

Superquadro

- A estrutura dos superframes é controlada por dois parâmetros: *ordem de farol (BO)* e *ordem do superquadro (SO)*
 - BO decide o comprimento de um superframe
 - SO decide o comprimento da porção ativa em um superframe
- Para os canais 11 a 26, o comprimento de um superframe pode variar de 15,36 *mseg* para 215,7 *segundo*.
 - o que significa ciclo de trabalho muito baixo
- Lembre-se: Ciclo de Trabalho
 - O Ciclo de Trabalho indica a fração de tempo que um recurso está ocupado.
 - Quando um único dispositivo transmite em um canal por 2 *unidades de tempo* a cada 10 *unidades de tempo*, este dispositivo tem um ciclo de trabalho de 20%.

Superquadro

- Cada dispositivo ficará ativo por $2^{-(BO-SO)}$ parte do tempo e durma por $1-2^{-(BO-SO)}$ parte do tempo
- No IEEE 802.15.4, o ciclo de trabalho dos dispositivos segue a especificação

BO-ASSIM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10
Ciclo de trabalho (%)	100	50	25	12	6,25	3.125	1,56	0,78	0,39	0,195	<0,1

BO – Pedido de Beacon
SO – Pedido de Superframe

Conceitos GTS

- Um slot de tempo garantido (GTS) permite que um dispositivo opere no canal dentro de uma parte do superframe
- O GTS só será atribuído pelo coordenador do PAN
- O coordenador do PAN pode alocar até sete GTS ao mesmo tempo
- O coordenador do PAN decide se atribui o GTS com base:
 - Requisitos do pedido GTS
 - A capacidade disponível atual no superframe

Conceitos GTS

- Um GTS pode ser **desalocado**
 - A qualquer momento, a critério do coordenador do PAN ou
 - Pelo dispositivo que solicitou originalmente o GTS
- Um quadro de dados transmitido num GTS atribuído utilizará apenas endereçamento curto
- O coordenador PAN deverá ser capaz de armazenar as informações dos dispositivos necessários para o GTS, incluindo slot inicial, comprimento, direção e endereço do dispositivo associado

Conceitos GTS

- Antes do início do GTS, a direção do GTS deve ser especificada como transmissão ou recepção
- Cada dispositivo pode solicitar um **transmiste**GTS e/ou um **receber**GTS
- Um dispositivo só deverá tentar alocar e usar um GTS se estiver atualmente rastreando o beacon
- Se um dispositivo perder a sincronização com o coordenador PAN, todas as suas alocações GTS serão perdidas
- O uso de GTSs como RFD é opcional

Mecanismo de acesso ao canal

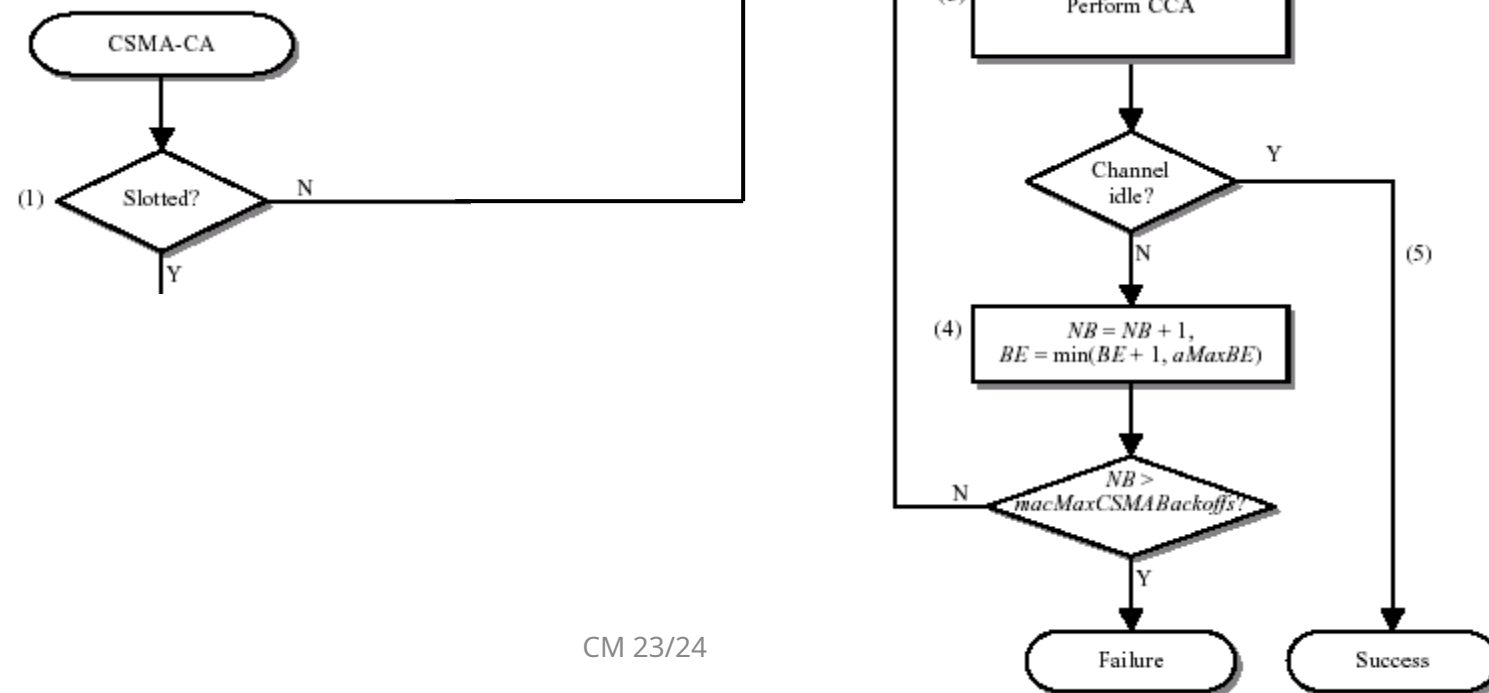
- Mecanismo de acesso ao canal de dois tipos:
 - Em redes não habilitadas para beacon → **sem slot** Mecanismo de acesso ao canal CSMA/CA
 - Em redes habilitadas para beacon → **com slot** Mecanismo de acesso ao canal CSMA/CA

Sem slot CSMA/CA

Observação é o número de vezes que o algoritmo CSMA-CA foi obrigado a recuar ao tentar a transmissão atual

SER é o expoente de espera, que define o número de períodos de espera que um nó deve esperar antes de tentar **Avaliação de canal claro (CCA)**

MacMinBE constante definida na norma.



Algoritmo CSMA/CA

- Em CSMA/CA com fenda
 - **O limites do período de espera** de cada dispositivo no PAN deve ser **alinhado** com **o limites de slot de superframe** do coordenador do PAN
 - ou seja, o início do primeiro período de espera de cada dispositivo está alinhado com o início da transmissão do beacon
 - A subcamada MAC deve garantir que a camada PHY comece **todas as suas transmissões no limite de um período de espera**

