

# Capítulo 3

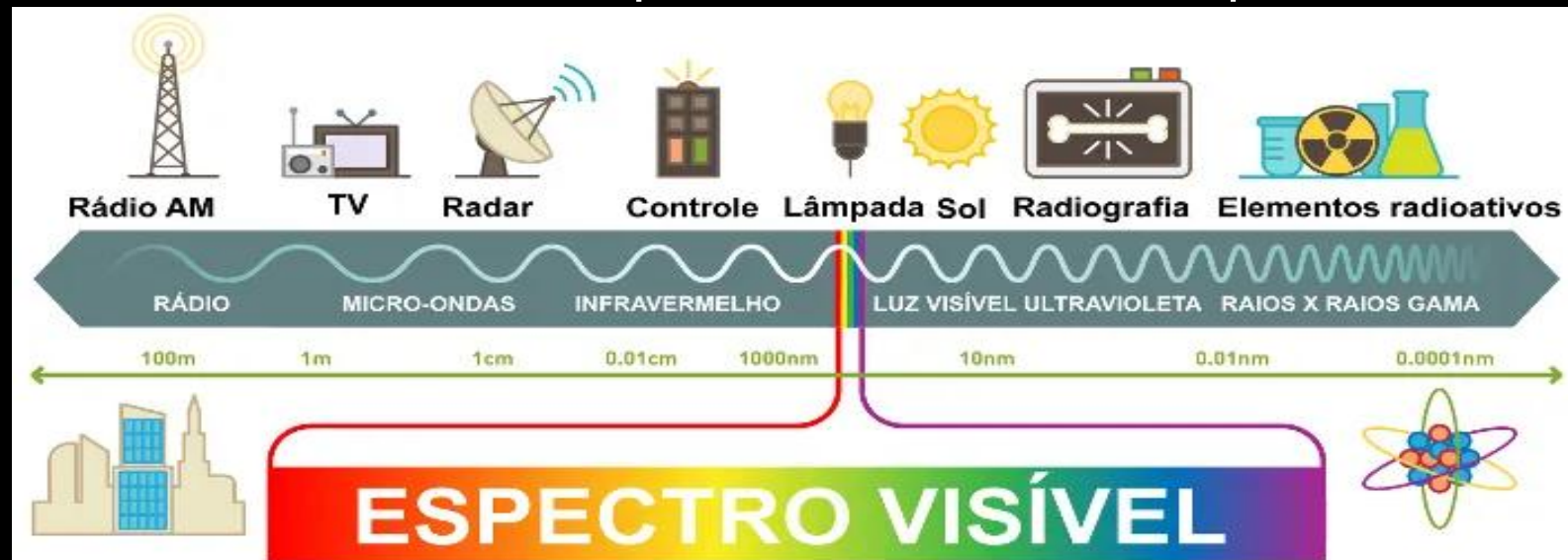
Samuel Lopes da Mota



# Spectrum for Mobile Systems

- Historicamente, as faixas para a primeira e segunda geração de serviços móveis foram atribuídas em frequências em torno de 800–900 MHz, mas também em algumas faixas inferiores e superiores.
- Quando o 3G (IMT-2000) foi lançado, o foco estava na banda de 2 GHz e com a contínua expansão dos serviços de IMT com 3G e 4G, novas bandas foram adicionadas em frequências mais baixas e mais altas, atualmente abrangendo de 450 MHz a cerca de 6 GHz.
- Frequências utilizadas por tecnologias anteriores (IMTs) também são usadas nas novas como o 5G

- Devido às propriedades de propagação, as bandas em frequências mais baixas são boas para implantações de cobertura de área ampla, em ambientes urbanos, suburbanos e rurais.
- As propriedades de propagação de frequências mais altas as tornam mais difíceis de usar para cobertura de área ampla e, por esse motivo, as bandas de frequência mais altas têm sido usadas em maior medida para aumentar a capacidade em implantações densas.



- Com a introdução do 5G, o exigente cenário de uso de eMBB e novos serviços relacionados exigirão taxas de dados ainda mais altas e alta capacidade em implantações densas.
- Devida a demandas de capacidade de tráfego de área muito altas, frequências acima de 60 GHz são consideradas, sendo chamada de ondas milimétricas ( mmWaves) – Ondas com alta frequência porém com baixo comprimento de onda.

