



instituto de
telecomunicações

O Contributo das Comunicações 5G para a 4ª Revolução Industrial

Aspetos do Nível Físico das Comunicações 5G

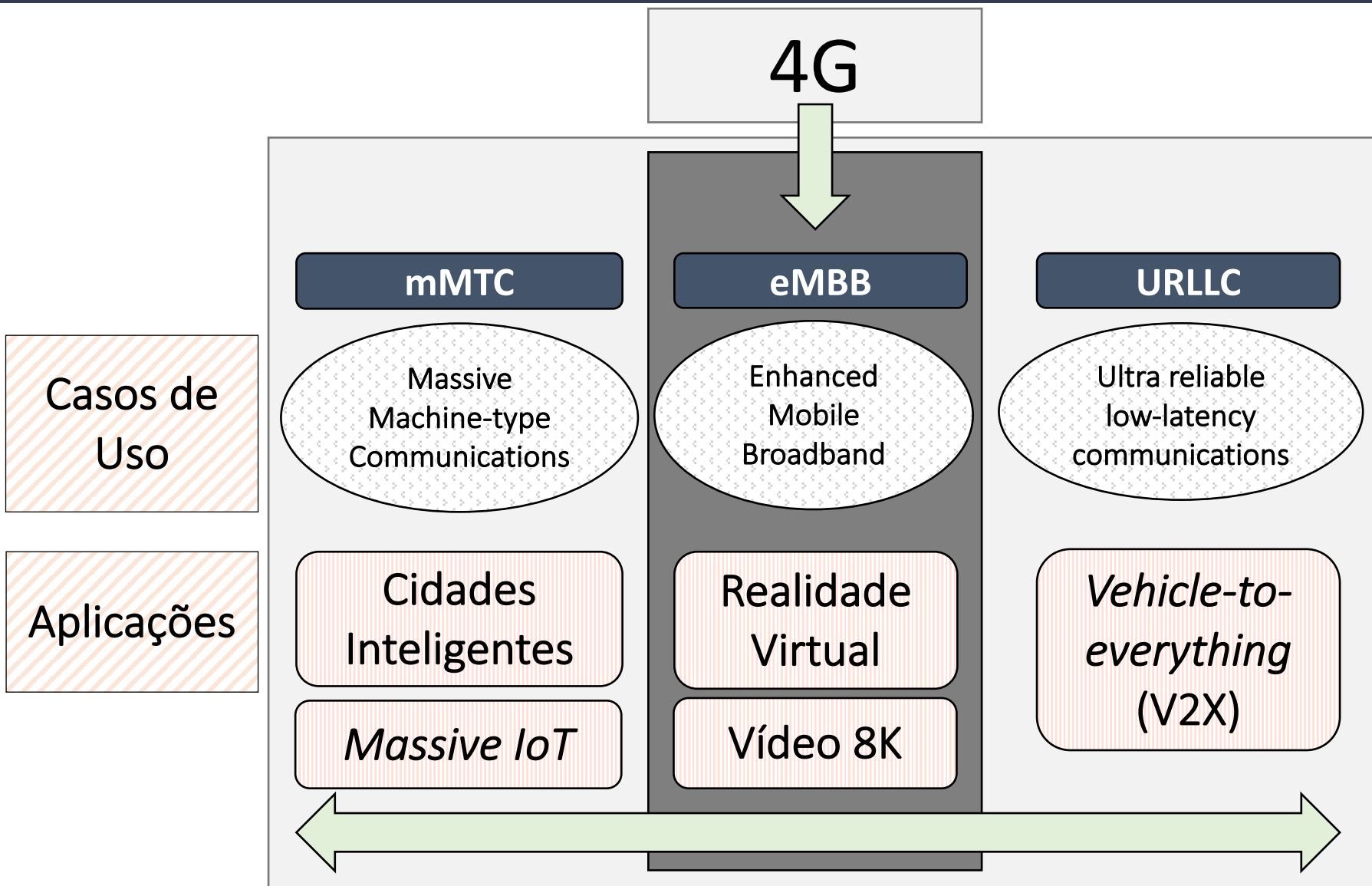
João Guerreiro

Mário Marques da Silva

□ 5G

