



# Low Power Wide Area Network (LPWAN)

## **IoT para Sistemas Embarcados**

Departamento de Engenharia de Controle e Automação  
Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP – Campus Sorocaba

**Prof. Dr. Dhiego Fernandes Carvalho**

dhiego.fernandes@unesp.br

# Objetivos

---

- Explicar o que são as Redes de Longa Distância de Baixa Potência (LPWAN – *Low Power Wide Area Network*).
- Ensinar como as LPWANs são aplicadas no contexto IoT.
- Explicar as principais tecnologias LPWAN.
- Ensinar as principais características do LoRa/LoRaWAN.
- Comparar o LoRaWAN com as outras tecnologias LPWAN (Sigfox e NB-IoT).

# Índice

---

- Internet das Coisas
- LPWAN
- NB-IoT
- Sigfox
- LoRaWAN
- NB-IoT vs Sigfox vs LoRaWAN
- Conclusões

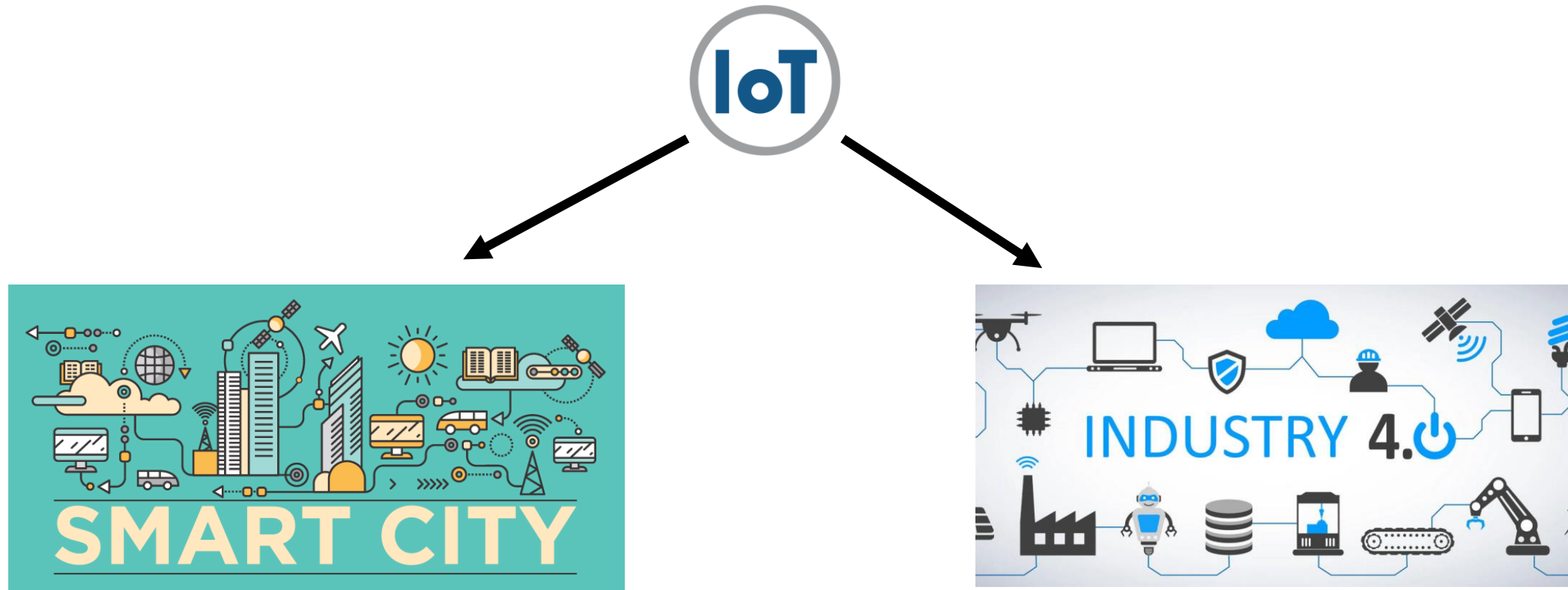
# Internet das Coisas

- Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) significa que as “coisas” estão conectadas à Internet em qualquer lugar, em qualquer meio e a todo tempo.
- As “coisas” são dispositivos eletrônicos conectados à Internet normalmente por comunicação sem fio.



# Internet das Coisas

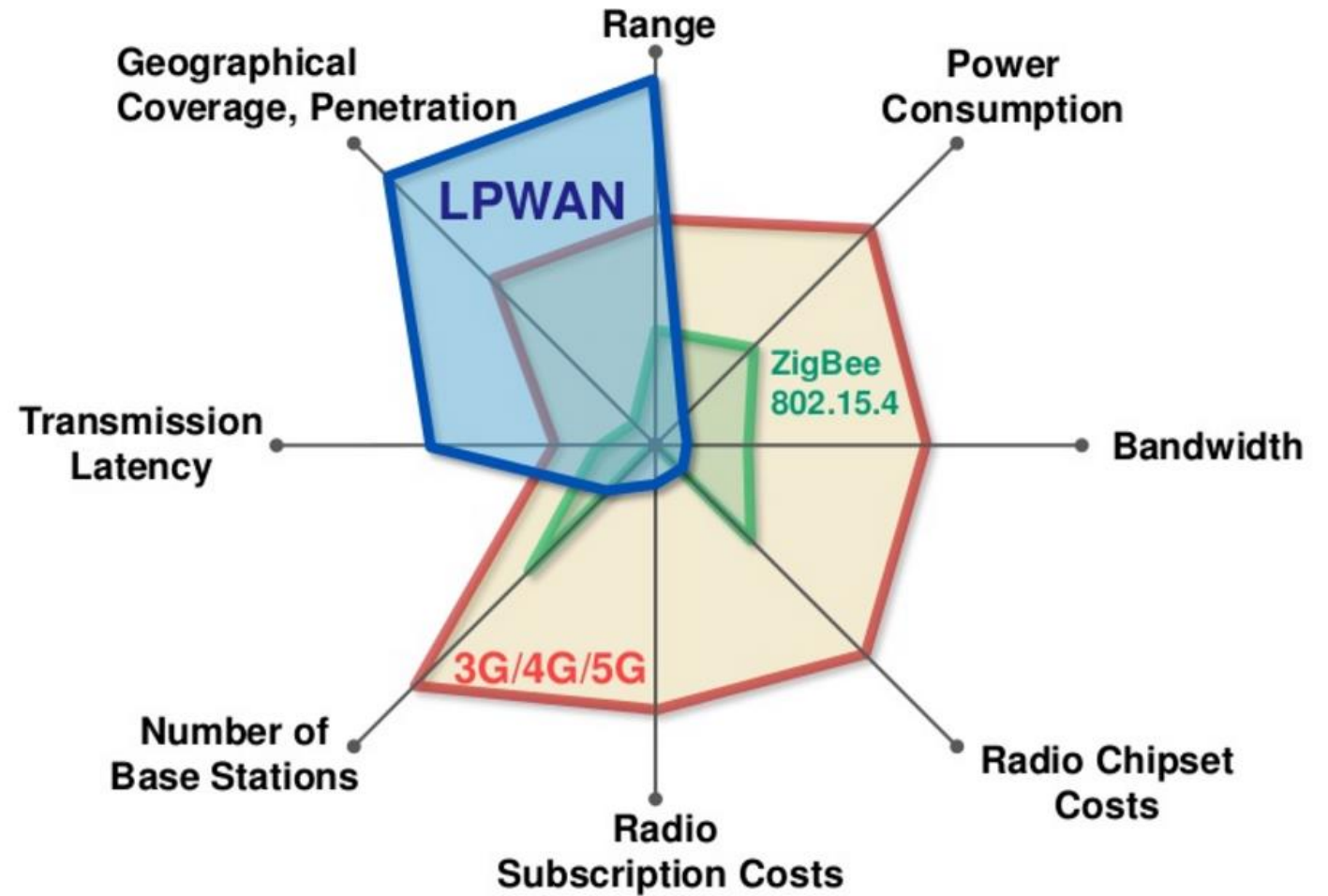
- Dentro do contexto da Internet das Coisas (IoT), surgem os conceitos de Cidades Inteligentes e Indústria 4.0.



# LPWAN

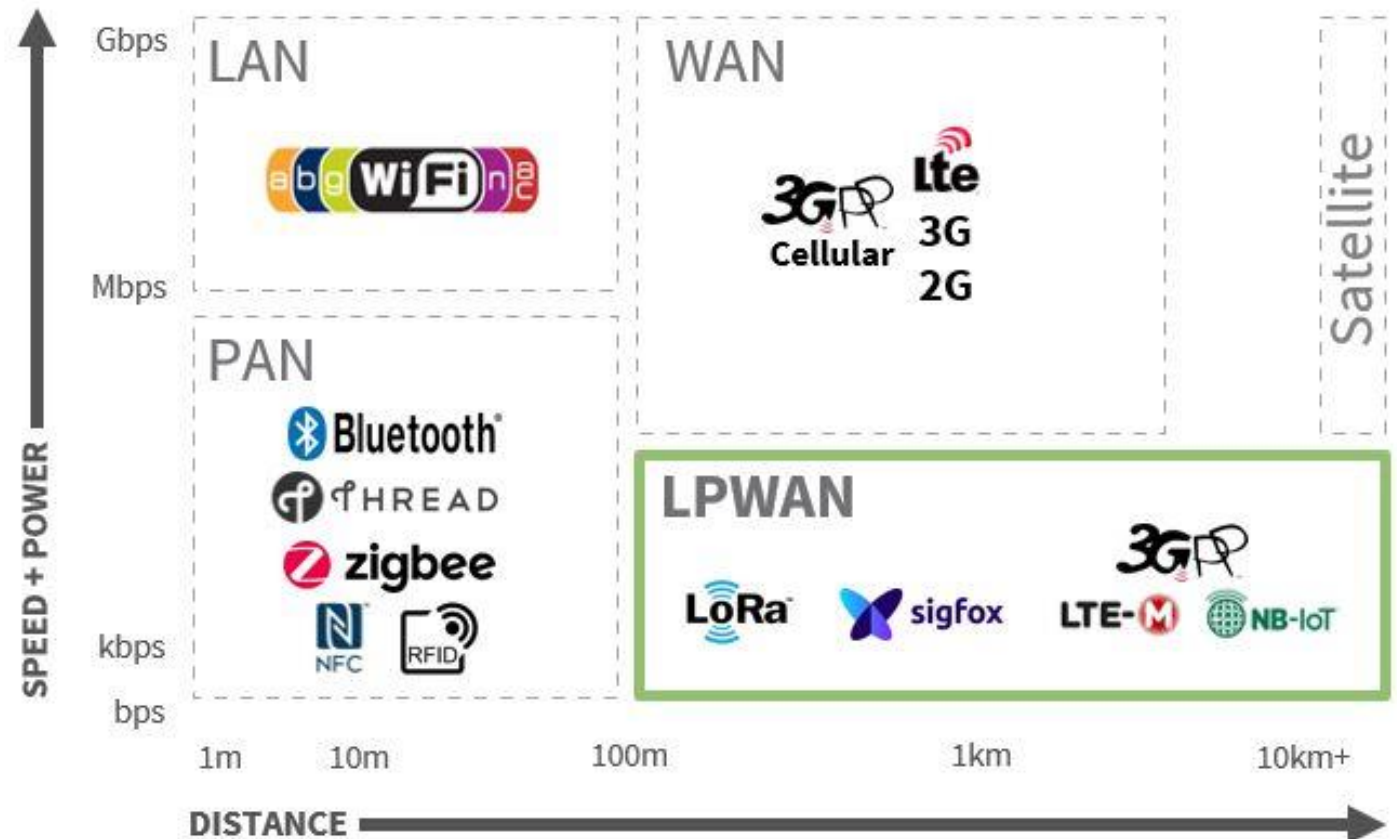
---

- Os dispositivos IoT precisam fazer mais com menos recursos computacionais.
- O consumo de bateria se torna crítico em muitas aplicações.
- Dentro desse cenário, surgem as tecnologias LPWAN.



# LPWAN

- As tecnologias LPWAN se caracterizam por:
  - Cobertura de rede pode alcançar vários quilômetros.
  - Baixo consumo de energia.
  - Baixo custo de dispositivos eletrônicos e de infraestrutura de rede.
  - Trabalha em faixas de frequência licenciadas e não licenciadas.
  - Baixa taxa de transmissão de dados (0,3 a 200 Kbps).