- Muitas novas bandas são definidas apenas para operação NR. Ambas as bandas pareadas, onde faixas de frequência separadas são atribuídas para uplink e downlink, e bandas não pareadas com uma única faixa de frequência compartilhada para uplink e downlink, estão incluídas nas especificações do NR.
- Bandas emparelhadas são usadas para operação Frequency Division Duplex (FDD), enquanto bandas não emparelhadas são usadas para operação Time Division Duplex (TDD).

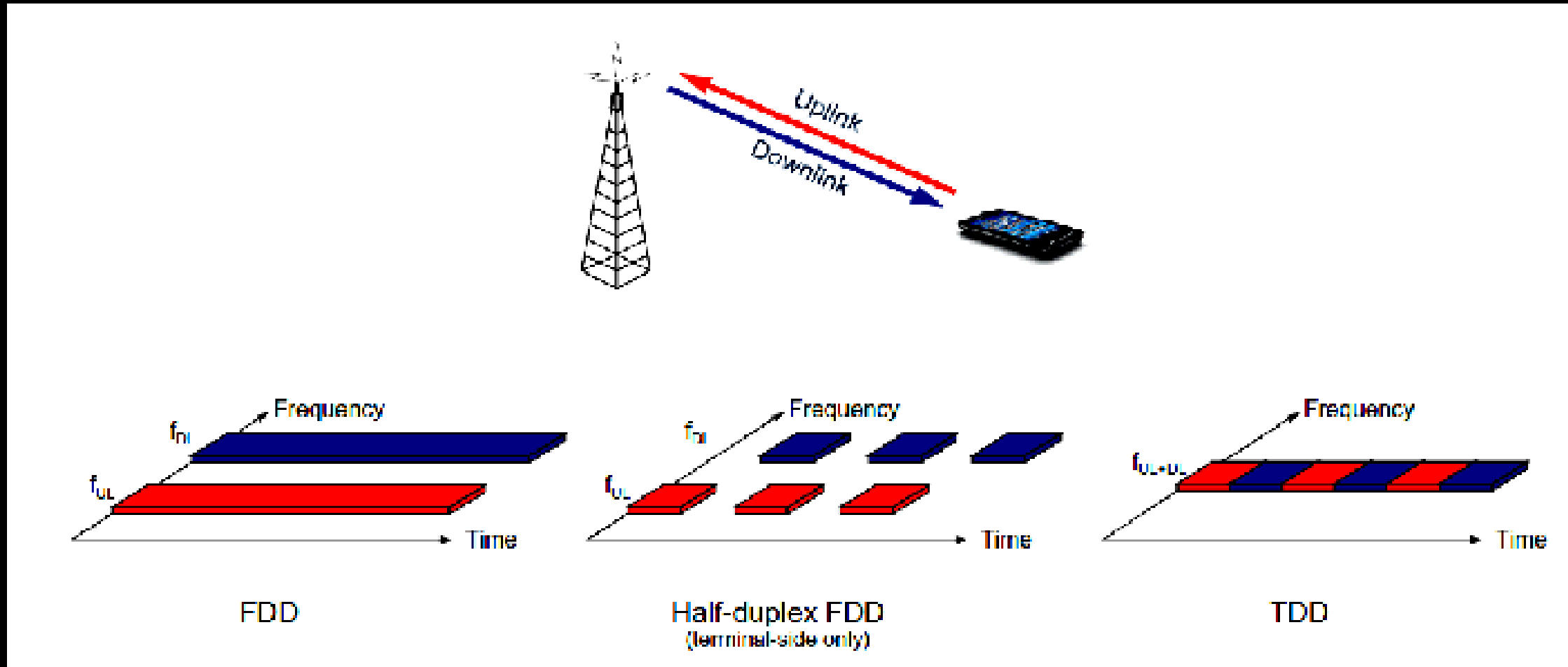
# FDD e TDD

- Frequency Division Duplex (FDD) é uma técnica em que bandas de frequência separadas são usadas no lado do transmissor e do receptor.