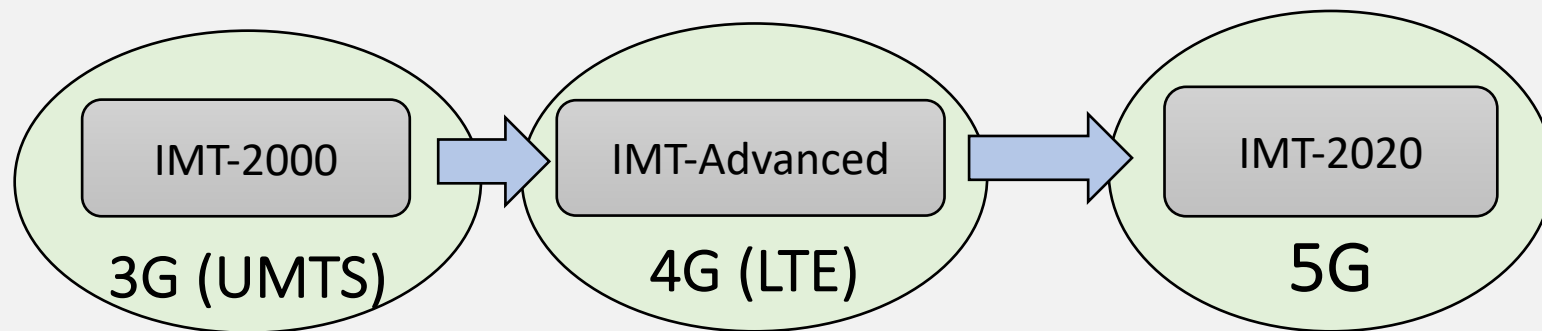
- O que é?
- Standardização
- Requisitos
- Utilização do Espectro
- Formas de Onda e Modulação
- Múltiplo Acesso
- Numerologia
- Conclusões

5G – O que é?

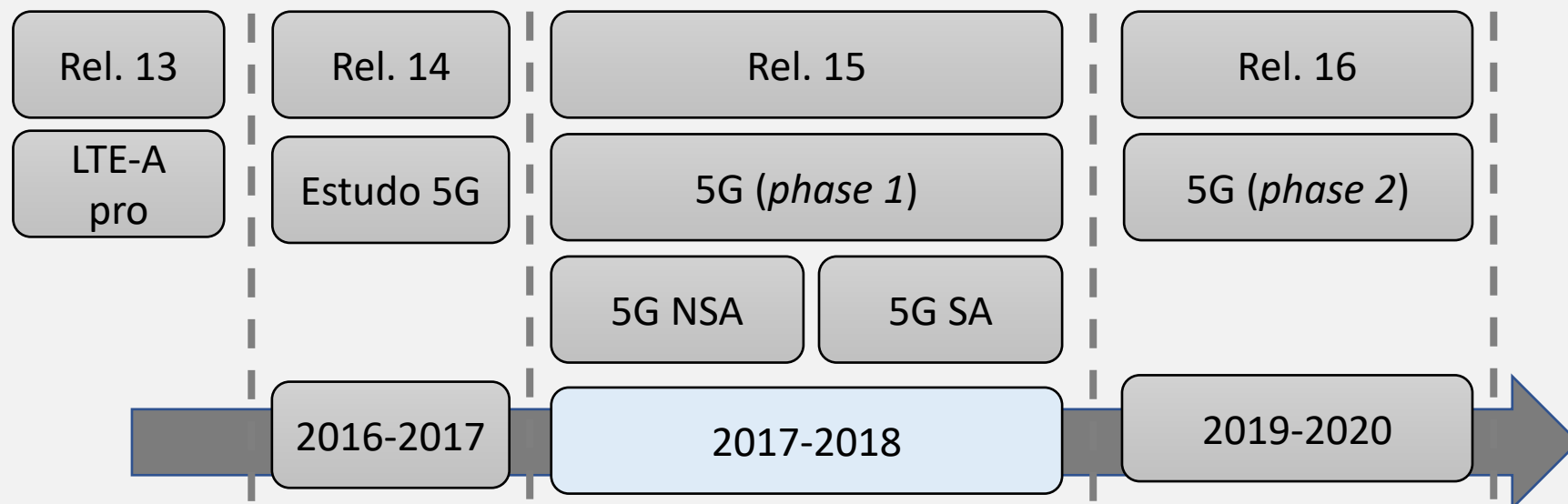


5G – Standardização (1)