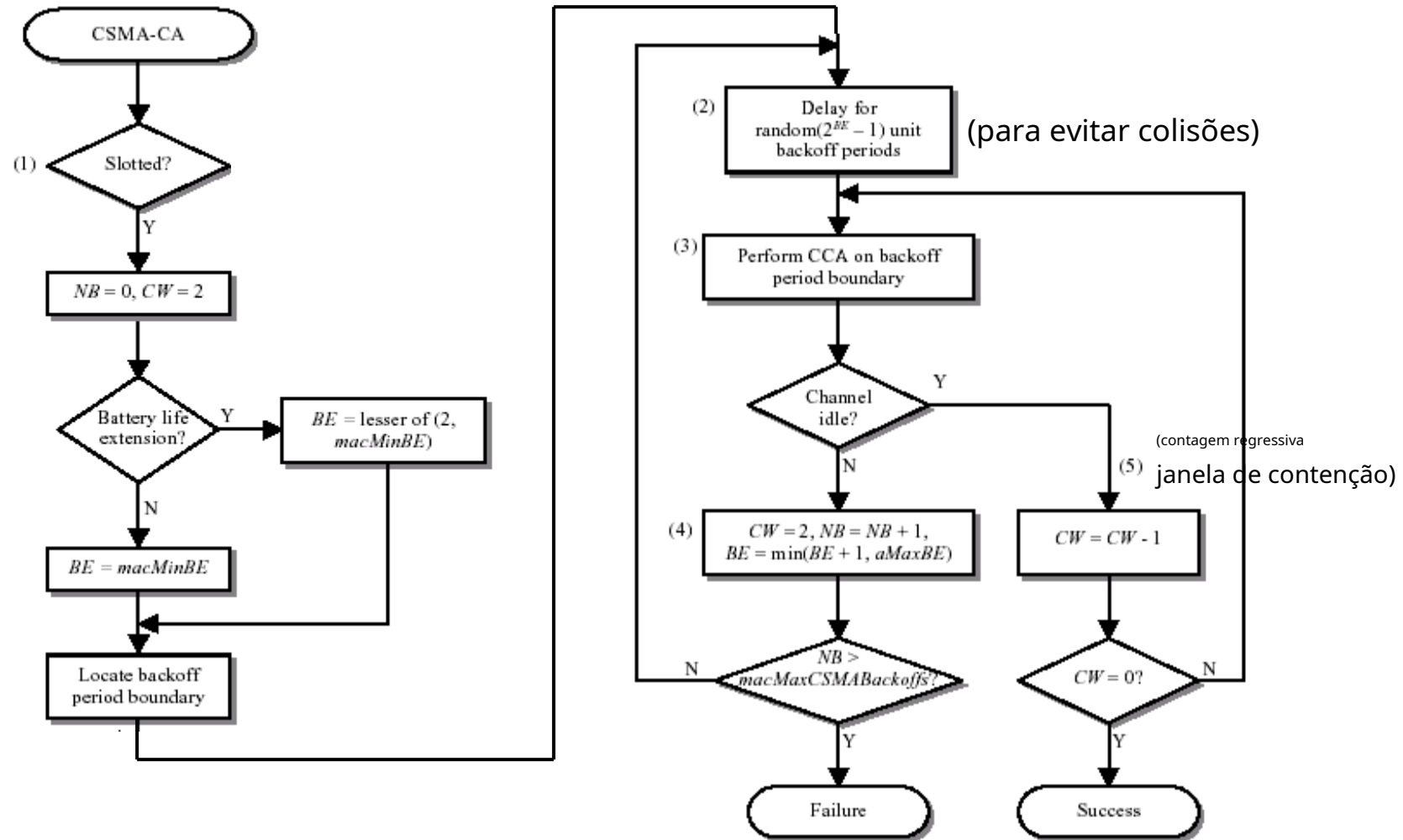
Algoritmo CSMA/CA

- Cada dispositivo deverá manter três variáveis para cada tentativa de transmissão
 - NB: número de vezes que o algoritmo CSMA/CA foi necessário para recuar ao tentar a transmissão atual
 - CW: duração da janela de contenção, o número de períodos de espera que precisam ser liberados da atividade do canal antes que a transmissão possa começar (inicialmente para 2 e redefinido para 2 se o canal detectado estiver ocupado)
 - BE: o expoente de espera que está relacionado a quantos períodos de espera um dispositivo deve esperar antes de tentar avaliar um canal

CSMA/CA com fenda

Observação é o número de vezes que o algoritmo CSMA-CA foi obrigado a recuar ao tentar a transmissão atual

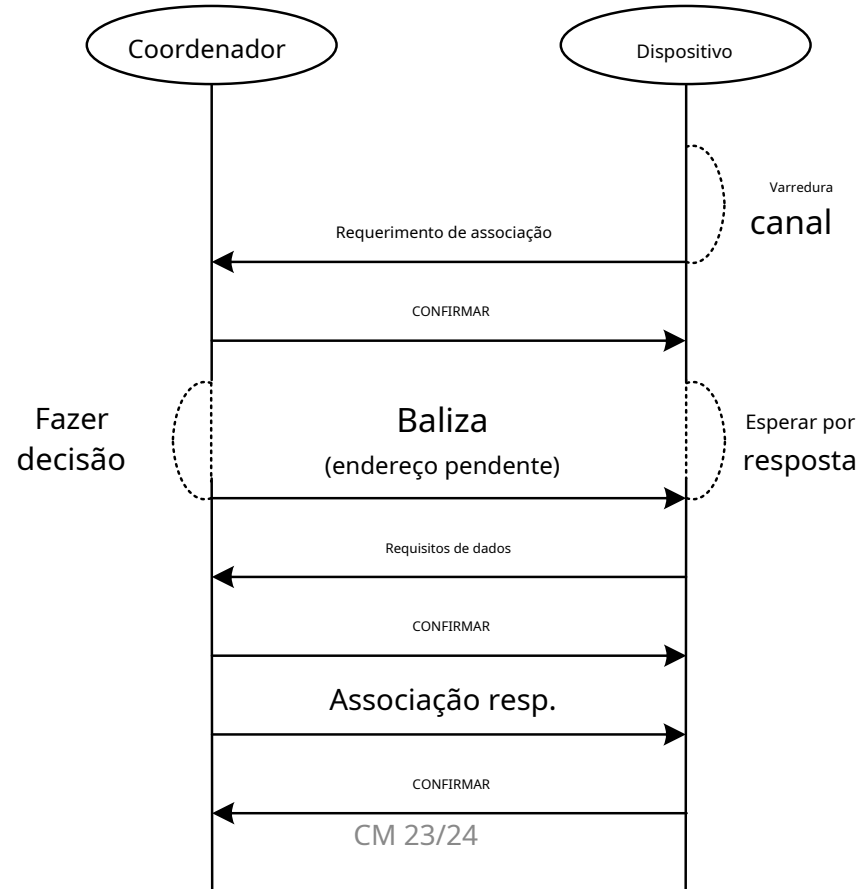
SER é o expoente de espera, que define o número de períodos de espera que um nó deve esperar antes de tentar **Avaliação de canal claro (CCA)**



Isso garante a execução de duas operações CCA para evitar possíveis colisões de quadros de confirmação. Se o canal for novamente detectado como inativo ($CW = 0$), o nó não tenta transmitir.

Procedimentos de associação

- Um dispositivo torna-se membro de um PAN associando-se ao seu coordenador
- Procedimentos

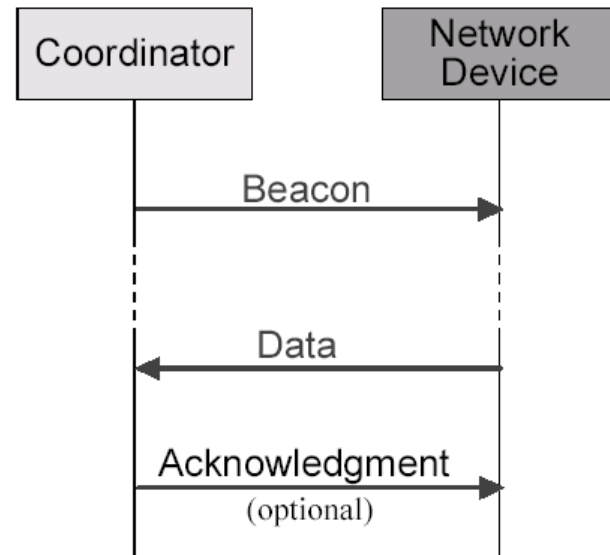


Procedimentos de associação

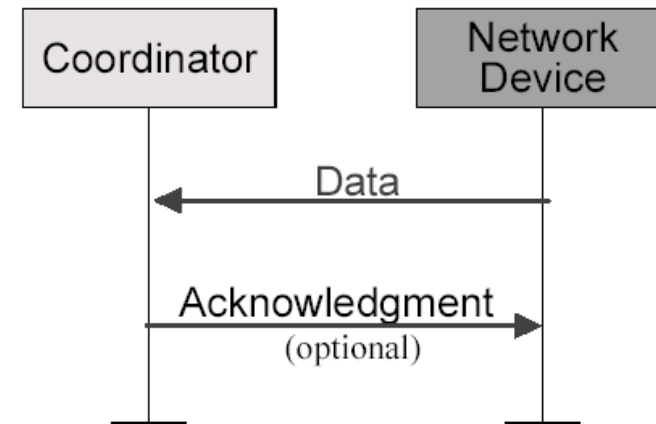
- No IEEE 802.15.4, **resultados da associação** são anunciados de forma indireta
- Um coordenador responde às solicitações de associação anexando endereços longos dos dispositivos (64 bits) em quadros de beacon
- Os dispositivos precisam enviar uma solicitação de dados ao coordenador para adquirir o resultado da associação
- Após associar-se a um coordenador, será atribuído a um dispositivo um protocolo de 16 bits. *endereço curto.*

Modelo de transferência de dados (dispositivo para coordenador)

- Dados transferidos do dispositivo para o coordenador
 - Em uma rede habilitada para beacon, o dispositivo encontra o beacon para sincronizar com a estrutura do superframe. Em seguida, usa CSMA/CA com slot para transmitir seus dados.
 - Em uma rede sem beacon, o dispositivo simplesmente transmite seus dados usando CSMA/CA sem slot.