Como a técnica FDD usa bandas de frequência diferentes para operações de envio e recebimento, os sinais de dados de envio e recebimento não interferem entre si. Isso torna o FDD uma escolha melhor do que o Time Division Duplex (TDD) para tráfego simétrico, como aplicativos de voz em redes sem fio de banda larga.

- Duplex por divisão de tempo (TDD) refere-se a links de comunicação duplex onde o uplink é separado do downlink pela alocação de diferentes intervalos de tempo na mesma banda de frequência. É um esquema de transmissão que permite fluxo assimétrico para transmissão de dados uplink e downlink. Os usuários recebem intervalos de tempo para transmissão de uplink e downlink.

- O TDD divide um fluxo de dados em quadros e atribui diferentes intervalos de tempo para transmissões diretas e reversas, permitindo assim que ambos os tipos de transmissão compartilhem o mesmo meio de transmissão.



# Spectrum Defined for IMT Systems by the ITU-R

- As designações globais de espectro para diferentes serviços e aplicações são feitas dentro do ITU-R e estão documentadas no ITU Radio Regulations [48] e o uso de bandas IMT globalmente está descrito na ITU-R Recommendation M.1036
- Uma vez atribuída uma faixa, cabe portanto às administrações regionais e locais definir uma faixa para utilização do IMT em geral ou para gerações específicas. Em muitos casos, as atribuições regionais e locais são “tecnologicamente neutras” e permitem qualquer tipo de tecnologia IMT. Isso significa que todas as bandas IMT existentes são bandas potenciais para implantação IMT-2020 (5G) da mesma forma que foram usadas para gerações anteriores de IMT



- O Congresso Administrativo Mundial de Rádio WARC-92 identificou as bandas 1885–2025 e 2110–2200 MHz como destinadas à implementação do IMT-2000. Destes 230 MHz de espectro 3G,  $2 \times 30$  MHz destinavam-se à componente satélite do IMT-2000 e o restante à componente terrestre.
- Partes das bandas foram utilizadas durante a década de 1990 para implantação de sistemas celulares 2G, especialmente nas Américas. As primeiras implantações de 3G em 2001–2 pelo Japão e pela Europa foram feitas nesta alocação de banda e, por esse motivo, é frequentemente chamada de “banda principal” do IMT-2000.

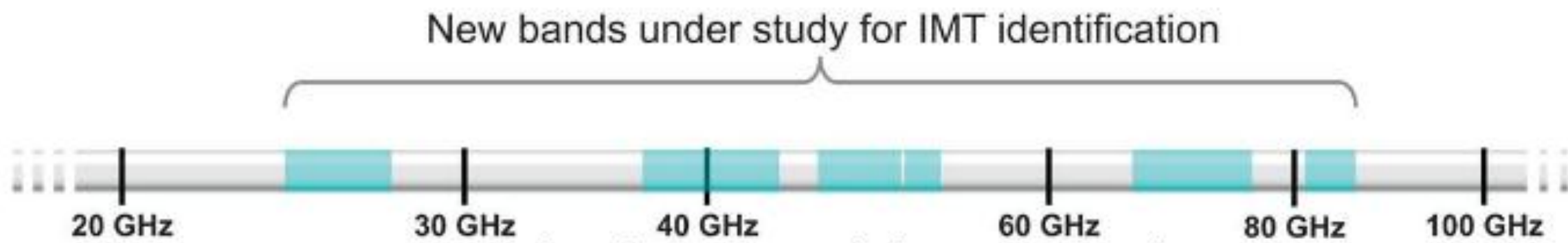
- O WRC'15 foi um marco importante que preparou o terreno para o 5G. Primeiro, um novo conjunto de bandas foi identificado para IMT, onde muitos foram identificados para IMT em uma base global, ou quase global:
- • 470–694/698 MHz (faixa de 600 MHz): Identificado para alguns países das Américas e Ásia-Pacífico. Para a Região 1 (Europa, Oriente Médio e África) , é considerado um novo item da agenda do IMT na WRC-23.
- 694–790 MHz (banda de 700 MHz): Esta banda agora também é totalmente identificada para a Região 1 e, portanto, é uma banda IMT global.
- 1427–1518 MHz (banda L): Uma nova banda global identificada em todos os países.

