

2

Uma introdução prática à rádio-física

Comunicações sem fio utilizam-se de ondas eletromagnéticas para o envio de sinais através de longas distâncias. Na perspectiva de um usuário, conexões sem fio não são particularmente diferentes de qualquer outro tipo de conexão de rede: seu navegador web, email e outras aplicações funcionarão de acordo com o esperado. Mas ondas de rádio têm algumas propriedades inesperadas se comparadas com o cabo de Ethernet. Por exemplo, é muito fácil ver o caminho que o cabo Ethernet faz: localize o conector que sai de seu computador, siga o cabo até a outra ponta e você descobriu! Você também pode ter a confiança de que ter vários cabos Ethernet lado-a-lado não causarão problemas, uma vez que os sinais são mantidos dentro dos fios.

Mas como você sabe para onde as ondas que emanam de seu cartão wireless estão indo? O que acontece quando estas ondas chocam-se com os objetos da sua sala ou com os prédios de sua conexão externa? Como vários cartões wireless podem ser usados na mesma área, sem que um interfira com o outro?

Para construir redes wireless estáveis e de alta velocidade, é importante entender como as ondas de rádio comportam-se no mundo real.

O que é uma onda?

Todos temos alguma familiaridade com vibrações e oscilações em suas várias formas: um pêndulo, uma árvore balançando ao vento, a corda de um violão - estes são exemplos de oscilações.

O que elas têm em comum é que alguma coisa, algum meio ou objeto, está "balançando" de uma maneira periódica, com um certo número de ciclos por unidade de tempo. Este tipo de oscilação é, algumas vezes, chamada de onda mecânica, uma vez que é definida pelo movimento de um objeto ou por seu meio de propagação.

Quando tais oscilações viajam (isto é, quando o "balanço" não fica preso a um único lugar) dizemos que as ondas propagam-se no espaço. Por exemplo, um cantor cria oscilações periódicas em suas cordas vocais. Estas oscilações, periodicamente,

comprimem e descomprimem o ar, e esta mudança periódica de pressão do ar deixa a boca do cantor e viaja na velocidade do som. Uma pedra atirada em um lago causa uma perturbação, que então viaja através do lago como uma **onda**.

Uma onda possui uma certa **velocidade**, **freqüência** e **comprimento de onda**. Estas propriedades estão conectadas por uma relação simples:

$$\text{Velocidade} = \text{Freqüência} * \text{Comprimento de Onda}$$

O comprimento de onda (algumas vezes chamado de lambda, λ) é a distância medida de um ponto em uma onda até a parte equivalente da onda seguinte. Por exemplo, do topo de um pico até o seguinte. A freqüência é o número de ondas completas que passam por um ponto fixo dentro de um período de tempo. A velocidade é medida em metros por segundo, a freqüência é medida em ciclos por segundo (ou Hertz, abreviado como **Hz**) e o comprimento de onda é medido em metros.

Por exemplo, se uma onda na água viaja a um metro por segundo e oscila cinco vezes por segundo, então cada onda terá o comprimento de 20 centímetros (0,2 metros.):

Onde λ , abaixo, é o comprimento de onda (de *wavelength*, em inglês)

$$\begin{aligned} 1 \text{ metro/segundo} &= 5 \text{ ciclos/segundo} * \lambda \\ \lambda &= 1 / 5 \text{ metros} \\ \lambda &= 0,2 \text{ metros} = 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

As ondas também têm uma propriedade chamada **amplitude**. Ela é a distância do centro da onda para o extremo de um de seus picos e pode ser visualizada como a "altura" da onda na água. A relação entre freqüência, comprimento de onda e amplitude são mostradas na **Figura 2.1**.

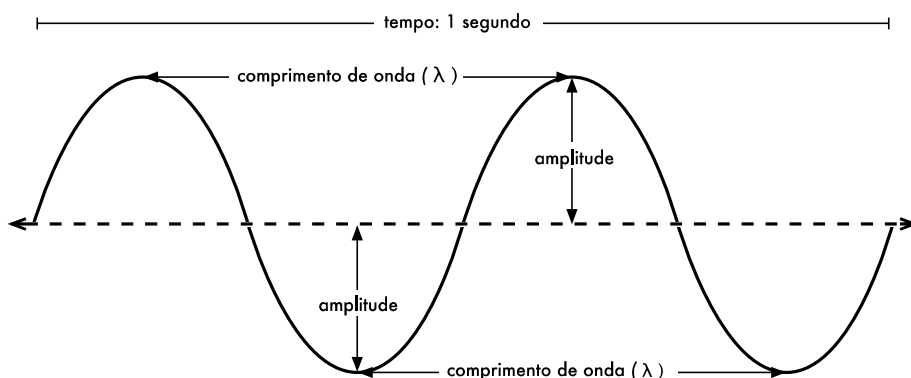


Figura 2.1: Comprimento de onda, amplitude e freqüência, Para esta onda, a freqüência é de dois ciclos por segundo, ou 2 Hz.

Ondas na água são de fácil visualização. Simplesmente deixe cair uma pedra em um lago e você verá as ondas moverem-se através da água com o passar do tempo. No caso de ondas eletromagnéticas, a parte que provavelmente será a mais difícil de entender é: "O que está oscilando?"

Para entender isto, você precisa entender as forças eletromagnéticas.

Forças eletromagnéticas

Forças eletromagnéticas são as forças que existem entre partículas e correntes elétricas. Nosso acesso mais direto a elas é quando nossa mão toca a maçaneta de uma porta depois que caminhamos em um tapete sintético, quando levamos um choque ao tocar a porta de um carro em um dia seco ou quando nos encostamos em uma cerca eletrificada. Um exemplo mais poderoso de forças eletromagnéticas são os raios que vemos durante tempestades. A **força elétrica** é a força que existe entre cargas elétricas. A **força magnética** é a que existe entre correntes elétricas.

Elétrons são partículas que carregam uma carga elétrica negativa. Existem outras partículas, mas os elétrons são os responsáveis pela maior parte do que precisamos saber sobre como raios comportam-se.