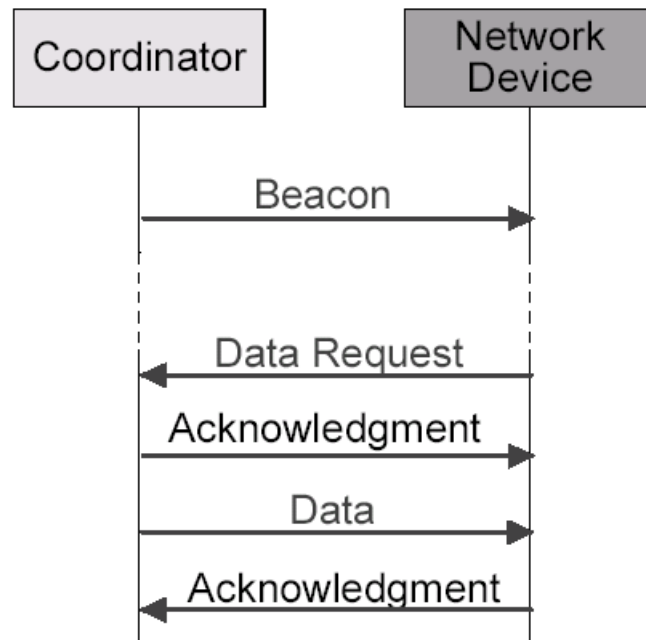
Comunicação a um coordenador Em
um **habilitado para beacon** rede



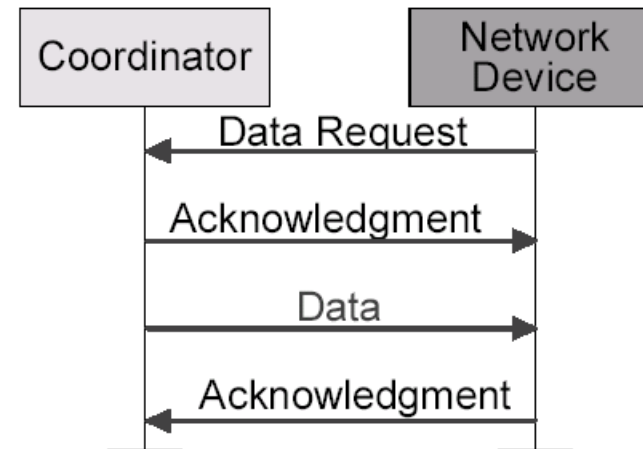
Comunicação a um coordenador Em
um **não habilitado para beacon** rede

Modelo de transferência de dados (coordenador para dispositivo)

- Dados transferidos do coordenador para o dispositivo
 - Em um **rede habilitada para beacon**, o coordenador indica no beacon que os dados estão pendentes. O dispositivo escuta periodicamente o beacon e transmite uma solicitação de comando MAC usando CSMA/CA com slot, se necessário.
 - Em um **rede não habilitada para beacon**, um dispositivo transmite uma solicitação de comando MAC usando CSMA/CA sem slot. Se o coordenador tiver dados pendentes, o coordenador transmite o quadro de dados usando CSMA/CA sem slot. Caso contrário, o coordenador transmite um quadro de dados com carga útil de comprimento zero.

