



## **Aula 00 – Redes sem Fio**

Redes de Computadores – Analista Legislativo –  
Tecnologia da Informação – Senado Federal

**Prof. Gleyson Azevedo**

## Sumário

SUMÁRIO	2
APRESENTAÇÃO	3
REDES SEM FIO (IEEE 802.11) – ARQUITETURA	5
REDES SEM FIO (IEEE 802.11) – SUBCAMADA MAC	8
REDES SEM FIO (IEEE 802.11) – CAMADA FÍSICA	15
QUESTÕES COMENTADAS PELO PROFESSOR	17
LISTA DE QUESTÕES	19
GABARITO	25

## Apresentação

Olá! Sou o professor Gleyson Azevedo e aqui no Direção Concursos ministro as disciplinas Redes de Computadores e Segurança da Informação. Sou formado em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro-RJ. Possuo Mestrado na área de Segurança da Informação pela mesma instituição e nessa área atuo há treze anos.

Sou professor em cursos de pós-graduação nas áreas de Telecomunicações, de Redes de Computadores e de Segurança da Informação, participo frequentemente de seminários e de congressos proferindo palestras sobre temas como Criptografia, Segurança de Redes e Defesa Cibernética.

Minha experiência com o mundo dos concursos teve início em 2008 e desde então tenho ministrado as disciplinas de Redes de Computadores e de Segurança da Informação em cursos preparatórios nas capitais de diversos estados de nosso país. Já ministrei aulas nas cidades de Brasília, Rio de Janeiro, Recife, Fortaleza, Belo Horizonte, Salvador e Manaus.

Mais recentemente, tenho voltado minha atenção para o treinamento de técnicas de estudo, neuroaprendizagem e aprendizagem acelerada, sempre com foco na aprovação de alunos e orientandos em concursos públicos.

A disciplina de Redes de Computadores costuma ser um problema para muitos concurseiros da área de Tecnologia da Informação (TI), em especial para quem não é do perfil de suporte ou de infraestrutura. Nosso trabalho aqui tem por objetivo torná-la absolutamente acessível para todos e temos convicção, após onze anos preparando e aprovando percentual expressivo de alunos nos mais diversos e importantes concursos do país, que iremos fazer o mesmo por você.

Neste material você terá:



### Curso completo em VÍDEO

*teoria e exercícios resolvidos sobre TODOS os pontos do edital*

### Curso completo escrito (PDF)

*teoria e MAIS exercícios resolvidos sobre TODOS os pontos do edital*

### Fórum de Dúvidas

para você sanar DIRETAMENTE conosco sempre que precisar

**Você está começando agora a estudar para concursos?** Não se preocupe! Este curso também te atende. Veremos toda a teoria que você precisa e resolveremos muitos exercícios para que você possa praticar bastante cada aspecto estudado e entender bem como a banca gosta de cobrar cada tema. Minha recomendação nestes casos é que você comece assistindo as videoaulas, para em seguida enfrentar as aulas em PDF. Fique à vontade para me procurar no fórum de dúvidas sempre que for necessário.

Caso você queira tirar alguma dúvida antes de adquirir o curso, basta me enviar um **email** ([gleyson131@gmail.com](mailto:gleyson131@gmail.com)) ou um **direct** pelo Instagram.

Conheça ainda as minhas outras redes sociais para acompanhar de perto o meu trabalho:



**@gleysonazevedo**



**/bloggleysonazevedo**



**/gleyson131**

## Redes sem Fio (IEEE 802.11) – Arquitetura

O IEEE definiu as especificações para a implementação de redes LAN sem fio (WLAN), sob a recomendação IEEE 802.11, que abrange as camadas física e de enlace. Mais adiante discutiremos essa composição.

O padrão define dois tipos de serviços: o **Basic Service Set (BSS)** e o **Extended Service Set (ESS)**.

O IEEE 802.11 define o BSS como a base de uma rede LAN sem fio (WLAN). Uma BSS é formada por estações *wireless* fixas ou móveis e, opcionalmente, por uma estação-base central conhecida como AP (*Access Point*). A Figura 1 mostra dois exemplos de configuração de BSS desse padrão.

**BSS:** Basic service set  
**AP:** Access point



Figura 1 – Tipos de BSS

Uma BSS sem um AP é uma rede isolada e independente que não pode transmitir dados para outras BSSs. Essa arquitetura é denominada arquitetura *ad hoc*. Nela, as estações podem formar uma rede sem a necessidade de um AP. Uma BSS com um AP é chamada rede de infraestrutura.

Uma ESS é formada por duas ou mais BSSs com APs. Nesse caso, as BSSs são conectadas por meio de um sistema de distribuição que normalmente é uma LAN com fio. O sistema de distribuição interliga as BSSs via APs.

O IEEE 802.11 não restringe o sistema de distribuição; ele pode ser qualquer tipo de rede LAN padrão IEEE, como, por exemplo, uma rede Ethernet. Desta forma, uma ESS é composta por dois tipos de estação: móveis e fixas. As estações móveis são as comuns de uma BSS. As estações fixas são aquelas especiais, do tipo AP, que são interconectadas por uma LAN com fio. A Figura 2 apresenta um exemplo de ESS.

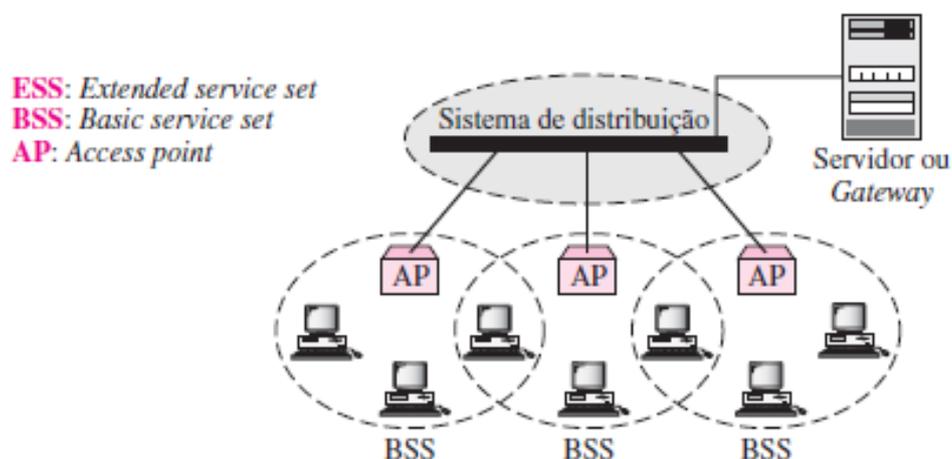


Figura 2 – Exemplo de ESS

Quando as BSSs estão conectadas, as estações dentro do raio de alcance de uma BSS podem se comunicar entre si sem o uso do AP. Entretanto, a comunicação entre duas estações em BSSs diferentes em geral ocorre por intermédio dos APs. A ideia é similar à comunicação em uma rede celular, se considerarmos cada BSS uma célula e cada AP uma estação de rádio base.

