



***Centro de
Referência em
Radiocomunicações***

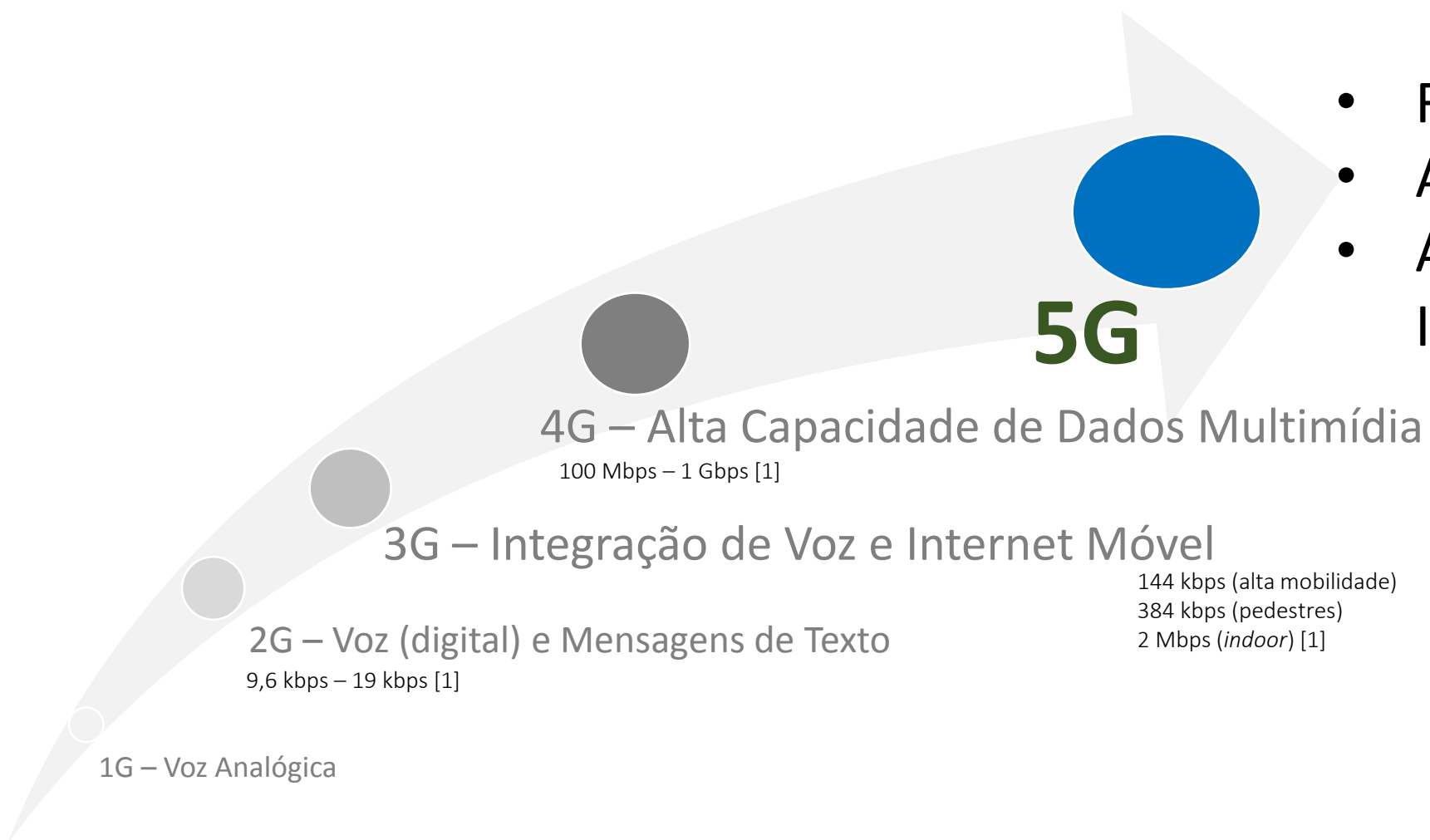
A 5ª Geração Móvel e o Futuro da Internet

1. INTRODUÇÃO

1.Introdução

- Evolução das gerações.
- Quando?
- Cenários atuais e futuros para comunicações móveis.
- Contexto.
- O que motivou o 5G.
- O que será o 5G segundo a ITU.
- 5G x LTE-A.
- Aspectos importantes.