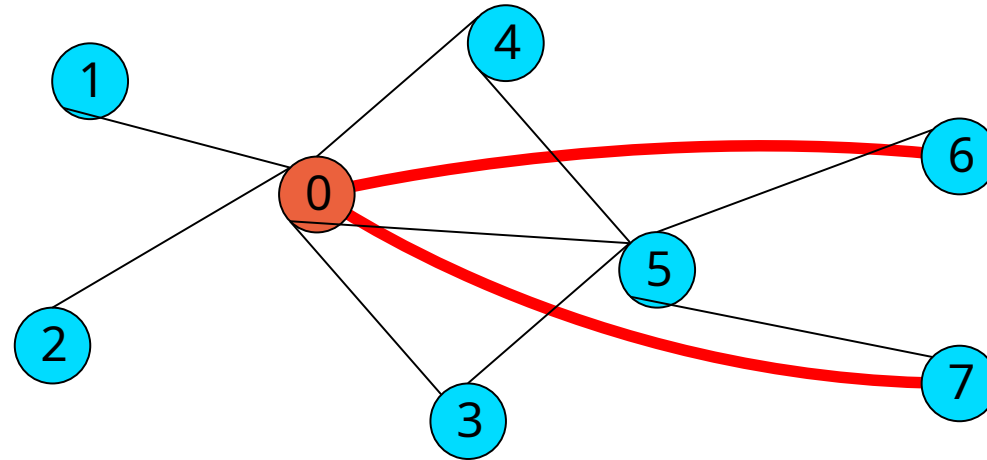


Comunicação de um coordenador Em um **habilitado para beacon** rede



Comunicação de um coordenador em um **não habilitado para beacon** rede

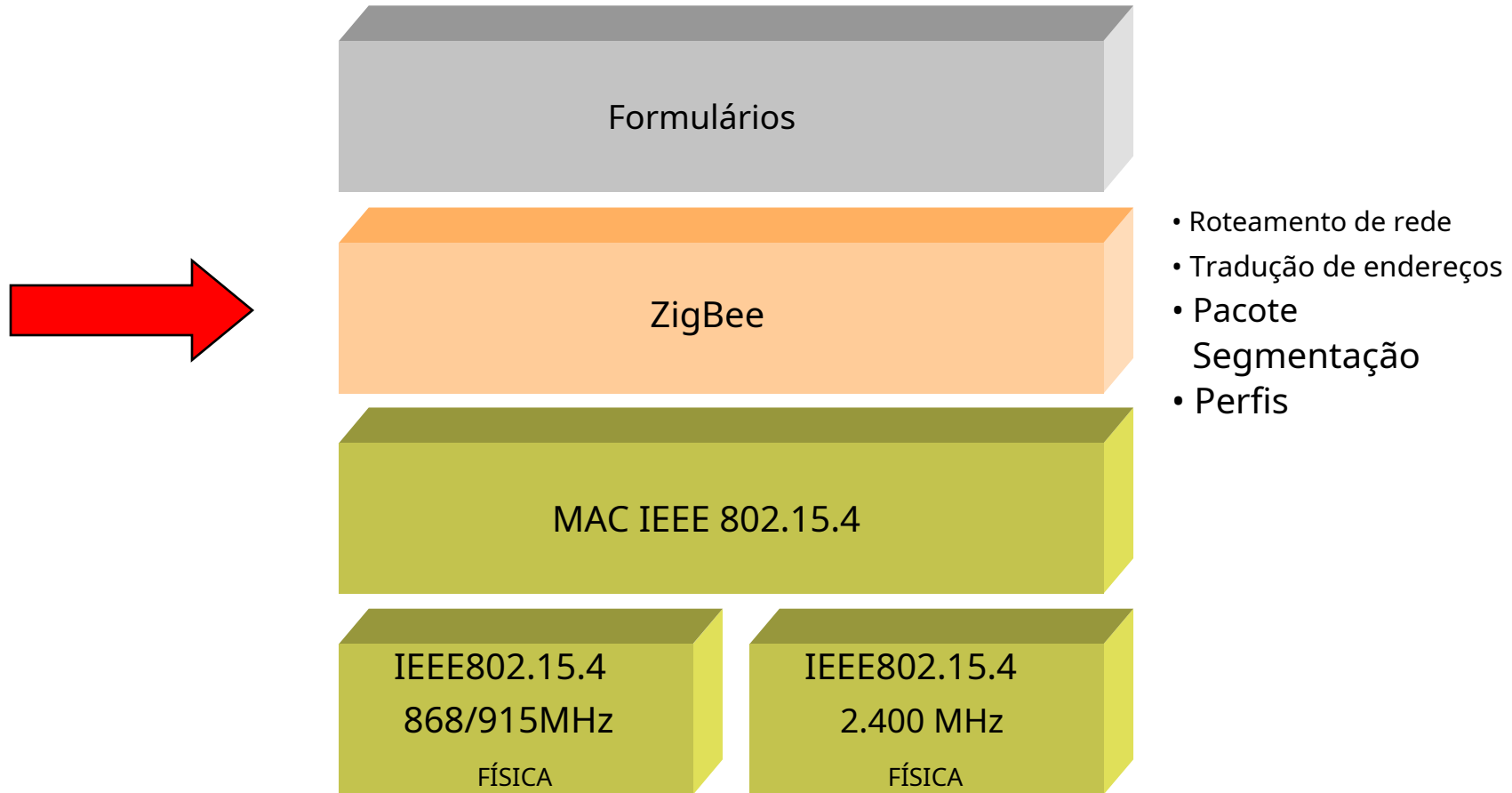
Camada MAC



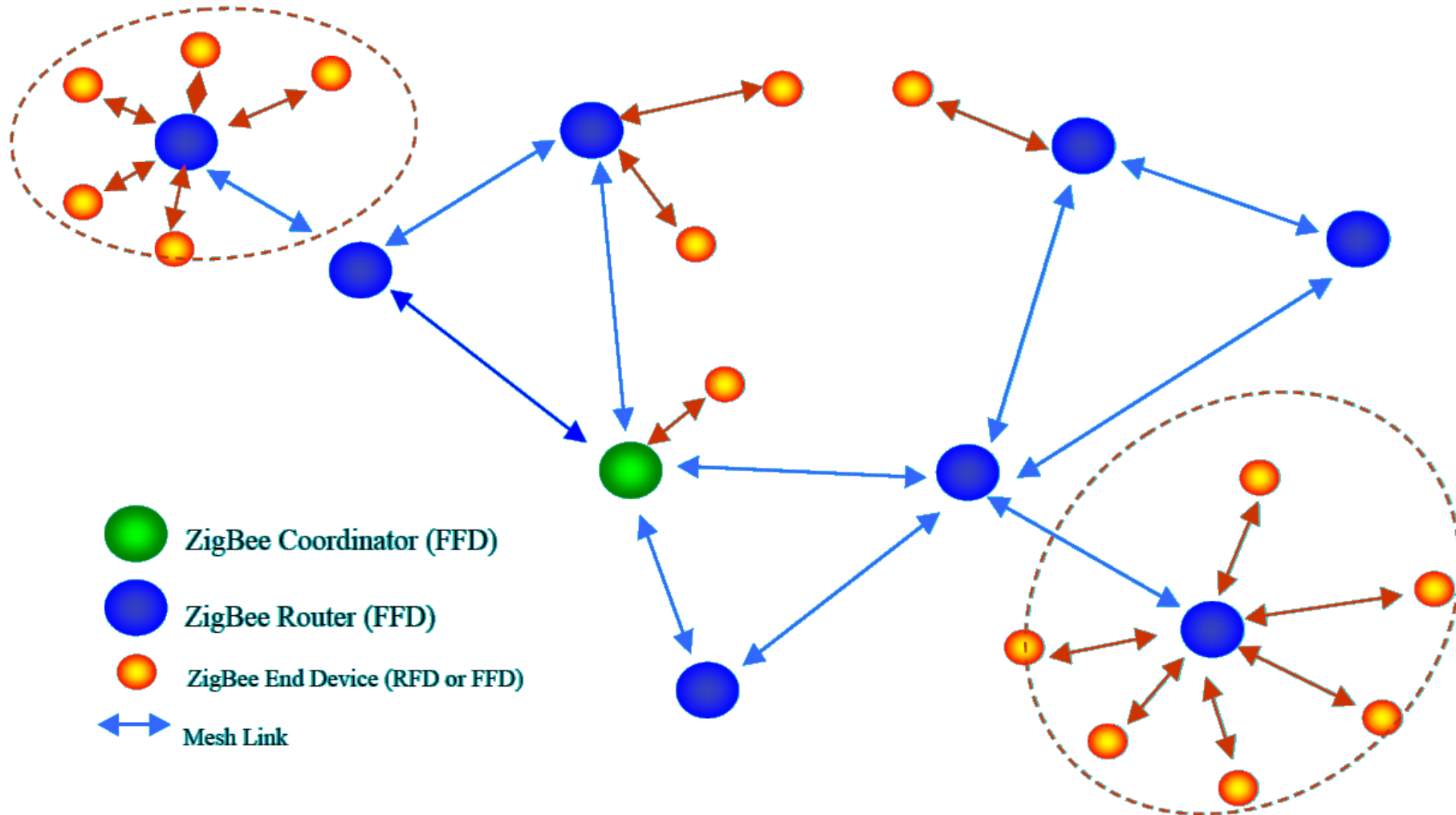
Como 6 e 7 se conectam ao coordenador 0?

Roteamento (camada NWK)

Arquitetura 802.15.4



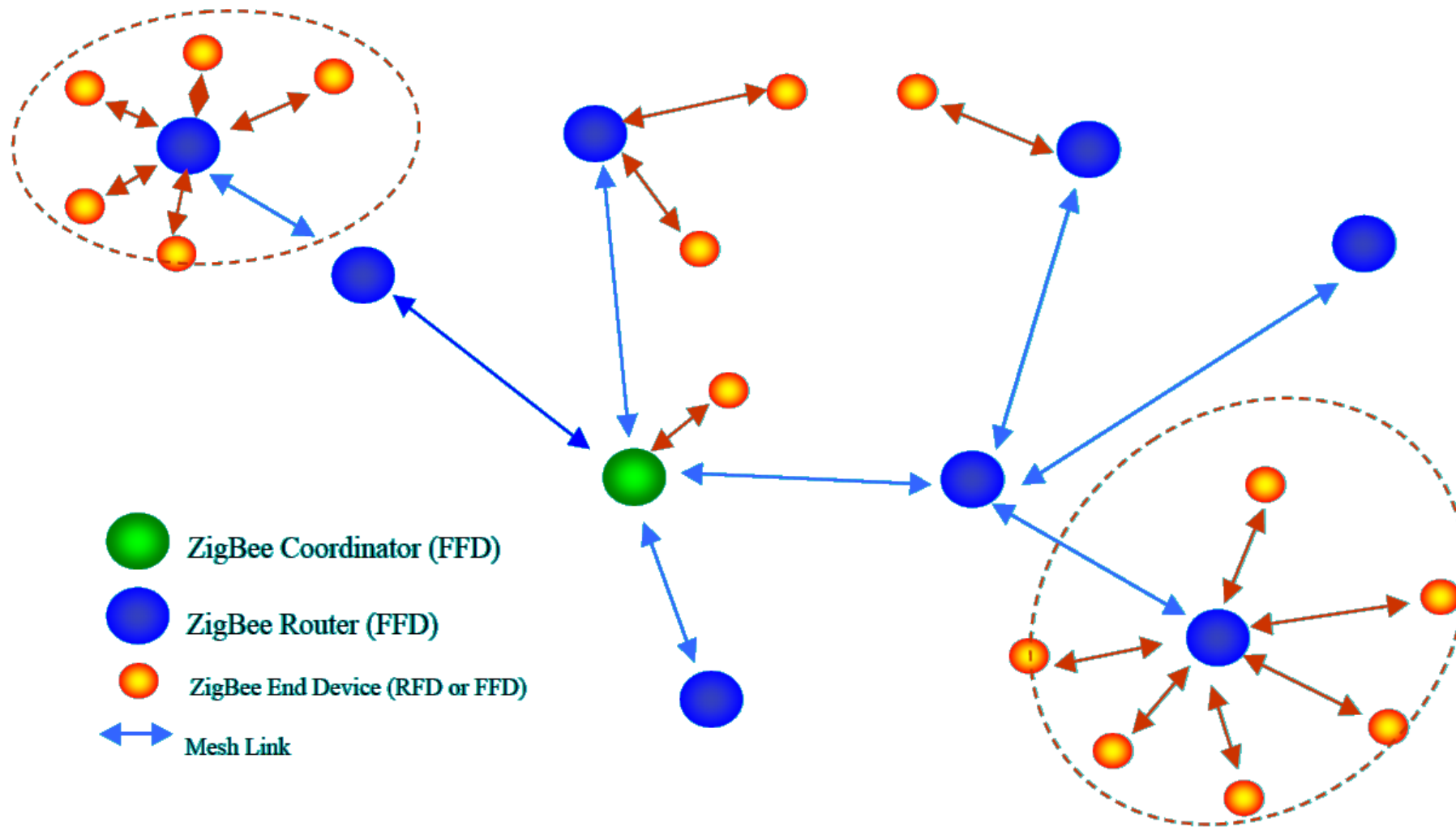
Topologias combinadas: topologias de malha



Em uma rede mesh, beacons regulares não são permitidos.