## TIPOS DE ESTAÇÃO

O IEEE 802.11 define três tipos de estação dependendo de sua capacidade de mobilidade em uma rede WLAN: sem transição, transição inter-BSS e transição inter-ESS.

- **Estação sem transição** – é fixa (não pode se movimentar) ou pode se movimentar apenas dentro da BSS.
- **Estação de transição inter-BSS** – pode se movimentar de uma BSS a outra, mas essa movimentação fica confinada ao interior de um mesmo ESS.
- **Estação de transição inter-ESS** – pode se movimentar de um ESS para outro.

## IEEE 802.11 – SERVIÇOS

O padrão 802.11x estabelece que as redes sem fio devem prover nove tipos de serviços divididos em duas categorias: **cinco serviços de distribuição** e **quatro serviços da estação**.

Os **serviços de distribuição** são fornecidos pelos pontos de acesso e lidam com a mobilidade das estações à medida que elas entram e saem das células, conectando-se e desconectando-se dos pontos de acesso.

Eles são:

- **Associação** – usado para a estação móvel se conectar aos pontos de acesso. A estação móvel anuncia sua identidade e seus recursos e, se o ponto de acesso a aceitar, passará pelo processo de autenticação;
- **Desassociação** – a estação móvel usa para se desligar ou sair do ponto de acesso;
- **Reassociação** – utilizado para mudar de ponto de acesso e se for usado corretamente não haverá perda de dados;
- **Distribuição** – determina como rotear quadros enviados ao ponto de acesso;

- **Integração** – cuida da conversão do formato 802.11x para o formato exigido pela rede destino. Os **serviços da estação** são usados depois que ocorre a associação e são intracelulares:
- **Autenticação** – o ponto de acesso envia um quadro de desafio especial à estação móvel, esta demonstra conhecimento da chave secreta (senha) criptografando o quadro de desafio e transmitindo de volta ao ponto de acesso. Se o resultado for correto, a estação móvel será completamente registrada na célula;
- **Desautenticação** – quando uma estação autenticada quer deixar a rede;
- **Privacidade** – este serviço administra a criptografia e a descriptografia, para que as informações enviadas pela rede sem fio se mantenham confidenciais. O algoritmo de criptografia utilizado é o RC4 e mais detalhes a respeito serão vistos depois neste curso;
- **Entrega de Dados** – transmissão efetiva de dados, modelada com base no padrão Ethernet. Assim como em redes cabeadas, a transmissão dos dados não é totalmente confiável, então camadas mais elevadas devem assegurar a integridade das informações através de detecção e correção de erros.

## Redes sem Fio (IEEE 802.11) – Subcamada MAC

Como dissemos anteriormente, a recomendação IEEE 802.11 abrange as camadas física e de enlace. Podemos considerar a camada de enlace como duas subcamadas. A subcamada superior é responsável pelo controle do enlace de dados, daí a sua designação como subcamada LLC (*Logical Link Control*). Por sua vez, a subcamada inferior é responsável por controlar o acesso a meios físicos compartilhados, também conhecida como MAC (*Medium Access Control*). Se o canal for dedicado, não precisamos dessa última subcamada. A Figura 3 mostra essas duas subcamadas da camada de enlace de dados.

Em outras palavras e, de modo a tornar mais compreensível a necessidade dessa subdivisão, o que ocorre é que dentro da camada de enlace havia funções complexas que deveriam ser executadas por camadas distintas. Uma delas envolve a multiplexação dos dados da camada de enlace para algum protocolo destinatário na camada superior, que também pode ser encarada como a escolha sobre quem seria o destinatário da informação que será repassada para a camada acima. Esta função ficou a cargo da subcamada LLC. Outra função importante é a forma como o meio físico deve ser acessado. Por sua vez, isso ficou por conta da subcamada MAC.

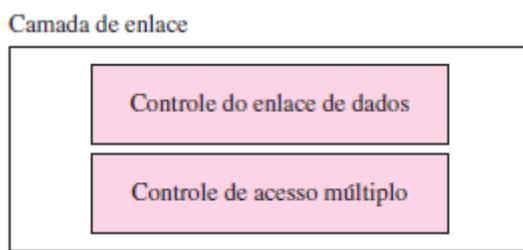


Figura 3 – Subdivisão da camada de enlace de dados

O padrão IEEE 802.11 estabelece duas subcamadas MAC: a **DCF** (*Distributed Coordination Function*) e a **PCF** (*Point Coordination Function*).

O DCF, que é o modo *default*, usa o CSMA/CA, que será tratado a seguir, como método de acesso ao meio físico. Este modo trabalha com um serviço com contenção, em que há disputa pelo meio entre as estações, e onde, portanto, são admitidas colisões. O papel do CSMA/CA, em contraste com o CSMA/CD do Ethernet, padrão de redes locais cabeado, é agir de modo a evitar que essas colisões aconteçam.

O PCF, por sua vez, é um método de acesso opcional e mais complexo, que pode ser implementado em redes de infra-estrutura (não em uma rede *ad hoc*). Ele é implementado sobre o DCF e usado, em grande parte, para transmissão de dados sensíveis a atrasos.

O PCF implementa um método de acesso centralizado por meio de *polling*, livre de contenção. O AP faz uma varredura (*pooling*) em todas as estações ligadas a ele. As estações são consultadas uma após a outra, enviando para o AP quaisquer dados que possuam.

Os rádios tipicamente operam em modo *half-duplex*, significando que eles não podem transmitir e escutar rajadas de sinais ruidosos ao mesmo tempo em uma única frequência. O sinal recebido pode

facilmente ser um milhão de vezes mais fraco do que o sinal transmitido, de modo que não pode ser detectado ao mesmo tempo.

Com a Ethernet, uma estação só precisa esperar até o meio ficar inativo para começar a transmitir. Se não receber de volta uma rajada de sinal ruidoso enquanto transmite os primeiros 64 bytes, é quase certo que o quadro tenha sido entregue corretamente. No caso das LANs sem fios, esse mecanismo de detecção de colisão não funciona.

Em vez disso, o 802.11 tenta evitar colisões com um protocolo chamado CSMA com prevenção de colisão, ou **CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance)**. Esse protocolo é conceitualmente semelhante ao CSMA/CD da Ethernet no tocante a dois critérios: detecção de portadora antes de transmitir e o emprego de um algoritmo denominado *backoff* exponencial binário após as colisões. Porém, há uma diferença importante entre eles: uma estação que tem um quadro para transmitir começa com um *backoff* aleatório (exceto no caso em que ela não tenha usado o canal recentemente e o canal esteja inoperante). É essa espera antecipada que faz toda a diferença entre as formas do Ethernet (IEEE 802.3) e do IEEE 802.11 transmitirem.

No CSMA/CA, a estação ouve o meio físico e espera até que o canal esteja inoperante, detectando que não existe sinal por um curto período (chamado DIFS, como será explicado mais adiante), e conta regressivamente os *slots* inoperantes, interrompendo quando, eventualmente, quadros de outras estações forem enviados. Ela envia seu quadro quando o contador chega a zero.

