%2520indoor%2520_1)> Acesso em:07 set. 2021.

escala, porém de maior duração. O sombreamento, influencia no nível de sinal transmitido ao estar associado a flutuações ou variações do nível de potência em torno de seu valor médio, devido a características do meio. Através de uma distribuição Log-normal ou Gaussiana pode-se fazer a modelagem desse sombreamento.

Na figura 5 é possível verificar, um sinal recebido em função da distância, onde a variabilidade em larga escala é representada pelo sombreamento Log-normal. O modelo de perda de caminho de distância Log-normal é uma extensão do modelo de espaço livre de Friis. É usado para prever a perda de propagação para uma ampla gama de ambientes, enquanto o modelo de espaço livre de Friis é restrito a um caminho desobstruído entre o transmissor e o receptor. O modelo abrange efeitos de sombreamento aleatório devido a obstáculos de sinal por colinas, árvores, edifícios, etc.

**Figura 5:** Variabilidade em larga escala Log-normal.



Fonte: Site GaussianWaves<sup>6</sup>

### 3.3 VARIABILIDADE DE PEQUENA ESCALA

Esse tipo de variabilidade é causado devido às ondas eletromagnéticas percorrerem e chegarem à um receptor por diversos caminhos, sendo originada pelo multipercurso. Referente à fase, é sensível a pequenos deslocamentos de acordo com o aumento da

<sup>6</sup>Disponível em: <<https://www.gaussianwaves.com/2013/09/log-distance-path-loss-or-log-normal-shadowing-model/>> Acesso em: 07 set. 2021.

frequência do sinal, ou seja, se acontecer de um canal de rádio transmitir um impulso, este não será mais um impulso ao chegar no receptor, terá se tornado o chamado espalhamento de retardo (*delay spread*), um pulso com uma maior largura de banda. Caso haja mais sinais próximos ao espectro de frequência, ambos podem tornar-se correlatos e aumentar o espalhamento de retardo. Quando em um canal, determinada faixa de frequência possui o mesmo comportamento para todas as frequências, define-se como banda de coerência, ou seja, temos sinais fortemente correlatos, seja em amplitude ou em fase.

Dentro da banda de coerência, as componentes de frequência terão um alto nível de correlação, desse modo é provável que para ambas as frequências os efeitos impostos pelo canal sejam os mesmos e pode-se considerar o canal como sendo plano, devido ao fato de possuir todas as componentes espectrais atravessando o canal e também pelo fato de sofrerem o mesmo ganho e a mesma variação linear de fase.

Para combater o problema de correlação de sinais, é utilizada mais de uma antena espaçada por um determinado comprimento de onda conhecido como receptor com a diversidade em espaço, que possui um terminal com mais de duas antenas que recebe os sinais que foram captados e faz a combinação de ambos na busca do melhor sinal recebido para que o receptor possa modular. Existem também outros tipos de diversidade como a diversidade em frequência e a de polarização.

Para Alexander (2007), a propagação de sinais de RF é basicamente idêntica à propagação da luz, com a exceção significativa de que o comprimento de onda de interesse é muito maior; assim, materiais opacos à luz permitem que a onda eletromagnética passe por eles e objetos metálicos que possuam menos que alguns centímetros são efetivamente “invisíveis” à energia de RF produzida por WLANs a 2.4 e 5 GHz. Além disso, por mais que percorra curtas distâncias em ambientes internos a refração geralmente não é um fator impactante e o meio de propagação não muda em densidade relativa. Com essas exceções em mente, os princípios ópticos de propagação em linha de visada, reflexão e difração se aplicam:

- Atenuação (absorção): obstáculos de qualquer espécie, metálicos ou não, incluindo o corpo humano, atenuam as ondas eletromagnéticas. Em casos extremos, toda a energia pode ser absorvida causando áreas de sombreamento. A chamada perda de penetração, depende do material que compõe o objeto, ou seja, quanto mais espesso for o objeto maior será a perda. A Tabela 1 apresenta valores referentes a perdas na frequência de 2.4 GHz para ambientes *indoors* e *outdoors*.

- Reflexão: objetos metálicos que possuem dimensões consideravelmente maiores que um comprimento de onda, refletem a energia de RF que incide sobre eles de acordo com o princípio padrão para ondas ópticas (isto é, o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência).

