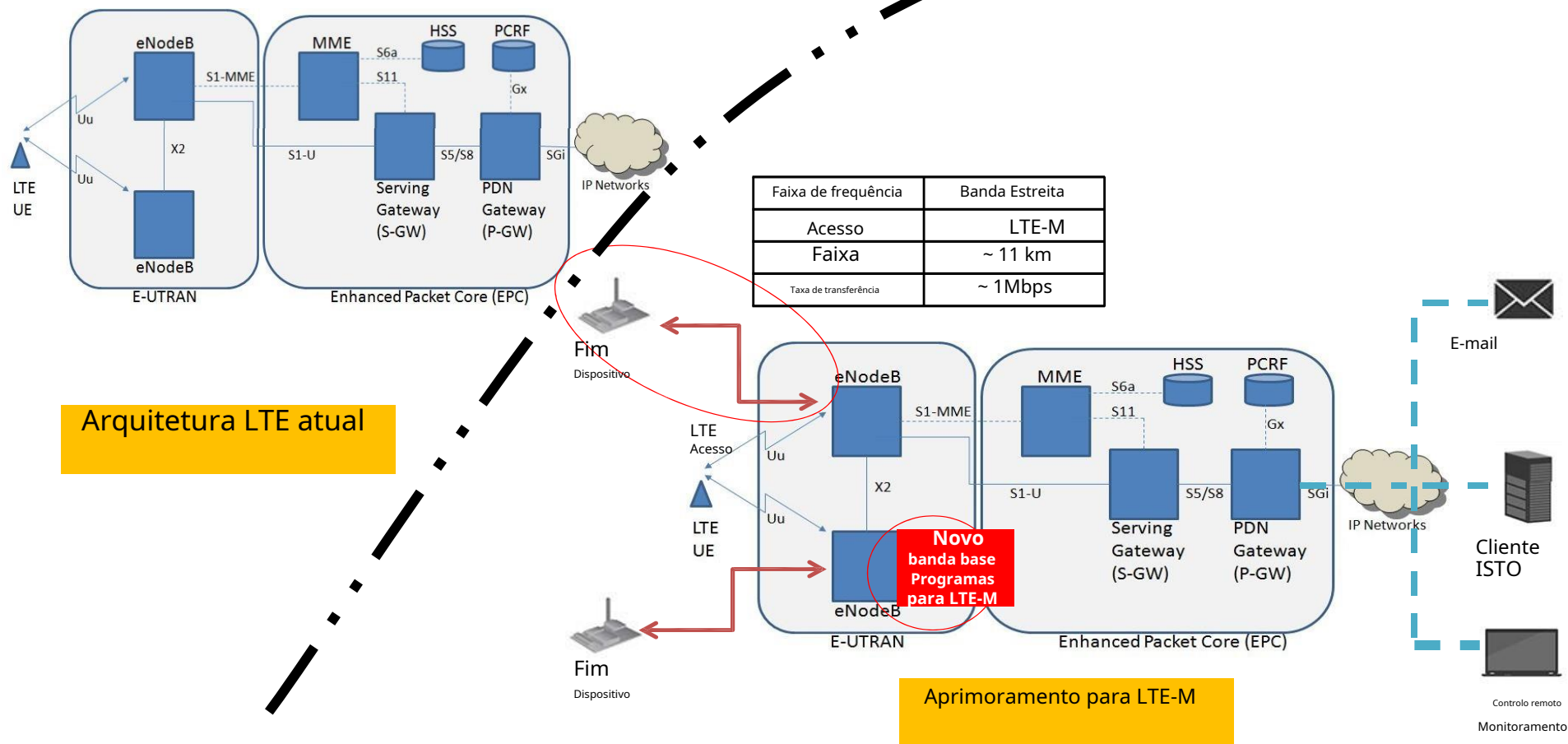
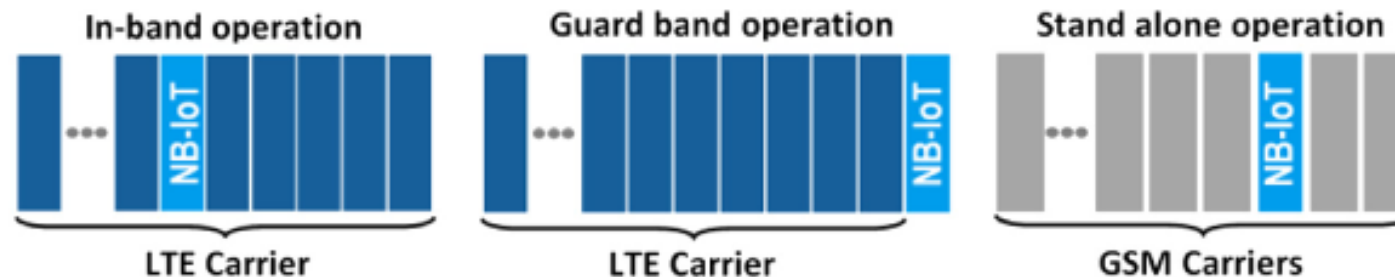


## LTE para LTE-M -Arquitetura



# NB-IoT

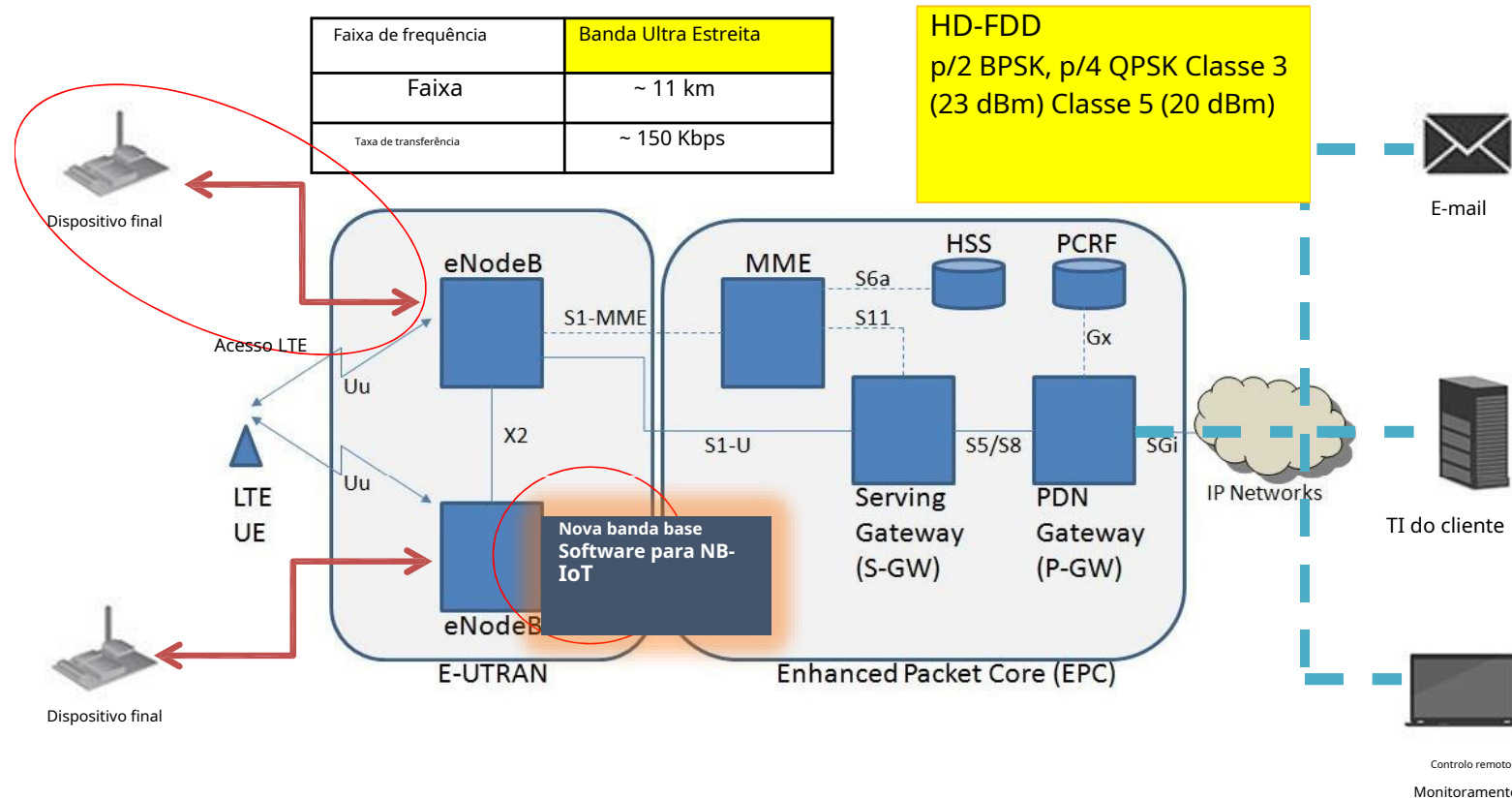
- Definido em R13, outro modo em vez de LTE-M
- Largura de banda – 200 KHz
  - Um bloco de recursos em GSM/LTE
- Baseado no protocolo LTE, simplificado
  - OFDMA(para baixo)/FDMA(para cima), QPSK
  - 200kbps (para baixo)/20kbps (para cima)
- Três modos de operação