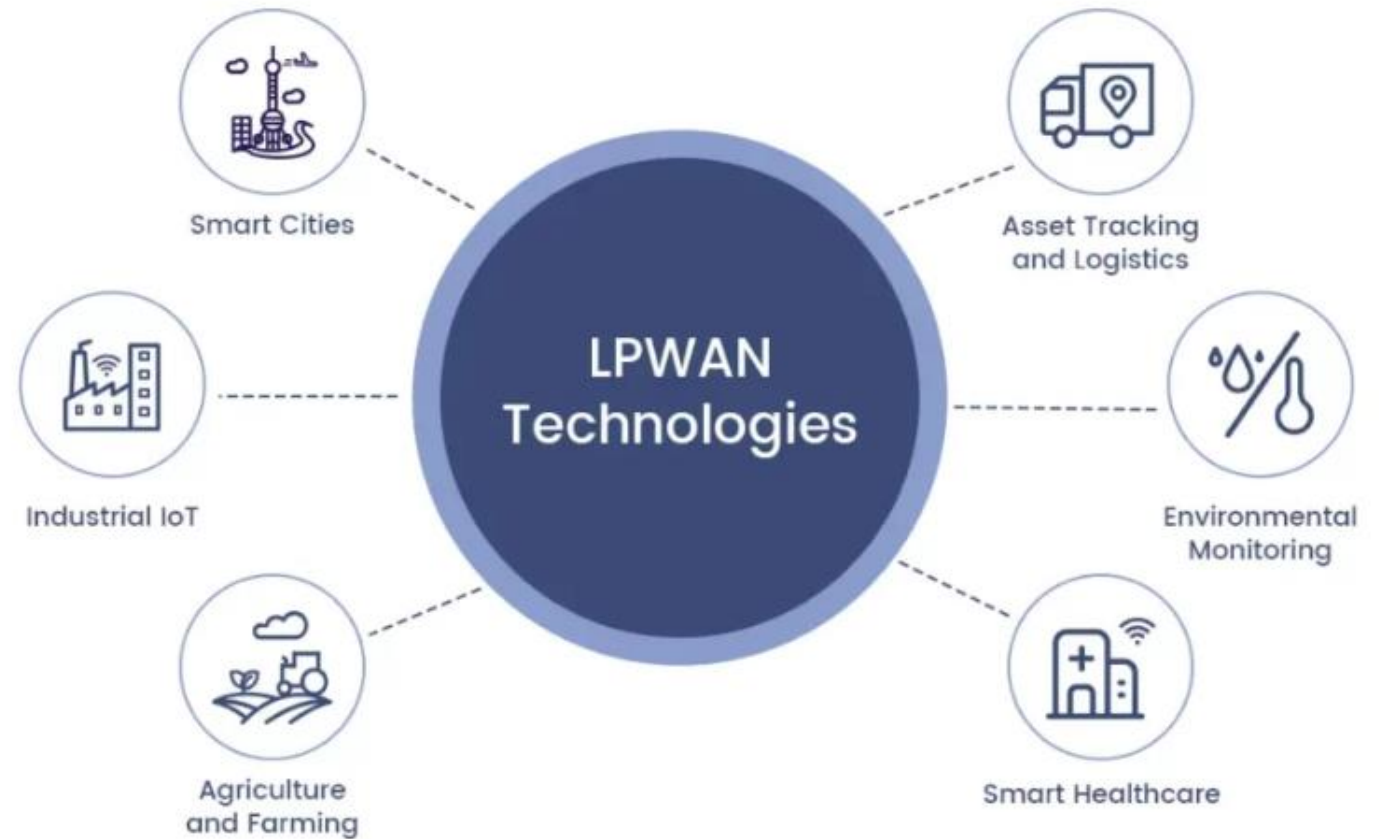




# LPWAN

---

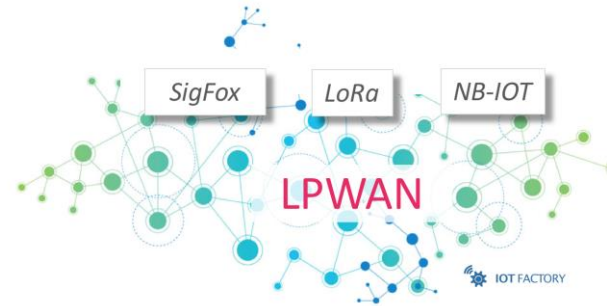
- LPWAN é a solução ideal para aplicações de monitoramento que trabalham cobrem uma grande área e baixa taxa de transmissão.
  - Rastreamento e Logística
  - Monitoramento do Ambiente.
  - Agronegócio.
  - Cuidados de Saúde Inteligentes
  - IoT para Indústria.
  - Cidades Inteligentes
  - Etc.





# LPWAN

- Dentro das tecnologias LPWAN, as que mais se destacam são:
  - NB-IoT (banda licenciada)
  - SigFox (ISM banda não licenciada)
  - LoRaWAN (ISM banda não licenciada)

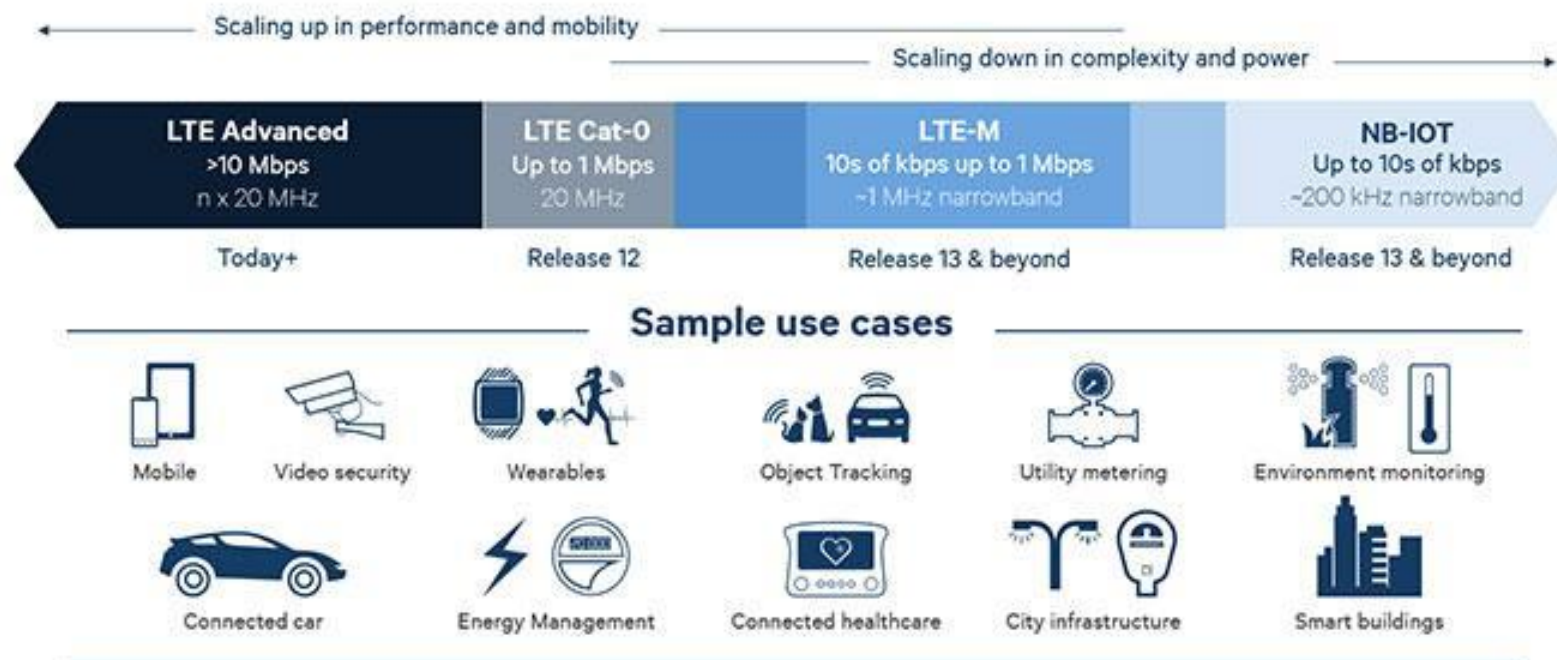


# NB-IoT

- NB-IoT (*NarrowBand Internet of Things* – Banda Estreita para Internet das Coisas) é baseada na infraestrutura celular existente que é uma evolução das redes LTE (*Long Terminal Evolution* – *Tecnologia de quarta geração 4G*).



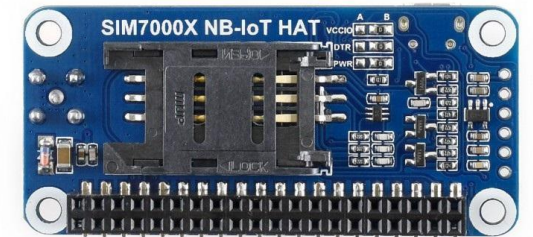
- O NB-IoT foi lançado no release 13 (LTE Advanced Pro – 4,5G) do 3GPP em Junho de 2016.



# NB-IoT

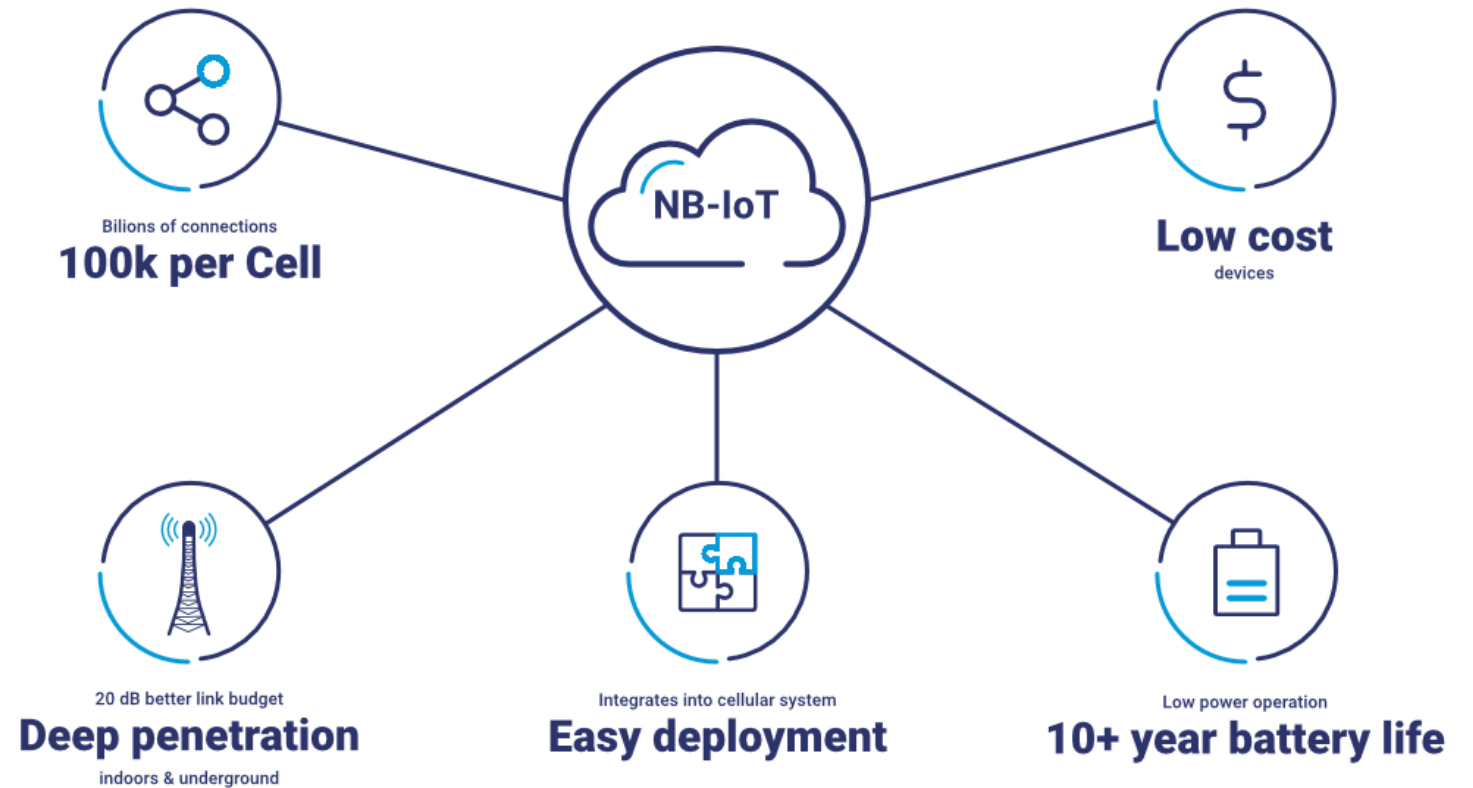
---

Os dispositivos finais NB-IoT precisam de um cartão SIM para IoT



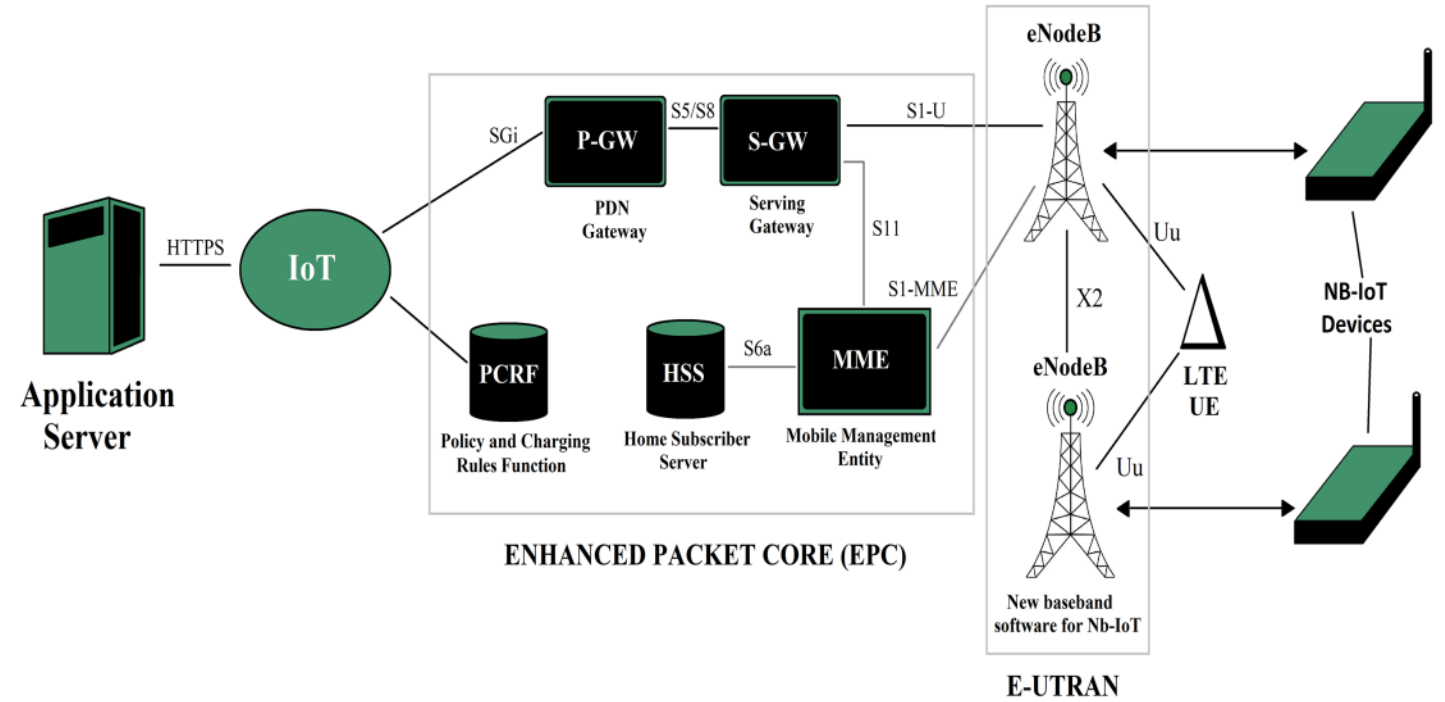
# NB-IoT

- Trabalha nas mesmas faixas de frequência licenciadas do LTE.
- Baterias que podem durar até 10 (dez) anos.
- A taxa de transferência de dados de 150 a 200 Kbps.
- Dezenas de milhares de conexões podem ser suportadas em apenas uma célula.