- 3300–3400 MHz: Banda global identificada em muitos países, mas não na Europa ou América do Norte.
- 3400–3600 MHz (banda C): Agora uma banda global identificada para todos países. A banda já estava alocada na Europa.
- 3600–3700 MHz (banda C): Banda global identificada em muitos países, mas não na África e em alguns condados da Ásia-Pacífico. Na Europa, a banda está disponível desde o WRC'07.
- 4800–4990 MHz: Nova banda identificada para alguns países da Ásia-Pacífico.

- Especialmente a faixa de frequência de 3300 a 4990 MHz é de interesse para o 5G, pois é um espectro novo em bandas de frequência mais altas.
- Isso implica que ele se encaixa bem nos novos cenários de uso que exigem altas taxas de dados e também é adequado para implementação massiva de MIMO, onde arrays com muitos elementos podem ser implementados com tamanho razoável.
- O segundo grande resultado da WRC'15 em relação ao IMT foi o novo item da agenda (1.13) apontado para a próxima WRC, para identificar bandas de alta frequência acima de 24 GHz para serviços móveis 5G.

## Faixas de banda:

- 24.25–27.5 GHz;
- 37–40.5 GHz;
- 42.5–43.5 GHz;
- 45.5–47 GHz;
- 47.2–50.2 GHz;
- 50.4–52.6 GHz;
- 66–76 GHz;
- 81–86 GHz.



**FIGURE 3.1** New IMT bands under study in ITU-R TG 5/1.

- Espera-se que várias bandas na faixa de 6 a 20 GHz sejam consideradas para serviços móveis, incluindo IMT, além das bandas estudadas no ITU-R (União Internacional de Telecomunicações - Setor de Radiocomunicações).
- Um exemplo é uma consulta da FCC sobre novos usos, incluindo serviços de banda larga sem fio de próxima geração, na faixa de frequência 5925–7125 MHz.

## 3.1.2 Global Spectrum Situation for 5G

- Há um interesse considerável globalmente em disponibilizar espectro para implantações 5G. Isso é impulsionado por operadoras e organizações do setor, como a Global mobile Suppliers Association, mas também é apoiada por órgãos reguladores em diferentes países e regiões.
- O espectro de interesse pode ser dividido em bandas de baixa, média e alta frequência:
- As bandas de baixa frequência correspondem às bandas LTE existentes abaixo de 2 GHz, que são adequadas como camada de cobertura, proporcionando uma cobertura ampla e profunda, inclusive interna. As bandas com maior interesse aqui são as bandas de 600 e 700 MHz, como as bandas não são muito amplas, espera-se uma largura de banda máxima de canal de 20 MHz nas bandas de baixa frequência.



- Para implantação inicial, a faixa de 600 MHz é considerada para NR nos EUA, enquanto a faixa de 700 MHz é definida como uma das chamadas faixas pioneiras para a Europa.
- Além disso, várias bandas LTE adicionais na faixa abaixo de 3 GHz são identificadas para possível “re-farmamento” e receberam números de banda NR. Como as bandas em geral já estão implantadas com LTE, espera-se que o NR seja implantado gradualmente em um estágio posterior.

- As bandas de média frequência estão na faixa de 3 a 6 GHz e podem fornecer cobertura, capacidade e altas taxas de dados por meio da largura de banda de canal mais ampla possível.
- O maior interesse globalmente está na faixa de 3300–4200 MHz, onde o 3GPP designou as bandas NR n77 e n78. Devido às bandas mais amplas, são possíveis larguras de banda de canal de até 100 MHz.
- Até 200 MHz por operador podem ser atribuídos nesta faixa de frequência a longo prazo, onde a agregação de portadora pode ser usada para implantar toda a largura de banda
- A faixa de 3.300 a 4.200 MHz é de interesse global, com algumas variações observadas regionalmente; e 3400–3800 MHz é uma banda pioneira na Europa, enquanto China e Índia estão planejando 3300–600 MHz e no Japão 3600–4200 MHz está sendo considerado.