International telecommunication union (ITU)

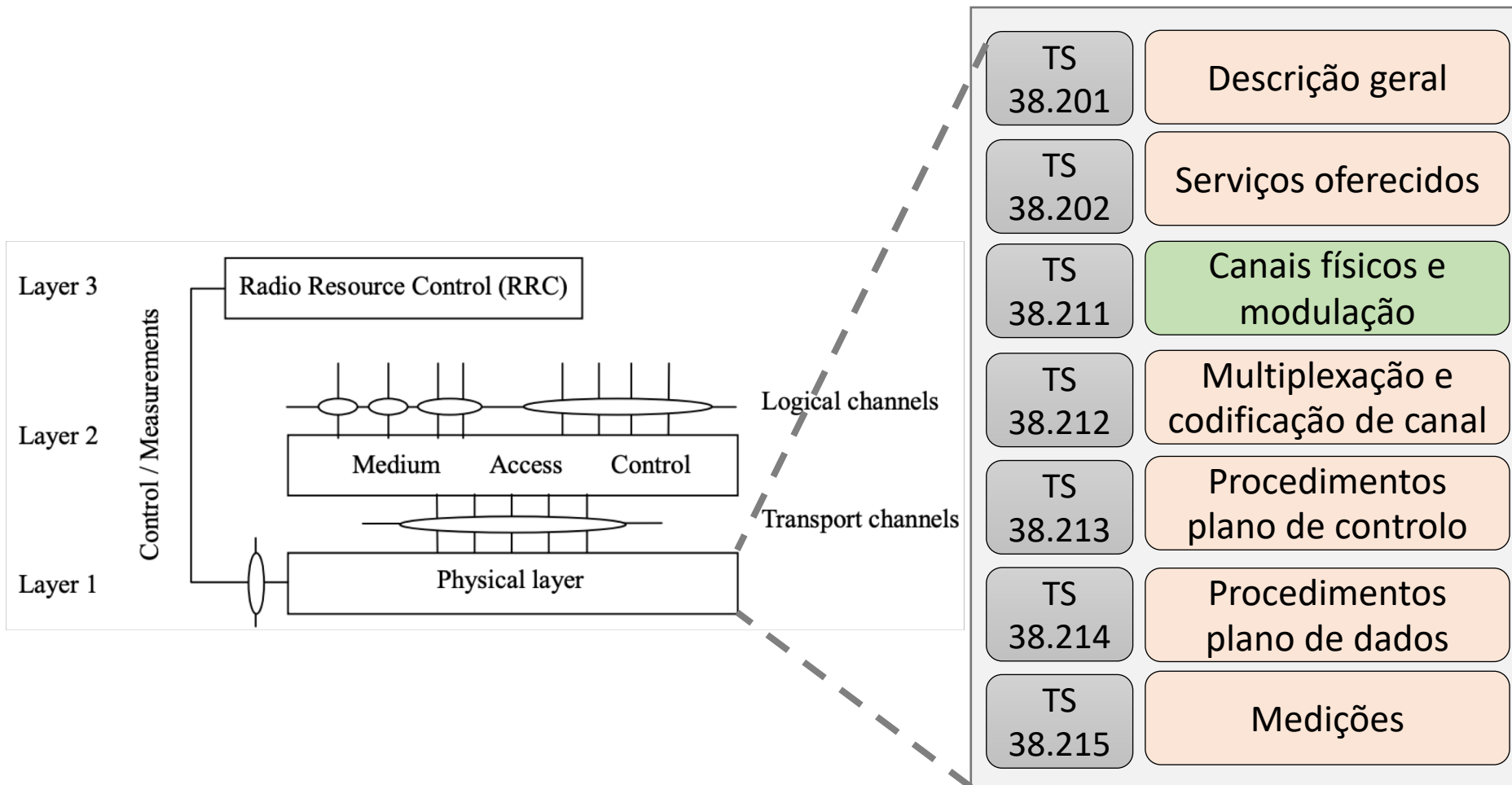


- 3GPP começou a estudar o 5G (*new radio (NR)*) na *release 14*.