Vamos observar o que acontece em um pedaço de fio metálico reto, no qual forçamos os elétrons a irem e voltarem, de uma ponta a outra, periodicamente. Em um determinado momento, o topo do fio está carregado negativamente -- todos os elétrons, com sua carga negativa, estão reunidos lá. Isto cria um campo elétrico, do positivo ao negativo, ao longo do fio. No momento seguinte, todos os elétrons são forçados ao extremo oposto e o campo elétrico muda de direção. Com isto acontecendo constantemente, os vetores do campo elétrico (flechas imaginárias que apontam do positivo para o negativo) estão afastando-se do fio, por assim dizer, e estão irradiando pelo espaço ao redor do fio.

O que acabamos de descrever é conhecido como um dipolo (por causa dos dois polos, positivo e negativo) ou, mais comumente, como uma **antena dipolo**. Esta é a forma mais simples de uma antena omnidirecional. A movimentação do campo elétrico é chamada comumente de uma **onda eletromagnética**.

Voltemos à nossa relação:

$$\text{Velocidade} = \text{Frequência} * \text{Comprimento de Onda}$$

No caso de ondas eletromagnéticas, a velocidade é c (velocidade da luz).

$$c = 300,000 \text{ km/s} = 300,000,000 \text{ m/s} = 3*10^8 \text{ m/s}$$
$$c = f * \lambda$$

Ondas eletromagnéticas diferem de ondas mecânicas por não precisarem de nenhum meio de propagação. As ondas eletromagnéticas propagam-se mesmo no vácuo do espaço.

Potências de dez

Na física, matemática e engenharia, freqüentemente expressamos números como potências de dez. Nós veremos estes termos novamente, como em Giga-Hertz (GHz), Centi-metros (cm), Micro-segundos (μ s), entre outros.

Potências de 10			
Nano-	10^{-9}	1/1000000000	n
Micro-	10^{-6}	1/1000000	μ
Mili-	10^{-3}	1/1000	m
Centi-	10^{-2}	1/100	c
Kilo-	10^3	1	k
Mega-	10^6	1.000.000	M
Giga-	10^9	1.000.000.000	G

Conhecendo a velocidade da luz, calculamos, então, o comprimento de onda para uma dada frequência. Tomemos como exemplo a frequência utilizada por uma rede sem fio do tipo 802.11b, que é:

$$f = 2,4 \text{ GHz}$$

$$= 2.400.000.000 \text{ ciclos/segundo}$$

$$\text{comprimento de onda } \lambda = c / f$$

$$= 3 \cdot 10^8 / 2,4 \cdot 10^9$$

$$= 1,25 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$= 12,5 \text{ cm}$$

A frequência e o comprimento de onda determinam a maior parte do comportamento da onda, desde as antenas que construímos até os objetos que se encontram no caminho das redes que pretendemos implantar. Eles são responsáveis por muitas das diferenças entre os vários padrões pelos quais possamos nos decidir. Desta forma, uma compreensão das idéias básicas sobre frequência e comprimento de onda auxiliam bastante nos trabalhos práticos que envolvem redes sem fio.

Polarização

Outra qualidade importante de ondas eletromagnéticas é a **polarização**. A polarização descreve a direção do vetor do campo elétrico.

Se você imaginar uma antena dipolo (o pedaço reto de um fio metálico) alinhada verticalmente, os elétrons apenas movimentam-se para cima e para baixo, não horizontalmente (simplesmente porque não há espaço para que eles façam isto) e, dessa forma, os campos elétricos apenas apontam para cima ou para baixo, verticalmente. O campo deixando o fio e propagando-se como uma onda tem uma polarização estritamente linear (e, nesse caso, vertical). Caso a antena seja colocada, de forma horizontal, no chão, verificamos uma polarização linear horizontal.

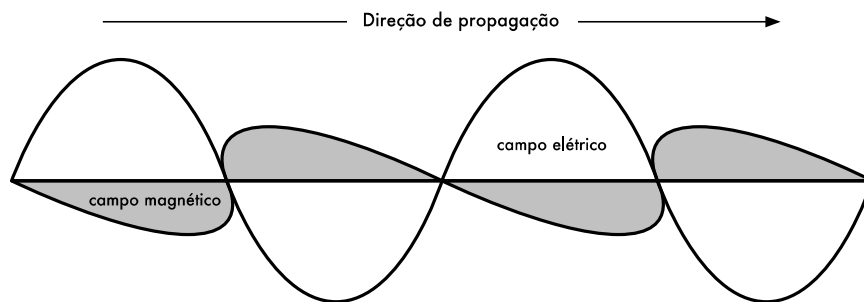


Figura 2.2: Campo elétrico e campo magnético complementar que compõem uma onda eletromagnética. A polarização descreve a orientação do campo magnético.

A polarização linear é apenas um caso especial e nunca é exatamente perfeita: geralmente, sempre teremos algum componente no campo que apontará também para outras direções. O caso mais genérico é o da polarização elíptica, com os extremos da polarização linear (apenas uma direção) e da polarização circular (em todas as direções com igual potência).

Como é possível imaginar, a polarização torna-se importante quando precisamos alinhar antenas. Se você ignorar a polarização é possível que tenha um sinal muito fraco, mesmo usando as antenas mais potentes. Chamamos isto de **descasamento de polarização**.

O espectro eletromagnético

Ondas eletromagnéticas existem em uma ampla variação de frequências (e, da mesma maneira, de comprimentos de onda). Esta variação de frequências e comprimentos de onda é chamada de **espectro eletromagnético**. A parte deste espectro que é a mais familiar para os humanos é, provavelmente, a luz, a porção visível do espectro eletromagnético. A luz está aproximadamente entre as frequências de $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz e $3,8 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondendo a comprimentos de onda de cerca de 400 nm (violeta/azul) até 800 nm (vermelho).