Se o quadro for recebido sem erros, o destino imediatamente envia uma confirmação curta. A falta de uma confirmação é deduzida como indicativo de erro, seja uma colisão, seja outro erro qualquer. Nesse caso, o transmissor dobra o período de *backoff* e tenta novamente, continuando com o *backoff* exponencial binário, como na Ethernet, até que o quadro tenha sido transmitido com sucesso ou o número máximo de retransmissões tenha sido alcançado.

A Figura 4 traz uma linha do tempo como exemplo. A estação A é a primeira a transmitir um quadro. Enquanto A está transmitindo, as estações B e C ficam prontas para enviar seus dados. Elas veem que o canal está ocupado e esperam até que ele esteja livre. Pouco depois de A receber uma confirmação, o canal é liberado. Porém, em vez de enviar um quadro imediatamente e colidir, B e C realizam um recuo (*backoff*). C escolhe um recuo pequeno e, assim, transmite primeiro. B interrompe sua contagem enquanto detecta que C está usando o canal e retoma depois que C tiver recebido uma confirmação. B logo conclui seu recuo e transmite seu quadro.

Em comparação com a Ethernet, existem duas diferenças principais. Primeiro, iniciar os recuos cedo ajuda a evitar colisões. Essa prevenção vale a pena porque colisões são dispendiosas, já que o quadro inteiro é transmitido mesmo que ocorra uma colisão. Em segundo lugar, as confirmações são usadas para deduzir colisões, pois estas não podem ser detectadas com facilidade neste tipo de meio.

Depois que um quadro é enviado, é necessária uma certa quantidade de tempo de inatividade antes que qualquer outra estação possa enviar um quadro. Diferentemente do Ethernet, que só tinha o IFG (*Interframe Gap*) como intervalo de espera, o 802.11 faz uso de um esquema mais sofisticado, que define diferentes intervalos para diferentes tipos de quadros.

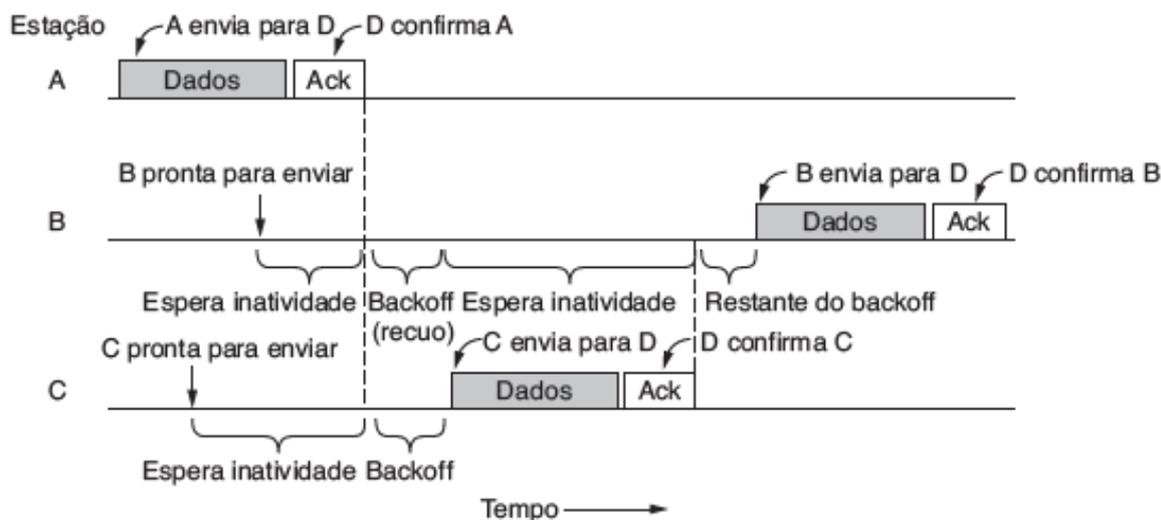


Figura 4 – Exemplo de transmissão com o CSMA/CA

Cinco intervalos são representados na Figura 5. O intervalo entre quadros de dados regulares é chamado de espaçamento entre quadros DCF ou DIFS (DCF *InterFrame Spacing*). Qualquer estação pode tentar adquirir o canal para enviar um novo quadro desde que o meio tenha ficado ocioso pelo menos por DIFS. As regras habituais de disputa se aplicam e, se ocorrer uma colisão, o algoritmo de *backoff* exponencial binário pode ser necessário.

O menor intervalo é o espaçamento curto entre quadros, ou SIFS (Short *InterFrame Spacing*). Ele é usado para permitir que as partes de um único diálogo tenham a chance de transmitir primeiro. Isso inclui a permissão para que o receptor envie uma confirmação de recebimento (um ACK), o intervalo entre outras sequências de quadros de controle, como *Request to Send* (RTS) e *Clear to Send* (CTS), que serão tratados a seguir, ou ainda se permita que o transmissor envie uma rajada de fragmentos. O envio do próximo fragmento após esperar apenas o SIFS é o que impede que uma terceira estação entre com um quadro no meio da troca de dados entre transmissor e receptor.

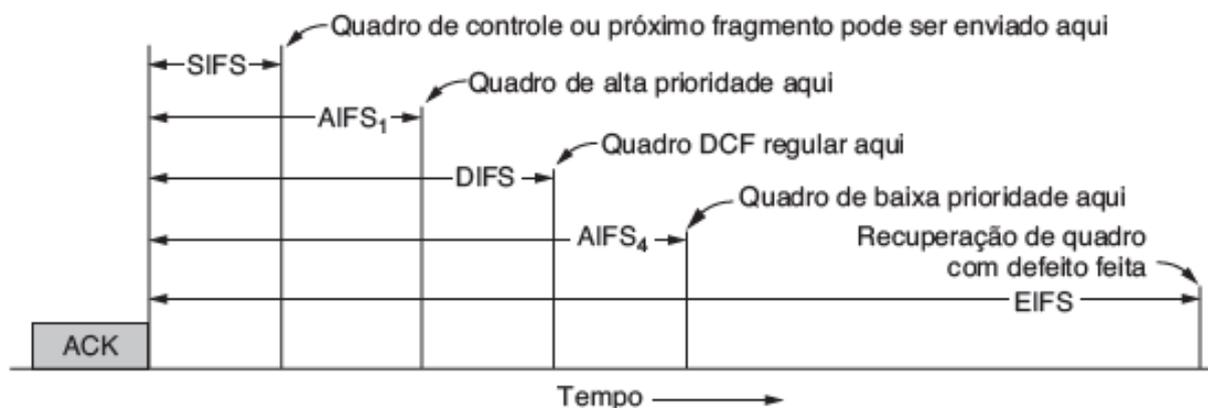


Figura 5 – Espaçamento entre quadros no 802.11.