# NB-IoT

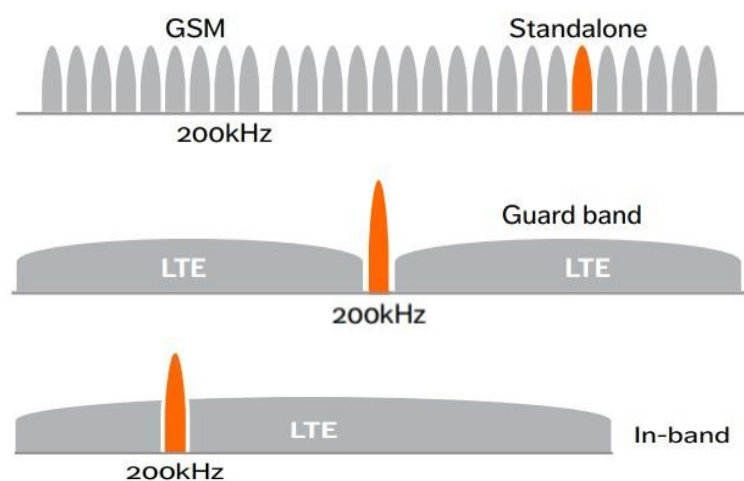
- Usa extensivamente o design LTE
- Custo mais baixo em termos de utilização do canal
- Cobertura estendida
- Baixa sensibilidade do receptor = -141dBm
- Bateria de longa duração: 10 anos com bateria de 5 Watts-hora (dependendo das necessidades de tráfego e cobertura)
- Suporte para um grande número de dispositivos: pelo menos 50.000 por célula
- 3 modos de operação:
  - *Estar sozinho: operadora autónoma, por exemplo, espectro atualmente usado pelos sistemas GERAN (GSM Edge Radio Access Network) como substituição de uma ou mais operadoras GSM*
  - *Faixa de guarda: blocos de recursos não utilizados dentro da banda de guarda de uma operadora LTE*
  - *Dentro da banda: blocos de recursos dentro de uma operadora LTE normal*

# NB-IoT - Arquitetura



# NB-IoT – Espectro e Acesso

Projetado com diversas opções de implantação para espectro licenciado  
GSM, WCDMA ou LTE para alcançar eficiência

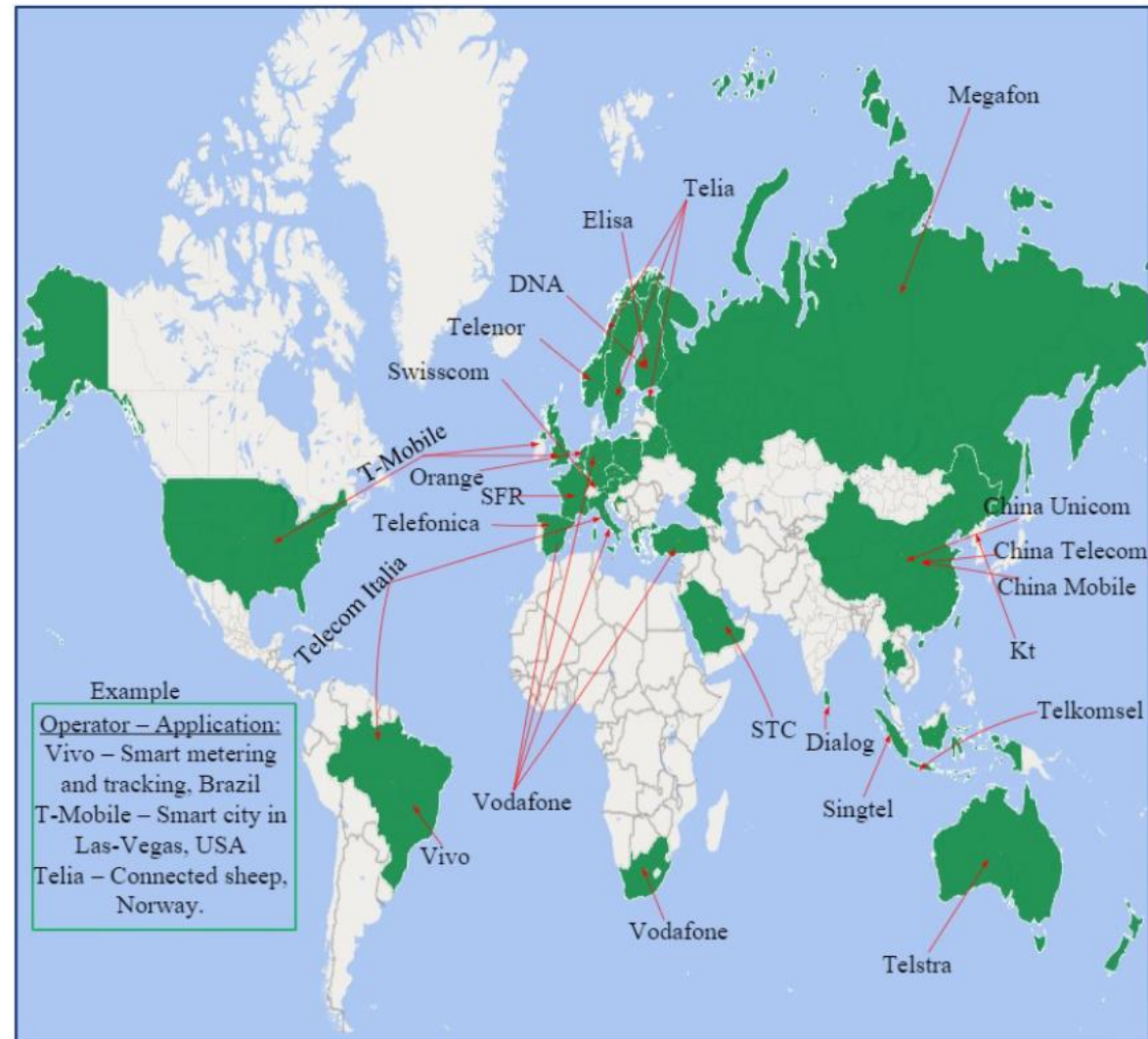


Operação autônoma  
Espectro dedicado.  
Ex.: Porre-cultivando canais GSM

Guarda	banda	Operação:
Baseado em	o não utilizado	RB dentro de um LTE
da transportadora	banda de guarda	

Dentro da banda	Operação
Usando blocos de recursos	dentro de uma normalidade
Operadora LTE	

# NB-IoT(@2019)



# Tecnologias celulares

- Duas estratégias, para cenários diferentes
  - Sem MIMO para energia de dispositivos de baixo custo.

	LTE-M	NB-IoT
Peak data rate	384 kbps	<100 kbps
Latency	50-100 ms	1.5-10 seconds
Power consumption	Best at medium data rates	Best at very low data rates
Mobility	Yes	No, stationary only
Voice	Yes	No
Antennas	1	1

# SigFox



- Fornecer e manter uma plataforma de conectividade **PAGA**
  - Banda Ultra Estreita: 100 Hz por mensagem
  - Taxa de bits ultrabaixa: mensagens de 12 bytes, 140 mensagens por dia (máximo!)
  - Longo alcance: ~50KM
  - Sensores com duração de 10 anos
  - Fornece apenas conectividade, controle de acesso e um corretor
- Modelo de Negócio: serviço de conectividade para alarmes, medidores inteligentes, etc.