**Tabela 1:** Perdas de penetração em obstáculos em 2.4 GHz.

Obstáculo	Perda Adicional (dB)
Espaço Livre	0,0
Janela (tinta não metálica)	3,0
Janela (tinta metálica)	5,0 a 8,0
Parede Fina (madeira)	5,0 a 8,0
Parede Média (madeira)	10,0
Parede Espessa (aprox. 15 cm)	15,0 a 20,0
Parede Espessa (aprox. 30cm)	20,0 a 25,0
Piso/Teto Espesso	15,0 a 20,0
Piso/Teto Muito Espesso	20,0 a 25,0

Fonte: Redes de Acesso em Banda Larga Utilizando Sistemas VSAT e WIFI.

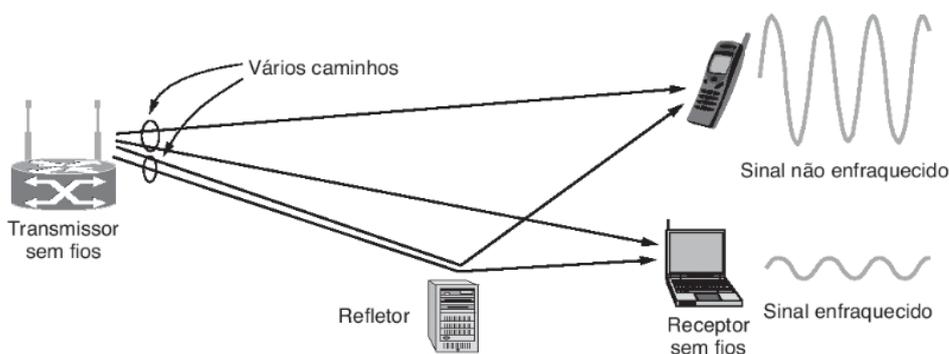
- Interferência por superposição de ondas: se duas ou mais ondas chegam ao mesmo ponto no espaço, mas seguem caminhos diferentes e, portanto, têm comprimentos de caminho diferentes, ocorre interferência construtiva e destrutiva. No caso das ondas eletromagnéticas, isso geralmente é conhecido como desvanecimento seletivo.
- Difração: objetos metálicos grandes com bordas distintas, como folhas de metal ou móveis, causam difração em suas bordas e permitem a propagação em áreas que, de outra forma, estariam em regiões de sombras.

Segundo Kurose (2014) afirma que essas variabilidades em pequena escala propiciam uma comunicação sem fio ainda mais difícil. De acordo com (TANEMBAUM, WETHERALL, 2011), a transmissão sem fio pode ser bastante complicada, pois há variações originadas por mudanças pequenas no ambiente. Nas frequências usadas para redes 802.11, os sinais de rádio são refletidos por objetos sólidos, o que faz com que as reflexões de transmissão alcancem o receptor por caminhos diferentes. Assim, pode ocorrer uma grande

flutuação no sinal recebido devido as reflexões cancelarem-se ou reforçarem-se devido aos diferentes atrasos de propagação. Esse fenômeno é chamado atenuação por múltiplos percursos (ou *multipath fading*).

O *multipath fading* acontece quando o sinal alcança o receptor por meio de vários caminhos diferentes e suas fases relativa e amplitudes se alteram. Esse fenômeno atinge a maior parte dos links de RF e pode-se verificar sinais emitidos através de um transmissor sem fio e percorrendo vários caminhos até os receptores. Como resultado têm-se a recepção de sinais atenuados por interferências destrutivas (mais fracos) e sinais não atenuados (interferência construtiva).

**Figura 6:** Atenuação por múltiplos percursos.



Fonte: TANEMBAUM; WETHERALL (2011)

#### 4 LIMITAÇÕES DA COBERTURA INTERNA PARA WIFI

A cobertura interna é uma das limitações mais importantes da tecnologia Wi-Fi, principalmente com o aumento da frequência das redes de acesso que em consequência aumenta a atenuação no ambiente interno (ZIADE, 2018). Por outro lado, o aumento da demanda do tráfego de dados, principalmente devido a *streams* de vídeo, torna-se limitado devido a áreas de sombras e sinais de baixa potência. Para especialistas da área, uma boa solução para melhorar a experiência do usuário no ambiente interno, seria uma boa distribuição dos repetidores no ambiente interno que é um fator chave para aumentar a eficiência da área de cobertura para sinais WIFI e para limitar qualquer sobreposição entre a cobertura dos diferentes repetidores instalados.