Os dois intervalos AIFS (*Arbitration InterFrame Space*) mostram exemplos de dois níveis de prioridade. O intervalo curto, AIFS<sub>1</sub>, é menor que o DIFS, porém maior que o SIFS. Ele pode ser usado pelo AP para transmitir o tráfego de voz ou outro tráfego de alta prioridade mais rápido. O intervalo longo, AIFS<sub>4</sub>, é maior que o DIFS. Ele é usado para o tráfego de segundo plano, que pode ser adiado para

depois do tráfego regular. O AP esperará por um intervalo maior antes de enviar esse tráfego, dando ao tráfego regular a oportunidade de ser transmitido primeiro.

O mecanismo completo de qualidade de serviço define quatro níveis de prioridade, que têm diferentes parâmetros de *backoff*, bem como diferentes parâmetros ociosos.

O último intervalo, o espaçamento estendido entre quadros, ou EIFS (*Extended InterFrame Spacing*), só é usado por uma estação que tenha acabado de receber um quadro defeituoso ou desconhecido, a fim de informar sobre o problema. A ideia é que, como o receptor talvez não tenha nenhum conhecimento do que está acontecendo, ele deve esperar um tempo significativo para evitar interferir em um diálogo em andamento entre duas estações.

## PROBLEMAS DO TERMINAL OCULTO E EXPOSTO

Com um fio, o sistema é preparado de modo que todas as estações possam escutar umas às outras. Com a complexidade da propagação por radiofrequência (RF), essa situação não acontece para as estações sem fio. Conseqüentemente, podem surgir situações como o problema do terminal oculto, ilustrado na Figura 6. Como nem todas as estações estão dentro do mesmo alcance de rádio, as transmissões que acontecem em uma parte de uma célula podem não ser recebidas em outra parte da mesma célula.

Nesse exemplo, a estação C está transmitindo para a estação B. Como A está fora do alcance de C, ela detecta o canal livre e conclui incorretamente que pode começar a transmitir para B. Essa decisão leva a uma colisão.

Esse tipo de problema poderia ser evitado com a implementação do mecanismo opcional RTS/CTS. Nesse caso, C, antes de transmitir seus dados para B, enviaria um RTS solicitando permissão para enviar quadros de dados. Se B estivesse disponível, enviaria um CTS autorizando que C os enviasse para ele. O RTS não seria ouvido por A, mas o CTS seria, uma vez que tanto C como A estão ao alcance dos quadros transmitidos por B. Dessa forma, A não transmitiria e seria evitada uma colisão.



Figura 6 – O problema do terminal oculto.

A situação inversa é o problema do terminal exposto, ilustrado na Figura 7. Aqui, B deseja enviar para C e, portanto, escuta o canal. Quando ele detecta uma transmissão, conclui incorretamente que não pode transmitir para C, embora A de fato possa estar transmitindo para uma estação D (não visível na figura). Essa decisão desperdiça uma oportunidade de transmissão.

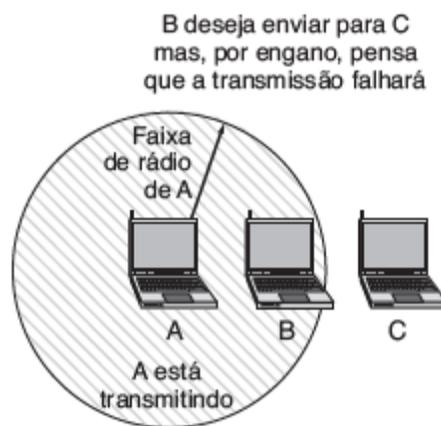


Figura 7 – O problema do terminal exposto.

Para reduzir ambiguidades sobre qual estação está transmitindo, o 802.11 define a detecção do canal de maneira física e virtual. A detecção física simplesmente verifica o meio para verificar se existe uma transmissão acontecendo. Com a detecção virtual, cada estação mantém um registro lógico de quando o canal está em uso rastreando o vetor de alocação de rede, ou *Network Allocation Vector* (NAV). Todo quadro transporta um campo NAV que diz quanto tempo levará para concluir a sequência da qual esse quadro faz parte. As estações que escutam esse quadro sabem que o canal estará ocupado pelo período indicado pelo NAV, independentemente se elas podem detectar um sinal físico. A estrutura do quadro 802.11 será vista a seguir.

Para exemplificar essa discussão, o NAV de um quadro de dados inclui o tempo necessário para enviar uma confirmação. Todas as estações que escutarem o quadro de dados serão adiadas durante o período de confirmação, mesmo que não a escutem. Um mecanismo RTS/CTS opcional usa o NAV para impedir que os terminais transmitam quadros ao mesmo tempo que os terminais ocultos. Isso aparece na Figura 8.

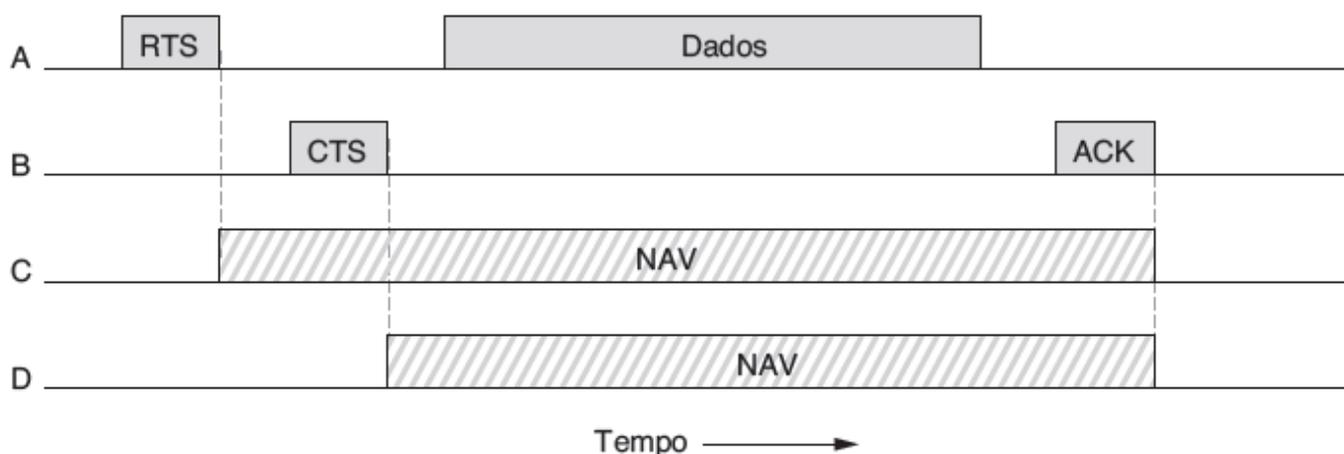


Figura 8 – Detecção de canal virtual com o CSMA/CA.