Regularmente, também estamos expostos a outras regiões do espectro eletromagnético, incluindo a **corrente alternada** (AC, *alternating current*, do inglês), que é a distribuição elétrica doméstica, na faixa de 50/60 Hz; Ultravioleta (ao lado das mais altas frequências da luz visível); Raios X ou radiação Roentgen, e muitas outras. **Rádio** é o termo utilizado para a porção do espectro eletromagnético onde ondas podem ser geradas através da aplicação de corrente alternada em uma antena. Isto acontece dentro da variação de 3 Hz até 300 GHz, mas, em um sentido mais estrito do termo, o limite mais alto da frequência será de 1 GHz.

Sempre que falamos de rádio, muitas pessoas pensam em rádio FM, que utiliza uma frequência nas proximidades de 100 MHz. Entre rádio e infravermelho encontramos a região das microondas - com frequências que variam entre 1 GHz e 300 GHz e comprimentos de onda de 30 cm a 1 mm.

O uso mais popular das microondas é em fornos de microondas que, de fato, trabalham exatamente na mesma região na qual estão os padrões wireless com os quais estamos lidando. Estas regiões estão dentro das bandas que são mantidas

abertas para o uso genérico, sem a necessidade de licenças. Esta região é chamada de banda **ISM**, que representa *Industrial, Scientific and Medical* (em português, Industrial, Científica e Médica). A maior parte do restante do espectro eletromagnético é mantida sob rígido controle da legislação, onde as licenças de uso representam um enorme fator econômico. Isto aplica-se especialmente àquelas regiões do espectro destinadas à transmissão ampla (*broadcast*¹) de TV e rádio, assim como às comunicações de voz e dados. Na maioria dos países, a banda ISM está reservada para o uso independente de licença.

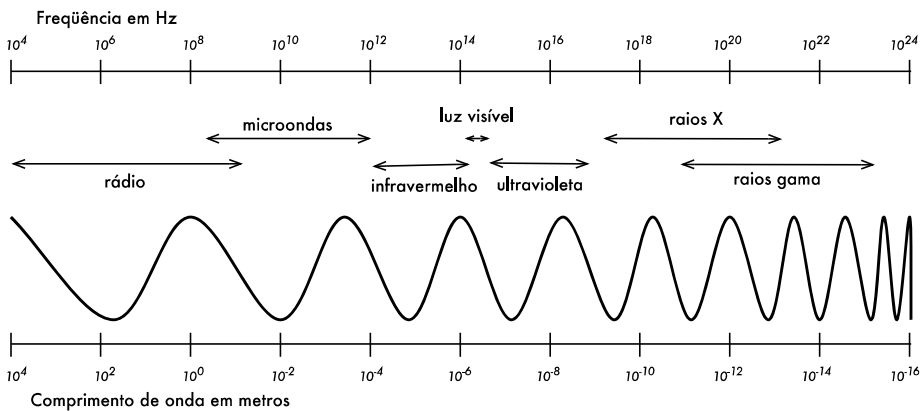


Figura 2.3: O espectro eletromagnético.

As frequências que mais nos interessam estão entre 2,400 e 2,495 GHz, que são utilizadas pelos padrões de rádio 802.11b e 802.11g (com o comprimento de onda correspondente de cerca de 12,5 cm). Outros equipamentos comumente disponíveis utilizam o padrão 802.11a, que opera na faixa de 5,150 a 5,850 GHz (com comprimento de onda entre 5 e 6 cm).

Largura de banda

Um termo que você encontrará com frequência em rádio-física é **largura de banda** (*bandwidth*). A largura de banda é simplesmente a medida da variação de frequência. Se uma variação entre 2,40 GHz e 2,48 GHz é usada por um dispositivo, então a largura de banda será de 0,08 GHz (ou mais comumente descrita como 80 MHz).

É fácil notar que a largura de banda que definimos aqui está intimamente relacionada com a quantidade de dados que podemos transmitir dentro dela - quanto mais espaço possível na variação da frequência, mais dados conseguimos colocar neste espaço em um dado momento. O termo largura de banda é freqüentemente usado para algo que, preferencialmente, deveríamos chamar de capacidade de dados, como em "minha conexão com a Internet tem

1. N. do T. - O termo broadcast será amplamente usado neste texto. Ele significa a transmissão em uma única direção, de um para muitos, e tem como principal exemplo a transmissão de TV ou rádio, onde uma estação transmite para vários receptores (clientes), sem que estes tenham a capacidade de usar o mesmo meio para transmitir dados em retorno.

1 Mbps de largura de banda", significando que podemos transmitir dados a um megabit por segundo.

Freqüências e canais

Vamos olhar com mais detalhe a forma como a banda de 2,4 GHz é utilizada no 802.11b. O espectro é dividido em pedaços uniformemente distribuídos dentro da banda como **canais** individuais. Repare que cada canal tem a largura de 22 MHz, mas estão apenas separados por 5 MHz. Isto significa que existe intersecção entre canais adjacentes eles podem interferir um com o outro. Isto está representado visualmente na **Figura 2.4**.

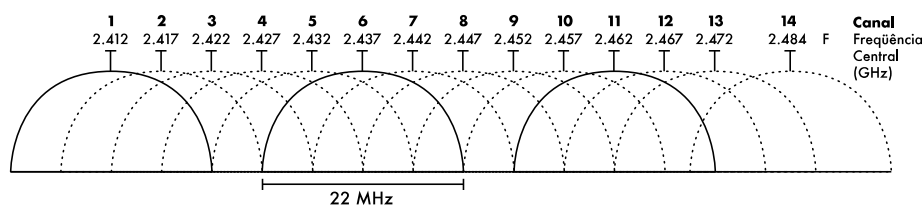


Figura 2.4: Canais e freqüências centrais para o 802.11b.
Note que não há intersecções entre os canais 1, 6 e 11.

Para uma lista completa dos canais e suas freqüências centrais para o 802.11b/g e 802.11a, veja o **Apêndice B**.

Comportamento das ondas de rádio

Há uma série de regras básicas e simples que têm se provado extremamente úteis no planejamento inicial de uma rede sem fio:

- Quanto maior o comprimento de onda, maior é o alcance;
- Quanto maior o comprimento de onda, maior a facilidade com que ela atravessa e contorna as coisas;
- Quanto menor o comprimento de onda, mais dados ela pode transportar.