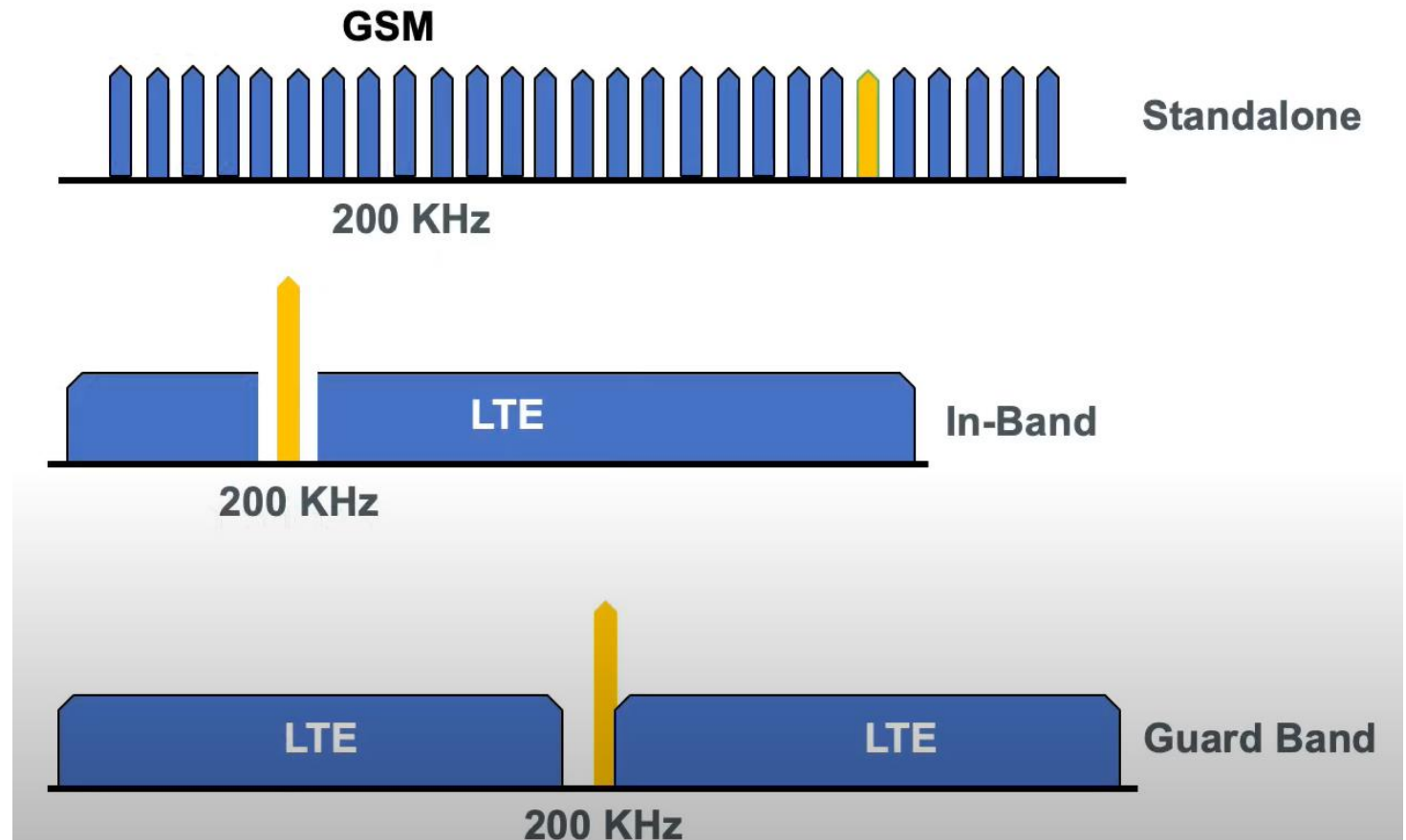
# NB-IoT

- Garante uma comunicação de dados bidirecionais e Máquina à Máquina (M2M – *Machine to Machine*) → comunicação half-duplex.
- Não tem bom suporte à mobilidade → Feito para dispositivos estacionários.



## NB-IoT

- NB-IoT trabalha nas três seguintes formas:
  - Utilizando a banda GSM (stand alone).
  - Utilizando e compartilhando a banda LTE (in-band).
  - Utilizando o espaçamento entre a banda LTE, desta forma maximizando o espectro de comunicação (guard-band).



## NB-IoT

- As cinco principais exigências definidas para o 5G são:
  - Mobilidade IoT/LPWAN.
  - Comunicações críticas.
  - Banda Larga Móvel aprimorada.

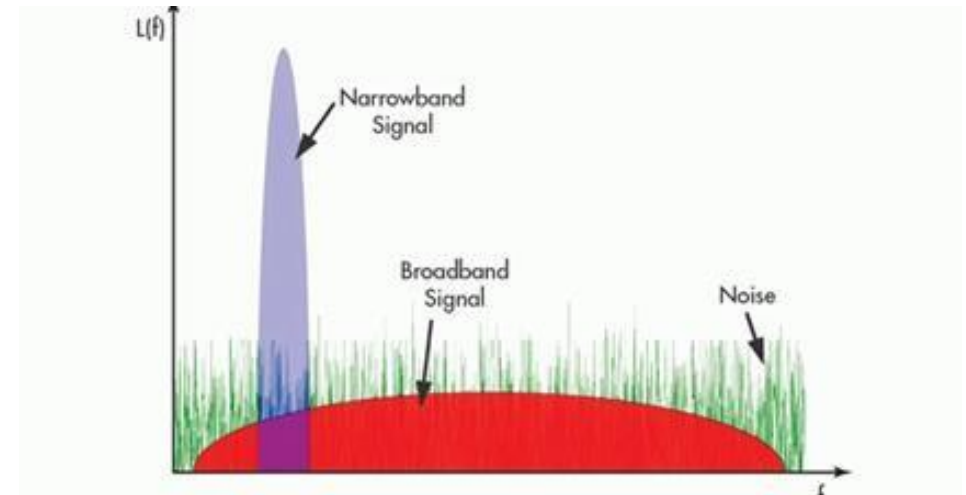
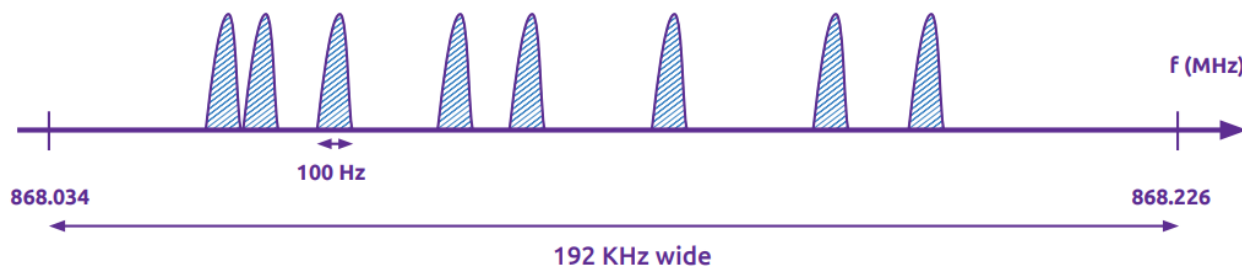


As tecnologias celulares para LPWAN, como o NB-IoT e LTE-M, continuarão a evoluir como sendo parte da evolução do 5G → Fazendo parte assim da família 5G.



# Sigfox

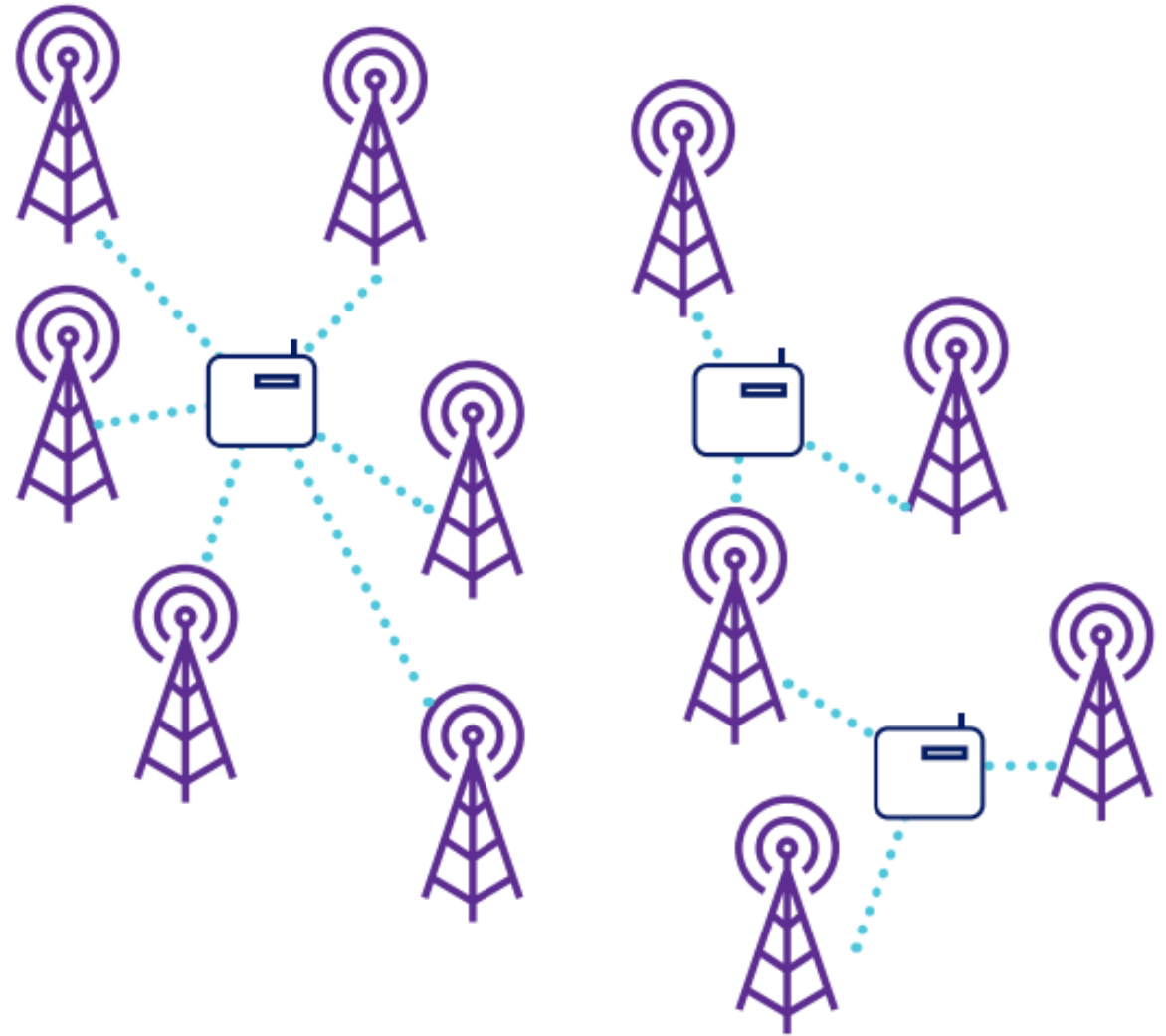
- Transmite dados em faixas de frequência ultra estreitas (UNB – *Ultra NarrowBand*) não licenciadas de 100 Hz dentro de um espectro de 200 KHz → Permite o alcance de longas distâncias e baixa interferência a ruídos.



- Na Europa o Sigfox usa as faixas de frequência entre 868 e 868.2 MHz, no resto do mundo é entre 902 e 928 MHz.
- A taxa de transferência é bem baixa → 100 a 600 bps dependendo da região.

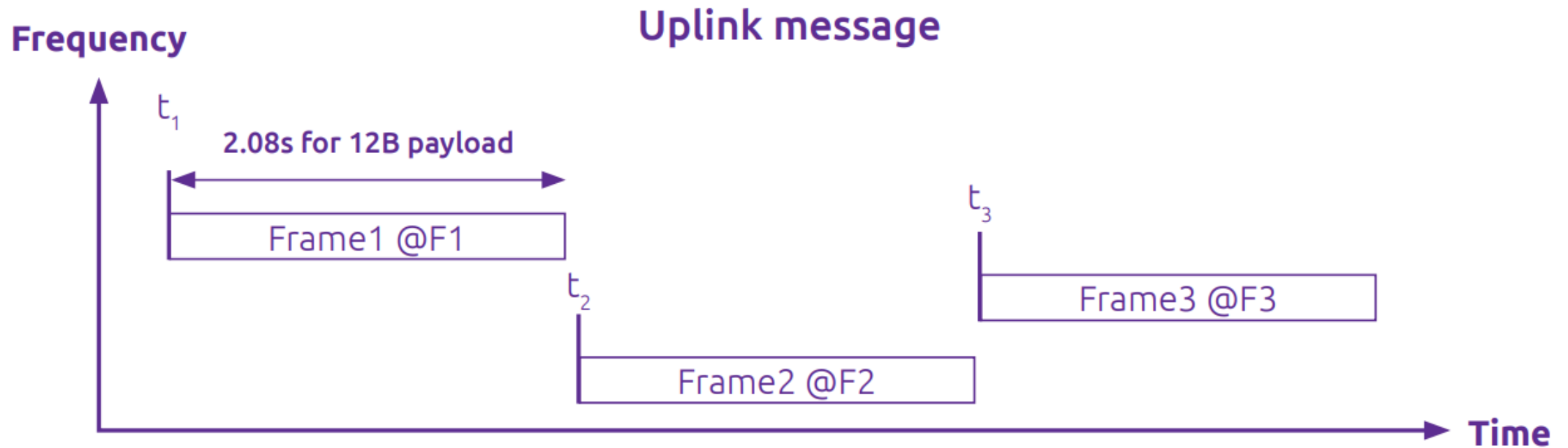
## Sigfox

- Diferente das tecnologias celulares, o dispositivo Sigfox não é conectado a nenhuma estação base.
- As mensagens são recebidas por qualquer estação e enviados aos servidores → diversidade espacial.