Nesse exemplo, A deseja enviar para B. C é uma estação dentro do alcance de A. Por sua vez, D é uma estação dentro do alcance de B, mas não dentro do alcance de A. O protocolo começa quando A decide enviar dados para B. A começa a transmitir um quadro RTS para B, pedindo permissão para lhe enviar um quadro. Se B recebe esse pedido, responde com um quadro CTS, indicando que o canal está

liberado para enviar. Ao receber o CTS, A envia seu quadro e inicia um *timer* associado a um quadro ACK de confirmação. Ao recebimento correto do quadro de dados, a estação B responde com um quadro ACK, completando a troca. Caso o *timer* de ACK de A expire antes que o ACK retorne a ela, isso é tratado como uma colisão e o protocolo inteiro é executado novamente, observado um período de *backoff*.

Agora, vamos considerar essa troca sob a perspectiva das estações C e D. Como C está dentro do alcance de A, ela pode receber o quadro RTS. Se receber, essa estação percebe que alguém transmitirá dados em breve. Pela informação fornecida no pedido de RTS, ela pode estimar o tempo que a troca de informações levará, incluindo o ACK final. Assim, para o bem de todos, a estação C desiste de transmitir algo até que a troca seja concluída. Ela faz isso atualizando seu registro do NAV para indicar que o canal está ocupado, como mostra a Figura 8. Por outro lado, D não escuta o RTS, mas ouve o CTS, de modo que também atualiza seu NAV. Observe que as informações dos NAV não são transmitidas. Eles são apenas lembretes internos para ficar em silêncio por determinado período.

### QUADRO 802.11

O padrão 802.11 define três tipos de quadros: dados, controle e gerenciamento. Cada um deles tem um cabeçalho com uma variedade de campos usados na subcamada MAC.

Na Figura 9 pode ser observado o formato do quadro de dados.

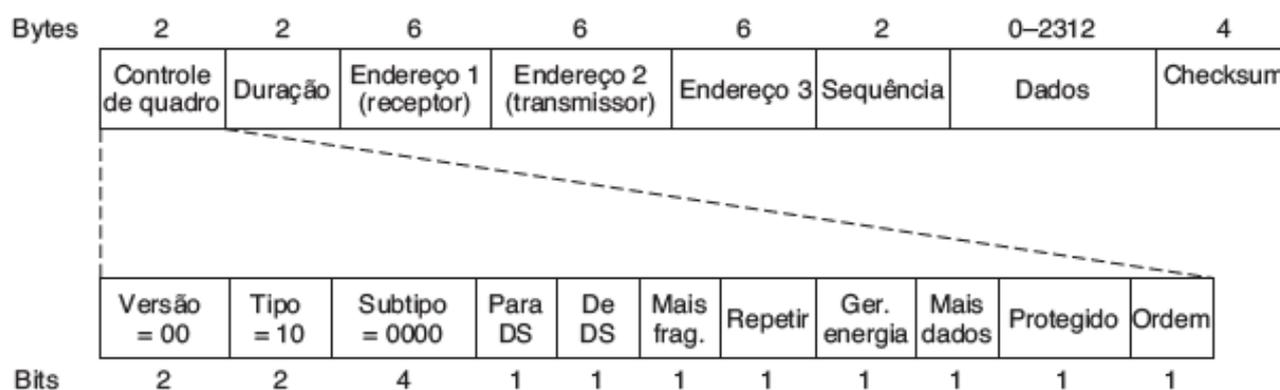


Figura 9 – Formato do quadro de dados 802.11.

O primeiro campo, com 2 bytes, é o **Controle de quadro**. Ele possui 11 subcampos, que são:

- **Versão do protocolo**, definido como 00. Ele existe para permitir que versões futuras do 802.11 operem ao mesmo tempo na mesma célula.
- **Tipo** (dados, controle ou gerenciamento) e **Subtipo** (por exemplo, RTS ou CTS). Para um quadro de dados regular, eles são definidos como 10 e 0000 em binário.
- **Para DS** e **De DS** – indicam se o quadro está indo ou vindo da rede conectada aos APs, o que é designado como sistema de distribuição (DS).
- **Mais Fragmentos** – significa que mais fragmentos virão em seguida.
- **Repetir** – indica uma retransmissão de um quadro enviado anteriormente.
- **Gerenciamento de energia** – indica que o transmissor está entrando no modo de economia de energia.
- **Mais dados** – indica que o transmissor tem quadros adicionais para o receptor.
- **Quadro protegido** – especifica que o corpo do quadro foi criptografado por segurança

- **Ordem** – informa ao receptor que a camada superior espera que a sequência de quadros chegue estritamente em ordem.

O segundo campo do quadro de dados, **Duração**, informa por quanto tempo o quadro e sua confirmação ocuparão o canal, medido em microssegundos. Esse campo está presente em todos os tipos de quadros, incluindo os de controle.

Em seguida temos os endereços. Os quadros de dados enviados de e para um AP possuem três endereços, todos em formato padrão IEEE 802. O primeiro endereço é do receptor, e o segundo é do transmissor. É óbvio que eles são necessários. A questão que fica é: para que serve o terceiro endereço? Lembre-se de que o AP é simplesmente um ponto de repasse para os quadros enquanto trafegam entre um cliente e outro ponto na rede, talvez um cliente distante ou um portal para a Internet. O terceiro endereço indica esse ponto distante

O campo **Sequência** permite que os fragmentos sejam numerados. Dos 16 bits disponíveis, 4 identificam o fragmento e 12 contêm um número que é incrementado a cada nova transmissão.

O campo **Dados** contém a carga útil do quadro, com tamanho máximo de 2.312 bytes e, portanto, maior do que o valor equivalente para o Ethernet.

Por fim, vem o campo **Checksum** do quadro, que é o mesmo CRC de 32 bits, similar ao utilizado no Ethernet.

## Redes sem Fio (IEEE 802.11) – Camada Física

Todas as técnicas do 802.11 utilizam rádios de curto alcance para transmitir sinais nas bandas de frequência não licenciadas ISM (*Industrial Scientific and Medical*), de 2,4 GHz ou 5 GHz, que são reservadas internacionalmente para o desenvolvimento industrial, científico e médico.

Essas bandas têm a vantagem de não exigirem licença de uso e, portanto, estão disponíveis gratuitamente a qualquer transmissor que cumpra algumas restrições, como potência irradiada de no máximo 1 W (embora 50 mW seja mais comum para rádios de LAN sem fios), dentre outras.

A banda de 2,4 GHz costuma ser mais sobrecarregada do que a de 5 GHz, de modo que esta pode ser melhor para algumas aplicações, embora tenha um alcance mais curto, em virtude da frequência mais alta.

Todas as técnicas de transmissão também definem múltiplas taxas. A ideia é que diferentes taxas de transmissão podem ser usadas dependendo das condições atuais. Se o sinal sem fio for fraco, uma taxa baixa poderá ser usada. Se o sinal tiver uma boa potência, a taxa mais alta poderá ser usada. Esses ajustes constituem o que chamamos adaptação de taxa.