- As bandas de alta frequência estão na faixa mm-Wave acima de 24 GHz. Eles serão mais adequados para cobertura de hotspot com capacidade local muito alta e podem fornecer taxas de dados muito altas.
- O maior interesse está na faixa de 24,25 a 29,5 GHz, com as bandas 3GPP NR n257 e n258 atribuídas. Larguras de banda de canal de até 400 MHz são definidas para essas bandas, com larguras de banda ainda maiores possíveis por meio da agregação de portadoras.
- A faixa de frequência mmWave é nova para implantação IMT, conforme discutido acima. A banda 27,5–28,35 GHz foi identificada em um estágio inicial nos EUA, enquanto 24,25–27,5 GHz, também chamada de “faixa de 26 GHz”, é uma banda pioneira na Europa, observando que nem toda ela pode ser disponibilizada para 5G.

A faixa de frequência (mmWaves) (GHz)	
EUA	27,5 – 28,35
Europa	24,25 – 27,5
Japão	27,5 – 29,5
Coreia	26,5 – 29,5

- A faixa de 37 a 40 GHz também está planejada para os EUA e faixas semelhantes em torno de 40 GHz também são consideradas em muitas outras regiões, incluindo a China.

## 3.2 Frequency Bands for NR

- O NR pode ser implantado tanto em faixas IMT existentes quanto em faixas futuras que possam ser identificadas na WRC ou em órgãos regionais.
- A possibilidade de operar uma tecnologia de rádio-acesso em diferentes faixas de frequência é um aspecto fundamental dos serviços móveis globais.
- A maioria dos dispositivos 2G, 3G e 4G são multibanda, cobrindo bandas usadas em diferentes regiões do mundo para fornecer roaming global.
- Muitos requisitos de RF são especificados com diferentes requisitos entre as bandas. Este é certamente o caso do NR, mas também das gerações anteriores.
- Exemplos de requisitos de RF específicos de banda são a potência máxima de transmissão permitida, requisitos/limites de emissão fora de banda (OOB) e níveis de bloqueio de receptor. Diferenças ocorrem por causa dos órgãos reguladores e o local de destino.

- Para operação NR nas novas bandas de onda mm acima de 24 GHz, tanto os dispositivos quanto as estações base serão implementados com tecnologia parcialmente nova e haverá um uso mais amplo de MIMO massivo, formação de feixe e sistemas de antena avançados altamente integrados.
- Isso cria diferenças em como os requisitos de RF são definidos, como são medidos para avaliação de desempenho e, finalmente, também quais são os limites para os requisitos. As bandas de frequência no âmbito do presente trabalho do Release 15 em 3GPP são, por isso, divididas em duas faixas de frequência:
- A faixa de frequência 1 (FR1) inclui todas as bandas existentes e novas abaixo de 6 GHz.
- • A faixa de frequência 2 (FR2) inclui novas bandas na faixa de 24,25 a 52,6 GHz

- O 3GPP define bandas de operação, onde cada banda de operação é uma faixa de frequência para uplink e/ou downlink que é especificada com um determinado conjunto de requisitos de RF. Cada uma das bandas de operação tem um número, onde as bandas NR são numeradas n1, n2, n3, etc.
- OBS: As bandas 4G LTE são escritas com algarismos arábicos (1, 2, 3, etc.), enquanto as bandas 3G UTRA são escritas com algarismos romanos (I, II, II, etc.).

- A versão 15 das especificações 3GPP para NR inclui 26 bandas de operação na faixa de frequência 1 e três na faixa de frequência 2. As bandas para NR têm um esquema de numeração com números atribuídos de n1 a n512 usando as seguintes regras:
- 1. Para NR em bandas de re-farming LTE, os números de banda LTE são reutilizados para NR, apenas adicionando um “n”.
- 2. Novas bandas para NR recebem os seguintes números:
  - – A faixa n65 a n256 é reservada para bandas NR na faixa de frequência 1 (algumas dessas bandas podem ser usadas para LTE adicionalmente).
  - – A faixa n257 a n512 é reservada para novas bandas NR em
- faixa de frequência 2.