Dispositivos em uma rede mesh só podem se comunicar entre si por meio de transmissões ponto a ponto

Topologias Combinadas: Árvore



Em uma rede em árvore, o coordenador e os roteadores podem anunciar beacons.

Endereçamento de dispositivo

- Dois ou mais dispositivos comunicando-se no mesmo canal físico constituem uma WPAN que inclui pelo menos um FFD (coordenador do PAN)
- Cada PAN independente selecionará um identificador PAN exclusivo
- Todos os dispositivos operando em uma rede deverão ter endereço estendido exclusivo de 64 bits (IEEE 802.15.4). Este endereço pode ser usado para comunicação direta no PAN
- O endereço de rede pode usar um endereço curto de 16 bits, que é alocado aos roteadores filhos pelo coordenador PAN quando o dispositivo se associa
- 256 subendereços podem ser alocados para subunidades

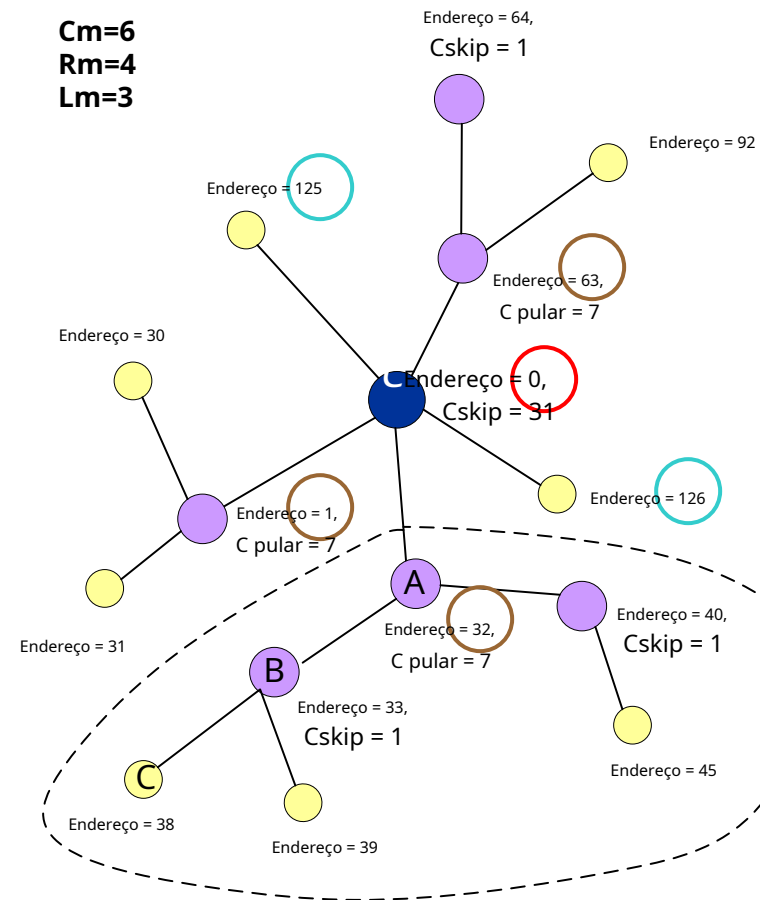
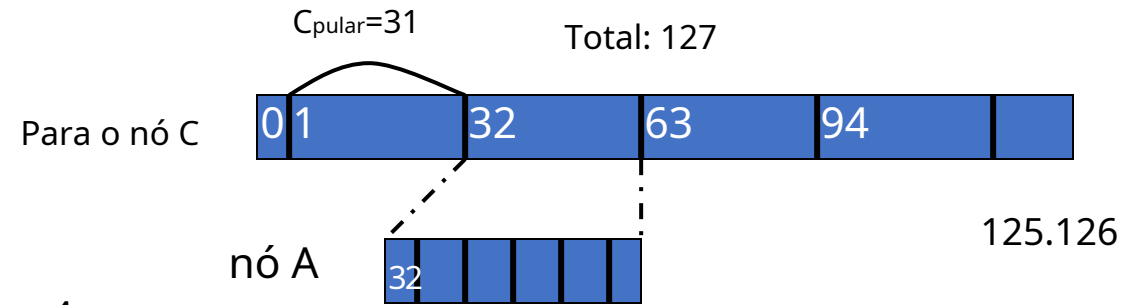
Atribuição de endereço em uma rede ZigBee

- No ZigBee, os endereços de rede são atribuídos aos dispositivos por um **esquema de atribuição de endereço distribuído**
- O coordenador ZigBee determina três parâmetros de rede para definir as alocações
 - o número máximo de filhos (C_{eu}) de um roteador ZigBee
 - o número máximo de roteadores filhos (R_{eu}) de um nó pai
 - a profundidade da rede (eU_{eu})
- Um dispositivo pai utiliza C_{eu} , R_{eu} , e eU_{eu} para calcular um parâmetro chamado C_{pular}
 - que é usado para calcular o tamanho dos conjuntos de endereços de seus filhos

$$C_{skip}(d) = \frac{-1 + C_m - (L_m - d - 1),}{-1 + C_m - R_m - C_m - R_m L_m - d - 1}, \quad \text{se } R_m = 1 \quad \text{----(a)}$$

De outra forma ----(b)

- Se um nó pai em profundidade d tem um endereço A_{pai} ,
 - o roteador filho é atribuído ao endereço $A_{pai} + (n-1) \times C_{pular}(d) + 1$
 - o dispositivo final filho é atribuído ao endereço $A_{pai} + R_{eu} \times C_{pular}(d) + n$



Protocolos de roteamento ZigBee

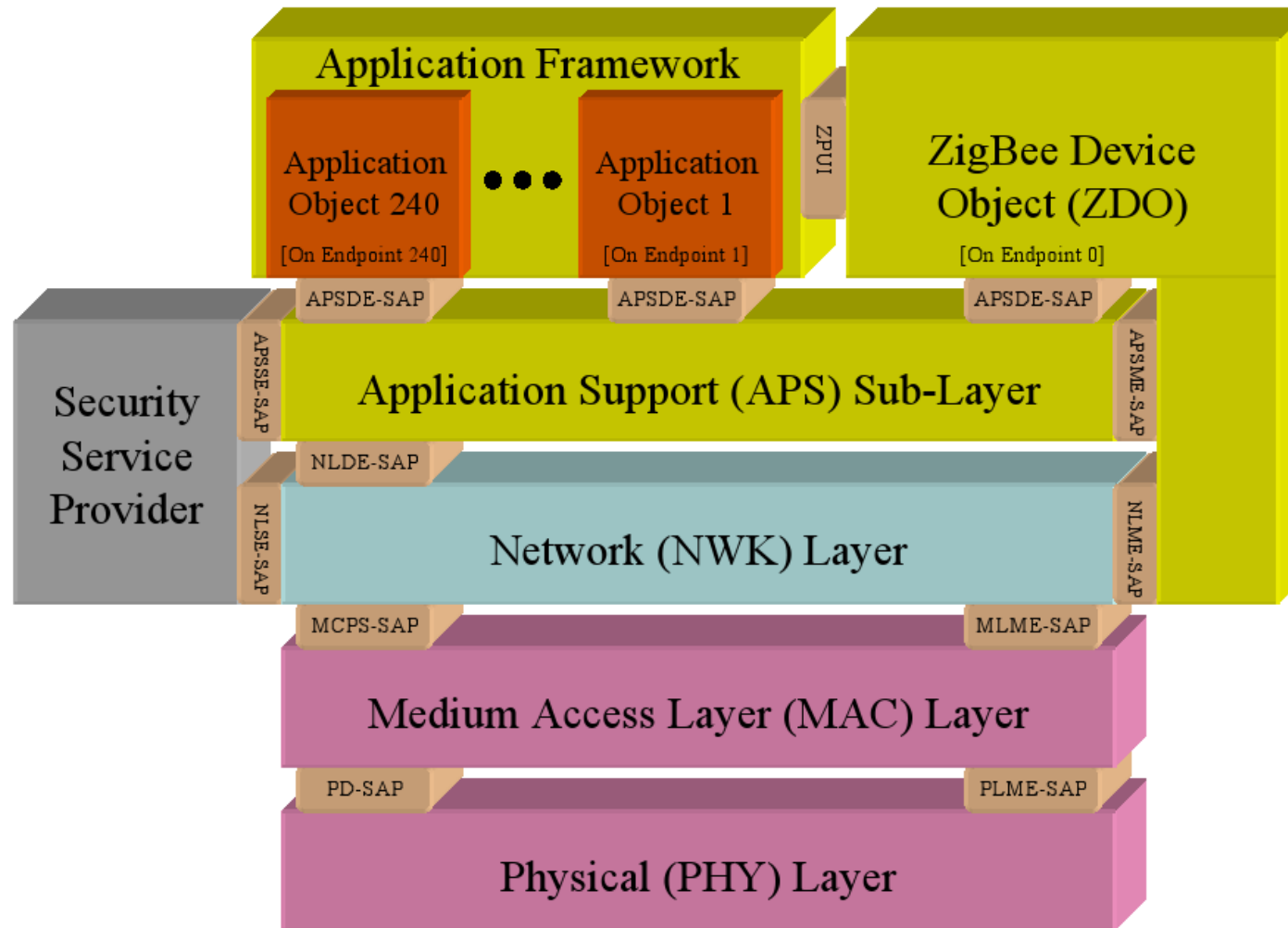
- Em uma rede de árvores
 - Utilize a atribuição de endereço para obter os caminhos de roteamento
- Em uma rede mesh
 - Duas opções
 - Roteamento reativo: se tiver capacidade de roteamento
 - Use roteamento em árvore: se não tiver capacidade de roteamento
- Observação:
 - Diz-se que os coordenadores e roteadores ZigBee têm *capacidade de roteamento* se eles tiverem *capacidades da tabela de roteamento* e *capacidades da tabela de descoberta de rotas*