5G – Standardização (2)

- ❑ Interface de rádio especificada pelo *technical specifications group* (TSG) *radio access network* (RAN) do 3GPP.



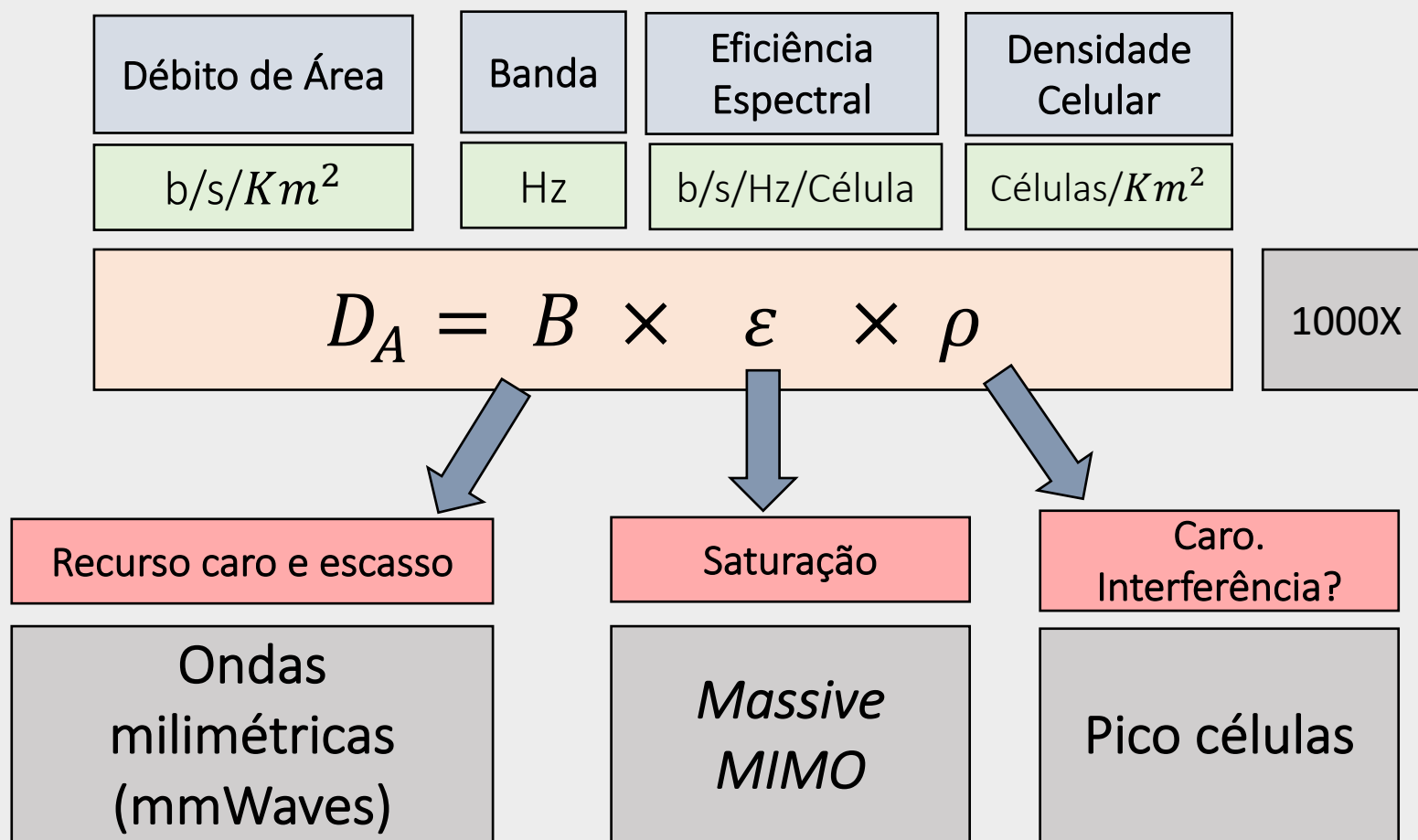
5G – Requisitos (1)