As principais técnicas de transmissão são as seguintes:

- **802.11b** – é um método que usa uma técnica de espectro de dispersão (DSSS) que admite taxas de 1, 2, 5,5 e 11 Mbps. A sequência de espalhamento usada pelo 802.11b é uma sequência de Barker. Para transmitir em uma taxa de 1 Mbps, a sequência de Barker é usada com a modulação BPSK para enviar 1 bit por 11 chips. Os chips são transmitidos a uma taxa de 11 Mchips/s. Para enviar a 2 Mbps, ela é usada com a modulação QPSK para enviar 2 bits por 11 chips. As taxas mais altas são diferentes, pois usam uma técnica conhecida como chaveamento de código complementar, ou CCK (*Complementary Code Keying*), para construir códigos em vez da sequência de Barker. A taxa de 5,5 Mbps envia 4 bits em cada código de 8 chips, e a taxa de 11 Mbps envia 8 bits em cada código de 8 chips.

- **802.11a** – admite taxas de até 54 Mbps na banda de 5 GHz. É baseado na multiplexação por divisão ortogonal de frequência, ou OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que usa o espectro com eficiência e resiste a degradações do sinal em meio sem fio, como o enfraquecimento por múltiplos caminhos. Essa técnica pode trabalhar em oito taxas, variando de 6 a 54 Mbps. Elas são significativamente mais rápidas do que as taxas do 802.11b e há menos interferência na banda de 5 GHz. Apesar disso, o 802.11b tem um alcance que é maior que o do 802.11a, o que em muitas situações é mais importante.

- **802.11g** – copia a modulação OFDM do 802.11a, mas opera na banda ISM estreita de 2,4 GHz, juntamente com o 802.11b. Ele oferece as mesmas taxas do 802.11a (6 a 54 Mbps), além da compatibilidade com dispositivos 802.11b que estejam nas proximidades. Por operar em banda mais baixa, possui maior alcance do que o 802.11a.

- **802.11n** – para alcançar o objetivo de oferecer um *throughput* de pelo menos 100 Mbps depois que todos os overheads da rede sem fios fossem removidos, o comitê dobrou a largura de banda dos canais de 20 MHz para 40 MHz e reduziu os *overheads* de enquadramento, permitindo que um grupo de quadros fosse enviado em conjunto. Porém, o mais significativo é que o 802.11n usa até quatro antenas para transmitir até quatro fluxos de informação ao mesmo tempo. Os sinais dos fluxos interferem no

---

receptor, mas eles podem ser separados usando as técnicas de comunicação de entrada múltipla, saída múltipla, ou MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*). O uso de múltiplas antenas oferece um grande aumento de velocidade e, além disso, melhora o alcance e a confiabilidade. Pode alcançar taxas de até 300 Mbps (canais de 20 MHz) e 600 Mbps (canais de 40 MHz).

- **802.11ac** – opera somente na faixa de 5 GHz, utilizando canais com bandas de 80 MHz e 160 MHz e tecnologia MIMO com até 8 fluxos espaciais. Pode alcançar taxas significativamente superiores a 1 Gbps.

## Questões comentadas pelo professor

### 1. (FCC – ELETROSUL – Informática – 2016)

Um profissional de informática que atua na área de redes de computadores deseja montar uma rede sem fio utilizando um padrão IEEE que permite taxa teórica de transmissão de dados de até 600 Mbps, mas com taxas reais em torno de 100 a 145 Mbps. Para isso utilizou uma técnica na qual o dispositivo móvel e o ponto de acesso possuem antenas múltiplas, inteligentes, que ajudam a reduzir a interferência e as reflexões de sinal. O padrão utilizado foi o IEEE 802.11

- (A) a.
- (B) g.
- (C) b.
- (D) h.
- (E) n.

#### Comentários:

Observando as evidências apresentadas no comando da questão, temos as seguintes citações importantes:

- 1) taxa teórica de transmissão de dados de até 600 Mbps;
- 2) o dispositivo móvel e o ponto de acesso possuem antenas múltiplas, inteligentes, que ajudam a reduzir a interferência e as reflexões de sinal.

A primeira evidência corresponde à máxima taxa de transmissão teórica que se pode alcançar com o 802.11n utilizando canais com banda de 40 MHz.

A segunda evidência corresponde ao uso da tecnologia MIMO, que tanto o 802.11n e 802.11ac fazem uso.

Combinando as duas evidências, a resposta da questão é de fato o padrão 802.11n

Resposta certa: alternativa E.

### 2. (FCC – TRT-9 – Técnico Judiciário – Tecnologia da Informação – 2015)

O padrão IEEE 802.11g, conhecido popularmente como Wi-Fi, é o mais utilizado atualmente na implantação de redes locais sem fio. Esse padrão

- (A) disponibiliza uma taxa de transmissão de até 144 Mbps.
- (B) tem canal de frequência com largura de 40 MHz.
- (C) utiliza a banda de frequência não licenciada.
- (D) aloca 15 canais na banda de frequência.
- (E) não apresenta sobreposição entre canais.

#### Comentários:

Analisando as alternativas, temos:

- (A) o 802.11g possui taxa máxima de transmissão de 54 Mbps e não de 144 Mbps (ERRADA).
- (B) o 802.11g usa canais com largura de banda de 20 MHz (ERRADA).
- (C) o 802.11g usa a faixa de frequência de 2,4 GHz, que é uma faixa não licenciada (CERTA).
- (D) o 802.11g aloca 11 canais na banda de frequência (ERRADA).
- (E) o 802.11g apresenta apenas 3 canais não sobrepostos: 1, 6 e 11 (ERRADA).

Resposta certa: alternativa C.

---

### 3. (CESPE – MPU – Técnico do MPU – Tecnologia da Informação e Comunicação – 2013)

As redes sem fio (wireless) padrão IEEE 802.11 abgn são compatíveis, pois operam nas mesmas faixas de frequência.

**Comentários:**

Como o 802.11b e 802,11g operam na faixa de 2,4 GHz e o 802.11a opera na faixa de 5 GHz, esses padrões são incompatíveis. O 802.11n, por operar em ambas as faixas é compatível com todos.

Resposta: item ERRADO.

---

### 4. (CESPE – PF – Perito Criminal Federal – Área 2 – 2013)

Em redes embasadas no padrão IEEE 802.11, o problema do terminal escondido pode ser minimizado pelo envio das mensagens RTS/CTS (*request to send/clear to send*).

**Comentários:**

Como vimos, o mecanismo opcional do RTS/CTS pode ajudar a minimizar o problema de estação oculta ou terminal escondido. No exemplo que apresentamos, havia uma estação C oculta para A e tanto A quanto C estavam ao alcance de B. Mesmo que A não recebesse o sinal RTS, enviado de C para B, a resposta CTS, enviada de B para C, seria percebida por A e ela saberia que não poderia transmitir para B.

Resposta: item CERTO.

Resposta: item ERRADO.

---

### 5. (CESPE – STM – Analista Judiciário – Análise de Sistemas – 2011)

O tamanho máximo dos pacotes de dados transferidos nas redes no padrão IEEE 802.11 tem o mesmo valor que nas redes ethernet.