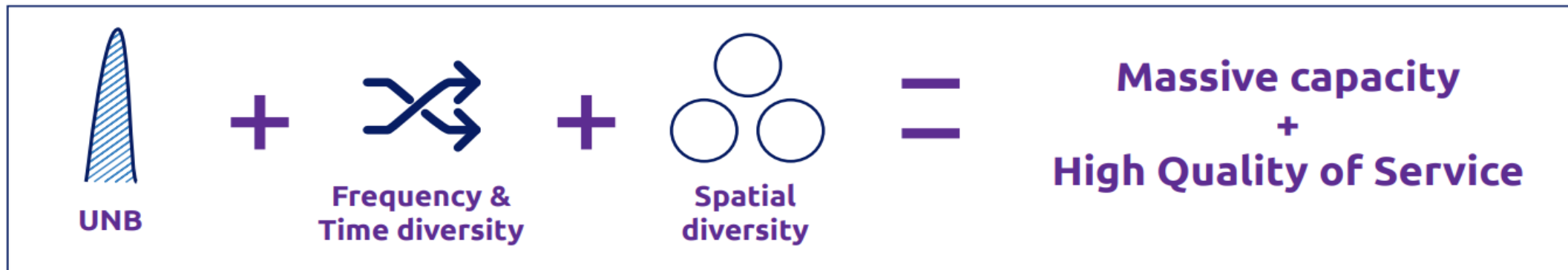
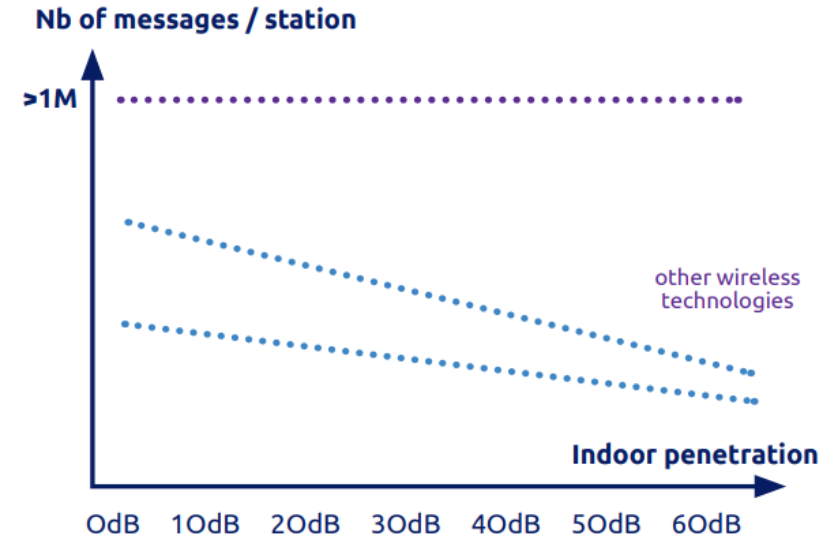
# Sigfox

- O acesso randômico é uma característica principal para alcançar uma ótima qualidade de serviço. A transmissão não é síncrona entre a rede e o dispositivo final.
- O dispositivo Sigfox envia uma mensagem em uma frequência aleatória e então envia duas réplicas em diferentes frequências e tempo → diversidade de frequência e tempo.



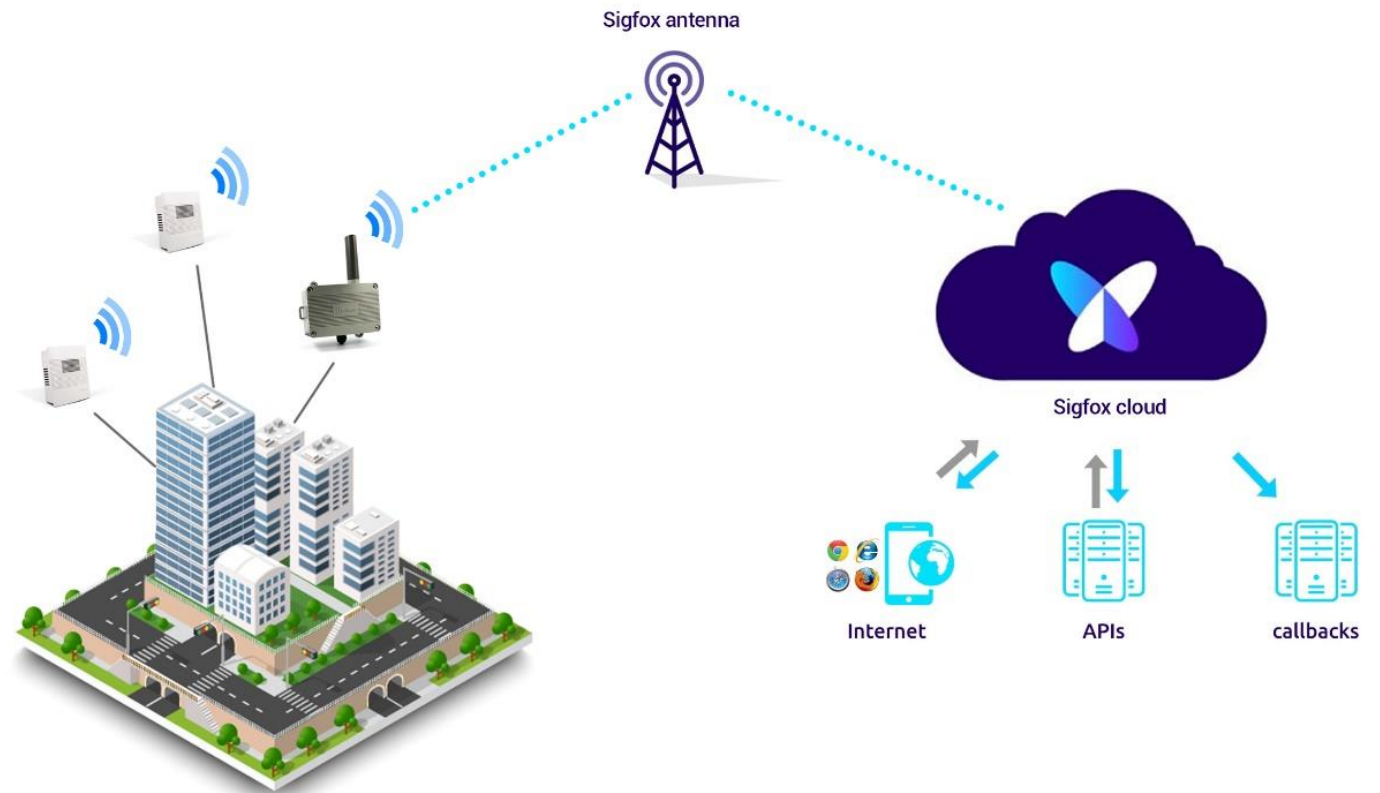
# Sigfox

- Devido as características de banda ultra estreita, diversidade espacial e diversidade de tempo e frequência, a infraestrutura de redes do Sigfox pode escalar para bilhões de objetos.



# Sigfox

- Por usar faixas de banda ultra estreitas e frequência Sub-Hz, o Sigfox alcança longas distancias → pode alcançar dezenas de Kms com uma única torre de transmissão.
- As baterias podem durar mais por mais de 10 anos.



# Sigfox

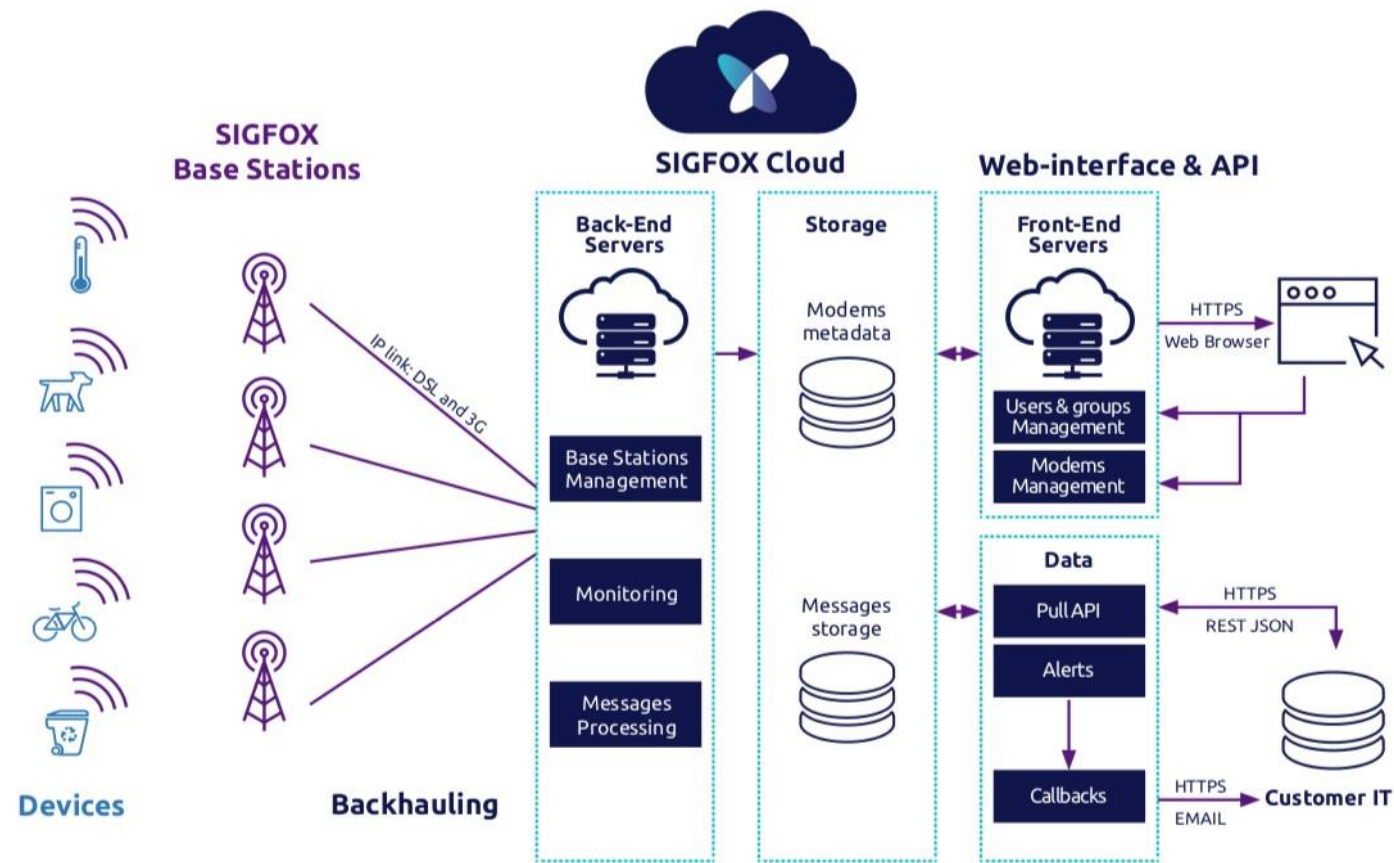
- O tamanho dos quadros variam de 0 a 12 Bytes.
- Na UE, existem limitações para transmissão de bandas não licenciadas na ordem de 1% → o que limita as mensagens para 144 ao dia.



GPS coordinates	.....→	6 bytes
Temperature	.....→	2 bytes
Speed reporting	.....→	1 byte
Object status	.....→	1 byte
«Keep alive» payload	.....→	0 byte

# Sigfox

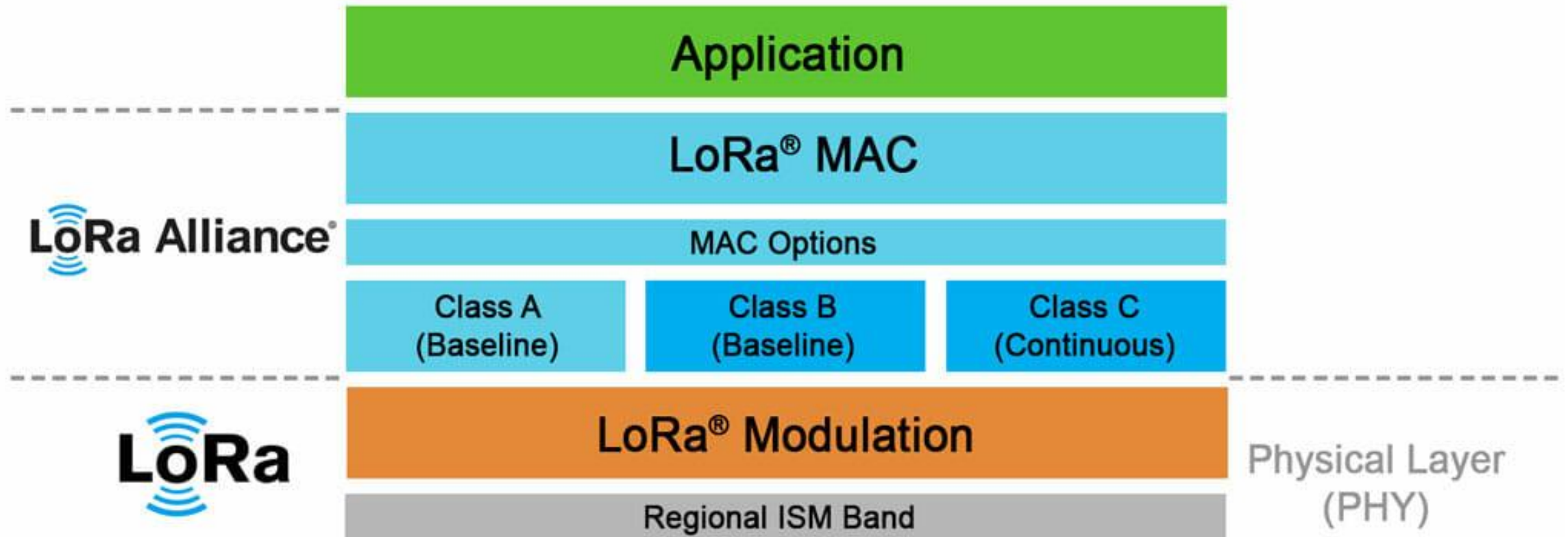
- A rede Sigfox é baseada em software → dispositivos finais muito simples e de baixíssimo custo.
- A arquitetura de Rede do Sigfox é proprietária, apenas poucas empresas estão autorizadas a implementá-la → no Brasil é a WND.