Resumo da camada de rede ZigBee

- Prós e contras de diferentes tipos de topologias de rede ZigBee

	Prós	Contras
Estrela	<ol style="list-style-type: none">1. Fácil de sincronizar2. Suporta operação de baixa potência3. Baixa latência	<ol style="list-style-type: none">1. Pequena escala
Árvore	<ol style="list-style-type: none">1. Baixo custo de roteamento2. Pode formar superframes para suportar o modo de suspensão3. Permitir comunicação multihop	<ol style="list-style-type: none">1. A reconstrução da rota é cara2. A latência pode ser bastante longa
Malha	<ol style="list-style-type: none">1. Comunicação multihop robusta2. A rede é mais flexível3. Menor latência	<ol style="list-style-type: none">1. Não é possível formar superframes (e, portanto, não pode suportar o modo de suspensão)2. A descoberta de rotas é cara3. Precisa de armazenamento para tabela de roteamento

CM 23/24



Objetos definidos pelo ZigBee (ZDO):

- fornece função comum para aplicativos
- Inicializa APS, camada NWK e especificação de serviço de segurança
- oferece serviços como descoberta de dispositivos/serviços, vinculação e gerenciamento de segurança
- reúne informações sobre a rede
- para ZBC/ZBR -> por exemplo, tabela de ligação

CM 23/24

Command	Addressing	
	Request	Response
End device bind	Unicast to ZC	Unicast
Bind	Unicast to ZC or Src	Unicast
Unbind	Unicast to ZC or Src	Unicast

Perfis:

Definição de perfis ZigBee

- descreve uma linguagem comum para troca de dados
- define os serviços oferecidos
- interoperabilidade de dispositivos entre diferentes fabricantes
- Perfis padrão disponíveis na ZigBee Alliance
- **perfis contêm descrições de dispositivos**
- identificador exclusivo (licenciado pela ZigBee Alliance)

ZigBee e BLE

- Comparação de negócios:
 - ZigBee é mais antigo. Passou por algumas iterações
 - ZigBee tem participação no mercado, mas ainda não tem muitas remessas.
 - Barreiras de mercado: conectividade – O ZigBee ainda não está nos PCs ou nos telemóveis.
- Comparação técnica:
 - Zigbee tem baixo consumo de energia; O Bluetooth LE é ainda mais baixo. A análise detalhada depende de aplicações específicas e detalhes do projeto, sem mencionar a geometria do chip.
 - A pilha ZigBee é leve; a pilha Bluetooth LE/GATT é ainda mais simples
 - Lembre-se: GATT – Perfil genérico ATtribute
- Daqui para frente:
 - ZigBee é líder no desenvolvimento de aplicativos e presença
 - O Bluetooth de baixo consumo de energia melhorou a tecnologia e tem presença marcante em vários mercados existentes: telefones celulares, automóveis, eletrônicos de consumo, indústria de PCs
 - Substituir o “Bluetooth clássico” por dispositivos de “modo duplo” irá impulsionar este mercado rapidamente