**Comentários:**

O tamanho máximo do pacote de dados que pode ser transferido numa rede Ethernet é de 1.500 B. Por sua vez, nas redes 802.11 esse tamanho é de 2.312 B. A propósito, esse tamanho máximo, que corresponde ao valor limite que pode ser transportado por um quadro, é chamado de MTU (Maximum Transmission Unit) ou unidade máxima de transmissão.

Resposta: item ERRADO.

## Lista de Questões

### 1. (FCC – FUPAM – Analista Previdenciário – Tecnologia da Informação – 2015)

Wi-Fi é um conjunto de especificações para redes locais sem fio (*Wireless Local Area Network* – WLAN) que são conhecidas como redes no padrão IEEE

- (A) 802.2.
- (B) 802.11.
- (C) 802.8.
- (D) 802.16.
- (E) 802.15.

### 2. (FCC – TRT-24 – Analista Judiciário – Tecnologia da Informação – 2011)

Operação de rede sem fio em que são usados vários pontos de acesso (AP), podendo formar uma rede maior com o mesmo SSID e permitindo que o usuário mantenha sua conectividade com a rede enquanto está em trânsito (sai do alcance de um AP e entra em outro).

A descrição acima é característica APENAS para

- (A) o modo Ad-hoc.
- (B) o modo BSS.
- (C) o modo ESS.
- (D) os modos Ad-hoc e BSS.
- (E) os modos Ad-hoc e ESS.

### 3. (FCC – PREFEITURA TERESINA – Analista de Sistemas – 2016)

Equipamentos no padrão IEEE 802.11n podem trabalhar na frequência de 2.4 GHz ou 5GHz. Se um equipamento que usa este padrão operar na faixa de 2.4 GHz, deverá suportar a transmissão e recepção de quadros que são compatíveis com a camada física especificada pelos padrões anteriores que já trabalham com essa frequência, neste caso, os padrões IEEE 802.11

- (A) c e ad.
- (B) a e b
- (C) b e g.
- (D) a e g
- (E) ac e ad.

### 4. (FCC – DPE-RR – Técnico Informática – 2015)

Considerando a taxa de transferência de dados como o número de bits por segundo que podem ser enviados pelo enlace, a taxa de transferência máxima em redes Wi-Fi (802.11g) e o comprimento máximo indicado do enlace são, respectivamente,

- (A) 100 Mbps e 100m.
- (B) 54 Mbps e 100m.
- (C) 64 Mbps e 150m.
- (D) 11 Mbps e 50m.
- (E) 54 Mbps e 50m.

**5. (FCC – DPE-SP – Agente de Defensoria Pública – Administrador de Redes – 2015)**

O padrão de rede sem fio IEEE 802.11 tem sido atualizado e melhorado nas suas diferentes versões de acordo com a evolução da tecnologia. Dentre as versões, a que fornece uma banda de transmissão de até 54 Mbps na Banda de frequência de 2.4 GHz é

- (A) 802.11b.
- (B) 802.11a.
- (C) 802.11g.
- (D) 802.11i.
- (E) 802.11n.

**6. (FCC – DPE-SP – Agente de Defensoria Pública – Analista de Suporte – 2015)**

Para uma rede padrão IEEE 802.11 ser estabelecida é necessário que os dispositivos (stations ou STAs) se conectem a aparelhos que forneçam o acesso: Access Points (APs). Quando um ou mais STAs se conectam a um AP forma-se uma rede, denominada \_I\_.

Por questões de segurança e pela possibilidade de haver mais de uma rede em determinado local, cada uma deve receber uma identificação ou \_II\_, um conjunto de caracteres que, após definido, é inserido no cabeçalho de cada pacote de dados da rede.

As lacunas I e II são, correta e respectivamente, preenchidas com

- (A) Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) – Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS).
- (B) Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) – Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).
- (C) Basic Service Set (BSS) – Service Set Identifier (SSID).
- (D) Basic Service Set (BSS) – Complementary Code Keying (CCK).
- (E) Complementary Code Keying (CCK) – Service Set Identifier (SSID).

**7. (FCC – DPE-SP – Agente de Defensoria Pública – Engenheiro de Redes – 2015)**

A máxima taxa de transmissão alcançada no IEEE 802.11n é de 135 Mbps por canal. Um dos fatores que permite essa velocidade é

- (A) a utilização da técnica de modulação DSSS.
- (B) o uso da banda de 3,5 GHz.
- (C) a utilização de 52 subportadoras por canal.

- (D) o uso de canais de 40 MHz de banda.
- (E) a utilização da técnica de modulação FHSS.

**8. (FCC – BANESE – Técnico Bancário III – Suporte – 2012)**

No contexto de redes IEEE 802.11, enquanto um padrão usa a técnica de transmissão OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), o outro padrão usa a técnica de transmissão DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum), mas ambos usam a técnica de modulação CCK (Complementary Code Keying). Trata-se, respectivamente, dos padrões

- (A) 802.11a e 802.11n.
- (B) 802.11n e 802.11a.
- (C) 802.11n e 802.11b.
- (D) 802.11g e 802.11b.
- (E) 802.11g e 802.11n.

**9. (FCC – BACEN – Analista – Área 1 – 2006)**

Os serviços da categoria estação, ou intracélula, do padrão de redes sem fio 802.11, são usados depois que ocorre o serviço

- (A) privacidade.
- (B) entrega de dados.
- (C) desautenticação.
- (D) autenticação.
- (E) associação.

**10. (FCC – TRF-2 – Analista Judiciário – Informática – 2007)**

Quando empregado o modo de operação DCF – Distributed Coordination Function, o 802.11, na abstenção de colisão, utiliza o protocolo

- (A) CSMA/CA.
- (B) PIFS.
- (C) NAV.
- (D) DIFS.
- (E) SIFS.

**11. (FCC – ALEPE – Analista Legislativo – Infraestrutura – 2014)**

Os dispositivos de computação fixos têm sido rapidamente substituídos por dispositivos que permitem mobilidade. O padrão IEEE 802.11, cuja finalidade é atender às demandas de conectividade em redes wireless (WLANs),

- (A) permite a configuração de redes Ad Hoc, nas quais os dispositivos conectados a um ponto de acesso da rede sem fio não podem fazer comunicação entre si, necessitando de uma infraestrutura de backbone de comunicação em rede.
- (B) permite fazer o espalhamento, ou seja, compartilhar o mesmo meio físico entre diversos dispositivos em paralelo, através do FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum, aplicando o método Differential Phase Shift Keying.
- (C) tem suporte para estações de trabalho conectadas à rede que operam com modo de economia de energia. Supondo que uma estação encontra-se em modo de economia de energia e inativa, a rede é capaz de notificá-la da existência de pacotes com destino à estação e enviá-los, uma vez que a estação irá verificar periodicamente o quadro Beacon na rede.
- (D) permite aplicar a função de acesso ao meio (rede) chamada PCF (*Point Coordination Function*), a qual realiza o controle de *Polling*, portanto, não sendo adequada às aplicações que exigem transmissão em tempo real por impor controle preventivo de colisão do tráfego proveniente das estações.
- (E) teve evolução e o IEEE estabeleceu o IEEE 802.11i, que provê qualidade de serviço (QoS) na rede, permitindo a priorização de pacotes dependendo da origem, do destino e do conteúdo transmitido.