Todas estas regras, mesmo simplificadas desta forma, tornam-se mais fáceis de entender através de exemplos.

Ondas mais longas viajam mais longe

Assumindo níveis iguais de potência, ondas com comprimentos de onda maiores tendem a viajar mais longe do que ondas com comprimentos de ondas menores. Este efeito é freqüentemente observado em rádio FM, quando comparada a distância atingida por um transmissor nas freqüências de 88 MHz até 108 MHz. Transmissores de freqüência mais baixa tendem a cobrir distâncias muito maiores que os transmissores de freqüência mais alta, com a mesma potência.

Ondas maiores passam ao redor de obstáculos

Uma onda na água que tenha a largura de cinco metros não será impedida por um pedaço de madeira de cinco milímetros na superfície do lago. Por outro lado, se o pedaço de madeira tiver 50 metros, ou for um navio, ele certamente se interporia no caminho da onda. A distância que uma onda pode viajar depende da relação entre o comprimento de onda e o tamanho dos obstáculos no caminho de sua propagação.

É mais difícil visualizar ondas movendo-se "através" de objetos sólidos, mas isto é o que acontece com ondas eletromagnéticas. Ondas com maiores comprimentos de onda (e conseqüentemente, menor freqüência) tendem a penetrar objetos com mais facilidade que ondas com menor comprimento de onda (e, assim, maior freqüência). Por exemplo, transmissões de FM (entre 88 e 108 MHz) podem atravessar prédios e outros obstáculos facilmente, enquanto ondas mais curtas (como telefones GSM operando na freqüência de 900 MHz ou 1800 MHz) têm dificuldade de penetrar prédios. Este efeito é parcialmente devido à diferença de potência utilizada para rádios FM e GSM, mas também é devido ao menor comprimento de onda dos sinais GSM.

Ondas mais curtas carregam mais dados

Quanto mais rápido uma onda "balança", ou "bate", maior é a quantidade de informação que pode carregar - cada batida, ou ciclo, pode ser usado, por exemplo, para transportar um bit digital ('0' ou '1') ou um 'sim' ou 'não'.

Há ainda outro princípio que pode ser aplicado a todos os tipos de ondas e que é extremamente útil no entendimento da propagação das ondas de rádio. Este princípio é conhecido como o **Princípio de Huygens**, que recebeu este nome por causa de Christiaan Huygens, um matemático, físico e astrônomo holandês que viveu entre 1629 e 1695.

Imagine que você pega uma pequena vareta e a mergulha verticalmente na superfície calma da água de um lago, fazendo com que a mesma balance e dance. As ondas vão deixar o centro da vareta - no local onde você a mergulha - em círculos. Agora, seja onde for que a água oscile e dance, as partículas vizinhas farão o mesmo: a partir de cada ponto de perturbação, uma nova onda circular terá início. Isto é, de uma forma simplificada, o princípio Huygens. Nas palavras da Wikipedia (<http://pt.wikipedia.org>):

O Princípio de Huygens é um método de análise aplicada aos problemas de propagação de ondas.

Através dos escritos deixados por Huygens, pode-se perceber que cada ponto localizado na frente de onda se comporta como uma nova fonte pontual de emissão de novas ondas esféricas, que ao se somarem formarão uma nova frente de onda e assim consecutivamente.

Segundo o próprio Huygens, "no estudo da propagação destas ondas deve-se considerar que cada partícula do meio através do qual a onda evolui não só transmite o seu movimento à partícula seguinte, ao longo da reta que parte do ponto luminoso, mas também a todas as partículas que a rodeiam e que se opõem ao movimento. O resultado é uma onda em torno de cada partícula e que a tem como centro.

Este princípio mantém-se verdadeiro para ondas de rádio, da mesma forma que para ondas na água, assim como para o som e a luz - só que, no caso da luz, o comprimento de onda é curto demais para que seres humanos possam observar diretamente este efeito.

Este princípio nos ajudará a entender a difração, as zonas Fresnel, a necessidade de se ter uma linha visual de contato e o fato de que, algumas vezes, parece que conseguimos a capacidade de ultrapassar cantos, sem a necessidade desta linha visual.

Vamos agora observar o que acontece com as ondas eletromagnéticas na medida em que elas viajam.

Absorção

Quando ondas eletromagnéticas penetram alguma coisa, elas geralmente enfraquecem ou deixam de existir. O quanto elas perdem de potência irá depender de sua frequência e, claro, do material que penetram. Janelas de vidro são, obviamente, transparentes para a luz, enquanto o vidro usado em óculos de sol filtram um bom bocado da intensidade da luz e também da radiação ultravioleta.

Freqüentemente, o coeficiente de absorção é usado para descrever o impacto do material na radiação. Para microondas, os dois principais materiais absorventes são:

- **Metal.** Elétrons podem mover-se livremente em metais, sendo prontamente capazes de oscilar e absorver a energia de uma onda que passe por eles.
- **Água.** Microondas fazem com que as moléculas de água agitem-se, tomando parte da energia da onda².

Em termos práticos de redes sem fio, podemos considerar metais e água como absorventes perfeitos: as ondas de rádio não serão capazes de atravessá-los (ainda que camadas finas de água permitam que alguma energia passe por elas). Eles são, para as microondas, a mesma coisa que um muro é para a luz. Quando falamos de água, devemos lembrar que ela existe em diversas formas. Chuva, vapor, neblina, nuvens baixas, entre outras, estarão no caminho das conexões de rádio. Elas têm forte influência e, em várias circunstâncias, podem causar a perda de conexões.

Há outros materiais que têm um efeito mais complexo na absorção de ondas de rádio. Para **árvores e madeira**, a capacidade de absorção irá depender do quanto de água elas contêm. Madeiras velhas, mortas e secas são relativamente transparentes, uma madeira jovem e úmida será bastante absorvente.