❑ ITU-R M.2410-0: performance **mínima** das novas *interfaces* rádio (pós 4G)

	4G - LTE	5G - NR	
eMBB	DL: 1Gb/s	DL: 20 Gb/s	20x
	DL: 10 Mb/s	DL: 100 Mb/s	10x
	350 Km/h	500 Km/h	1.5x
URLLC	10 ms	1 ms	10x
mMTC	10K/Km ²	1000K/Km ²	100x

5G – Requisitos (2)

- ❑ 5G-eMBB – servir mais *users* com melhores ritmos: maximização do débito binário (D_A) numa determinada área.



5G – Utilização do Espectro (1)

	4G - LTE	5G - NR (<i>phase 1</i>)
Frequência de operação	Até 6GHz	FR1: 450 MHz - 6 GHz FR2: 6GHz- 52 GHz (mmWave)
Banda (B)	Max: 20MHz	Max: 100MHz @ <6GHz
<i>Carrier Aggregation</i>	Max: 32	Max: 16

✓ Aumentar ritmo binário pela via do aumento da banda da comunicação (B)

✓ ITU: Ocupação espectral de uma dada banda deve passar de 90% (4G) para 98% (5G)

$$R = \mathbf{B} \times \varepsilon$$

❑ *Deployments* iniciais do 5G (modo *non standalone*) com *dual connectivity* (4G+5G).

❑ Operação em bandas sub-6GHz (FR1):

- Grande alcance devido ao baixo *path loss*.
- Macro células com foco na cobertura e mobilidade.
- **Massive MU-MIMO**: *precoding* (DL)/*combining* (UL) para explorar *array gain* e mitigar a interferência. Ganho de multiplexagem espacial.

✓ Aumento da eficiência espectral pelo aumento do SINR (mais sinal e menos interferência) e ganho de multiplexagem.

$$\varepsilon = K \log_2(1 + \text{SINR})$$

$$R = B \times \varepsilon$$

5G – Utilização do Espectro (3)

- ❑ Operação em mmWave (FR2):
 - Baixo alcance: elevado *pathloss*.
 - *Beamforming* azimutal e de elevação: criação de *array gain* para contrariar o *pathloss*.
 - Aumento da densidade celular (ρ) com pico células para *boost* débito de área (eventos: jogos olímpicos, concertos, etc.).
 - Distância inter-BS menor: menos interferência.

✓ Aumento do ritmo binário pela via do aumento da banda (B)

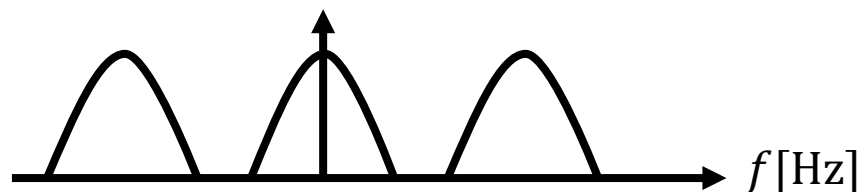
$$R = \mathbf{B} \times \varepsilon$$

Formas de onda

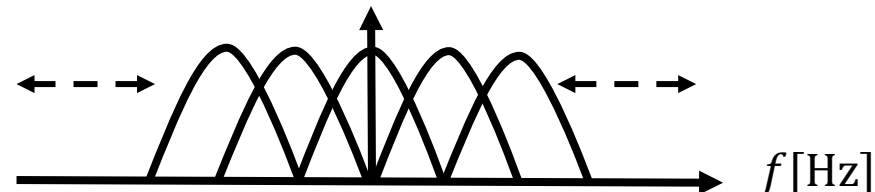
- ❑ 4G-LTE: *orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)*
 - Elevada *peak-to-average power ratio (PAPR)*, *Out-of-band emissions (OOB)*.
- ❑ Propostas para o 5G:
 - *Generalized frequency division multiplexing (GFDM)*.
 - *Universal filtered multicarrier (UFMC)*.
 - *Filter-bank multicarrier (FBMC)*.
- ❑ 5G-eMBB:
 - OFDM para *downlink* e *uplink*.
 - *DFT-Spread OFDM uplink*.