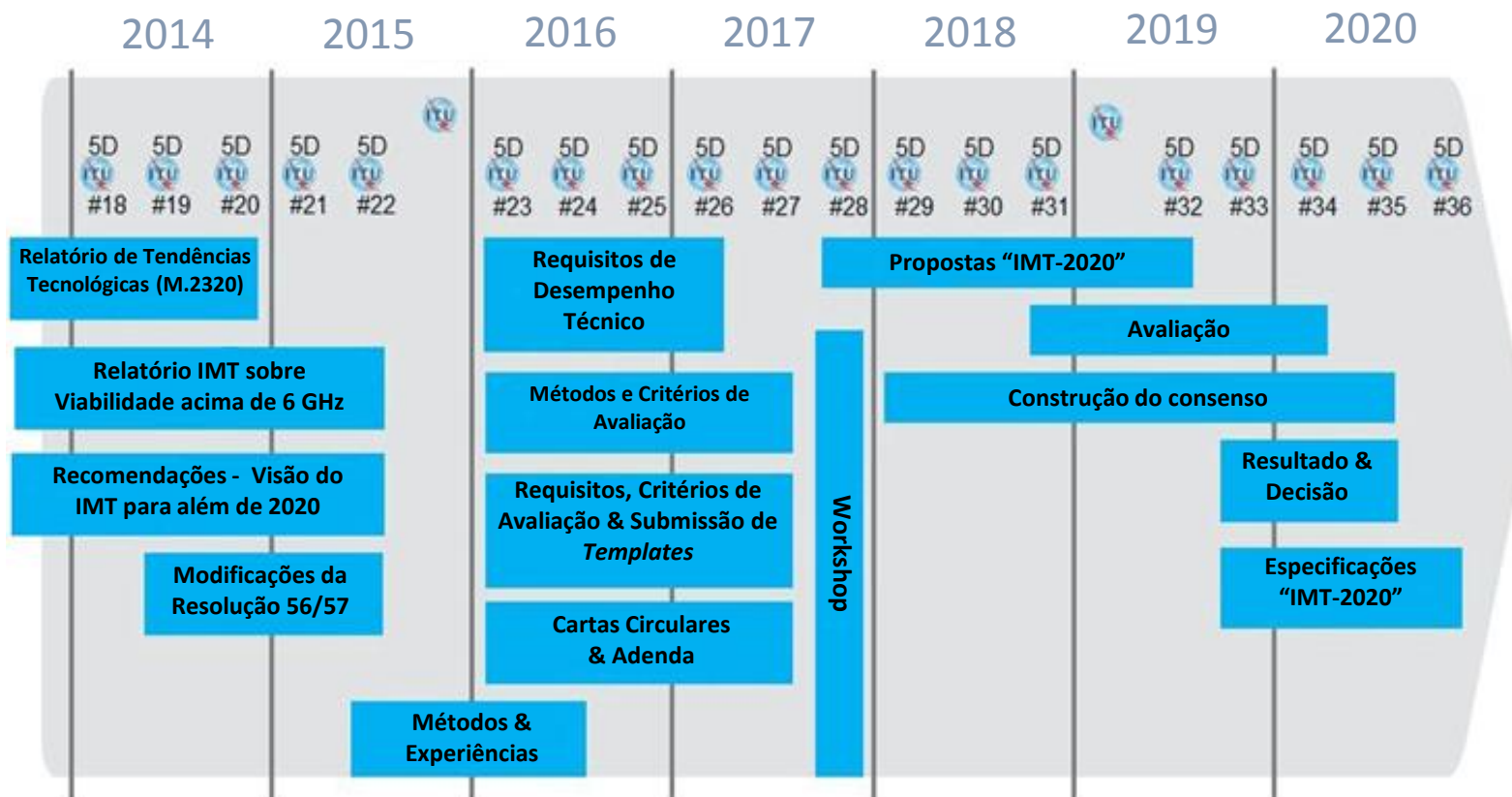
Evolução das gerações



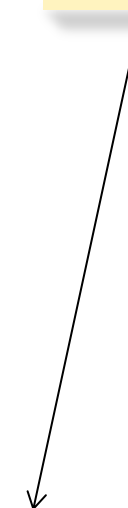
- Flexibilidade
- Altíssima capacidade
- Aplicações Inovadoras – Internet táctil, *IoT* e *M2M*

Quando?