Plásticos e similares não costumam ser absorventes, mas isto irá depender da frequência e do tipo de material. Antes de construir algum componente com plástico (por exemplo, alguma cobertura de proteção para um equipamento de

2. Um mito popular é o de que a água "ressoa" na frequência de 2,4 GHz, que é a frequência utilizada em fornos de microondas. Na verdade, a água não tem nenhuma frequência de ressonância especial. As moléculas de água agitam-se na presença de ondas de rádio, aquecendo-se se esta onda tiver potência suficiente, independente de sua frequência. Como a frequência de 2,4 GHz não requer licença especial, ela foi simplesmente a escolha politicamente correta para o uso em fornos de microondas.

rádio e suas antenas), é conveniente medir e verificar se o material não absorve energia na frequência de 2,4 GHz. Uma maneira simples de fazer este teste é colocar uma amostra do material em um forno de microondas por alguns minutos. Caso o material esquente, isto significa que ele absorve energia de rádio e, por isto, não poderá ser utilizado.

Finalmente, falemos sobre nós: humanos (assim como qualquer outro animal) são especialmente compostos de água. Para redes de rádio, podemos ser considerados grandes barris de água com grande capacidade de absorção. Orientar os pontos de acesso sem fio de um escritório de maneira que o sinal tenha que atravessar muitas pessoas é um grande erro. Isto também deve ser levado em conta na instalação de redes comunitárias em cafeterias, bibliotecas e outras redes externas.

Reflexão

Da mesma forma que a luz visível, as rádio-freqüências são refletidas quando entram em contato com materiais apropriados para isto: para ondas de rádio, as principais fontes de material refletor são metais e superfícies de água. As regras de reflexão são bastante simples: o ângulo em que uma onda atinge a superfície é o mesmo ângulo em que ela é refletida. Note que, do ponto de vista de uma onda de rádio, uma densa grade de barras funciona da mesma forma que uma superfície densa, desde que a distância entre as barras da grade seja pequena, comparada com o comprimento de onda. Assim, em uma frequência de 2,4 GHz, uma grade de metal com um centímetro de espaçamento entre as barras funcionará da mesma forma que um prato metálico sólido.

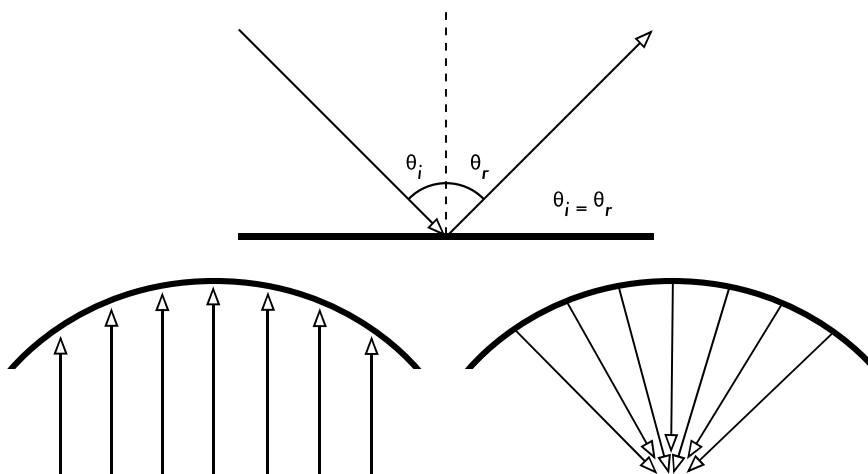


Figura 2.5: Reflexão de ondas de rádio. O ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão. Uma antena parabólica usa este efeito para concentrar as ondas de rádio que chocam-se em sua superfície em uma direção comum.

Ainda que as regras de reflexão sejam simples, as coisas podem se complicar quando você imagina o interior de um escritório com múltiplas e pequenas peças de metais das mais variadas formas e tamanhos. O mesmo se

aplica a situações urbanas: observe o ambiente de uma cidade e procure destacar seus componentes metálicos. Isto explica o porque de **efeitos multicaminhos** (isto é, o sinal chegando até o seu alvo através de caminhos diferentes e, conseqüentemente, em tempos diferentes) terem um papel tão importante em redes sem fio. Superfícies aquáticas, com ondas e oscilações mudando-as a todo o tempo, compõem superfícies refletivas que são, praticamente, impossíveis de se calcular com precisão.

Devemos ainda considerar o impacto da polarização: ondas com polarização diferente serão, geralmente, refletidas de forma diversa.

Usamos a reflexão a nosso favor quando construímos uma antena: posicionamos parábolas atrás de nosso transmissor ou receptor de rádio para coletar os sinais em um ponto ideal.

Difração

A difração é a aparente dobra das ondas quando atingem um objeto. É o efeito das "ondas que dobram esquinas".

Imagine uma onda na água que viaja diretamente para a frente, de forma similar às ondas que vemos quebrarem-se em uma praia. Agora, coloquemos uma barreira sólida, como uma cerca de madeira, de forma a bloquear esta onda. Cortamos, nesta barreira, uma passagem, como se fosse uma pequena porta. A partir desta passagem, uma onda circular terá início e atingirá, obviamente, pontos que não estão localizados em uma linha direta a partir dela. Se você olhar para esta frente de onda - que poderia ser uma onda eletromagnética - como um raio (uma linha reta), seria difícil explicar como ela atingiu pontos que deveriam estar protegidos pela barreira. Mas neste exemplo da frente de onda, e sua barreira na água, este fenômeno faz sentido.

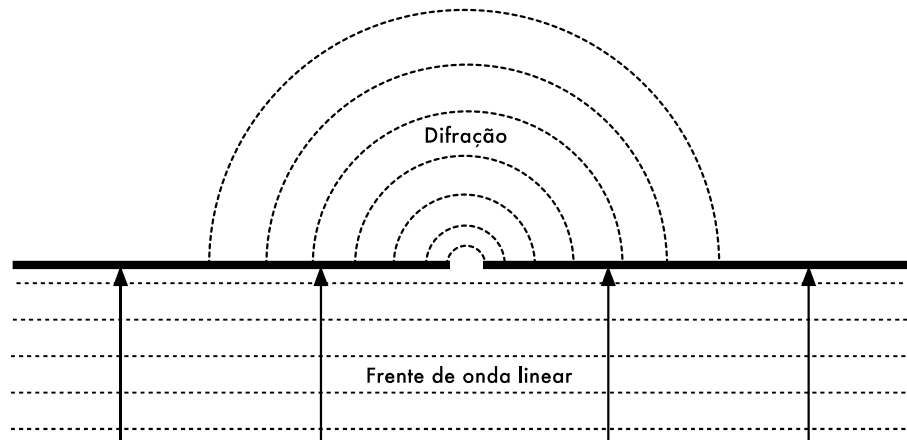


Figura 2.6: Difração através de uma abertura estreita.