# LoRaWAN

- O LoRa é a camada física da tecnologia LoRaWAN.
- O LoRa é uma técnica de modulação de espalhamento espectral derivado da tecnologia *Chirp Spread Spectrum* (CSS) criada pela Semtech -> **Tecnologia proprietária.**



# LoRaWAN

- As três famílias principais de chips de transmissão do LoRaWAN da Semtech são as SX127x, SX126x e SX130x.
- Transceptores SX127x (SX1272, SX1276 e SX1278)
  - Feitos para os dispositivos finais LoRaWAN.
- Concentradores SX130x (SX1301, SX1302, SX1303 e SX1308).

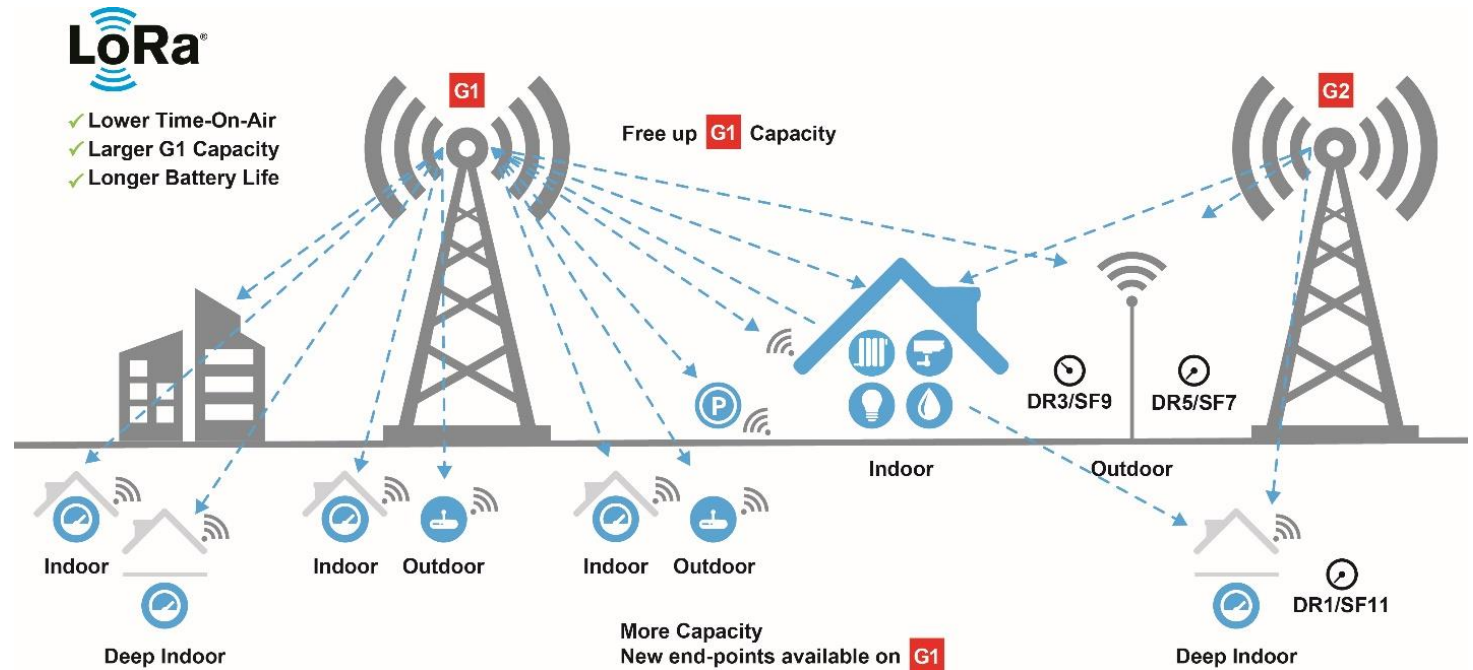


- Transceptores SX126x (SX1261, SX1262 e SX1268)
  - Feitos para os dispositivos finais LoRaWAN.
  - Sucessores da família SX127x



# LoRaWAN

- Uma Taxa de Transmissão de Dados Adaptativa (*Adaptive Data Rate* – ADR) é suportada através da alteração do Fator de Espalhamento (*Spread Factor* – SF).
- Resistente ao efeito Doppler, ao desvanecimento de múltiplos caminhos e a sinais fracos.



# LoRaWAN

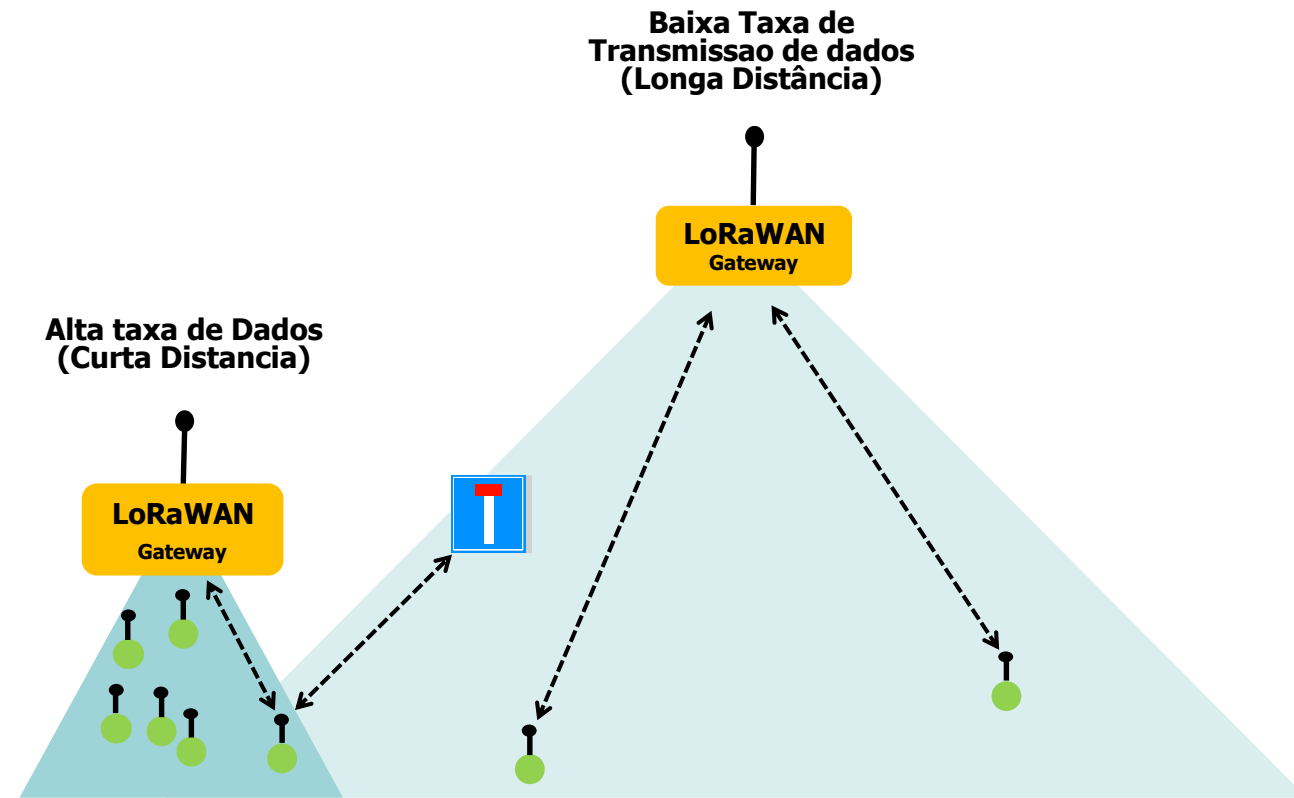
- Taxa de Transmissão Dados Adaptativa (ADR)
  - O ADR aumenta ou diminui de acordo com a distância do dispositivo ao roteador LoRaWAN.
  - A taxa de Transmissão de dados é escolhida de acordo com o SF usado.



Dispositivo Final  
LoRaWAN



Gateway  
LoRaWAN



# LoRaWAN

- O Brasil usa a mesma faixa de Frequência da Austrália, segundo as especificações regionais do LoRaWAN.

Upstream  
↓  
Downstream

DataRate	Configuration	Indicative physical bit rate [bit/s]
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470
6	LoRa: SF7 / 250 kHz	11000
7	FSK: 50 kbps	50000
8..14	RFU	
15	Defined in LoRaWAN <sup>1</sup>	

Table 5: EU863-870 TX Data rate table



União Europeia  
863 – 870 MHz

As faixas de frequências europeias impõem restrições de ciclo de operação (duty cycle) abaixo de 1%.

Upstream



Downstream

DataRate	Configuration	Indicative physical bit rate [bit/sec]
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470
6	LoRa: SF8 / 500 kHz	12500
7	RFU	
8	LoRa: SF12 / 500 kHz	980
9	LoRa: SF11 / 500 kHz	1760
10	LoRa: SF10 / 500 kHz	3900
11	LoRa: SF9 / 500 kHz	7000
12	LoRa: SF8 / 500 kHz	12500
13	LoRa: SF7 / 500 kHz	21900
14	RFU	
15	Defined in LoRaWAN	

Table 35: AU915-928 Data rate table



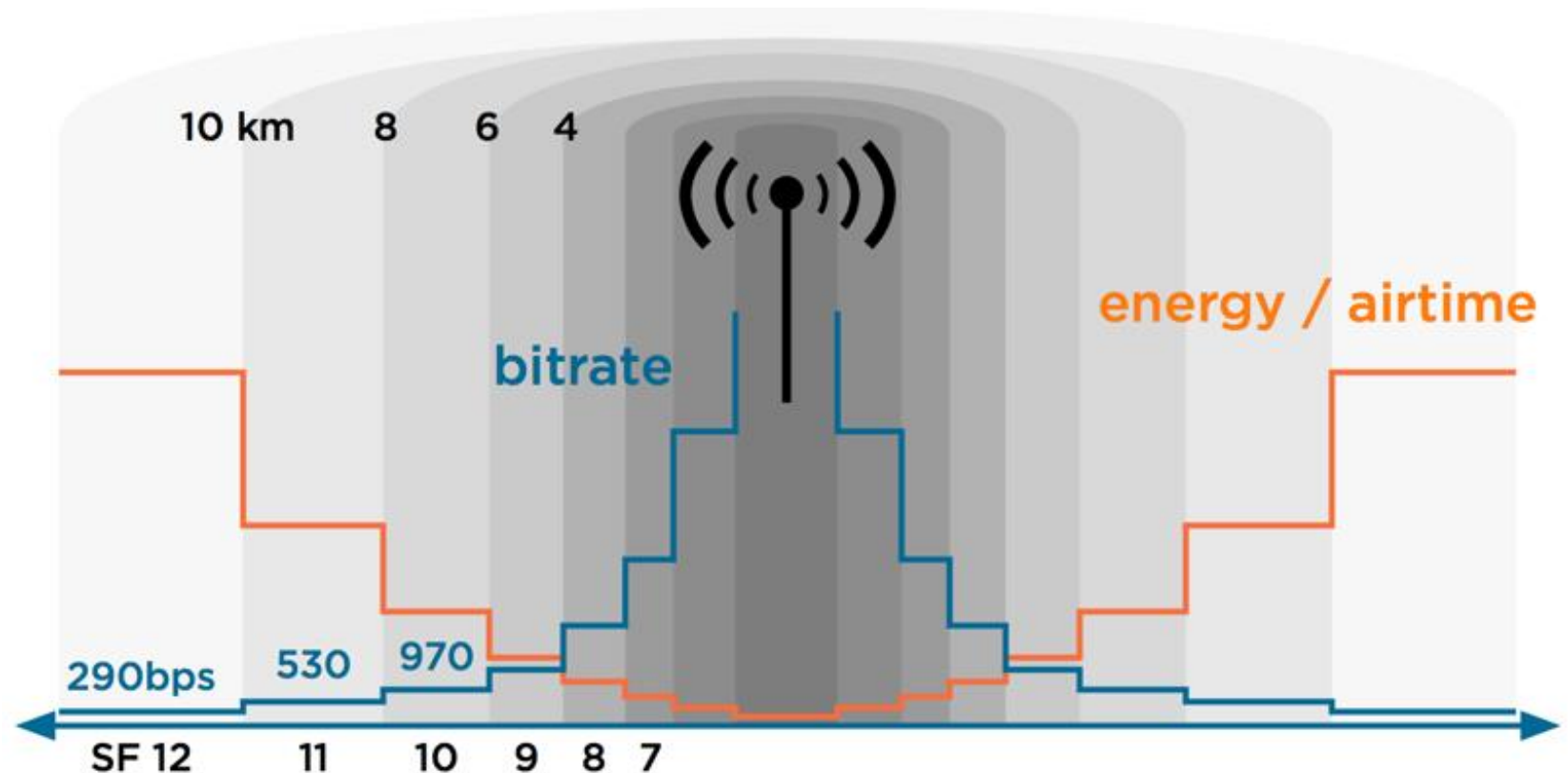
Brasil  
915 – 928 MHz

# LoRaWAN

- Quanto maior o SF, maior é a energia gasta e o tempo de transmissão no ar, mas menor será a taxa de transmissão.