Linha do Tempo Detalhada & Processo para IMT-2020



WRC-15



Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

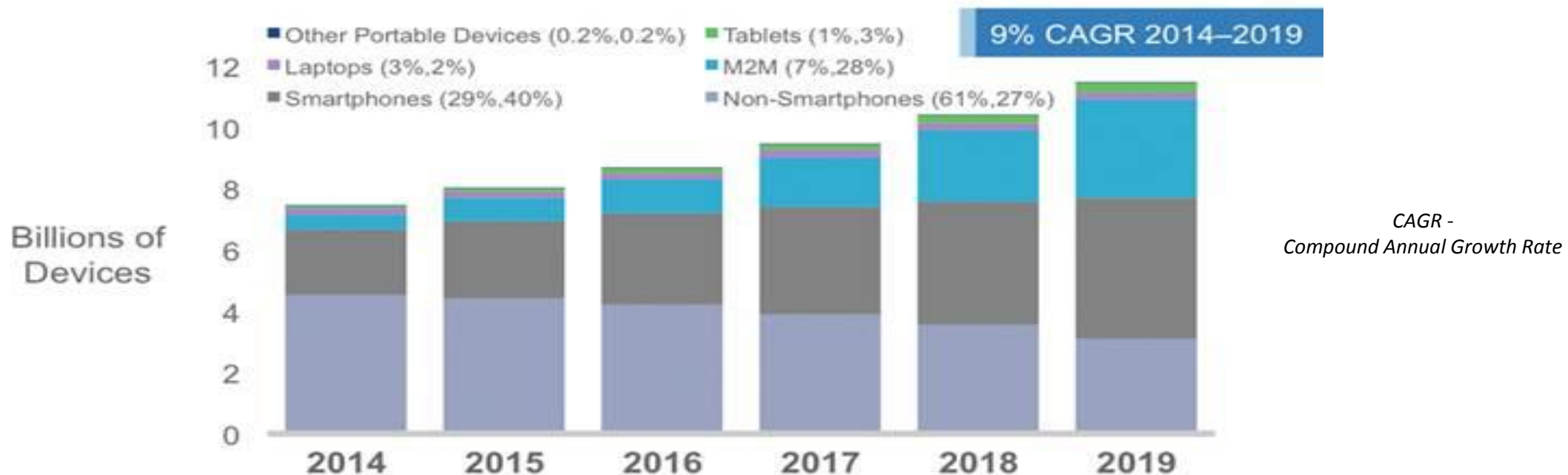
A tecnologia móvel tem mudado drasticamente a sociedade e a forma como nos comunicamos [2].

Temos observado o grande crescimento da tecnologia móvel nos últimos anos com a **popularização dos smartphones e tablets** e as previsões de crescimento para os próximos anos são realmente impressionantes.

A **CISCO** publica todos os anos a previsão de crescimento do volume de dados móveis através do **Visual Network Index – VNI** além de outros parâmetros como número de usuários móveis, números de dispositivos e etc.