Podemos citar como fatores principais que influem na propagação das ondas de rádio em um ambiente interno a distância entre o transmissor e o receptor, a frequência de propagação do sinal modulado e os demais obstáculos que podem existir no caminho. Para

que possam ser identificados e estimados as perdas de caminho podem ser caracterizados por três tipos de modelos: empíricos, determinísticos e semi-empíricos, sendo diferentes entre si em termos de precisão, complexidade e tempo de computação.

Os modelos mais simples e rápidos de se implementar, são os modelos empíricos, que são baseados em medições e estatísticas, porém possuem a desvantagem de ter um baixo nível de precisão. Esse tipo de modelo não considera a geometria real do meio de propagação (obstáculos) quando o ângulo de incidência, número de reflexões e reflexões múltiplas podem existir entre o transmissor e o receptor.

Os modelos determinísticos levam em consideração a geometria exata do meio de propagação e considera os efeitos do multipercurso no receptor, possuindo assim um nível mais alto de precisão, porém tem a desvantagem da complexidade de implementação e um alto tempo de cálculo. Para modelos de propagação em ambientes *indoors* utilizamos a expressão 2:

$$L = a + (b \times \log f) + (c \times \log d_0) + (e \times \log d) + L_p + L_a \text{ (dB)}, \quad (2)$$

onde temos determinada de forma empírica a constante  $a$  dada em dB (pode se determinada também por modelos canônicos), o fator de atenuação com a frequência é dado por  $b$ ,  $c$  é determinado como fator representante de um modelo com distancia de referência,  $d$  é determinado com o fator de atenuação de acordo com distância, a atenuação pela travessia de obstáculos é definida por  $L_p$  dada em dB,  $L_a$  é a atenuação em dB pela travessia de andares,  $f$  é a frequência em MHz e  $d_0$  é a distância de referência (m) (MATTOS, 2006).

Os modelos semi-empíricos são o equilíbrio entre os modelos empíricos e os determinísticos, possuindo características de ambos. Esse modelo considera o efeito dos obstáculos no ambiente de propagação, porém, em geral, negligenciam os efeitos multipercurso. Pode-se calcular o número de paredes, levando em consideração as propriedades dielétricas do material das paredes e o ângulo de incidência através da equação,

$$L = 20 \log f + n \log d - 28 - 20 \log T, \quad (3)$$

onde,  $f$  é a frequência de operação em MHz,  $d$  a distância entre transmissor e receptor em metros,  $n$  é o coeficiente de perda de caminho e  $T$  o coeficiente de transmissão da parede

dependente da polarização da onda, da constante dielétrica do material da parede e do ângulo de incidência da onda eletromagnética no material dielétrico (VESGA, 2018).

#### 4.1 MODELOS SEMI-EMPÍRICOS:

Ao realiza-se o estudo sobre mecanismos de propagação, pode-se encontrar uma grande variedade de modelos de indicação de atenuação, sendo que a maioria desses modelos são obtidos empiricamente. Em oposição aos modelos empíricos, existem os modelos determinísticos (teóricos) e modelos mistos, conhecidos também como modelos semi-determinísticos. Esses modelos são desenvolvidos a partir de campanhas de medições através de expressões que calculam os valores médios de atenuação. A seguir serão apresentados alguns desses modelos.

##### 4.1.1 Modelo Log-Distance

Quando falamos de micro células em ambientes abertos ou ambientes fechado relacionado à perda de propagação e queremos usar os modelos empíricos mais simples, utilizamos os modelos Log-distance Estes modelos podem ser representados através da equação(4):

$$L = L_0 + 10n \log(d) + X\sigma, (4)$$

onde  $L_0$  é a perda de caminho em decibéis (dB) na distância de referência,  $d_0$  calculada usando o modelo de perda de caminho de espaço livre de Friis,  $n$  é o expoente de perda no caminho e  $\sigma$  é o desvio padrão da distribuição em dB. Segundo SUKHOON (2011), de acordo com determinadas faixas de frequência e ambientes, são feitas pré determinações de valores para esses coeficientes.