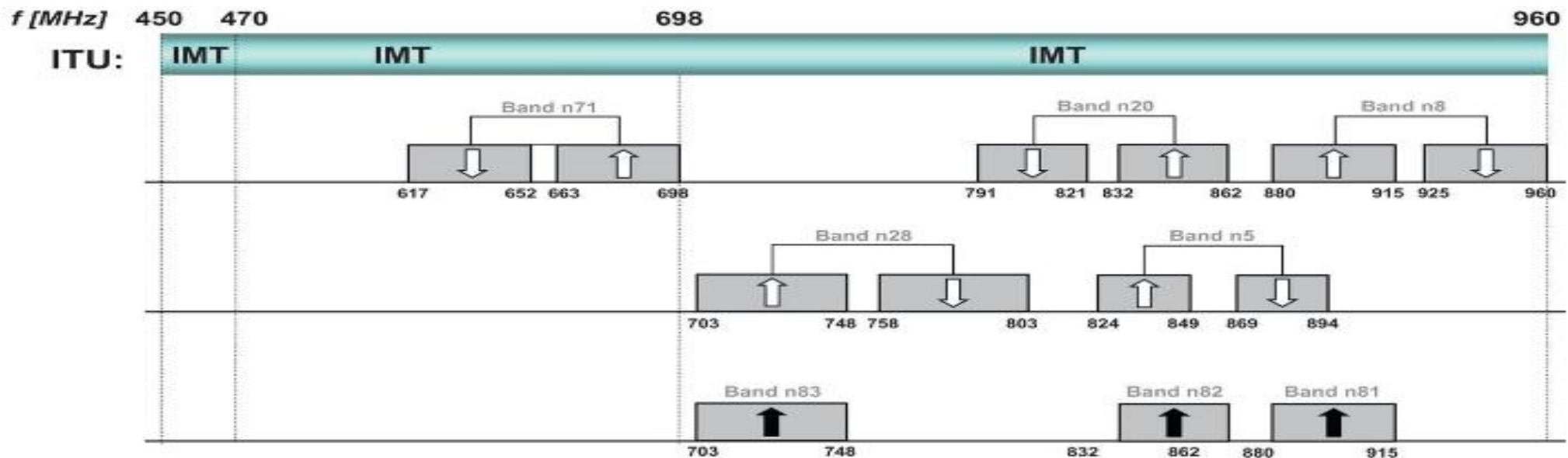


- Na versão 15, as bandas operacionais na faixa de frequência 1 estão na faixa n1 a n84, conforme mostrado na Tabela 3.1
- As bandas na faixa de frequência 2 estão na faixa de n257 a n260, conforme mostrado na Tabela 3.2.
- Todas as bandas para NR estão resumidas nas Figs. 3.2, 3.3 e 3.4, que também mostram a alocação de frequência correspondente definida pelo ITU-R.

NR Band	Uplink Range (MHz)	Downlink Range (MHz)	Duplex Mode	Main Region(s)
n1	1920–1980	2110–2170	FDD	Europe, Asia
n2	1850–1910	1930–1990	FDD	Americas (Asia)
n3	1710–1785	1805–1880	FDD	Europe, Asia (Americas)
n5	824–849	869–894	FDD	Americas, Asia
n7	2500–2570	2620–2690	FDD	Europe, Asia
n8	880–915	925–960	FDD	Europe, Asia
n20	832–862	791–821	FDD	Europe
n28	703–748	758–803	FDD	Asia/Pacific
n38	2570–2620	2570–2620	TDD	Europe
n41	2496–2690	2496–2690	TDD	US, China
n50	1432–1517	1432–1517	TDD	
n51	1427–1432	1427–1432	TDD	
n66	1710–1780	2110–2200	FDD	Americas
n70	1695–1710	1995–2020	FDD	
n71	663–698	617–652	FDD	Americas
n74	1427–1470	1475–1518	FDD	Japan
n75	N/A	1432–1517	SDL	Europe
n76	N/A	1427–1432	SDL	Europe
n77	3300–4200	3300–4200	TDD	Europe, Asia
n78	3300–3800	3300–3800	TDD	Europe, Asia
n79	4400–5500	4400–5500	TDD	Asia
n80	1710–1785	N/A	SUL	
n81	880–915	N/A	SUL	
n82	832–862	N/A	SUL	
n83	703–748	N/A	SUL	
n84	1920–1980	N/A	SUL	