Sensor sem fio de área ampla

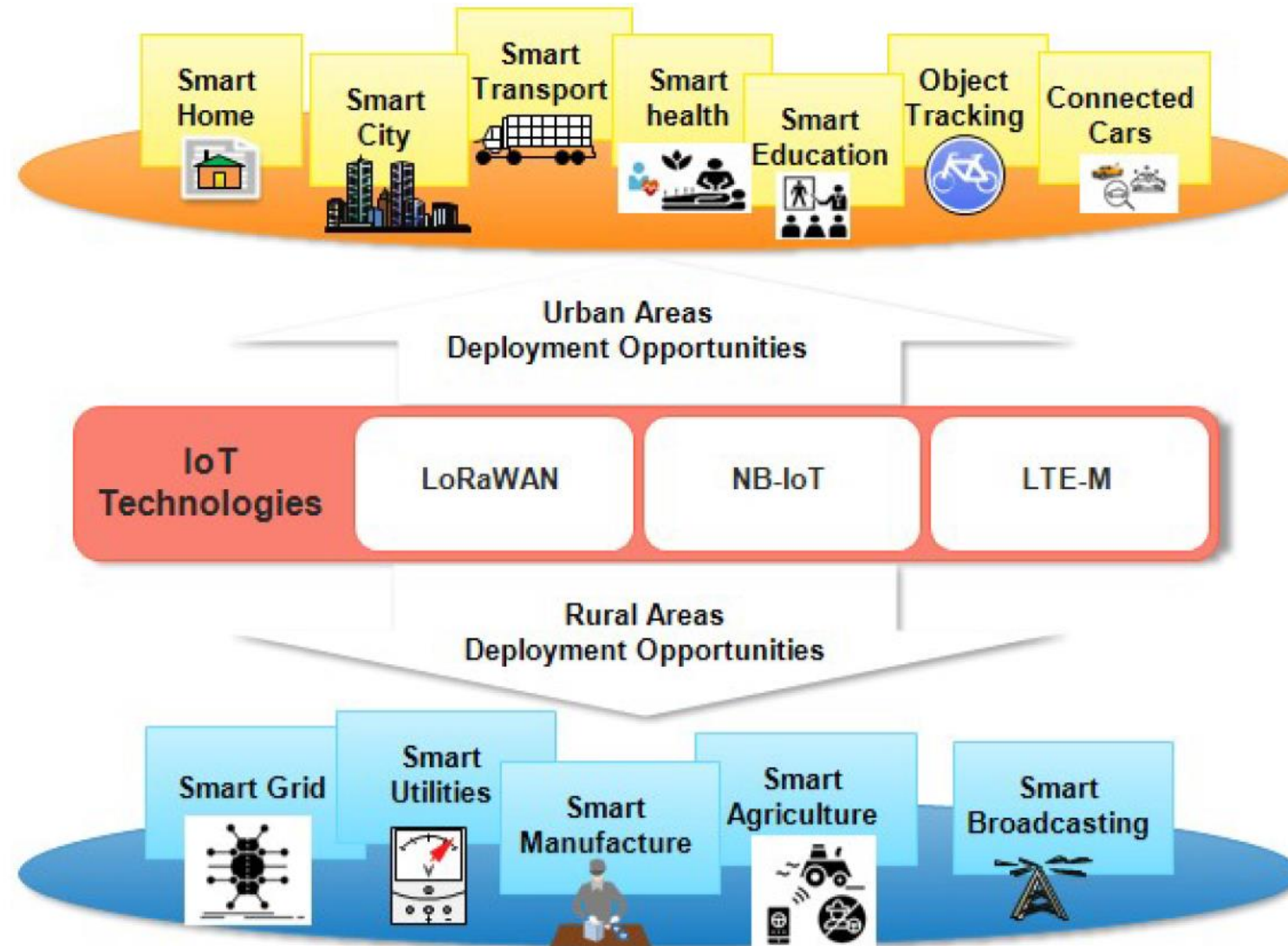
Redes

WWSN

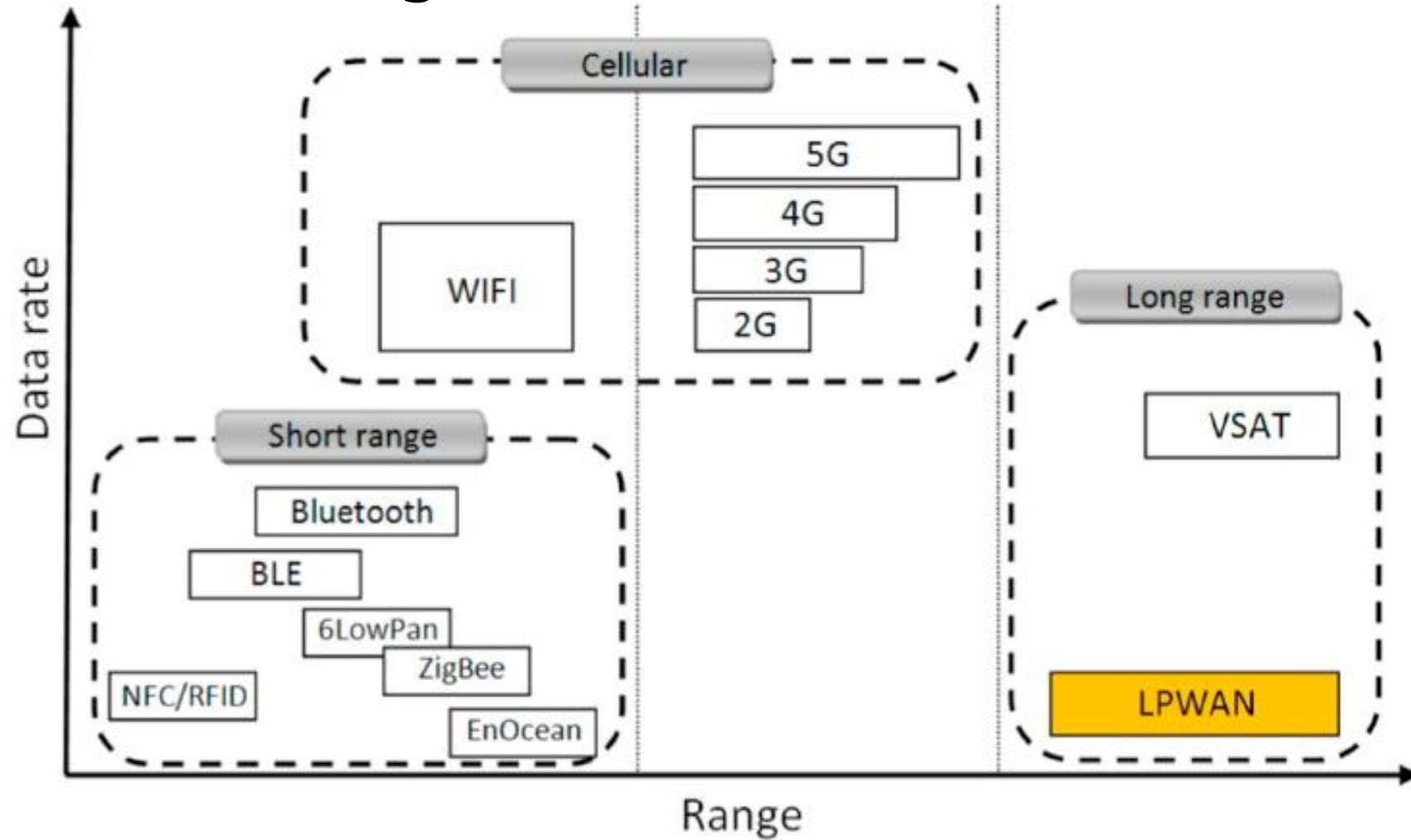
O que é isso?

- WWSN – redes de sensores sem fio de área ampla
- LPWSN – redes de sensores sem fio de baixa potência
- Tecnologias para redes de sensores em áreas amplas
 - seja para baixa potência ou para geografia
 - Normalmente: Sigfox, LoRa, celular (LTE-M, NB-IoT)