$$T_c = \frac{2^{SF}}{B}$$

$T_c$  é o tempo de duração do chirp  
 $B$  é a largura de Banda.  
 $SF$  é o fator de espalhamento



# LoRaWAN

- Tempo no Ar (ToA - *Time on Air*) com as faixas de Europeia e Brasileira em transmissões *upstream*.
  - BW = 125 KHz e 20 Bytes de payload, 12 bytes de Overhead

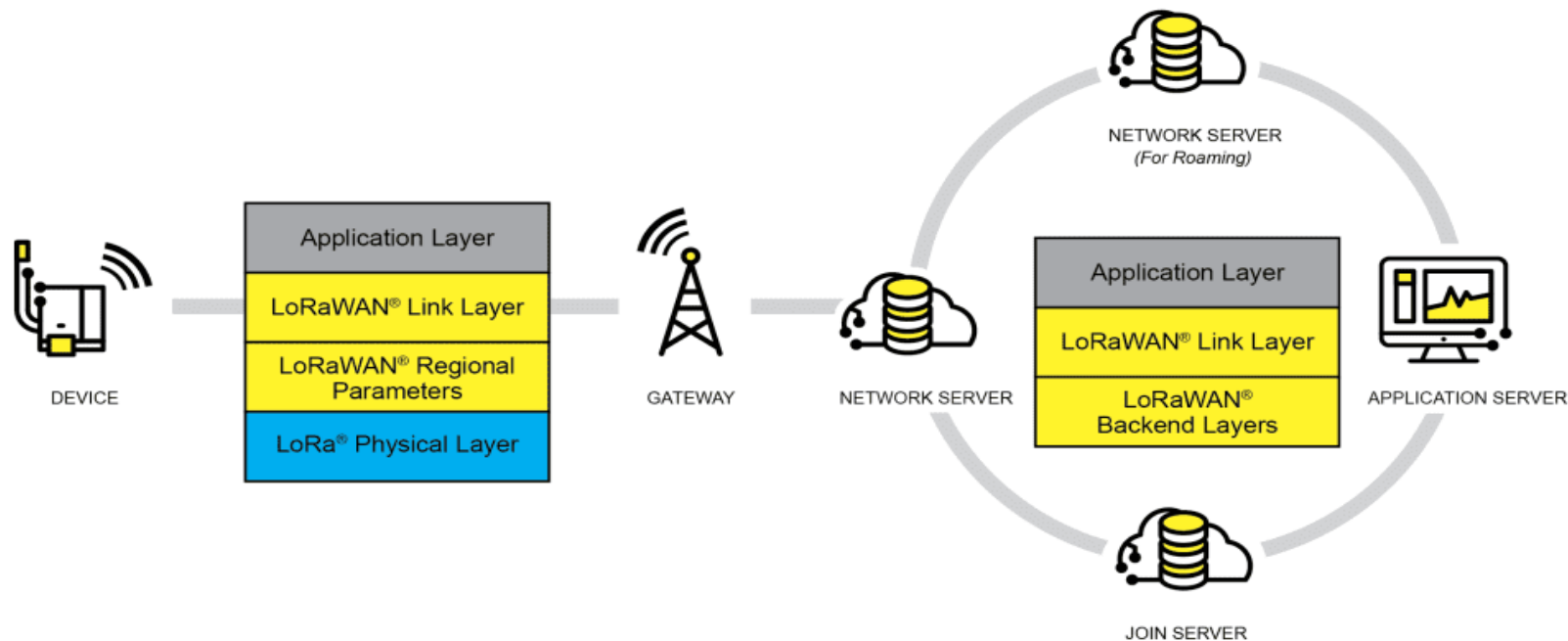
DR5 <b>SF7</b> <sup>BW 125</sup> 71.9 <sub>ms</sub>	DR4 <b>SF8</b> <sup>BW 125</sup> 133.6 <sub>ms</sub>	DR3 <b>SF9</b> <sup>BW 125</sup> 246.8 <sub>ms</sub>	DR2 <b>SF10</b> <sup>BW 125</sup> 452.6 <sub>ms</sub>	DR1 ⓘ <b>SF11</b> <sup>BW 125</sup> 987.1 <sub>ms</sub>	DR0 ⓘ <b>SF12</b> <sup>BW 125</sup> 1,810.4 <sub>ms</sub>	
DR5 <b>SF7</b> <sup>BW 125</sup> 71.9 <sub>ms</sub>	DR4 <b>SF8</b> <sup>BW 125</sup> 133.6 <sub>ms</sub>	DR3 <b>SF9</b> <sup>BW 125</sup> 246.8 <sub>ms</sub>	DR2 <b>SF10</b> <sup>BW 125</sup> 452.6 <sub>ms</sub> ! max dwell time exceeded	DR1 ⓘ <b>SF11</b> <sup>BW 125</sup> 987.1 <sub>ms</sub> ! max dwell time exceeded	DR0 ⓘ <b>SF12</b> <sup>BW 125</sup> 1,810.4 <sub>ms</sub> ! max dwell time exceeded	

- **Max dwell time** (tempo máximo de permanência no ar): na Austrália, o valor máximo é de 400 ms de ToA. No Brasil, a Anatel não impõe esta restrição.



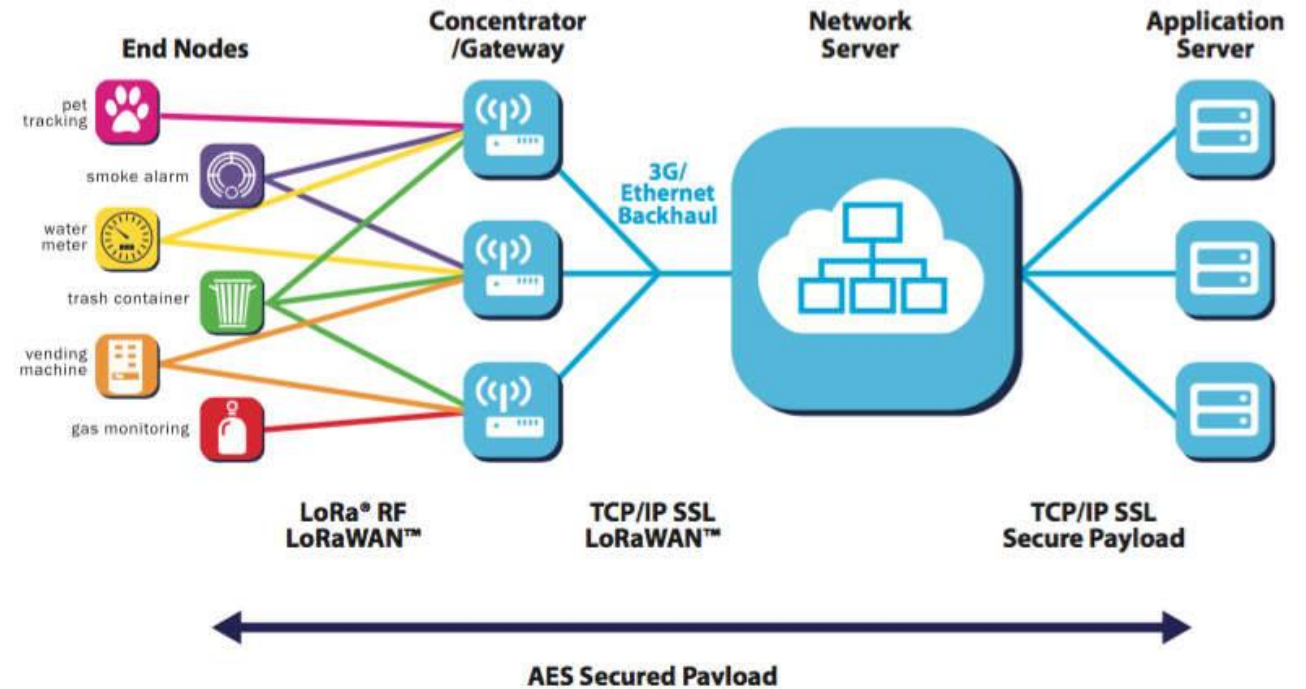
# LoRaWAN

- LoRa se refere ao meio físico, enquanto o LoRaWAN é o protocolo de comunicação que atua na camada de enlace.
- As redes LoRaWAN normalmente são dispostas em uma topologia estrela-de-estrelas.
- Os *gateways* retransmitem mensagens dos dispositivos finais conhecidos a um servidor de rede (*network server*), que em seguida será enviado a um servidor de aplicação (*application server*).



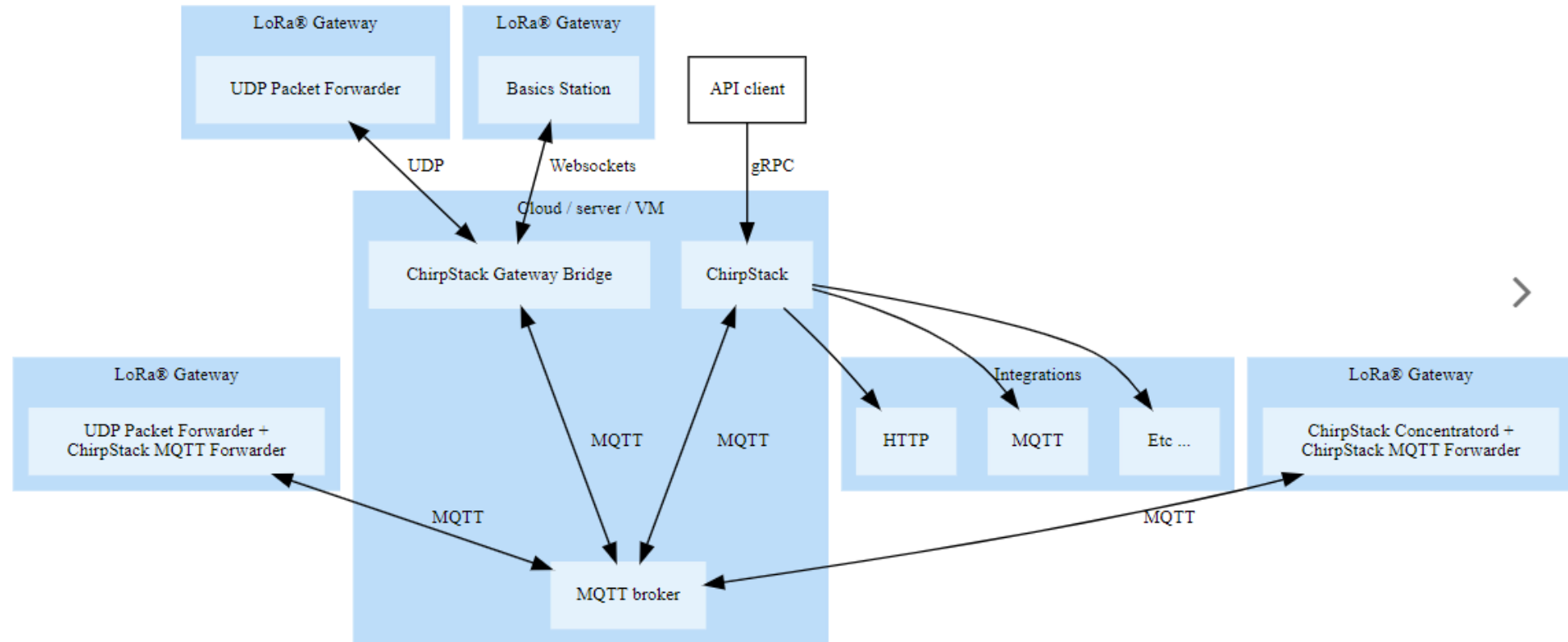
# LoRaWAN

- Os gateways são conectados ao network server por uma comunicação IP (Ethernet, WiFi, 3G/4G/5G), enquanto os dispositivos finais usam modulação LoRa.
- O LoRaWAN permite uma comunicação bidirecional do dispositivo final para o servidor (*upstream*) e do servidor para o dispositivo final (*downstream*).