O princípio de Huygens fornece um modelo para a compreensão deste comportamento. Imagine que, em qualquer dado instante, cada ponto da frente de onda seja o ponto de partida para uma "ondinha" esférica. Esta idéia foi, posteriormente, estendida por Fresnel e ainda há uma discussão se ela

descreve, adequadamente, o fenômeno. Para nosso propósito, o modelo de Huygens aplica-se relativamente bem ao efeito.

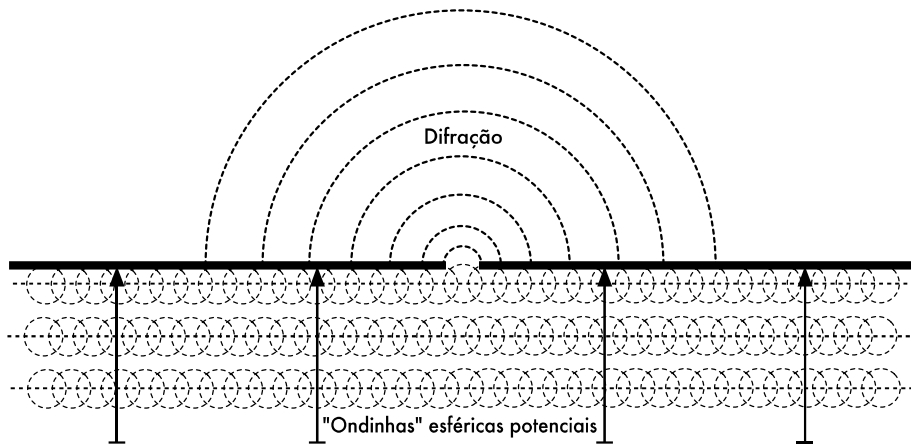


Figura 2.7: Princípio Huygens.

Por causa da difração, ondas doam esquinas e atravessam aberturas em barreiras. O comprimento de onda da luz visível é muito pequeno para que os humanos possam observar este efeito diretamente. Microondas, com o comprimento de alguns centímetros, mostram o efeito da difração quando atingem paredes, picos de montanhas e outros obstáculos, dando a impressão de que a onda muda de direção e dobra em cantos e esquinas.

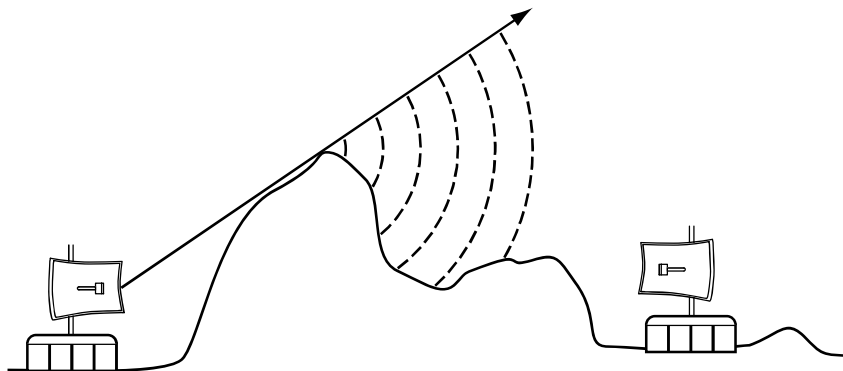


Figura 2.8: Difração sobre o topo de uma montanha.

Note que a difração ocorre ao custo de perda de potência: a energia da onda difratada é significativamente menor que a da frente de onda que a originou. Mas em algumas situações específicas você pode tomar vantagem da difração para contornar obstáculos.

Interferência

Quando trabalhamos com ondas, um mais um não é necessariamente igual a dois. O resultado pode até ser nulo.

Isto é fácil de entender quando você desenha duas ondas senoidais e soma as amplitudes. Quando os picos acontecem simultaneamente, você tem o resultado máximo ($1 + 1 = 2$). Isto é chamado de **interferência construtiva**. Quando um pico acontece em conjunto com um vale, você tem a completa aniquilação ($1 + (-1) = 0$), ou a **interferência destrutiva**.

Você pode tentar isto na prática na superfície da água, usando duas varetas para criar ondas circulares - você verá que onde as ondas se encontram existirá áreas de picos maiores, enquanto outras ficarão praticamente calmas.

Para que trens de ondas possam ser combinados, cancelando perfeitamente um ao outro, eles necessitam ter exatamente o mesmo comprimento de onda e uma relação fixa de fase, ou seja, posições fixas entre os picos de uma onda e a outra.

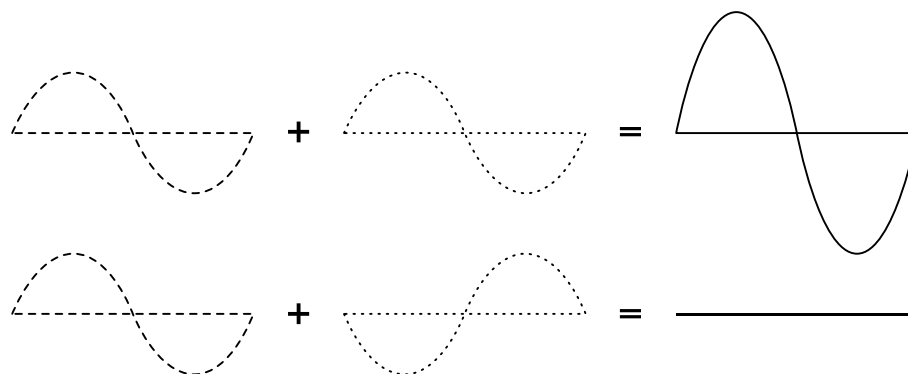


Figura 2.9: Interferência construtiva e destrutiva.