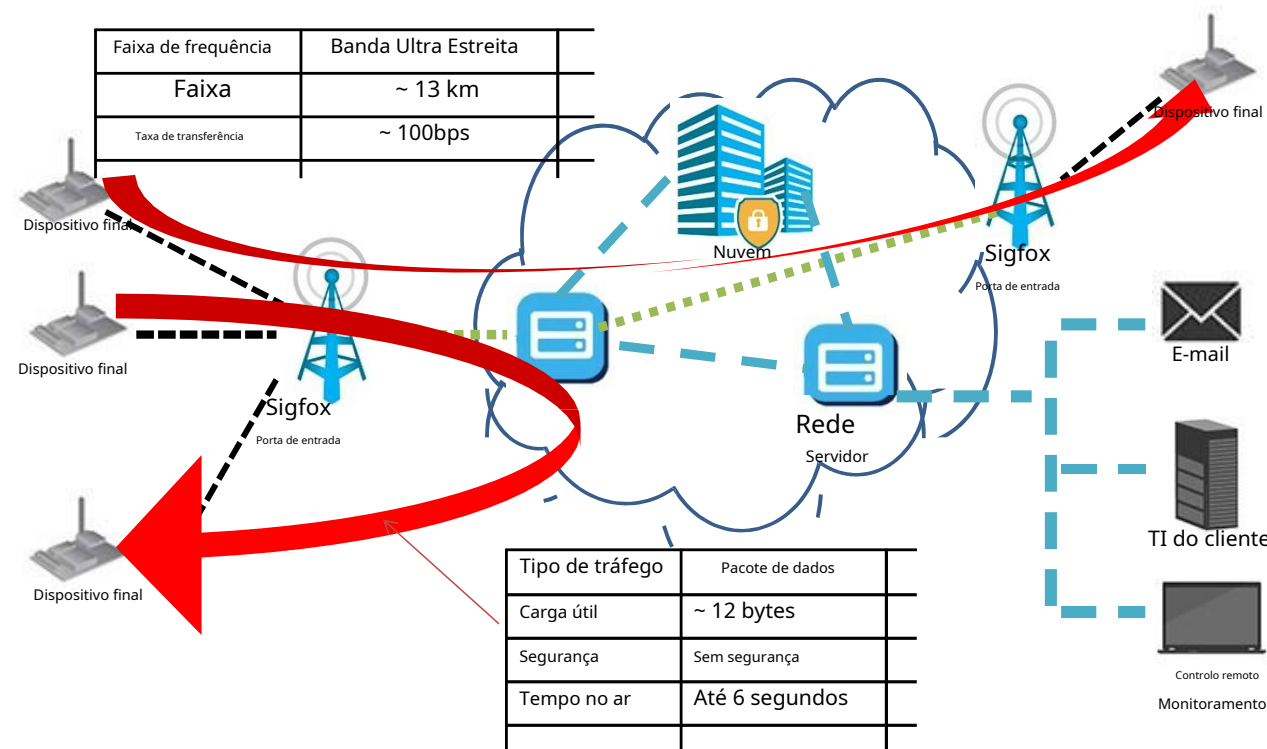
# SigFox

- Rede de sensores de área ampla de baixa potência (LPWASN)
- Milhares de milhões😊
  - Um milhão por ponto de acesso ;)
- Proprietário - comercial
  - Você tem que usar sua infraestrutura de acesso (construída com operadoras) e software
  - Mercado aberto para os endpoints
- Alcance de 30 a 50 km em áreas rurais e de 3 a 10 km em áreas urbanas
- Banda ultra estreita, frequência 868 (UE) ou 902 (EUA) (MHz)
- Baixo consumo de energia
- Rede dedicada

# SigFox

- Cada dispositivo pode enviar até 140 mensagens por dia
  - Carga útil: 12 octetos (~96 bytes)
  - Taxa de dados: até 100bps
- **(Ciclo de trabalho:** o tempo ocupado pela operação de um dispositivo, que opera de forma intermitente)
  - Comum na IoT
- Sigfox explora isso:
  - Quando um dispositivo tem uma mensagem a ser enviada, a interface Sigfox é ativada e a mensagem é transmitida em uplink
  - Em seguida, o dispositivo escuta por um curto período, se houver dados a serem enviados para ele
  - Isso é bom para cenários de aquisição de dados
  - Mas não é tão bom para situações de comando e controle
- Casos de uso:
  - Medidores inteligentes, detectores de fumaça

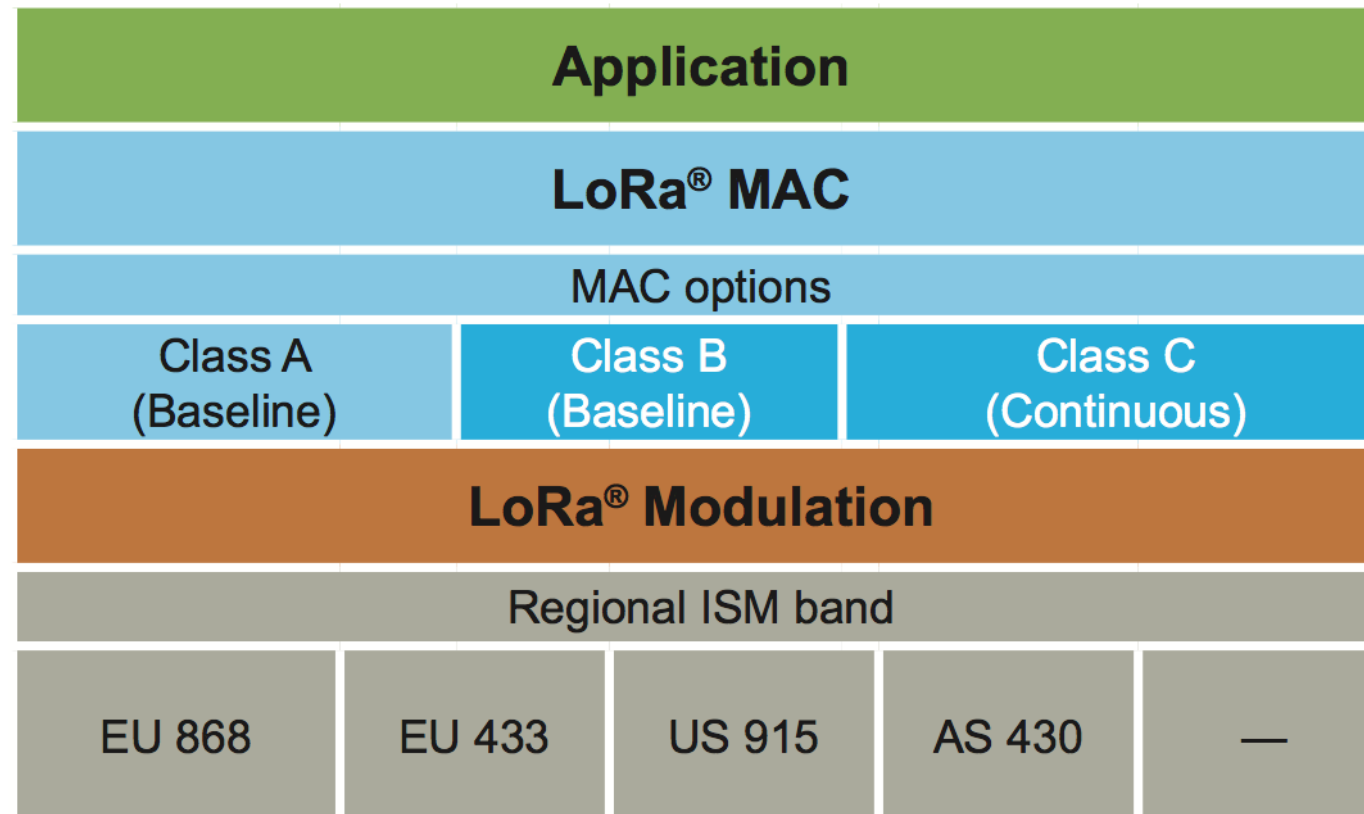
# Sigfox-Arquitetura



# LoRa

- Significa “Longo Alcance”
- Para ser usado em cenários de dispositivos alimentados por bateria de longa duração
- Semi-proprietário
  - Partes do protocolo estão bem documentadas, outras não.
  - Eles são donos da parte de rádio (mas o sublicenciamento está a caminho)
  - Você pode instalar seus próprios gateways
- LoRa geralmente significa duas coisas diferentes:
  - LoRa: uma camada física que usa modulação Chirp Spread Spectrum (CSS)
  - LoRaWAN: um protocolo de camada MAC