##### 4.1.2 Modelo Itu-R P.1238-1:

Este modelo leva em consideração os efeitos da propagação como a refração em obstáculos, a reflexão e a difração em objetos fixos, objetos em movimento e o confinamento da energia em corredores e foi desenvolvido para que pudesse trabalhar em ambientes fechados nas faixas de frequência entre 900MHz e 100 GHz.

Esse tipo de modelo, pode ser utilizado em casos particulares, citados abaixo:

- Transmissor e receptor no mesmo andar:
  - Sem obstrução, calculado através da equação (5),

$$P_1 = S + 10n \log(d) \quad (5)$$

O coeficiente  $n$  é dito como coeficiente de atenuação com a distância, que varia de acordo com o tipo de ambiente e frequência de operação, podendo ser também representado por  $n = 10_{n_1}$ . Ocorrerão variações diferentes no coeficiente  $n$  de acordo com a mudança de ambiente e frequência de operação. Verificamos na tabela 2 seus valores e como podemos ver os valores que mais se aproximam da faixa de 2,4 GHz são os da faixa de 2 GHz.

**Tabela 2:** Coeficiente de atenuação.

Frequência	Residencial	Escritório	Comercial
900 MHz	-	33	20
1.2 – 1.3 GHz	-	32	22
1.8 – 2.0 GHz	28	30	22
4 GHz	-	28	22

Fonte: Redes de Acesso em Banda Larga Utilizando Sistemas VSAT e WIFI.

- Transmissor e receptor no mesmo andar, com obstrução

Este modelo é utilizado quando existe um obstáculo entre transmissor e receptor e o único caminho é através desse obstáculo, logo a atenuação é dada pela equação (7):

$$P_2 = S + 10_{n_1} \log(d_1) + \sum L_w, \quad (7)$$

onde temos a distância entre superfície externa do obstáculo e o transmissor é definida por  $d_1$  e temos também a perda devido á penetração no objeto definida por  $L_w$ . O parâmetro  $L_w$  irá depender do material que é constituído o objeto que está obstruindo o sinal e também do ângulo com que incide o sinal sobre ele. Deve-se efetuar o cálculo da perda total ( $\sum L_w$ ) caso hajam diversos objetos entre transmissor e receptor.

$$L_{total} = 20 \log(f) + n \log(d) + L_f(k_f) - 28, \quad (8)$$

onde a frequência de operação é definida por  $f$  dada em MHz, o coeficiente de atenuação com a distância é dado por  $n$ ,  $d$  é a distância percorrida dada em metros,  $k_f$  é definida como o número de objetos atravessados e  $L_f$  varia de acordo com a frequência de operação e o ambiente e é definido como o coeficiente de atenuação por objeto atravessado em dB.

Para considerar efeito do sombreamento do sinal, precisamos utilizar a distribuição log-normal, representada pela equação (9):

$$p_r(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{r-m}{\sigma}\right)^2\right]} \text{ dB}, \quad (9)$$

onde,  $m$  é o valor médio da distribuição em dB,  $\sigma$  é o desvio padrão de distribuição em dB e  $r$  é a variável aleatória.

A movimentação dos objetos no caminho da propagação do sinal, causa um efeito de perda de até 10 dB em 2,4 GHz. Quando tratamos de uma construção, existem casos em que o transmissor se encontra fora do ambiente e o receptor se encontra dentro do ambiente. Neste caso podemos utilizar a Tabela 3 para valores de  $L_w$ .

**Tabela 3:** Fator de perda de penetração da parede.

Tipo de Parede	$L_w$ (dB)	$L_w$ Mínimo (dB)	$L_w$ Máximo (dB)
Concreto espesso com janelas amplas	5	4	5
Concreto com janelas amplas	11	9	12
Concreto espesso sem janelas	13	10	18
Concreto interno duplo	17	14	20
Concreto interno fino	6	3	7
Parede de tijolo com pequenas janelas	4	3	5
Parede com aço e janelas reforçadas	10	9	11
Parede de vidro	2	1	3
Vidro reforçado	8	7	9

Fonte: Redes de Acesso em Banda Larga Utilizando Sistemas VSAT e WIFI.