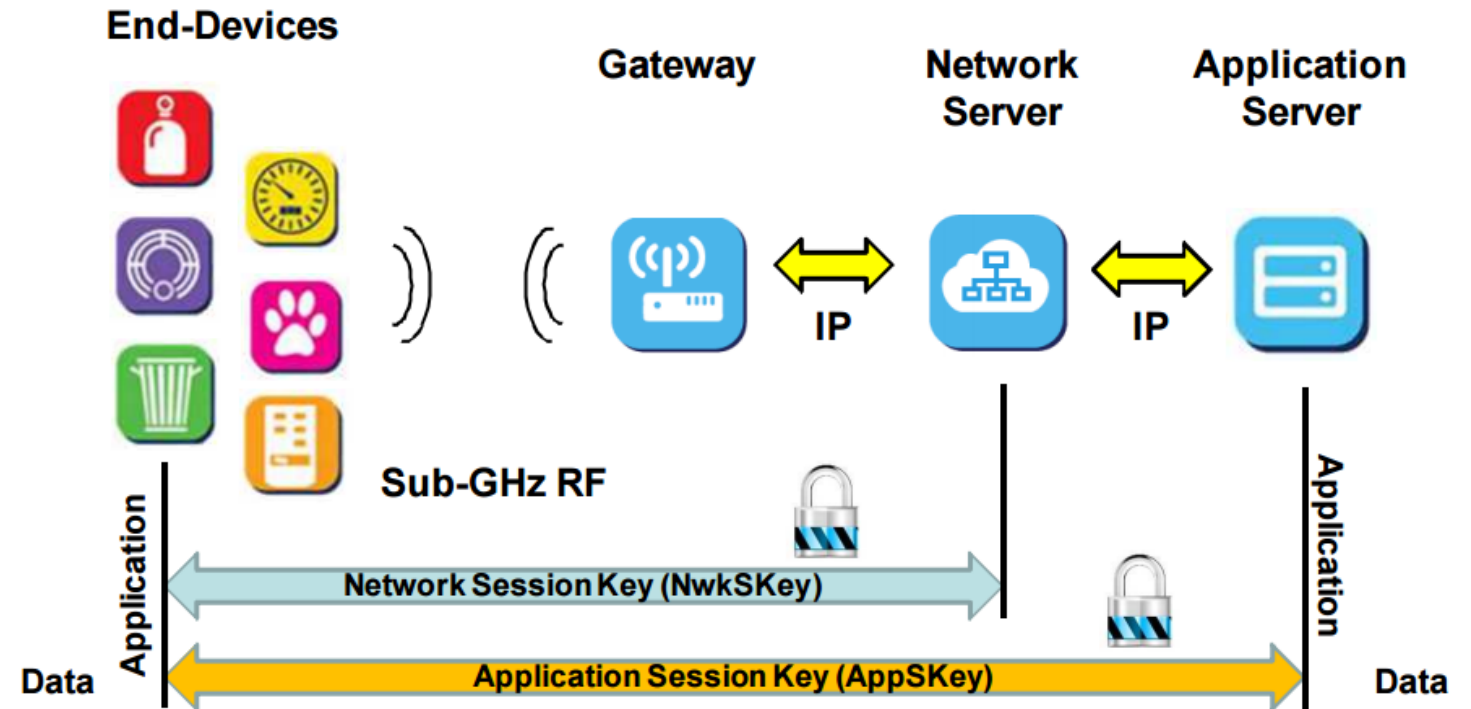
# LoRaWAN

- Arquitetura do ChirpStack open-source LoRaWAN Server



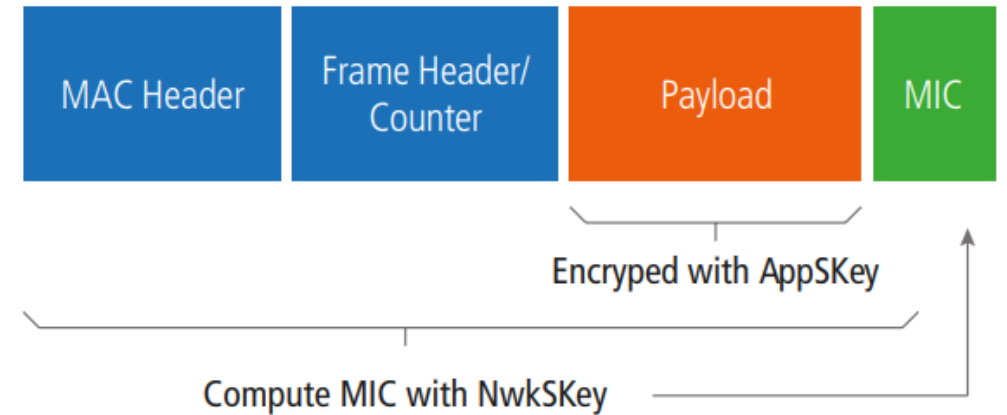
# LoRaWAN

- LoRaWAN dispõe de duas camadas de criptografia.
  - Uma única chave de 128 bits de Sessão de Rede (NwkSKey) compartilhada entre o dispositivo final e o Servidor de Rede.
  - Uma única chave de 128 bits de Sessão de Aplicação (AppSKey) compartilhada entre o dispositivo final e o servidor de Aplicação.



# LoRaWAN

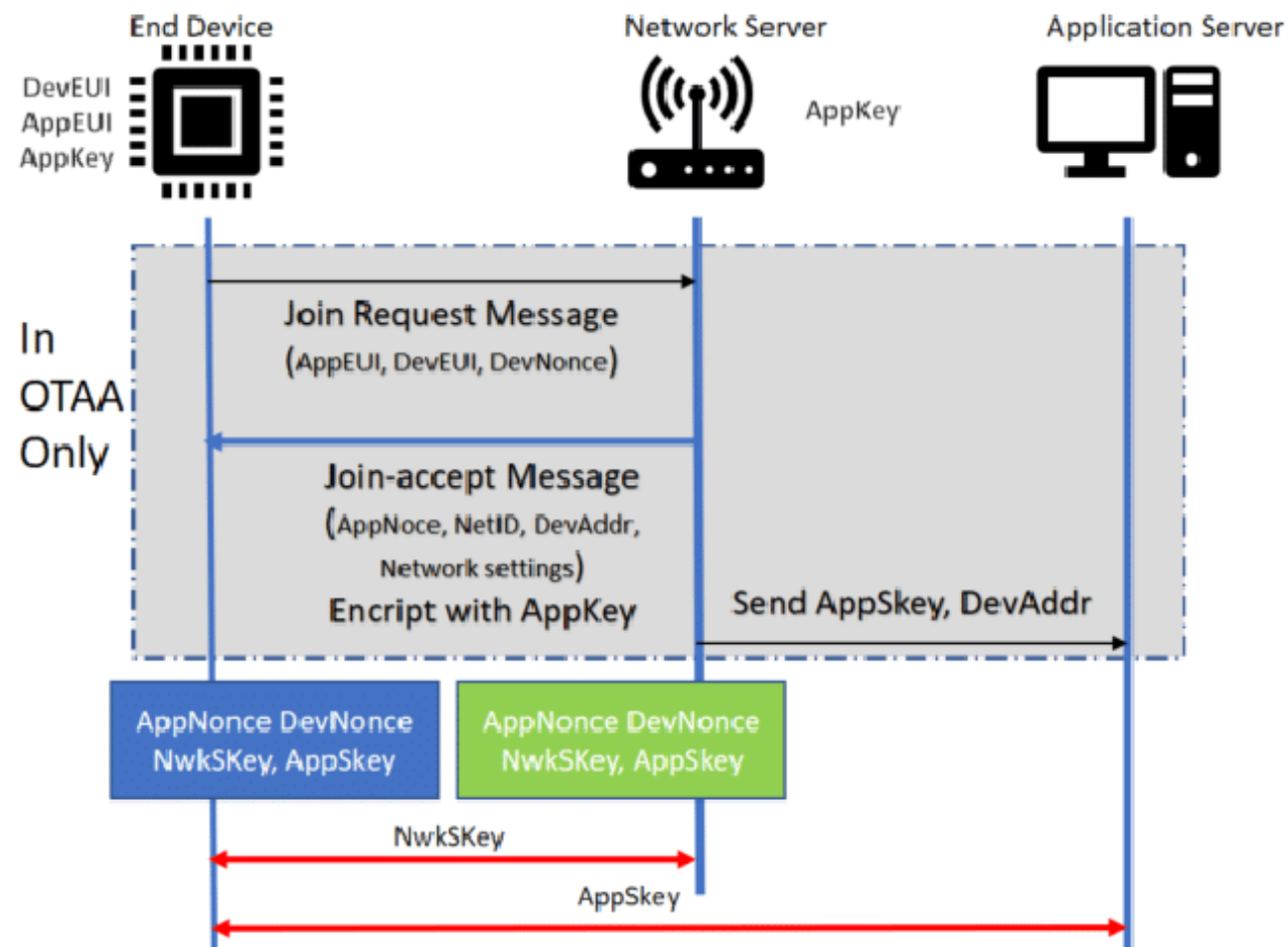
- O algoritmo usado para criptografia é o AES-128.
- A chave de Sessão de Rede (NwkSKey) garante Integridade de todo o quadro LoRaWAN.
- A chave de Sessão de Aplicação (AppSKey) criptografa e descriptografa o payload do quadro LoRaWAN.
- Existem dois métodos de ativação das chaves de sessão:
  - Ativado pelo Ar (**OTAA** – *Over-The-Air Activated*)
  - Ativado Por Personalização (**ABP** – *Activated By Personalization*).



# LoRaWAN

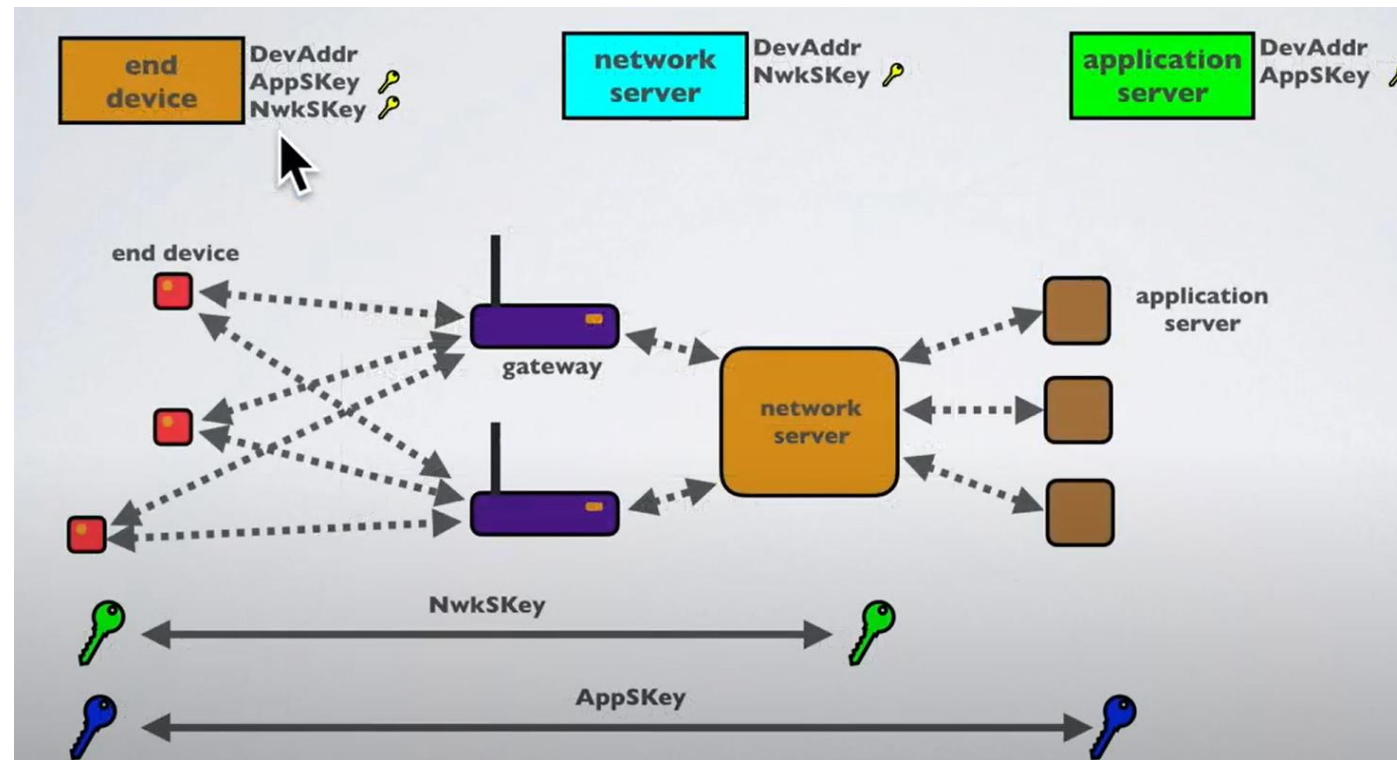
- **Ativação pelo Ar (OTAA).**

- Provê o meio mais seguro para conectar o dispositivo ao servidor.
- Os dispositivos finais devem saber o DevEUI, AppEUI e AppKey.
- O servidor de Rede deve ter o mesmo AppKey.
- O dispositivo final deve enviar uma mensagem Join-Request ao servidor de Rede e esperar um Join-Accept.
- Através do Join-Accept, as duas chaves de sessão são criadas.



# LoRaWAN

- Ativação por Personalização (ABP).
  - Não há solicitação de requisição de conexão.
  - O servidor de rede grava a NwkSKey e o servidor de aplicação grava a AppSKey.