# Pilha LoRa

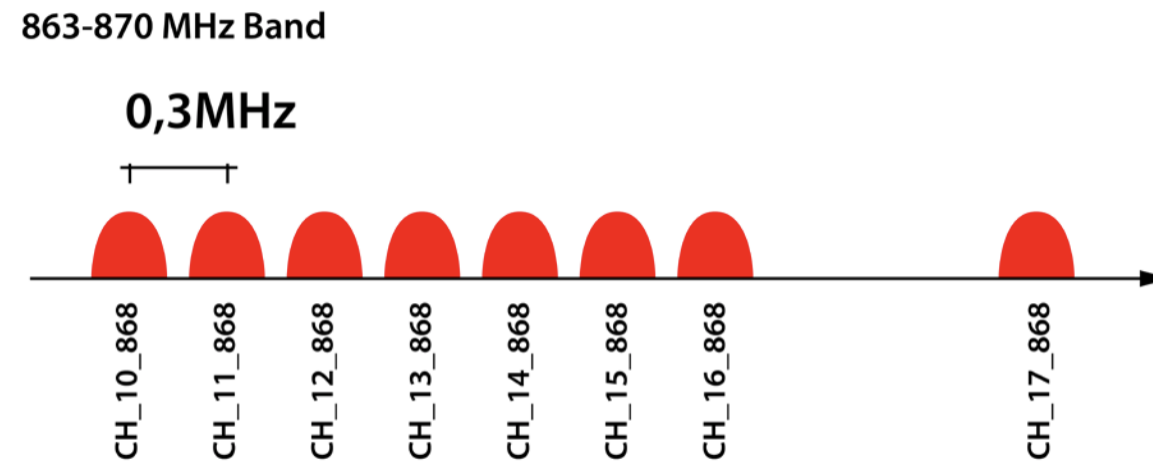


# LoRa (a camada física😊)

- Desenvolvido por Semtech
- Baixo alcance, baixo consumo de energia e baixo rendimento
- Opera em bandas de 433, 868 (UE) ou 915 (EUA) MHz
- Carga útil de 2 a 255 octetos (2Kb)
  - Depende dos parâmetros de configuração
- Taxa de dados: até 50 Kbps

# LoRa (a camada física😊)

- Na Europa, são utilizados 8 canais com largura de banda de 0,3 MHz



Fonte: Libélio

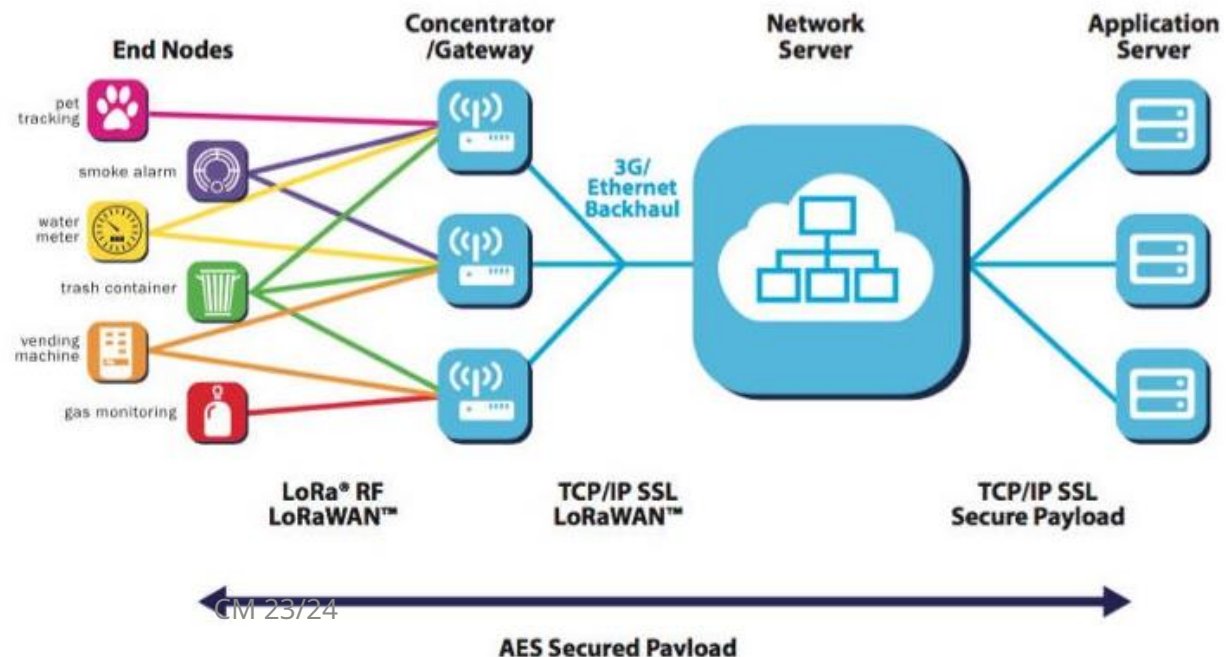
# LoRaWAN

- Mecanismo MAC para controlar comunicações entre dispositivos finais e gateways LoRaWAN. Para todos os dispositivos, ele gerencia:
  - Frequências de comunicação
  - Taxa de dados
  - Poder
- Padrão aberto desenvolvido pela LoRa Alliance