5G – Formas de onda e Modulação (2)

Traditional FDM



OFDM



- ✓ Aumentar ritmos binários pela via do melhor aproveitamento do espectro (sem bandas de guarda)

$$R = \mathbf{B} \times \varepsilon$$

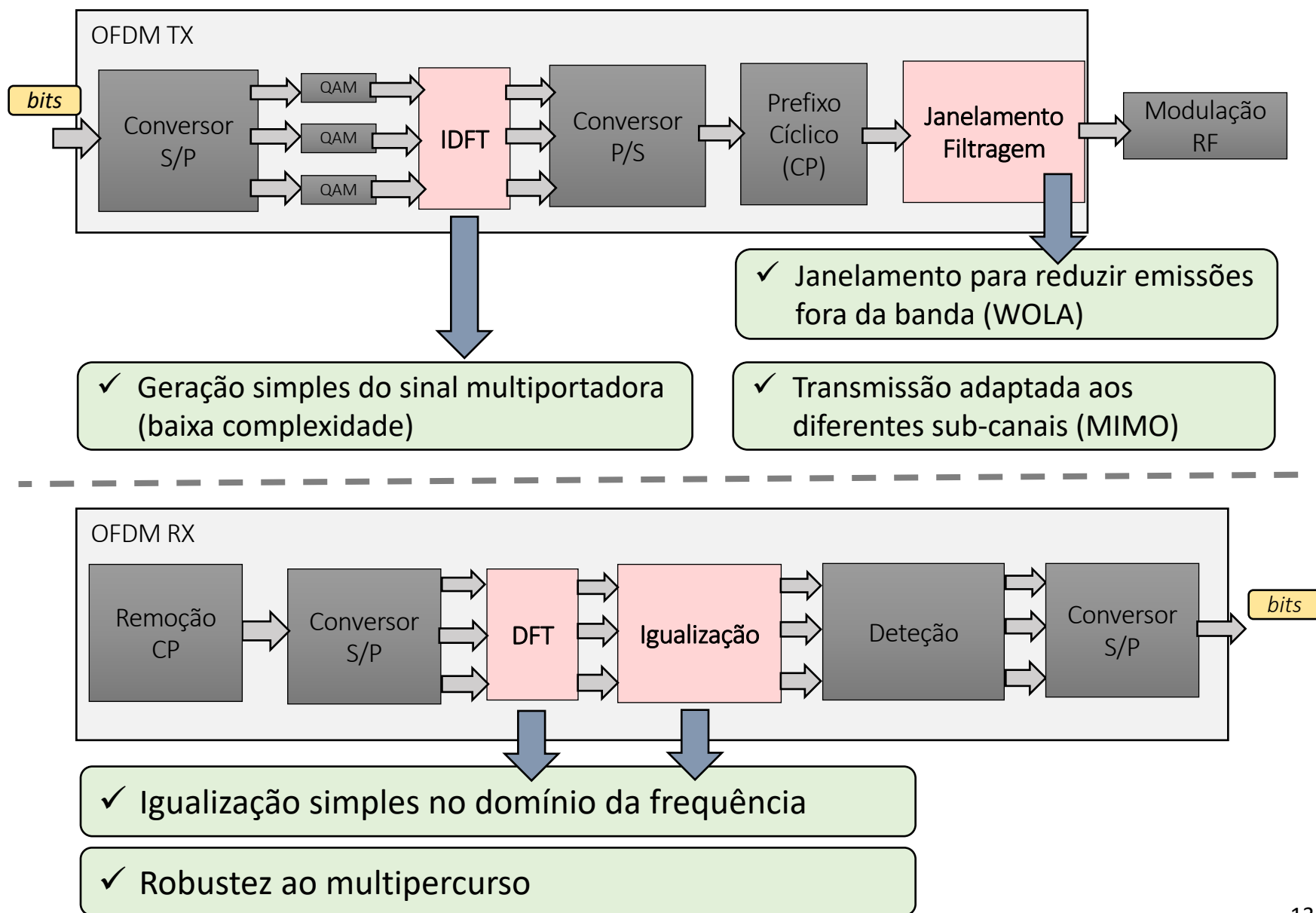
Modulação

- ❑ 4G: 4-QAM até 64-QAM
- ❑ 5G-eMBB: 4-QAM até 256-QAM

- ✓ Aumentar ritmo binário pela via do aumento da eficiência espectral - envio de mais bits por símbolo transmitido

$$R = B \times \mathbf{\varepsilon}$$

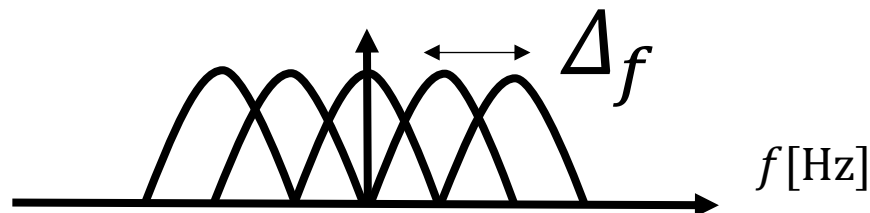
5G – Formas de onda e Modulação (3)