#### 4. 1. 3 Modelo Cost 231 Keenan e Motley

Este é o modelo considerado como mais abrangente em relação à propagação das ondas em ambientes abertos e fechados, sua expressão é dada (10):

$$L_{total} = L_0 + 10n \log(d) + \sum_{i=1}^I k_{f,i} L_{f,j} + \sum_{j=1}^J k_{w,i} L_{w,j}, \quad (10)$$

onde definimos a perda de propagação a um metro da antena irradiante por  $L_0$  dado em dB,  $d$  é a distância que o sinal percorre dada em metros, coeficiente de perda de propagação é definido por  $n$ , a perda de propagação do sinal através do piso  $i$  definido por  $L_{f,j}$  dada em dB, número de pisos com a mesma característica é dado por  $k_{f,i}$  e a perda de propagação do sinal através da parede  $j$  definido por  $L_{w,j}$  dado em dB, o número de paredes com a mesma característica é definido como  $k_{w,i}$ , o número de pisos atravessados pelo sinal é dado como  $I$  e número de paredes atravessadas pelo sinal é definido como  $J$ . A perda de sinal em alguns obstáculos nas frequências de 1,8 GHz, 2,4 GHz e 5,2 GHz é apresentada na Tabela 4 (KEENAN, 1990).

**Tabela 4:** Perdas de penetração em obstáculos.

Obstáculo	1.8 GHz	2.4 GHz	5.2 GHz
Concreto Espesso	13,0	17,0	36,0
Vidraça	2,0	13,0	15,0
Parede com janela	2,0 a 13,0	13,0 a 17,0	15,0 a 36,0

Fonte: Redes de Acesso em Banda Larga Utilizando Sistemas VSAT e WIFI.

#### 4. 1. 4 Modelo Cost 231 Mult-Wall

Para utilizarmos este modelo, devemos levar em consideração que devido a múltiplos pisos a atenuação possui um comportamento não linear e devemos considerar também a perda total calculada por ele. O cálculo é dado através da equação (11):

$$L_{total} = L_0 + 10n \log(d) + L_f \left( \frac{L_f + 2}{L_f - 2} - b \right) K_f + \sum_{j=1}^J k_{w,i} L_{w,j} \quad (11)$$

onde a perda de propagação medida a um metro da antena que está irradiando é definida como  $L_0$  dada em dB, a distância que o sinal percorre é definida como  $d$  dada em metros, o

coeficiente de propagação é dado por  $n$ , a perda de propagação do sinal através dos pisos é definido como  $L_f$  dado em dB, o número de pisos com a mesma característica é  $k_f$ ,  $b$  é o fator de correção da atenuação dos pisos, a perda de propagação do sinal através da parede ( $j$ ) é definido como  $L_{w,i}$  dado em dB, o número de paredes com a mesma característica é dado por  $k_{w,i}$  e o número de paredes atravessadas pelo sinal é dado por  $J$ .

## 5. METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizada a linha de pesquisa de telecomunicações e telemática sendo realizadas pesquisas bibliográficas de caráter descritivo e exploratório. No início foram apresentadas informações sobre as redes sem fio, fundamento básico para o estudo das redes Wi-Fi, sendo a base teórica deste trabalho. Foram abordadas também as características das redes sem fio como a topologia de rede, frequência e elementos, assim como informações sobre as características de propagação do sinal de rádio.

Por fim, foram apresentados os modelos mais utilizados para análise e predição de propagação do sinal Wi-Fi, tanto em ambientes indoors.

## 6. CONCLUSÃO

O trabalho em questão abordou modelos de propagação de uma rede WLAN em ambiente *indoor* analisando as características de propagação das ondas eletromagnética. Foram apresentados o comportamento de determinadas obstruções e o efeito na potência recebida pelos dispositivos WIFI. Foram realizadas neste trabalho, devido sua importância, referências à trabalhos que procuraram estudar a propagação de uma onda eletromagnética na rede WIFI, e ressaltar a importância da realização uma prévia análise referente à cobertura de sinais garantindo assim parâmetros de qualidade de uma rede WLAN, como latência e velocidade de transmissão.

Foi elaborada uma fundamentação teórica para melhor entendimento sobre a propagação de um sinal eletromagnético no espaço. A fundamentação foi realizada também para o conhecimento do efeito do multipercurso que é ocasionado pela reflexão e difração, e também a absorção de diferentes materiais dielétricos que podem alterar consideravelmente a potência de recepção em um dispositivo WIFI. É abordada também a interferência de outras

ondas eletromagnéticas na mesma frequência, vinda da mesma rede WLAN, que causam interferências construtivas e destrutivas do sinal.