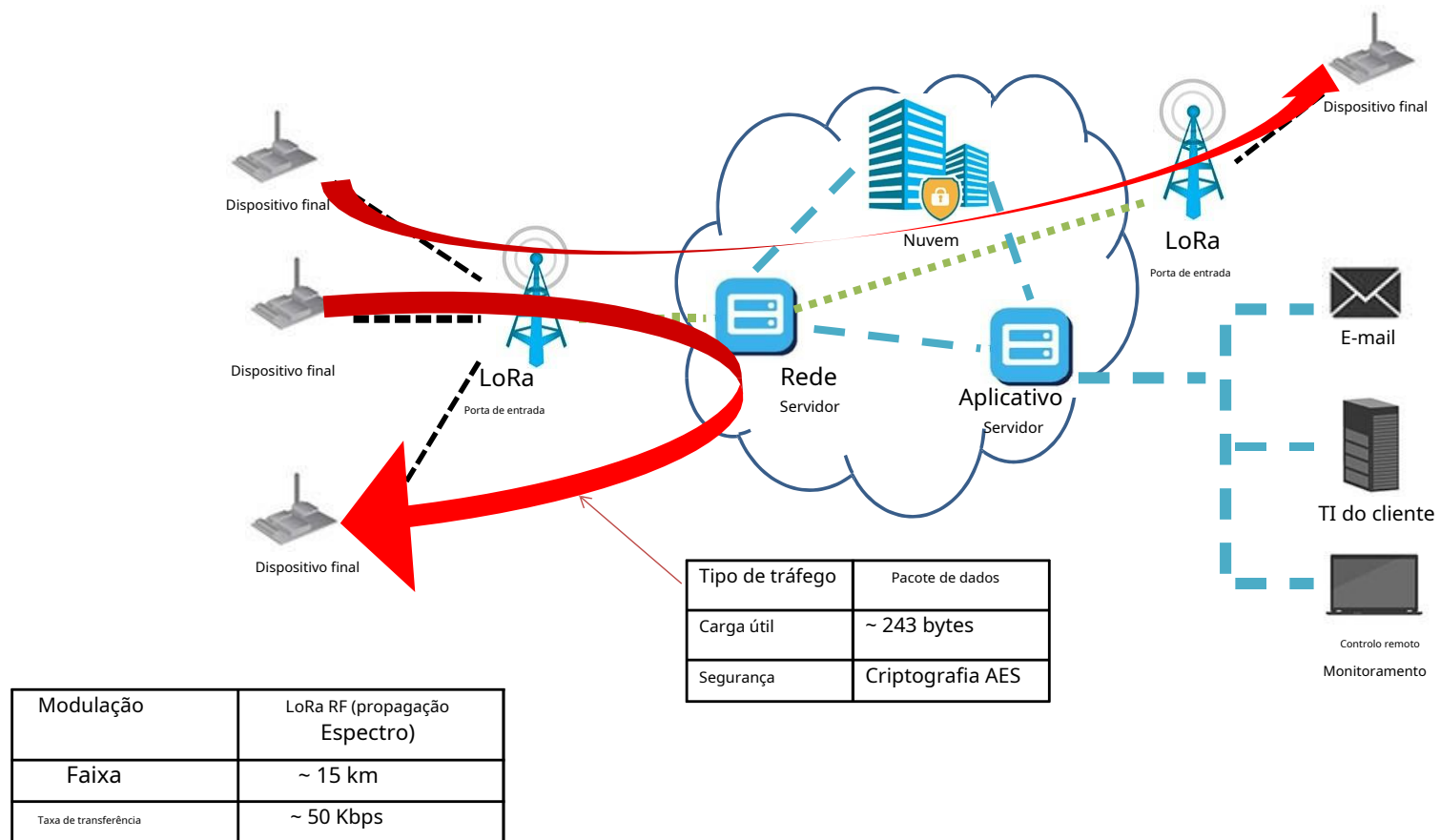


# Rede LoRA

- Topologia estrela de estrelas
- Dispositivos transmitem dados de forma assíncrona
  - Os dados são recebidos por vários gateways
  - Cada gateway encaminha os dados recebidos para um servidor de rede centralizado, usando um link de backhaul (Ethernet ou celular)
- O servidor de rede:
  - Filtra pacotes duplicados
    - O pacote com o sinal mais forte é decodificado
  - Realiza verificações de segurança
  - Gerencia a rede



# LORA-Arquitetura



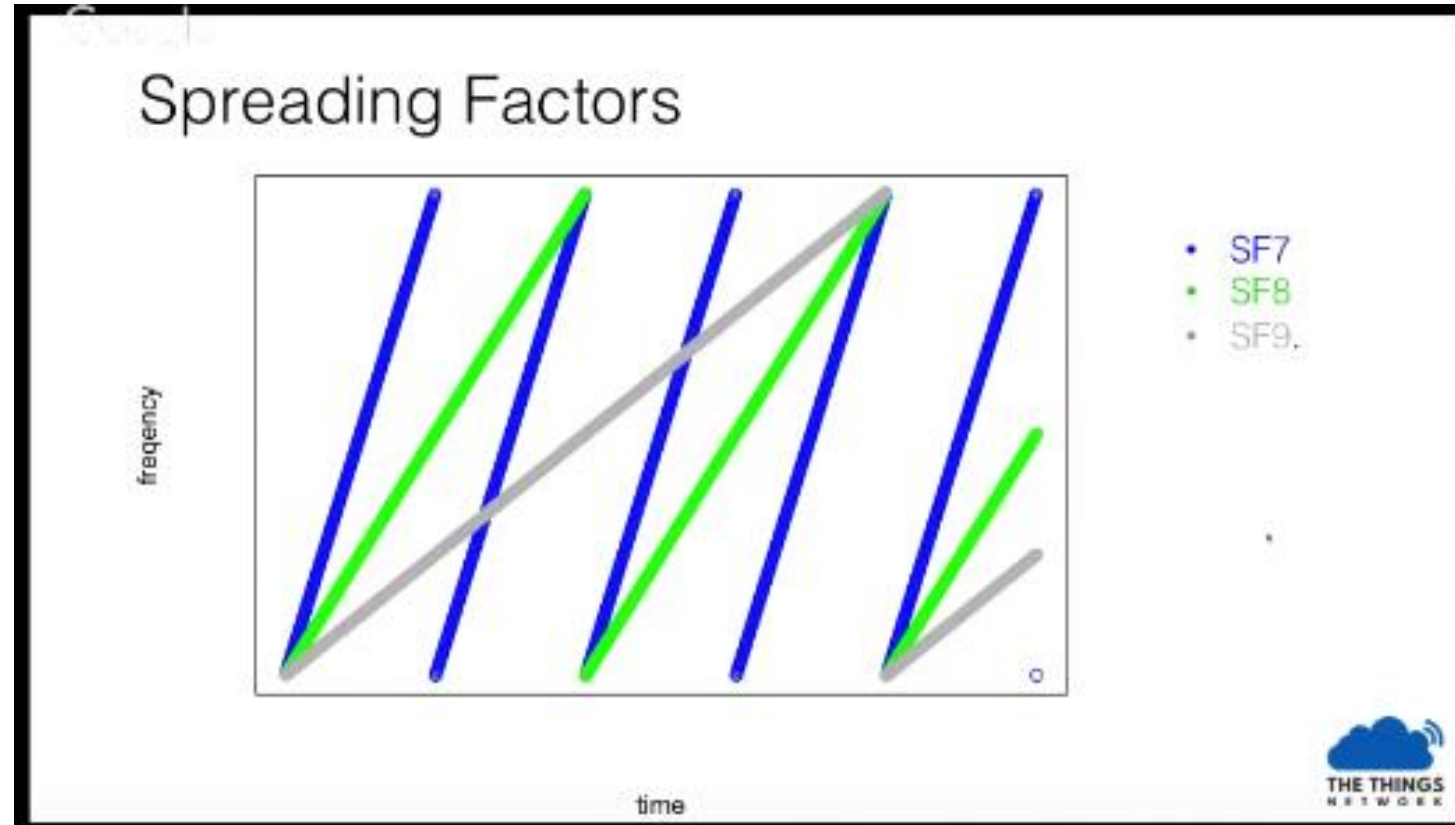
# Camada Física LoRa

- Modulação
  - (alterar um sinal, a portadora, de uma forma que permita que ela contenha informações a serem transmitidas)
- LoRa usa uma técnica proprietária de modulação Spread-Spectrum: Chirp Spread Spectrum (CSS)
  - (Um chirp é um sinal em que a frequência aumenta ou diminui com o tempo)
  - Tenta aumentar o alcance em:
    - Envio de informação com mais potência (dentro dos valores regulamentados - <14dBm ou 25mW)
    - Ou diminuindo a taxa de dados
  - Aumenta o orçamento de links
  - Aumenta a imunidade a interferências dentro da banda
- Isto, juntamente com técnicas de correção direta de erros, contribuem para ampliar o alcance e a robustez dos links de comunicação de rádio.
  - Comparado ao FSK