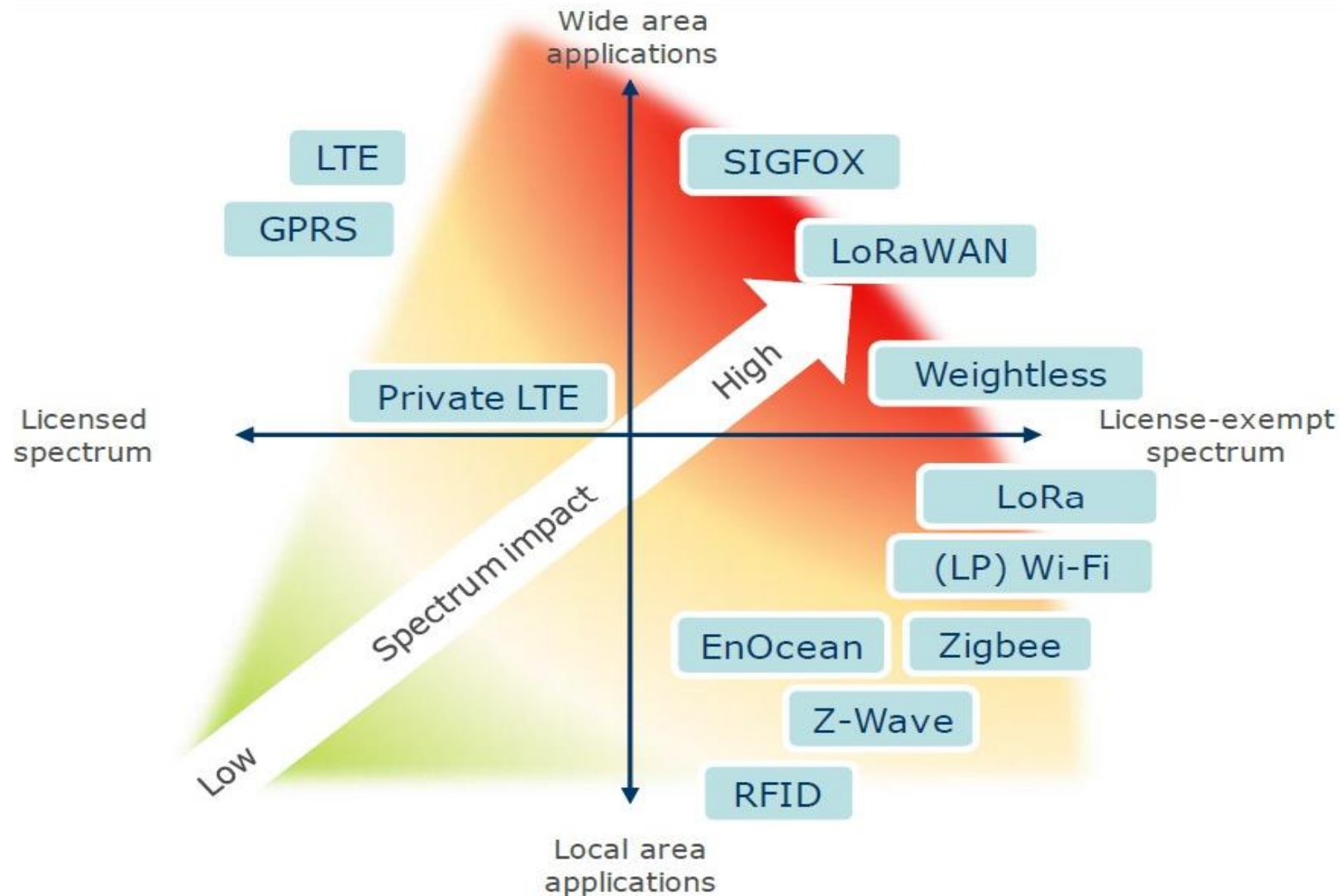
LPWSN



Revisão de tecnologia



Licenciado vs isento de licença

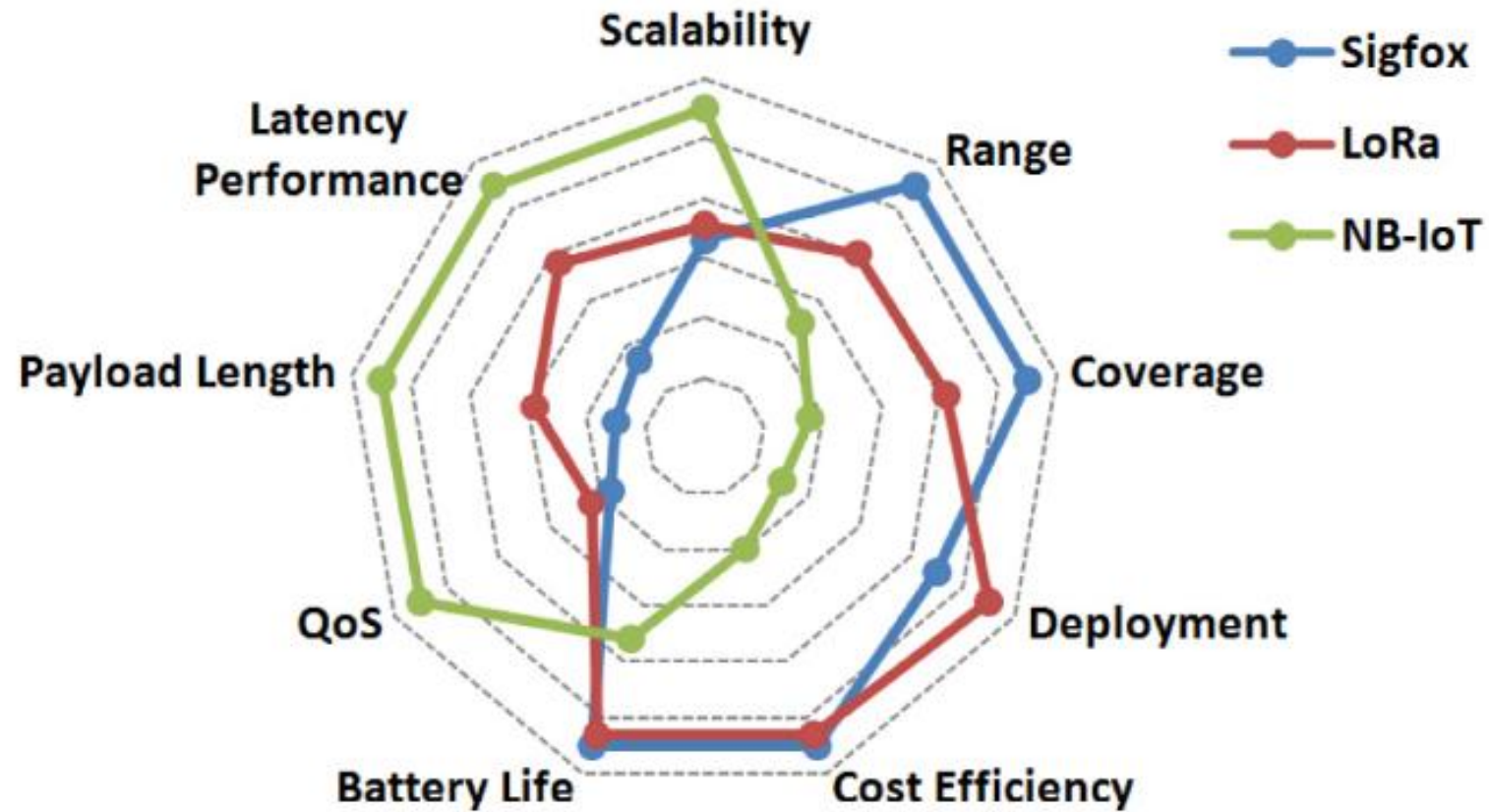


Visão geral do LPWAN

Overview of LPWAN technologies: Sigfox, LoRa, and NB-IoT.

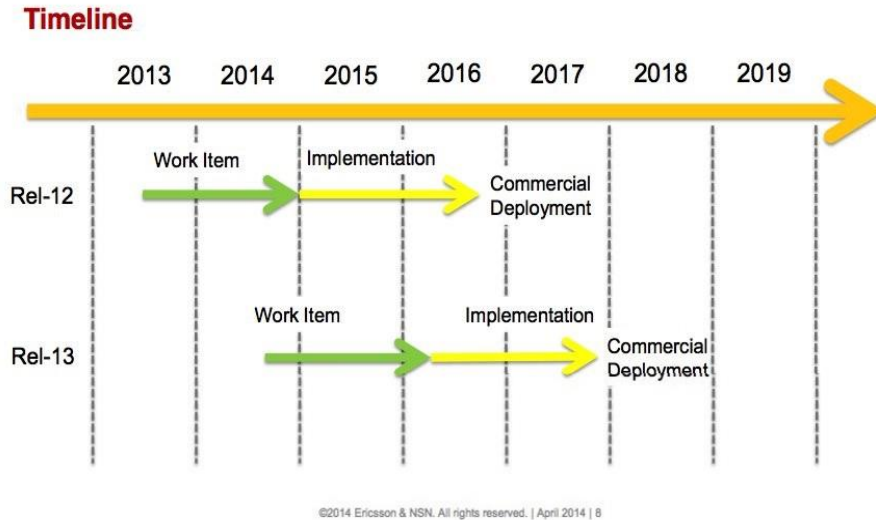
	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Modulation	BPSK	CSS	QPSK
Frequency	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)	Licensed LTE frequency bands
Bandwidth	100 Hz	250 kHz and 125 kHz	200 kHz
Maximum data rate	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirectional	Limited / Half-duplex	Yes / Half-duplex	Yes / Half-duplex
Maximum messages/day	140 (UL), 4 (DL)	Unlimited	Unlimited
Maximum payload length	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Range	10 km (urban), 40 km (rural)	5 km (urban), 20 km (rural)	1 km (urban), 10 km (rural)
Interference immunity	Very high	Very high	Low
Authentication & encryption	Not supported	Yes (AES 128b)	Yes (LTE encryption)
Adaptive data rate	No	Yes	No
Handover	End-devices do not join a single base station	End-devices do not join a single base station	End-devices join a single base station
Localization	Yes (RSSI)	Yes (TDOA)	No (under specification)
Allow private network	No	Yes	No
Standardization	Sigfox company is collaborating with ETSI on the standardization of Sigfox-based network	LoRa-Alliance	3GPP
	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRa	Free	>100€/gateway >1000€/base station	3–5€
NB-IoT	>500 M€ /MHz	>15 000€/base station	>20€

Radar de comparação



LTE-M - Visão geral

- Evolução do LTE otimizado para IoT
- Baixo consumo de energia e autônomo
- Fácil implantação
- Interoperabilidade com redes LTE existentes
- Cobertura até 11 Km
- Taxa de transferência máxima ≤ 1 Mbps



- ✓ Lançado pela primeira vez em Rel.12 no 2º trimestre de 2014
- ✓ Otimização em Rel.13
- ✓ Especificações concluídas no primeiro trimestre de 2016
- ✓ Disponível desde 2017

Evolução de LTE para LTE-M

Lançamentos 3GPP	8 (Cat.4)	8 (Gato. 1)	12 (Cat.0) LTE-M	13 (Cat. 1,4 MHz) LTE-M
Taxa de pico de downlink (Mbps)	150	10	M 1	M 1
Taxa de pico de uplink (Mbps)	50	5	1	1
Número de antenas (MIMO)	2	2	1	1
Modo Duplex	Completo	Completo	Metade	Metade
UE recebe largura de banda (MHz)	20	20	20	1.4
Potência de transmissão UE (dBm)	23	23	23	20

Versão 12

- Nova categoria de UE ("Cat-0"): dispositivos de menor complexidade e baixo custo
- Operação FDD half duplex permitida
- Receptor único
- Requisito de taxa de dados mais baixa (Máx.: 1 Mbps)

Versão 13

- Largura de banda de recepção reduzida para 1,4 MHz
- Classe de potência mais baixa do dispositivo de 20 dBm
- Orçamento de link adicional de 15dB: melhor cobertura
- Mais eficiente em termos energéticos devido ao seu ciclo de repetição descontínua estendido (eDRX)