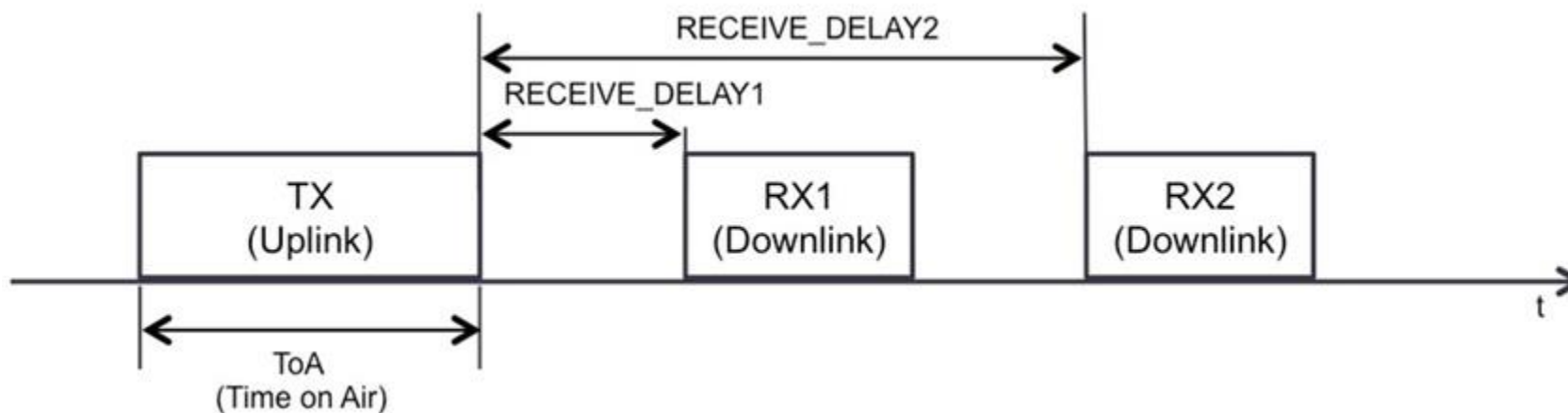


**Requer muito mais trabalho para o administrador da rede LoRaWAN.**



# LoRaWAN

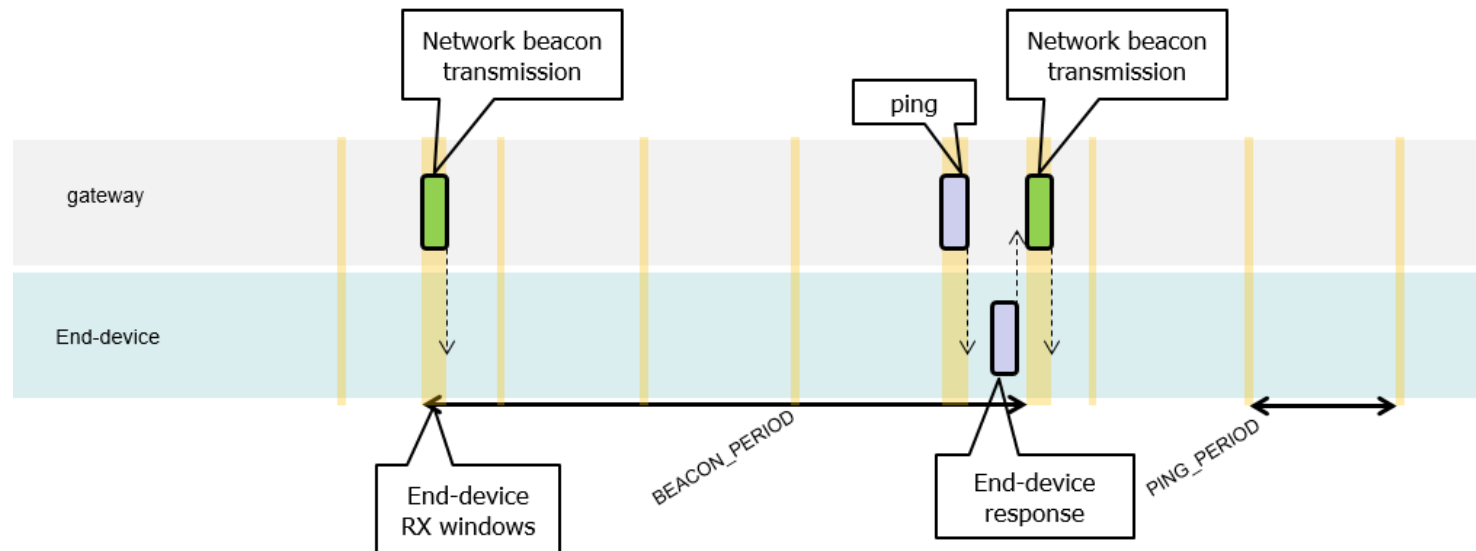
- **Existem três classes de dispositivos finais LoRaWAN (A, B e C).**
- **Classe A:**
  - Transmissões de *uplink* podem ser seguidas por duas janelas curtas de *downstream*.
  - É a classe padrão de todos os dispositivos LoRaWAN, consumindo menos energia.



# LoRaWAN

- Classe B

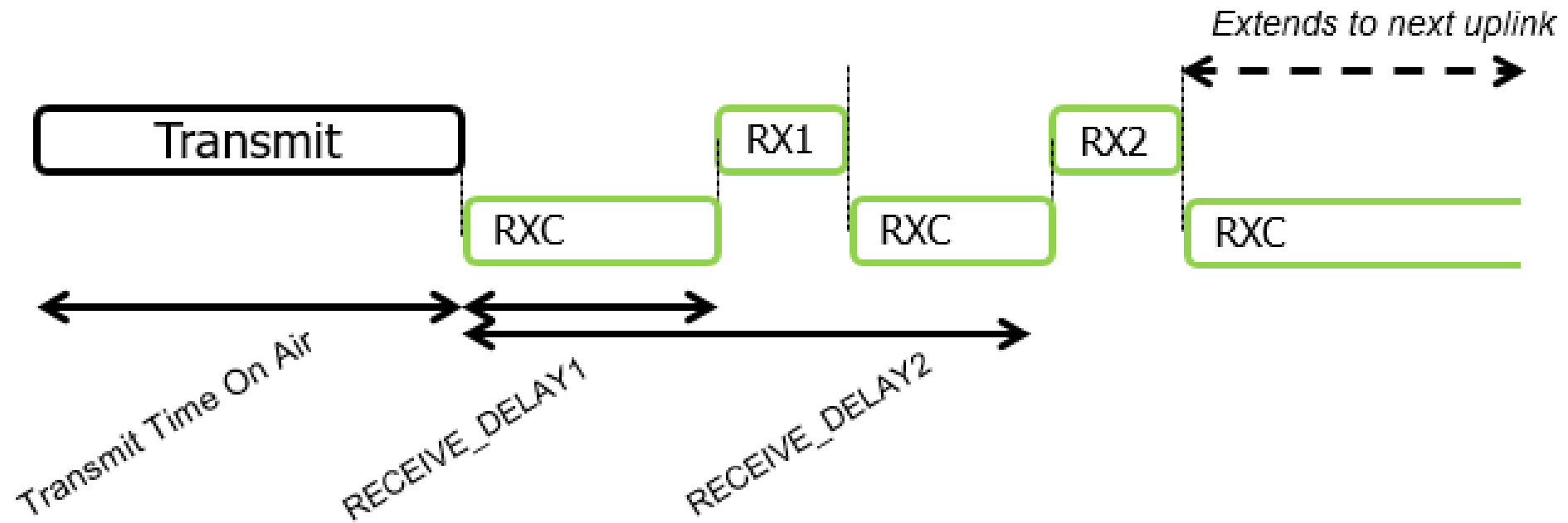
- Além de trabalhar como classe A, os dispositivos de Classe B abrem janelas de recebimento extra em horários programados.
- Essas janelas de recebimento extra são programadas através de *beacons* periódicos enviados pelo servidor.
- A classe B destina-se a dispositivos finais que precisam receber comandos de um controlador remoto, por exemplo, interruptores ou atuadores.
- Classe B consome mais energia do que a classe A.



# LoRaWAN

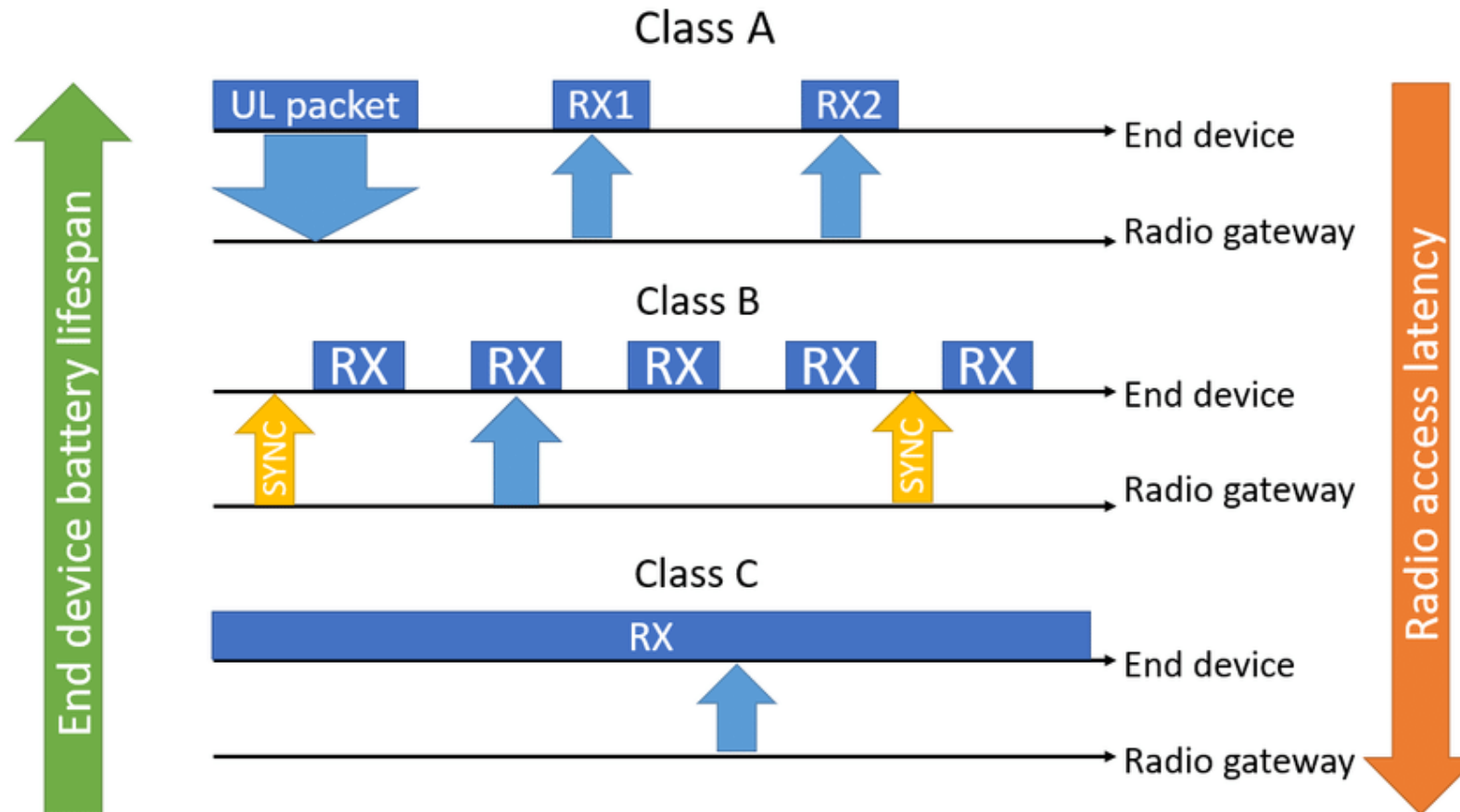
- **Classe C**

- Possuem janelas de recepção quase continuamente abertas, fechadas apenas durante a transmissão de dados.
- É a classe que mais consome mais energia.

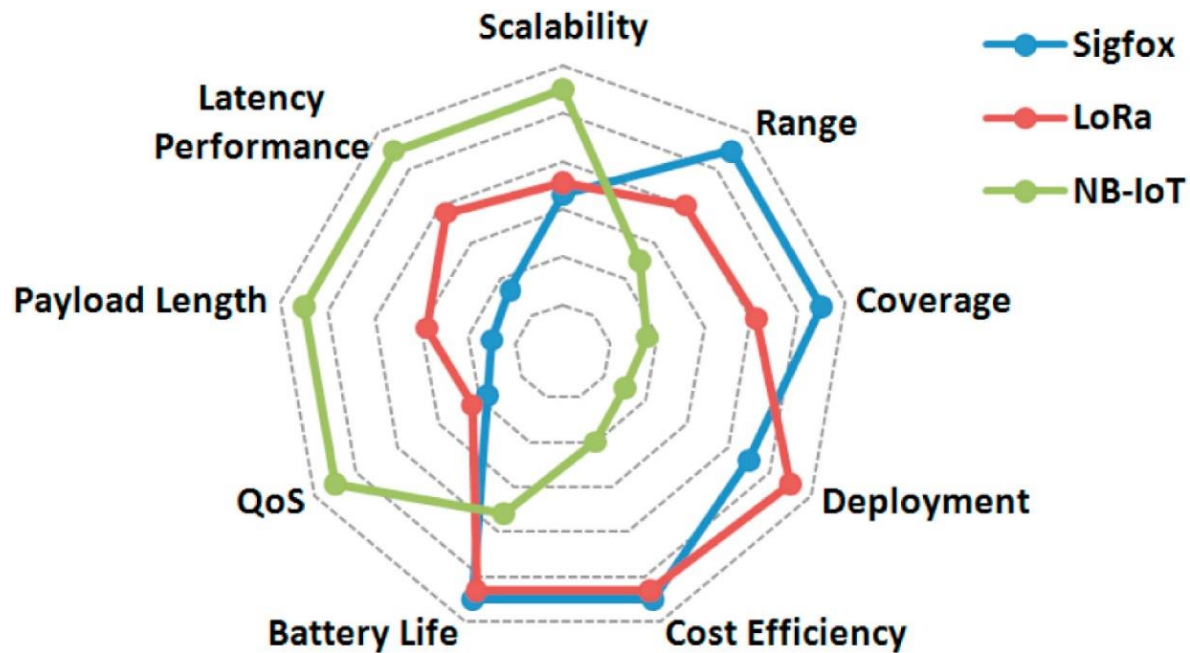


# LoRaWAN

- Comparações entre as classes de dispositivos LoRaWAN.



# NB-IoT x Sigfox x LoRaWAN



-	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Espectro Licenciado	Não	Não	Sim
Modulação	UNB/GFSK/BPSK	SS Chirp	OFDMA
Largura de Banda do receptor	100 Hz	125 KHz	200 KHz
Taxa de dados	100 bps 12 bytes Max.	290 bps - 50 Kbps	200 Kbps/ 144 Kbps
Número max. de mensagens por dia	140	ilimitado	ilimitado
Duração da bateria	20	9 anos	10 anos
Cobertura de uma ERB	raio de 1 mil km	centenas de km²	20 km
Release 3GPP			13

# NB-IoT vs Sigfox vs LoRaWAN

- O NB-IoT usa frequências licenciadas e possui um alto custo para implantação da infraestrutura de rede existentes → melhor se já tiver uma operadora local fornecendo o serviço (telefônica).
- Apesar de usar faixas de frequências não licenciadas, a infraestrutura de Rede do Sigfox é proprietária → apenas pode ser usada por pouquíssimas operadoras de telecomunicações no mundo (WND no Brasil).
- Instalar e operacionalizar a infraestrutura de rede do LoRaWAN é simples e barata, pois usa faixas de frequência não licenciadas e equipamentos de rede simples e baratos.

# Conclusões

---

- As tecnologias LPWAN são feitas para equipamentos de baixo consumo energia e de longo alcance, perfeito para o cenário do Internet das Coisas.
- As principais tecnologias para o LPWAN são NB-IoT, Sigfox e LoRaWAN.
- Cada tecnologia tem qualidade e restrições distintas que devem ser analisadas com cuidado para o emprego de uma determinada aplicação.
- O 5G, assim como o seu sucessor 6G, traz uma grande revolução para o cenário LPWAN.



# DÚVIDAS?

---