5G – Múltiplo Acesso (1)

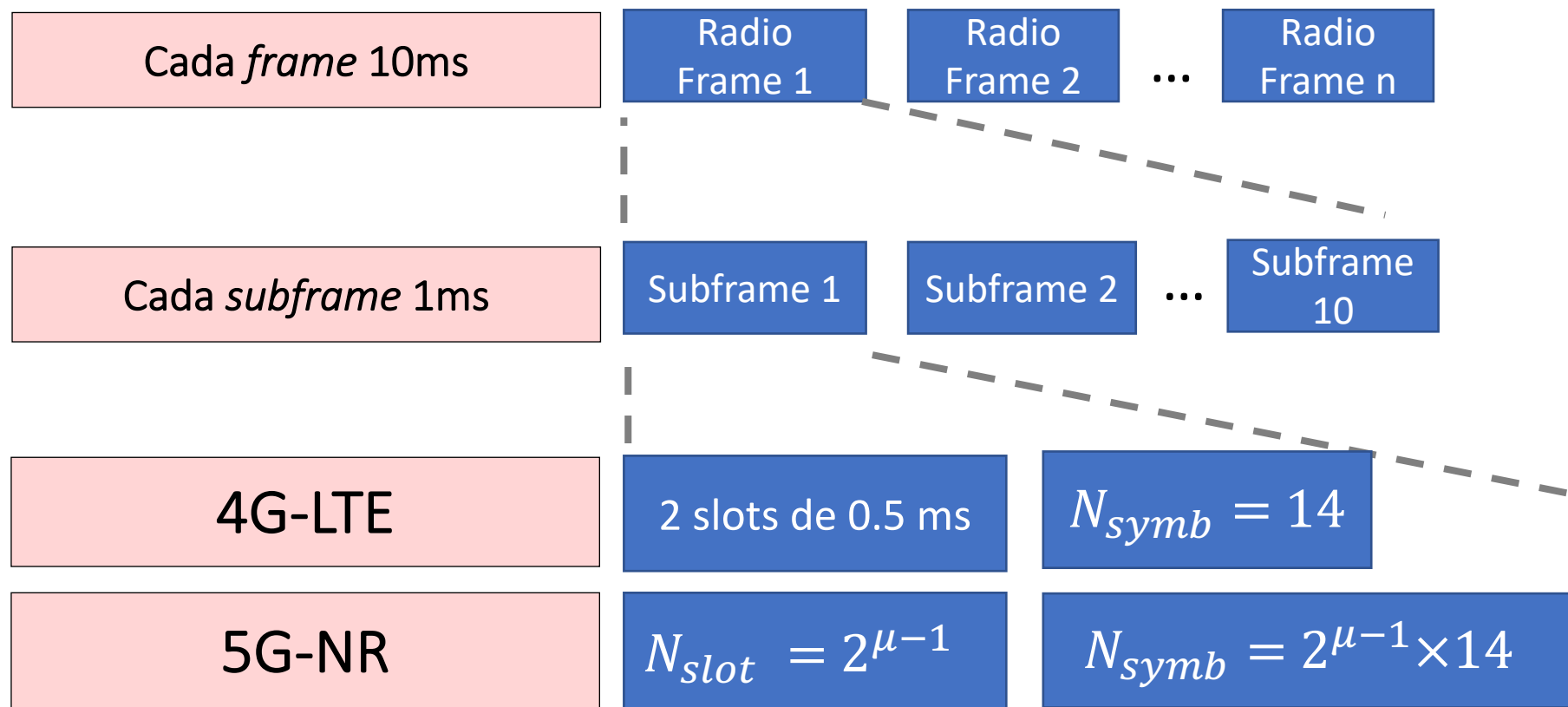
- ❑ *Release 15 – orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) - 4G-LTE*
 - *Scheduler da base station opera numa grelha tempo-frequência.*
- ❑ *Release 16 – non-orthogonal multiple access (NOMA):*
 - Recursos (banda, tempo) utilizados de forma mais eficiente: *users* comunicam na mesma banda, ao mesmo tempo.
 - Separação no domínio da potência (*power-domain NOMA*).
 - Cancelamento de interferência avançado (recetores mais complexos).