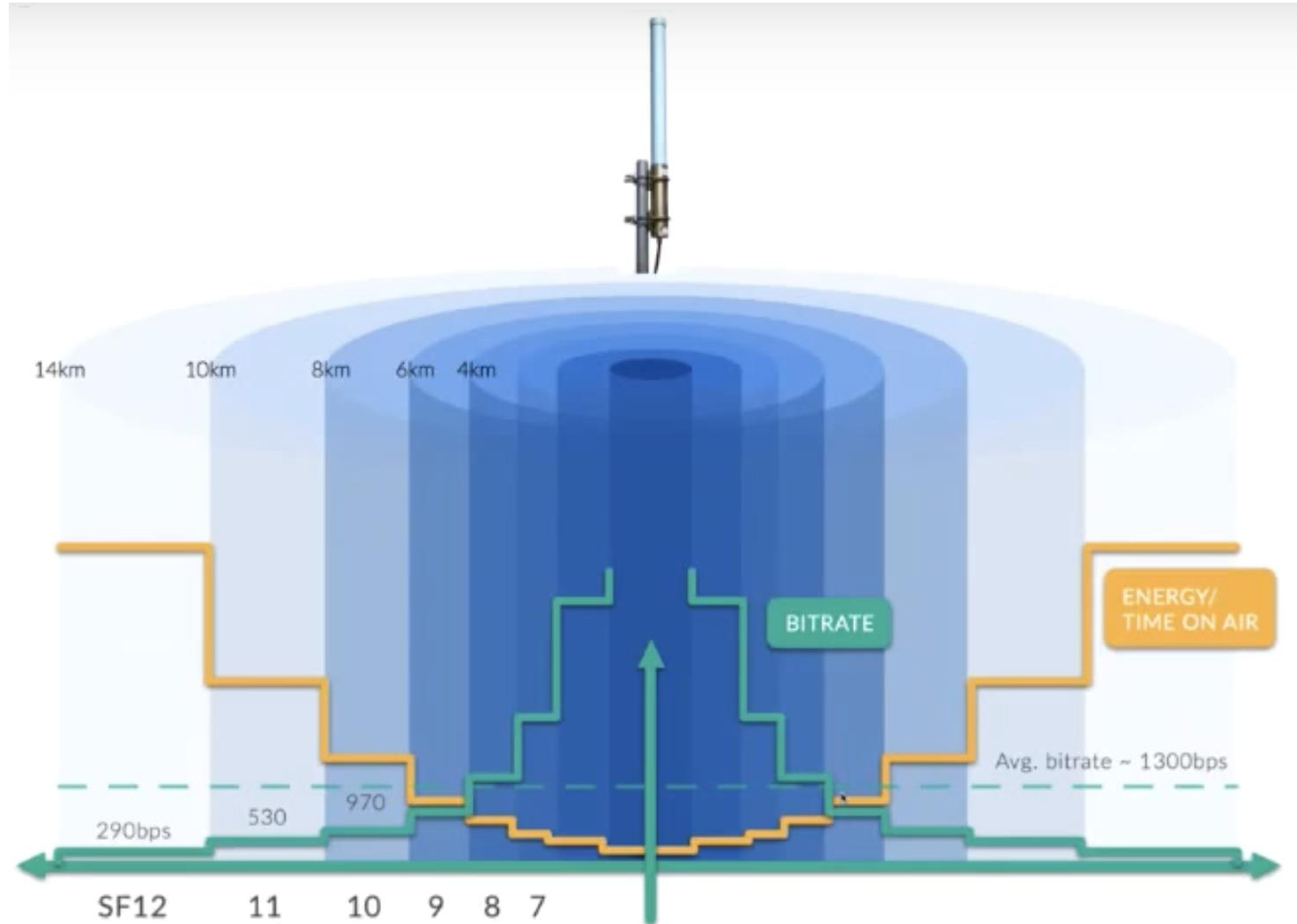
# Camada Física LoRa

- Possui diferentes fatores de propagação (SF7 a SF12)
  - Fatores de propagação podem definir a taxa de modulação e ajustar a distância
  - Eles indicam quão rápido ou lento é o chilrear (quantos chilreios você ouve por segundo) → **quantos dados você pode codificar por segundo**
    - Quanto maior o SF, menor a taxa de dados
    - Cada SF é 2x mais lento que o anterior
    - Quanto mais lento você enviar seus dados, mais longe poderá enviá-los
    - Quanto maior o SF, mais energia é necessária (tempo no ar)
      - A interface tem mais tempo para decodificar e a sensibilidade é aumentada
- Isso ajuda a dimensionar a rede
  - Nós mais próximos recebem dados muito mais rápido
  - O ar é “liberado” para outros nós transmitirem
  - Ao adicionar mais gateways, os dispositivos ficam mais próximos deles, aplicando o procedimento acima

# Camada Física LoRa



Fonte: Thomas Telkamp



# Camada Física LoRa

- Para um bw de 125kHz (configurável por design)

Fator de propagação	Símbolos/segundo	Limite SNR	Tempo no ar (10 pacote de bytes) - ms	Taxa de bits - bps
7	976	- 7,5	56	5469
8	488	- 10	103	3125
9	244	- 12,5	205	1758
10	122	- 15	371	977
11	61	- 17,5	741	537
12	30	- 20	1483	293

# Camada Física LoRa

- A largura de banda (kHz), o fator de espalhamento e a taxa de codificação são variáveis de projeto que permitem a um sistema otimizar o compromisso entre
  - Largura de banda ocupada
  - Taxa de dados
  - Orçamento de links
  - Imunidade a interferências
- Usando software, é possível combinar esses valores para definir um modo de transmissão



# Camada Física LoRa

- Largura de banda
  - Mostre qual será a largura do sinal de transmissão
  - 3 opções: 125 kHz, 250 kHz ou 500 kHz
  - Maior alcance: 125 kHz
  - Maior velocidade de transmissão: 500 kHz
  - Menos largura de banda = mais tempo de antena = mais sensibilidade = mais bateria consumida

# Camada Física LoRa

- Taxa de codificação
  - 4 opções: 4/5, 4/6, 4/7 e 4/8
  - Significado:
    - Cada 4 bytes úteis serão codificados por 5, 6, 7 ou 8 bits de transmissão
  - Taxa de codificação menor: 4/8
  - Taxa de codificação mais baixa = mais tempo de antena

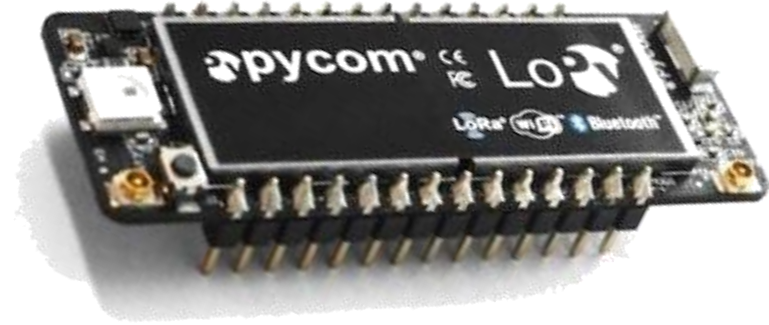
# Camada Física LoRa

- Fator de propagação
  - Número de chips por símbolo utilizados no tratamento de dados antes do sinal de transmissão
  - 7 opções: 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12
  - Maior Fator de Espalhamento = Maior Alcance = mais tempo de transmissão

# Camada Física LoRa

Mode	BW	CR	SF	Sensitivity (dB)	Transmission time (ms) for a 100-byte packet sent	Transmission time (ms) for a 100-byte packet sent and ACK received	Comments
1	125	4/5	12	-134	4245	5781	max range, slow data rate
2	250	4/5	12	-131	2193	3287	-
3	125	4/5	10	-129	1208	2120	-
4	500	4/5	12	-128	1167	2040	-
5	250	4/5	10	-126	674	1457	-
6	500	4/5	11	-125,5	715	1499	-
7	250	4/5	9	-123	428	1145	-
8	500	4/5	9	-120	284	970	-
9	500	4/5	8	-117	220	890	-
10	500	4/5	7	-114	186	848	min range, fast data rate, minimum battery impact

# Camada Física LoRa



- No LoPy
  - Método
    - `lora.init(modo, *, frequência=868000000, tx_power=14, largura de banda=LoRa.BW_125KHZ, sf=7, preâmbulo = 8, taxa_de_codificação=LoRa.CODING_4_5, power_mode=LoRa.ALWAYS_ON, tx_iq=False, rx_iq=False, adr=False, public=True, tx_retries=1, device_class=LoRa.CLASS_A)`
  - Largura de banda: **LoRa.BW\_125KHZ / LoRa.BW\_250KHZ / LoRa.BW\_500KHZ**
  - SF: **sf=6 / sf=7 / sf=8 / sf=9 / sf=10 / sf=11 / sf=12**
  - Taxa de codificação: **LoRa.CODING\_4\_5 / LoRa.CODING\_4\_6 / LoRa.CODING\_4\_7 / LoRa.CODING\_4\_8**

# LoRaWAN

- Componentes

- Dispositivo final

- Dispositivos (baixo consumo de energia) que se comunicam com o LoRa Gateway
    - Eles não estão associados a um gateway específico.
    - Estão, no entanto, associados a um Network Server.