Em tecnologia wireless, a palavra interferência é, tipicamente, usada em um sentido mais amplo e diz respeito à perturbações causadas através de outras fontes de rádio-freqüência, como canais vizinhos, por exemplo. Assim, quando técnicos de redes falam sobre interferência, eles podem estar referindo-se a todo o tipo de perturbação causado por outras redes e outras fontes de microondas. A interferência é uma das principais fontes de problemas na construção de conexões sem fio, especialmente em ambientes urbanos e espaços fechados (como uma sala de conferências) onde muitas redes podem competir pelo uso do espectro.

Em qualquer lugar em que ondas de amplitudes iguais e fases opostas cruzem seus caminhos, a onda é aniquilada e nenhum sinal poderá ser recebido. O caso mais comum é o de ondas que combinam-se em uma forma de onda completamente embaralhada que não poderá ser efetivamente usada para a comunicação. As técnicas de modulação e o uso de múltiplos canais ajudam a lidar com problemas de interferência, mas não os eliminam completamente.

Linha de visão

O termo **linha de visão**, freqüentemente abreviado por **LOS** (do inglês, *line of sight*), é bastante fácil de se entender quando falamos de luz visível: se conseguimos ver o ponto B a partir do ponto A, onde estamos, temos uma linha de visão. Simplesmente trace uma linha de A até B e, caso não exista nada no caminho, temos linha de visão.

As coisas complicam-se um pouco mais quando lidamos com microondas. Lembre-se que a maioria das características de propagação de ondas eletromagnéticas estão relacionadas com seu comprimento de onda. Este também é o caso para ondas que se alargam na medida em que viajam. A luz tem um comprimento de onda de cerca de 0,5 micrômetros. Microondas, como as usadas em redes wireless, tem um comprimento de onda de alguns poucos centímetros. Conseqüentemente, seus raios são bem mais largos - precisam de mais espaço, por assim dizer.

Note que raios visíveis de luz também alargam-se da mesma forma e, se você deixá-los viajar por longas distâncias, você verá os resultados independente de seu comprimento de onda. Ao apontar um laser bem focado para a lua, ele irá alargar mais de 100 metros em seu raio quando atingir a superfície. Você mesmo pode comprovar esse efeito com um apontador laser comum e binóculos em uma noite clara. Ao invés de apontar para a lua, aponte para uma montanha distante ou alguma estrutura desocupada (como uma caixa d'água). O tamanho do ponto projetado será maior quanto maior for a distância.

A linha de visão que necessitamos a fim de ter a melhor conexão sem fio entre os pontos A e B é mais do que simplesmente uma linha fina - sua forma deve ser mais parecida com a de um charuto, uma elipse. Sua largura pode ser descrita pelo conceito das zonas Fresnel.

Entendendo a zona Fresnel

A teoria exata de Fresnel é bastante complicada. O conceito, entretanto, é fácil de entender: sabemos, do princípio de Huygens que, a cada ponto de uma frente de onda, inicia-se uma nova onda circular. Sabemos que os feixes de microondas alargam-se na medida em que se afastam da antena. Sabemos que as ondas de determinadas freqüências interferem umas com as outras. A teoria da zona Fresnel simplesmente considera a linha entre os pontos A e B em conjunto com todo o espaço no entorno dessa linha, que pode contribuir para o que chega no ponto B. Algumas ondas viajam diretamente do ponto A até o B, enquanto outras viajam em um caminho ao redor do eixo. Conseqüentemente, passa a existir um deslocamento de fase entre as ondas que trafegam em linha direta e as que se desviam do caminho. Toda a vez que o deslocamento de fase corresponde a um comprimento inteiro de onda, obtem-se uma interferência construtiva: o sinal é otimizado. Com o cálculo apropriado, você descobrirá que existem zonas ao redor da linha direta entre A e B que contribuem para o sinal chegando até o ponto B.

Note que são muitas as zonas Fresnel possíveis, mas nossa preocupação principal é com a zona 1. Caso esta área esteja particularmente bloqueada por uma obstrução, como uma árvore ou um prédio, o sinal que chega na outra

extremidade será reduzido. Quando construímos conexões sem fio, precisamos ter certeza de que estas zonas se manterão livres de obstruções. Claro, nada é sempre perfeito, então, normalmente, em redes wireless buscamos que cerca de 60% do raio da primeira zona Fresnel esteja desobstruído.

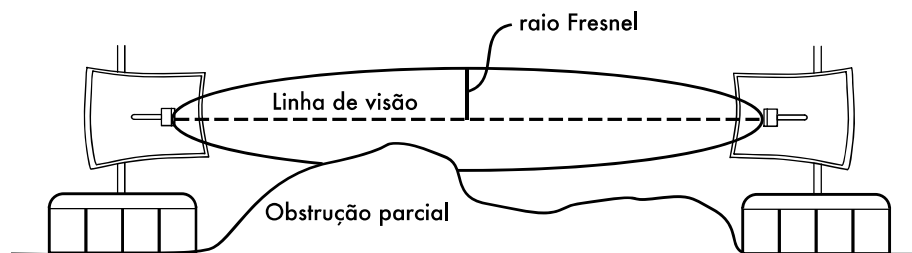


Figura 2.10: A zona Fresnel está parcialmente bloqueada nesta conexão, ainda que a linha de visão esteja clara.

Abaixo está a fórmula para o cálculo da primeira zona Fresnel:

$$r = 17,31 * \text{sqrt} ((d1*d2) / (f*d))$$

onde r é o raio da zona, em metros, d1 e d2 são as distâncias, em metros, do obstáculo para cada uma das pontas da conexão, d é a distância total do link, em metros e f é a frequência, em MHz. O resultado desta fórmula será o raio da zona, não a altura acima do chão. Para calcular a altura acima do chão você deve subtrair o resultado de uma linha traçada diretamente entre os topos das duas torres.