5G – Múltiplo Acesso (2)



- ❑ Separação entre sub-portadoras no OFDMA
 - 4G: fixa $\Delta f = 15 \text{ KHz}$.
 - 5G: variável $\Delta f = 2^\mu \times 15 \text{ KHz}$ (até 480KHz).
- ❑ Adaptação da transmissão às condições do canal:
 - Maior *phase noise* em ondas milimétricas (FR2).
 - Mais multipercurso em sub-6GHz (FR1).
- ❑ Adaptação ao caso de uso:
 - Redução do tempo de símbolo ($T = \frac{1}{\Delta f}$) em aplicações onde a latência deve ser muito reduzida.

5G – Numerologia (1)



- ❑ *Physical resource block* (PRB) – unidade mínima de agendamento do scheduler: 12 sub-portadoras / 1 slot.
- ❑ O número de PRBs varia consoante a banda (B) e o espaçamento entre sub-portadoras disponível (Δ_f).

5G – Numerologia (2)

Δf	PRB (Frequência)	PRB (Tempo)	Slots por <i>sub-frame</i>	Duração do <i>sub-frame</i>
15 KHz	180 KHz	1 ms (eMBB)	1	1ms
30 KHz	360 KHz	0.5 ms	2	1ms
60 KHz	720 KHz	0.25 ms	4	1ms
120 KHz	1440 KHz	0.125 ms (URLLC)	8	1ms

✓ Coexistência com 4G-LTE (alinhamento dos subframes em 1 ms).

❑ Separação *uplink/downlink*:

- *Frequency division duplexing* (FDD): menos latência, utilização do espectro menos eficiente (4G Portugal).
- *Time division duplexing* (TDD): mais latência, utilização do espectro mais eficiente, *dynamic* TDD.

Conclusões

- ❑ O 5G não é apenas uma nova geração de comunicações celulares.
- ❑ Diversos casos de uso: a flexibilidade muito elevada, não oferecida pelo 4G, é conseguida à custa do redesenho do múltiplo acesso, da nova numerologia e de técnicas de gestão da interferência dinâmicas.
- ❑ Os elevados ganhos de capacidade associados à banda larga melhorada são suportados por diversas novas tecnologias, nomeadamente as ondas milimétricas e o *massive* MIMO.
- ❑ Em Portugal, os primeiros *deployments* do 5G deverão acontecer entre 2019 e 2020, possivelmente só para alguns casos de uso.
- ❑ A proposta final do 5G do 3GPP irá ser submetida ao ITU em 2020.

Obrigado!