**12. (FCC – TRF-4 – Analista Judiciário – Infraestrutura em Tecnologia da Informação – 2019)**

Ao pesquisar por possíveis problemas de colisão que poderiam ocorrer em WLANs (LANs sem fio), um Analista observou, corretamente, que as colisões podem ser evitadas em razão da existência de um dos modos de operação admitido pelo 802.11 e aceito em todas as implementações, que é o

- (A) Distributed Coordination Function (DCF), que usa o CSMA/CA como método de acesso ao meio físico.
- (B) Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), que usa o CSMA/CD como método de acesso à camada de aplicação.
- (C) Distributed Coordination Function (DCF), que usa o CSMA/CD como método de acesso à Internet.
- (D) Distributed Host Coordination Function (DHCF), que usa o CSMA/CA como método de acesso à camada de rede.
- (E) Dynamic Coordination Protocol (DCP), que usa o CSMA/CD como método de acesso ao meio físico.

**13. (FCC – ICMS-SP – Agente Fiscal de Rendas – Tecnologia da Informação – 2009)**

As redes wireless utilizam os padrões IEEE 802.11 de conectividade sem fio para redes locais, que determinam a velocidade, ou taxa de transmissão em Mbps, e a frequência, ou faixa de operação em GHz. O padrão que tem as características de velocidade e frequência corretas corresponde a:

- (A) IEEE 802.11n 128 Mbps 5 GHz
- (B) IEEE 802.11g 54 Mbps 5 GHz
- (C) IEEE 802.11b 54 Mbps 5 GHz
- (D) IEEE 802.11a 11 Mbps 2,4 GHz
- (E) IEEE 802.11 11 Mbps 2,4 GHz.

**14. (FCC – TRE-SP – Analista Judiciário – Análise de Sistemas – 2006)**

O padrão IEEE 802.11 estabelece que cada LAN sem fio deve fornecer certa quantidade de serviços que são divididos em duas categorias: serviços de distribuição e serviços da estação, na quantidade respectiva de

- (A) 4 e 5.
- (B) 5 e 5.
- (C) 5 e 4.
- (D) 4 e 4.
- (E) 6 e 4.

**15. (CESPE – ECT – Engenheiro – Engenharia de Redes de Comunicação – 2011)**

*Logical link control (LLC) e media access control (MAC)* são parte da camada de enlace do padrão IEEE 802.11.

**16. (CESPE – ECT – Engenheiro – Engenharia de Redes de Comunicação – 2011)**

O padrão IEEE 802.11b e o IEEE 802.11g possuem suporte a taxas de conexão de 1 Mbps, 2 Mbps, 5 Mbps e 11 Mbps, com frequência de 5 GHz.

**17. (CESPE – ECT – Engenheiro – Engenharia de Redes de Comunicação – 2011)**

*Frequency hopping spread spectrum (FHSS) e direct sequence spread spectrum (DSSS)* são tecnologias de espalhamento do sinal usadas no padrão IEEE 802.11.

**18. (CESPE – ANATEL – Analista Administrativo – Suporte e Infraestrutura de Tecnologia da Informação – 2014)**

O padrão IEEE 802.11ac, que pertence à nova geração da tecnologia de redes sem fio, especifica a faixa de 2,4 GHz para operação e permite a transferência de dados com velocidade de até 1 Gbps.

**19. (CESPE – BASA – Técnico Científico – Tecnologia da Informação – Produção e Infraestrutura – 2012)**

As tecnologias e os protocolos IEEE 802.11b e IEEE 802.11g usam ou podem usar a faixa de frequência de 2,4 GHz, que também é empregada nas tecnologias bluetooth e ZigBee, todas de comunicação em redes locais que utilizam meios não guiados.

**20. (CESPE – BASA – Técnico Científico – Tecnologia da Informação – Produção e Infraestrutura – 2012)**

A baixa interferência entre redes IEEE 802.11b e IEEE 802.11g é facilitada devido ao fato de que as duas usam diferentes esquemas de modulação, apesar de usarem a mesma faixa de frequência e canalização.

**21. (CESPE – BASA – Técnico Científico – Tecnologia da Informação – Produção e Infraestrutura – 2012)**

As tecnologias de rede IEEE 802.11a e IEEE 802.11b usam modulação DSSS e OFDM, respectivamente, sendo que a modulação DSSS permite ao protocolo IEEE 802.11a funcionar com uma velocidade de até 54 Mbps, enquanto IEEE 802.11b é limitado a 11 Mbps.

**22. (CESPE – TST – Analista Judiciário – Análise de Sistemas – 2007)**

As redes de comunicação da família IEEE 802 utilizam diversas técnicas de codificação digital, entre elas a codificação Manchester, usada nas redes Ethernet IEEE 802.3 e nas redes Wi-Fi IEEE 802.11.

**23. (CESPE – SEBRAE-AC – Analista de Informática – 2007)**

Uma rede do tipo Wi-Fi pode ser considerada uma rede local, pois cobre uma área geográfica pequena e tem natureza privada. O padrão de tecnologia utilizado nessa rede é o IEEE 802.11 a/b/g, que permite alcançar taxas entre 11 Mbps e 54 Mbps. O padrão IEEE 802.11g implementa a funcionalidade de mobile IP, que permite que o endereço IP da estação móvel seja automaticamente modificado quando a estação se movimenta entre células diferentes.

**24. (CESPE – TJDFT – Analista Judiciário – Análise de Sistemas – 2008)**

O protocolo MAC 802.11 é o CSMA com prevenção de colisão (*carrier sense multiple access collision avoidance*); tal protocolo opera sem esquema de reconhecimento e retransmissão de quadros, de modo similar ao protocolo ethernet 802.3.

**25. (CESPE – PF – Perito Criminal Federal – Área 2 – 2018)**

O padrão IEEE 802.11ac é especificado para a operação na faixa de 2,4 GHz e prevê a utilização de canais de largura de banda de até 160 MHz e MIMO 8x8.

**26. (CESPE – TELEBRAS – Engenheiro – Engenharia de Telecomunicações– 2015)**

A principal diferença entre os protocolos CSMA/CD e CSMA/CA é a capacidade que os nós que utilizam o CSMA/CD têm de identificar quando ocorrem as colisões, isto é, os nós são capazes de transmitir e ouvir o meio ao mesmo tempo. Em ambos os protocolos citados, o *backoff* cresce exponencialmente com o número de colisões e, se os pacotes de dados enviados por um nó forem recebidos corretamente, o receptor enviará um frame de confirmação.

---

## Gabarito

---

1. B	11. C	21. E
2. C	12. A	22. E
3. C	13. A	23. E
4. B	14. C	24. E
5. C	15. C	25. E
6. C	16. E	26. E
7. C	17. C	
8. D	18. E	
9. E	19. C	
10. A	20. C	