Como exemplo, vamos calcular o tamanho da primeira zona Fresnel no meio de um link wireless de 2 Km, transmitindo a uma frequência de 2,437 GHz (802.11b, canal 6):

$$\begin{aligned} r &= 17,31 \text{ sqrt} ((1000 * 1000) / (2437 * 2000)) \\ r &= 17,31 \text{ sqrt} (1000000 / 4874000) \\ r &= 7,84 \text{ metros} \end{aligned}$$

Assumindo que ambas as torres tenham 10 metros de altura, a primeira zona Fresnel passaria a apenas 2,16 metros sobre o chão na posição central do link. Mas qual deveria ser a altura desta estrutura para que este ponto central ainda garanta 60% de desobstrução da primeira zona?

$$\begin{aligned} r &= 0,6 * 17,31 \text{ sqrt} ((1000 * 1000) / (2437 * 2000)) \\ r &= 4,70 \text{ metros} \end{aligned}$$

Subtraindo este resultado de 10 metros, podemos ver que uma estrutura de 5,3 metros de altura a partir do centro do link iria bloquear até 40% da primeira zona Fresnel. Isto é normalmente aceitável, mas para melhorar a situação nós precisaríamos posicionar nossas antenas em uma altura ainda maior, ou mudar a direção do link para evitar o obstáculo.

Potência

Qualquer onda eletromagnética transporta energia - nós podemos sentir isto quando aproveitamos (ou sofremos com) o calor do sol. A quantidade de energia recebida em uma determinada quantidade de tempo é chamada de **potência**. A potência **P** é de fundamental importância para que links sem fio funcionem: você precisa de uma quantidade mínima de potência para que o receptor reconheça o sinal.

Nós trataremos dos detalhes sobre potência de transmissão, perdas, ganhos e sensibilidade de rádio no **Capítulo 3**. Aqui discutiremos brevemente como a potência **P** é definida e medida.

O campo elétrico é medido em V/m (diferença de potencial por metro). A potência contida nele é proporcional ao quadrado da intensidade do campo elétrico:

$$P \sim E^2$$

Na prática, nós medimos a potência com o auxílio de alguma forma de receptor, por exemplo, uma antena e um voltímetro, medidor de potência, osciloscópio ou mesmo um cartão wireless e um laptop. Ao olhar diretamente para a potência do sinal, estamos olhando para o quadrado deste sinal, em Volts.

Calculando com dB

De longe, a técnica mais importante para o cálculo de potência é com o uso de **decibéis (dB)**. Não há nenhuma nova física escondida aqui - é apenas um conveniente método que torna os cálculos muito mais simples.

O decibel é uma unidade sem dimensão³, ou seja, é definida pela relação de duas medidas de potência. É definido como:

$$\text{dB} = 10 * \text{Log} (P1 / P0)$$

onde **P1** e **P0** podem ser quaisquer dois valores que você deseja comparar. Tipicamente, em nosso caso, serão duas quantidades de potência.

Porque os decibéis são tão práticos de usar? Muitos fenômenos na natureza comportam-se de uma forma que chamamos exponencial. Por exemplo, o ouvido humano percebe um som como duas vezes mais alto que outro apenas quando este é dez vezes, fisicamente, mais forte que o primeiro sinal.

Outro exemplo, bastante próximo ao nosso campo de interesse, é a absorção. Suponha que uma parede esteja no caminho de nossa conexão wireless, e que a cada metro de parede percamos metade do sinal disponível.

$$\begin{aligned} 0 \text{ metros} &= 1 \text{ (sinal completo)} \\ 1 \text{ metro} &= 1/2 \\ 2 \text{ metros} &= 1/4 \\ 3 \text{ metros} &= 1/8 \\ 4 \text{ metros} &= 1/16 \\ n \text{ metros} &= 1/2^n = 2^{-n} \end{aligned}$$

Este é o comportamento exponencial.

3. Outro exemplo de uma unidade sem dimensão é o percentual (%), também usado em todos os tipos de quantidades ou números. Enquanto unidades como metros e gramas são fixas, unidades sem dimensão representam uma comparação, uma relação entre valores.

Uma vez que utilizemos o truque da aplicação de logaritmos (log), as coisas tornam-se muito mais fáceis. Ao invés de pegar um valor na "enésima" potência, nós multiplicamos por "n". Ao invés de multiplicar valores, os adicionamos.

Aqui estão alguns valores comumente usados, que são importantes de se manter em mente:

- +3 dB = o dobro da potência
- 3 dB = metade da potência
- +10 dB = ordem de magnitude (10 vezes a potência)
- 10 dB = um décimo da potência

Em adição ao dB sem dimensão, há algumas definições relativas que estão baseadas em um valor base para P_0 (potência de referência). Os mais importantes, para nós, são:

- dBm relativo para $P_0 = 1 \text{ mW}$
- dBi relativo a uma antena isotrópica ideal

Uma **antena isotrópica** é uma antena hipotética que distribui potência de forma uniforme em todas as direções. Ela pode ser comparada a um dipolo, mas uma antena isotrópica perfeita não pode ser construída na realidade. O modelo isotrópico é útil para descrever o ganho relativo de potência em uma antena real.

Outra convenção comum (ainda que seja menos conveniente) para expressar a potência é em miliwatts. Aqui está a equivalência de níveis de potência expressos em miliwatts e dBm:

- 1 mW = 0 dBm
- 2 mW = 3 dBm
- 100 mW = 20 dBm
- 1 W = 30 dBm

A física no mundo real

Não se preocupe se os conceitos neste capítulo pareceram muito desafiadores. O entendimento da forma como as ondas se propagam e interagem com o ambiente é um campo de estudo realmente complexo. A maior parte das pessoas acha difícil compreender fenômenos que não podem testemunhar com seus próprios olhos. Por enquanto, você deve entender que as ondas de rádio não viajam em um caminho reto e previsível. Para construir redes de comunicação confiáveis, você precisará ser capaz de calcular quanta potência será necessária para cobrir uma determinada distância e prever como as ondas viajarão por este caminho.

Há muito mais para aprender sobre a física de rádio do que teríamos espaço para colocar aqui. Para mais informações sobre esse campo em constante evolução, leia os recursos que listamos no **Apêndice A**.