- Porta de entrada

- Dispositivos intermediários que retransmitem pacotes entre dispositivos finais e um servidor de rede.
    - Vinculado ao servidor de rede por meio de uma rede backhaul de maior largura de banda.
    - Eles adicionam informações sobre a qualidade da recepção ao encaminhar um pacote de um dispositivo final para um servidor de rede.
    - Eles são transparentes para os dispositivos finais.
    - Existem vários gateways em uma rede
    - Vários gateways podem receber o mesmo pacote transmitido do mesmo dispositivo final

- Servidor de rede

- Decodifica e desduplica pacotes enviados de dispositivos.
    - Gera pacotes a serem enviados para dispositivos
    - Escolhe o gateway apropriado para enviar pacotes para um dispositivo final específico

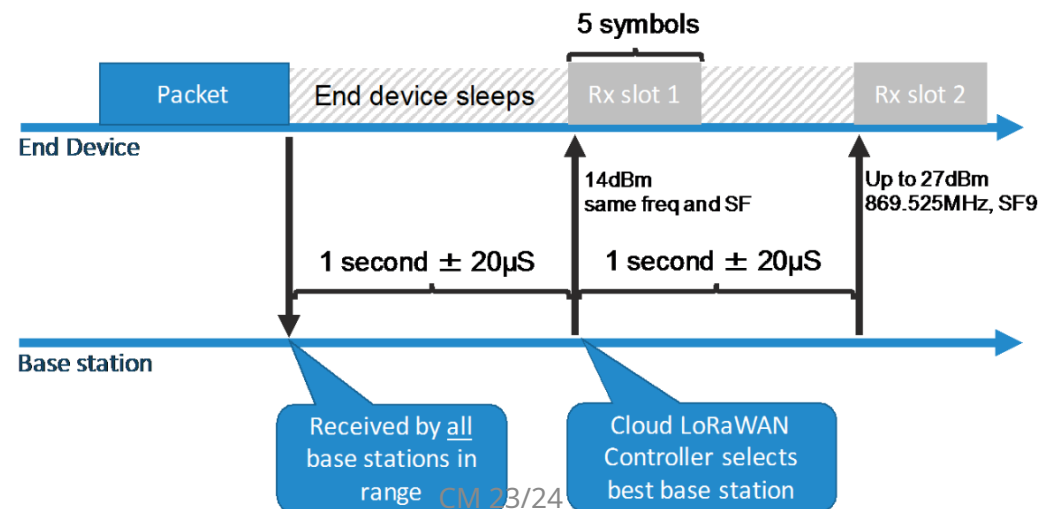
## LORA – Classes de dispositivos

Aulas	Descrição	Uso pretendido	Consumo	Exemplos de serviços
A (" todos ")	Só ouve depois dispositivo final transmissão	Módulos sem restrição de latência	O mais económico aula de comunicação energeticamente.. Suportado por todos os módulos. Adaptado para alimentação por bateria módulos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detecção de fogo</li> <li>• Terremoto precoce Detecção</li> </ul>
B («farol»)	De eusó dIf você ele eu eu ouve regularmente ajustável frequência	Módulos com latência restrições para o recepção de mensagens de alguns segundos	Consumo optimizado. Adaptado para alimentação por bateria módulos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medição inteligente</li> <li>• Aumento de temperatura</li> </ul>
C («contínuo»)	Módulo sempre audição	Módulos com recepção forte restrição de latência (menos de um segundo)	Adaptado aos módulos da rede ou sem restrições de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão de frota</li> <li>• Gerenciamento de tráfego em tempo real</li> </ul>

Qualquer objeto LoRa pode transmitir e receber dados

# LoRaWAN

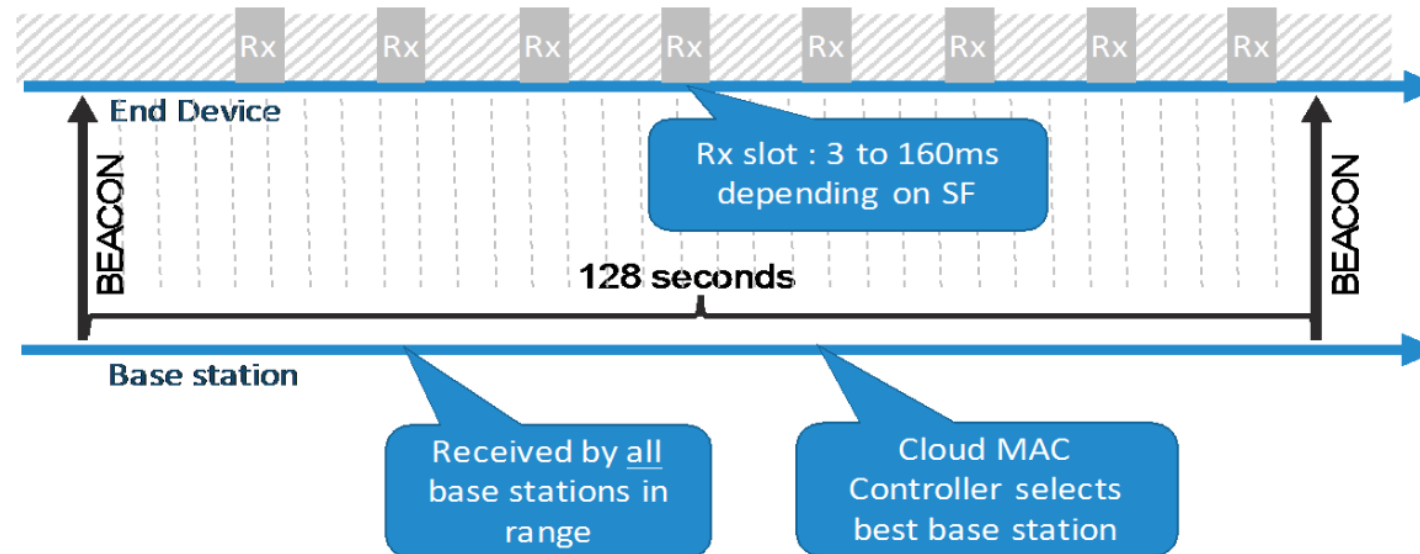
- Classes de dispositivos finais
  - Classe A – bidirecional
    - Menor consumo de energia
    - Os dispositivos agendam transmissões de uplink de acordo com suas necessidades, com uma pequena variação antes da transmissão.
    - Cada transmissão de uplink é seguida por duas janelas curtas de recebimento de downlink.
      - As transmissões de downlink em qualquer outro momento terão que esperar até a próxima transmissão de uplink
      - Menos flexibilidade para downlink





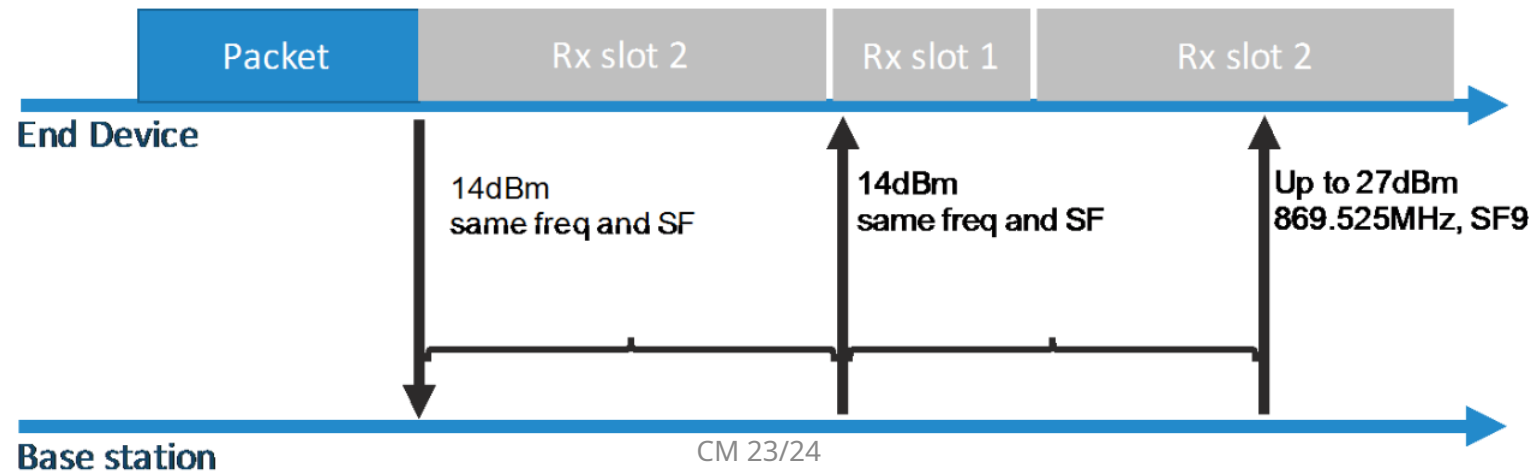
# LoRaWAN

- Classes de dispositivos finais
  - Classe B – bidirecional com slots de recebimento programados
    - Dispositivos abrem mais janelas de recebimento em horários programados
    - Há um beacon sincronizado do gateway para o servidor de rede, indicando quando o dispositivo está escutando