# Table 3.2

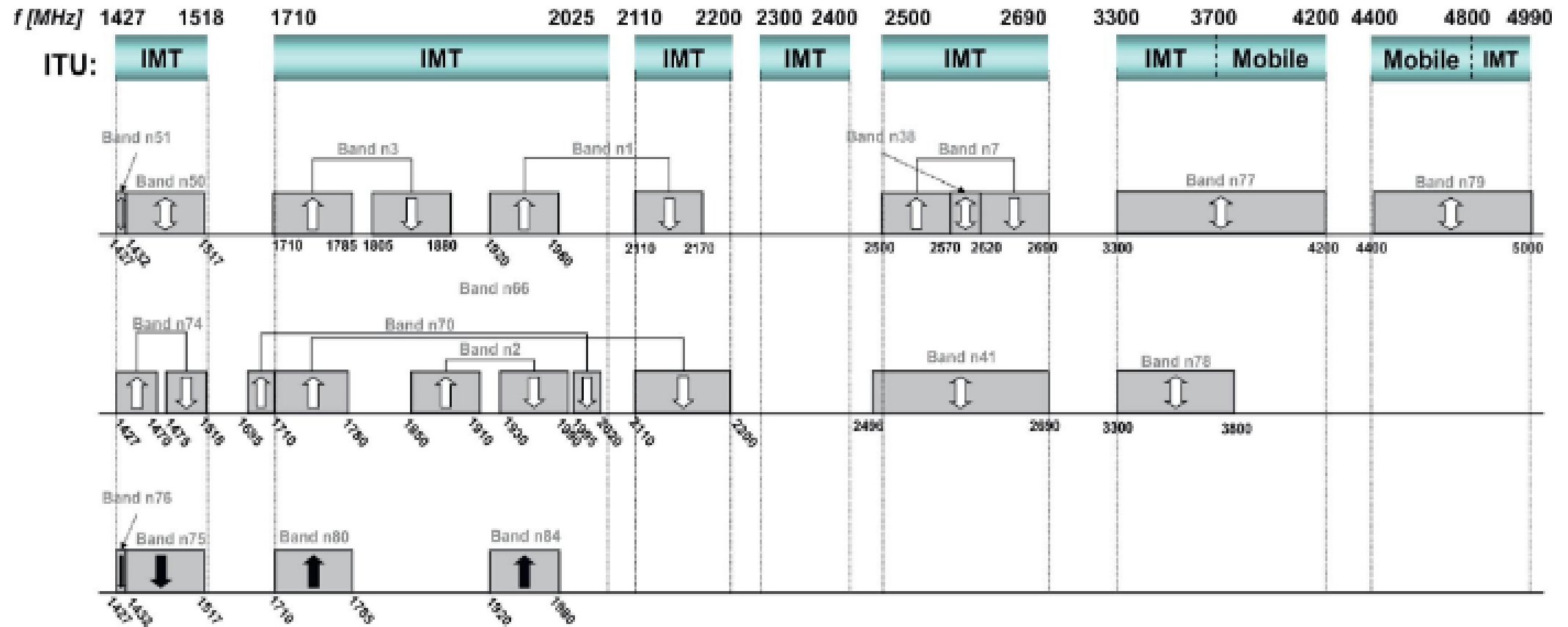
NR Band	Uplink and Downlink Range (MHz)	Duplex Mode	Main Region(s)
n257	26,500–29,500	TDD	Asia, Americas (global)
n258	24,250–27,500	TDD	Europe, Asia (global)
n259	37,000–40,000	TDD	US (global)



Legend:

Paired Uplink  
 Paired Downlink  
 Supplemental Uplink  
 Supplemental Downlink

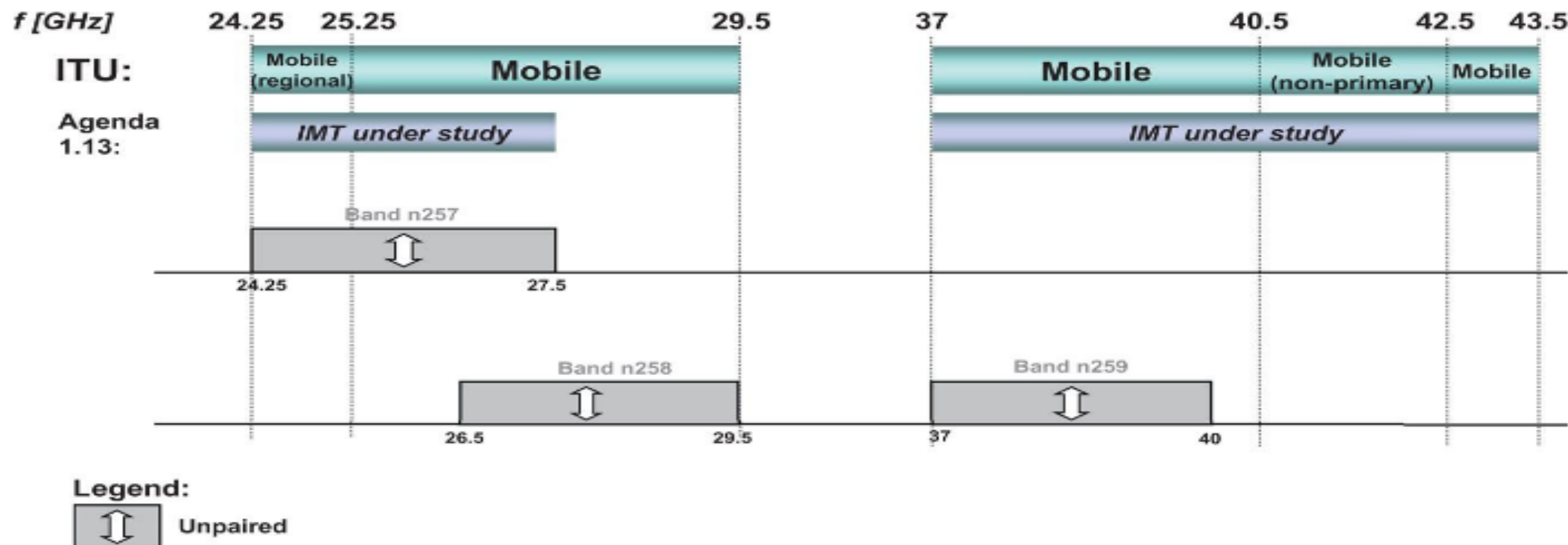
**FIGURE 3.2** Operating bands specified in 3GPP release 15 for NR below 1 GHz (in FR1), shown with the corresponding ITU-R allocation. Not fully drawn to scale.



Legend:



**FIGURE 3.3** Operating bands specified in 3GPP release 15 for NR between 1 GHz and 6 GHz (in FR1), shown with the corresponding ITU-R allocation. Not fully drawn to scale.



**FIGURE 3.4** Operating bands specified in 3GPP release 15 for NR above 24 GHz (in FR2), shown with the corresponding ITU-R allocation, also indicating which parts are for study for IMT under agenda item 1.13. Not fully drawn to scale.

- Algumas das bandas de frequência estão parcialmente ou totalmente sobrepostas. Na maioria dos casos, isso é explicado por diferenças regionais na forma como as faixas definidas pelo ITU-R são implementadas. Ao mesmo tempo, um alto grau de comunalidade entre as bandas é desejado para permitir o roaming global.

## 3.3 RF Exposure Above 6 GHz

- Com a expansão das faixas de frequência das comunicações móveis 5G para bandas acima de 6 GHz, as regulamentações existentes sobre a exposição humana a campos eletromagnéticos de RF (EMFs) podem restringir a potência máxima de saída dos dispositivos do usuário a níveis significativamente inferiores aos permitidos para frequências mais baixas.
- Para estar em conformidade com os limites de exposição ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation) nas frequências mais altas, a potência de transmissão pode ter que ser até 10 dB abaixo dos níveis de potência usados para as tecnologias celulares atuais. Os limites de exposição acima de 6 GHz parecem ter sido estabelecidos com margens de segurança ainda maiores do que aquelas utilizadas em frequências mais baixas, e sem qualquer justificativa científica óbvia.

# Referências

- DAHLMAN, Erik; PARKVALL, Stefan; SKOLD, Johan. **5G NR: The next generation wireless access technology**. Academic Press, 2020.

O universo é  
uma harmonia  
de contrários.

Pitágoras



PENSADOR