### **ABSTRACT**

WIFI networks emerged due to the user's need for mobility to connect to the internet, in addition to the reduction in the complexity of the connection infrastructure between a large number of computers. At the beginning of the studies to create a standard for wireless networks, it was necessary that radio frequency (RF) transmission be carried out through the ISM band (Industrial, Scientific and Medical). Many types of research have been conducted on the characteristics of WIFI signal propagation and, as it is a recent technology, many vulnerabilities have been observed and methods have been developed to increase the security of the WIFI network to establish a secure connection over a wireless network. In the present work, a theoretical framework is presented that shows the main components, characteristics and limitations of a wireless WIFI network (WLAN) as well as the propagation models of a WIFI signal. power achieved by WIFI devices showing equations that represent the real effects of propagation of an electromagnetic wave.

**Keywords:** WIFI networks, Signal propagation, Coverage area models.

### **REFERÊNCIAS**

ALEXANDER, Tom. **Optimizing and Testing WLANs**. Burlington, Estados Unidos: EditoraNewes, 2007.

BERTONI, Henry L. et al. **UHF propagation prediction for wireless personal communications**. v. 82, n. 9, p. 1333-1359, 1994.

FARREL, Adrian. **A Internet e seus Protocolos uma Análise Comparativa**. São Paulo. Editora Campos, 2004.

FEY, Ademar Felipe. GAUER, Raul Ricardo. **Introdução à comunicação de dados e redes de computadores**. Caxias do Sul, RS: ITIT, 2017.

\_\_\_\_\_. **Solucionando Problemas De Comunicação Em Redes Lan E Wan.** Caxias do Sul, RS: ITIT, 2016.

GAOTAO, S. KEQIU, L. **Signal Interference in WiFi and ZigBee Networks.** Cham, Switzerland, 2017.

GRIERA, JordiIñigo et al. **Estructura de Redes de Computadores.** Barcelona, Espanha: Editorial UOC, 2018.

KEENAN, J. M.; MOTLEY, A. J. **Radio Coverage in Buildings.** British Telecom Technology Journal, 1990.

KUROSE, James F. ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a Internet: uma nova abordagem.** São Paulo, SP: Editora Pearson, 2014.

\_\_\_\_\_. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down.** São Paulo, SP: Editora Pearson, 2014.

MATTOS, Guilherme Marques. **Redes de Acesso em Banda Larga utilizando Sistemas VSAT e WIFI.** Rio de Janeiro, abril de 2006.

SEYBOLD, John S., Introduction to RF Propagation. New Jersey, John Wiley & Sons, 2005.  
SINGH, S. **Modelos internos de perda de caminho.** Disponível em:  
< [https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/39319-indoor-path-loss-models?s\\_tid=srchtitle\\_path%2520loss%2520indoor%2520\\_1](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/39319-indoor-path-loss-models?s_tid=srchtitle_path%2520loss%2520indoor%2520_1) > Acesso em 07 set. 2021.

SUKHOON Jung, CHOON-HO Lee and DONGSOO Han, "**Wi-Fi fingerprint-based approaches following log-distance path loss model for indoor positioning,**" 2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Intelligent Radio for Future Personal Terminals, 2011.

TANEMBAUM, Andrew S. WETHERALL, David. **Redes de computadores.** São Paulo, SP: Editora Pearson, 2011.

VESGA, FJ Carlos; CONTRERAS, H. Martha Fabiola; VESGA, B. Jose Antonio. **Design of empirical propagation models supported in the log-normal shadowing model for the 2.4 GHz and 5GHz bands under indoor environments.** Indian J. Sci. Technol, v. 11, n. 22, p. 1-18, 2018.

---

**Veja qual largura do canal usar no roteador para melhorar o Wi-Fi.** Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2016/03/veja-qual-largura-do-canal-usar-no-roteador-para-melhorar-o-wi-fi.html> > Acesso em 07 set. 2021.

**VISWANATHAN, M. Perda de caminho de distância de registro ou modelo de sombra normal de registro.** Disponível em:  
<<https://www.gaussianwaves.com/2013/09/log-distance-path-loss-or-log-normal-shadowing-model/> > Acesso em 07 set. 2021.

**ZIADE, Youmni. Optimization of Indoor Radio Coverage,** em IEEE Middle East and North Africa Communications Conference, 2018.