# LoRaWAN

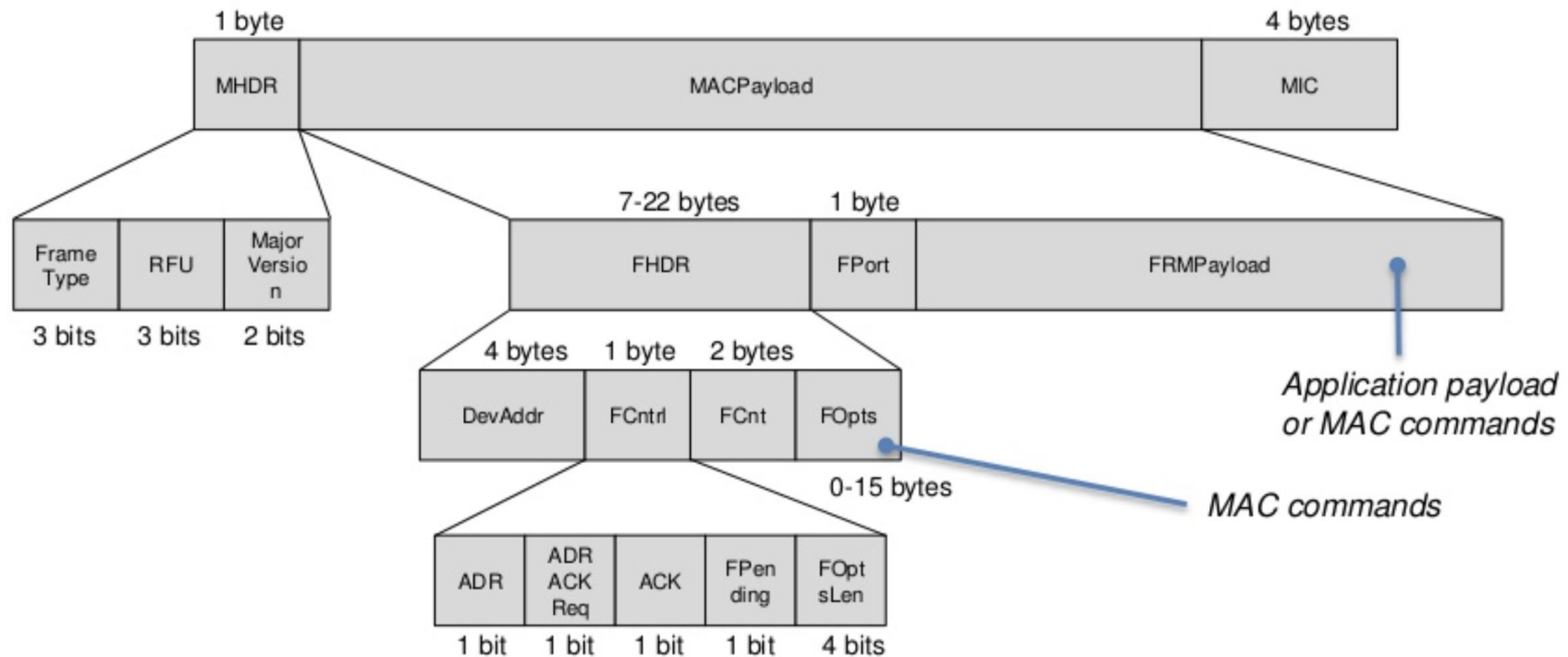
- Classes de dispositivos finais
  - Classe C – bidirecional com slots máximos de recebimento
    - Maior consumo de energia
    - Janelas de recepção quase contínuas
      - O servidor pode iniciar a transmissão quase a qualquer momento



# LoRaWAN

- Ciclo de trabalho do dispositivo final
  - Além da frequência de transmissão, aplicam-se regulamentos de ciclo de trabalho
  - Atraso entre quadros sucessivos enviados por um dispositivo
  - Limitação de 1% para dispositivos finais
    - O dispositivo tem que esperar 100x o tempo que levou para enviar a mensagem, para poder enviar novamente no mesmo canal
- Portais: 10%

# LoRaWAN - Carga útil



Fonte: Stephen Pharrell

# LoRaWAN

- *EndereçoDev*-endereço curto do dispositivo.
- *FPort*-campo de porta de multiplexação.
- *FCnt*-contador de quadros.
- *microfone*-código de integridade de mensagem criptográfica
- *Tipo M*-tipo de mensagem (uplink, downlink, confirmado (requer um ACK,...)).
- *Major* - versão LoRaWAN
- *ADReADRackReq*-mecanismo de adaptação de controle de taxa de dados pelo servidor de rede.
- *CONFIRMAR*-reconhece o último quadro recebido.
- *Pendente* -indica que ainda há dados a serem enviados pelo servidor de rede (é necessário que o dispositivo final envie outra mensagem para abrir uma janela de recebimento).
- *FOptsLen*-comprimento do *FOpts* campo em bytes.
- *FOpts*-contém comandos MAC em uma mensagem de dados.
- *CID*-ID do comando MAC.
- *Argumentos*-argumentos opcionais do comando.
- *Carga útil FRMP*-carga útil, criptografada usando AES com um comprimento de chave de 128 bits.

O tamanho mínimo do cabeçalho MAC é 13 bytes; seu tamanho máximo é 28 bytes.

Não há endereço de destino nos pacotes de uplink ou endereço de origem nos pacotes de downlink.

# LoRaWAN

- Comandos MAC
  - Permite que a rede personalize os parâmetros do dispositivo final
- Verificações
  - Status do link (pode ser enviado pelo próprio dispositivo final)
  - Bateria do dispositivo
  - Margem do dispositivo (SNR)
- Configurações
  - Taxa de dados
  - Potência de transmissão
  - Canais TX e RX
  - Tempo de RX
  - Repetição
  - Ciclo de trabalho
  - Tempo de permanência

# LoRaWAN

- Conexão do dispositivo final a uma rede
  - Também conhecido como **Ativação**
- Este processo fornece ao dispositivo final:
  - Endereço do dispositivo final (*EndereçoDev*): Um identificador composto pelo identificador de rede (7 bits) e pelo endereço de rede do dispositivo final (25 bits)
  - Identificador do aplicativo (*AplicativoEUI*): Identificação exclusiva do proprietário do dispositivo final
  - Chave de sessão de rede (*NwkSKey*): Uma chave usada pelo servidor de rede e pelo dispositivo final para verificar e garantir a integridade da mensagem
  - Chave de sessão do aplicativo (*AppSKey*): Uma chave usada pelo servidor de rede e pelo dispositivo final para criptografar a carga útil das mensagens recebidas
- Nota sobre segurança:
  - A segurança do protocolo LoRaWAN é baseada em 802.15.4
    - AES-128

# LoRaWAN

- Para ativar o dispositivo, existem dois procedimentos:
  - Ativação Over-the-Air (OTAA)
    - *Solicitação de adesão* e *Resposta de adesão* mensagens são trocadas em cada nova sessão, permitindo que os dispositivos finais obtenham as chaves de sessão da rede e do aplicativo
  - Ativação por Personalização (ABP)
    - Os dispositivos possuem ambas as chaves já armazenadas internamente



# LoRaWAN

- Taxa de dados adaptável
  - A rede informa ao nó em qual taxa de dados ele pode enviar dados
    - Gerencia o SF para cada dispositivo final
  - O objetivo é:
    - Otimize para taxa de dados mais rápida em relação ao alcance
    - Maximize a vida útil da bateria
    - Maximize a capacidade da rede

# LoRaWAN

- Normalmente, não há comunicação direta nó a nó
    - LoRaWAN permite isso tendo 2 gateways e um servidor de rede entre os nós
  - No entanto, a maioria dos fornecedores de dispositivos finais também inclui (principalmente para testes) uma forma bruta de LoRa
    - Permite comunicação ponto a ponto entre nós
    - Contém apenas o protocolo da camada de enlace
    - Permite apenas um número muito pequeno de nós em uma topologia
      - Não há gerenciamento de pacotes
- (útil para uma primeira tentativa com LoRa)