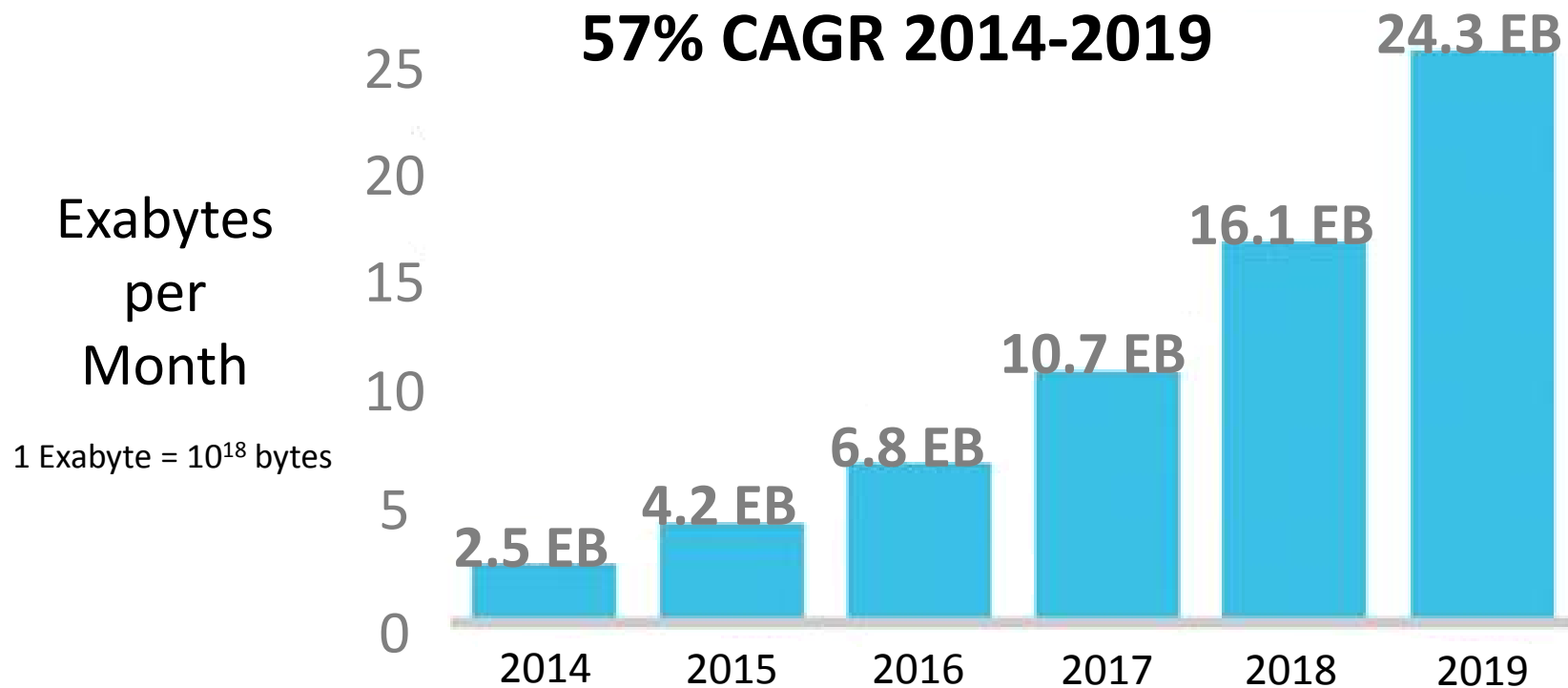
Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Evolução – número de dispositivos móveis



Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Evolução – tráfego de dados móvel global



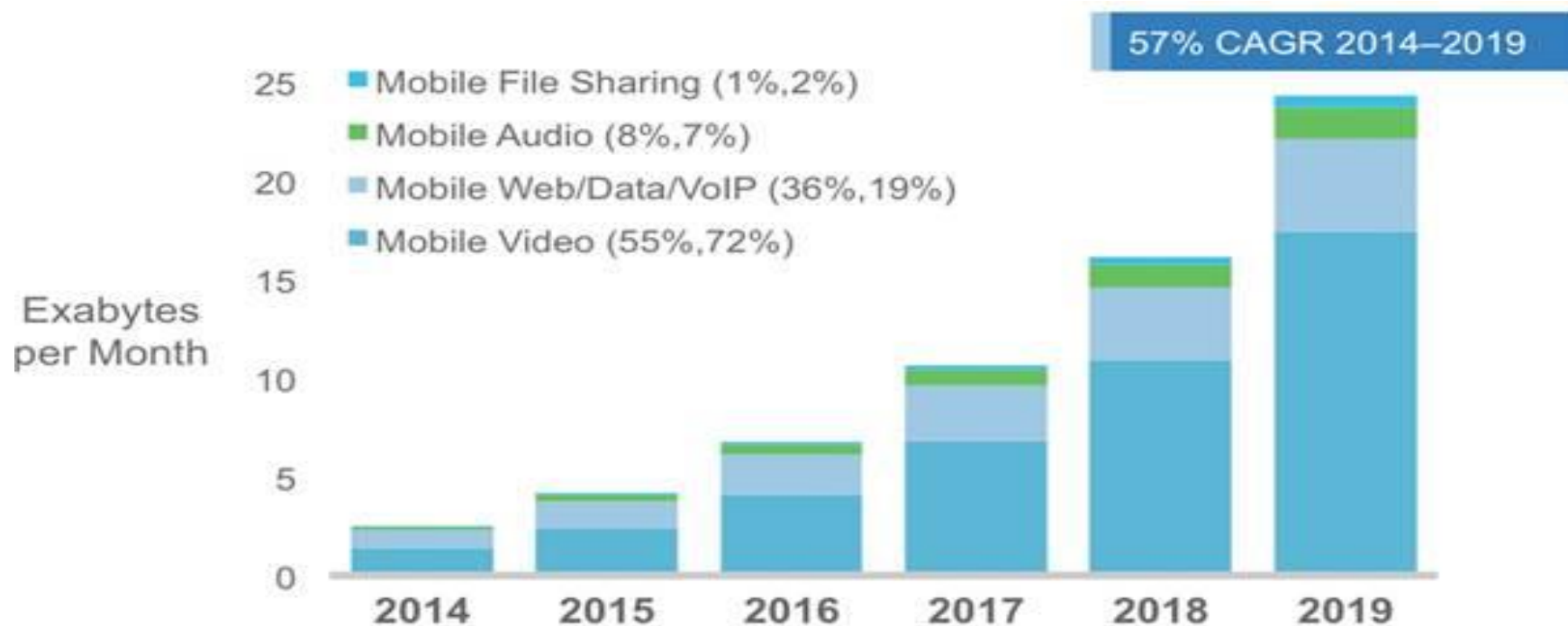
Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Perfil do tráfego



Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Evolução - perfil do tráfego



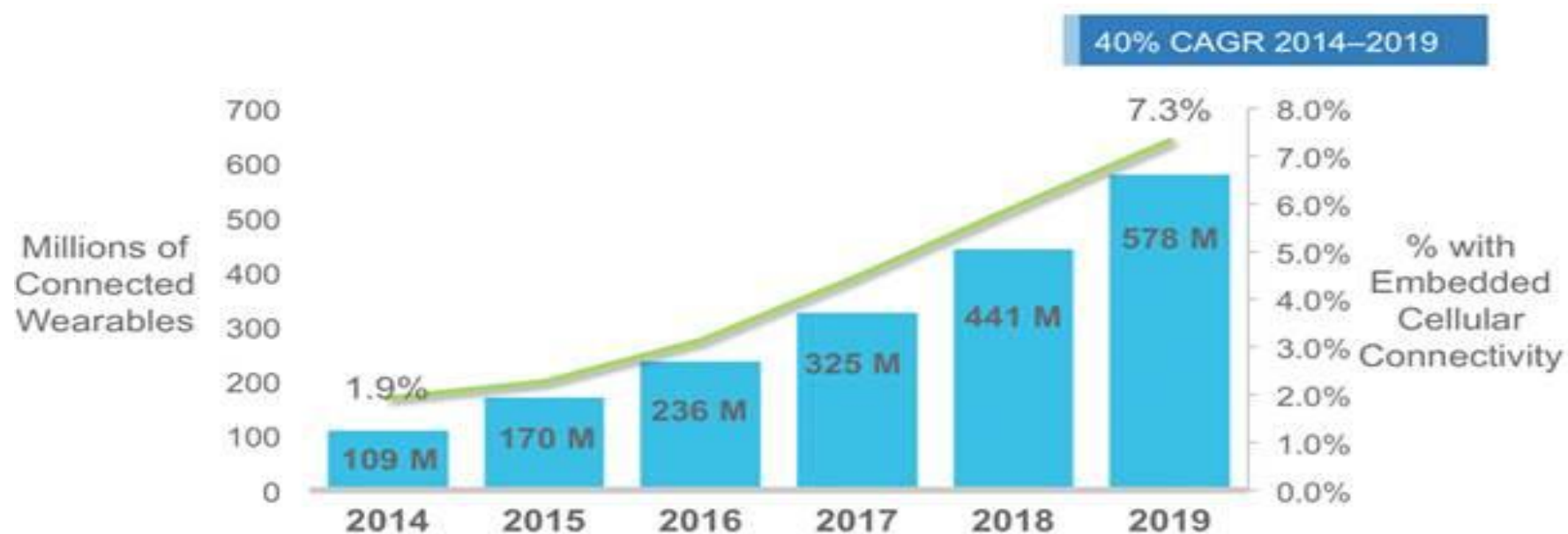
Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Evolução – conexões M2M



Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Evolução – wearables connections



Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Evolução – tráfego gerado por dispositivos wearables



Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Previsão para o número de usuários e dispositivos móveis

5,2 bilhões de usuários móveis em 2019.



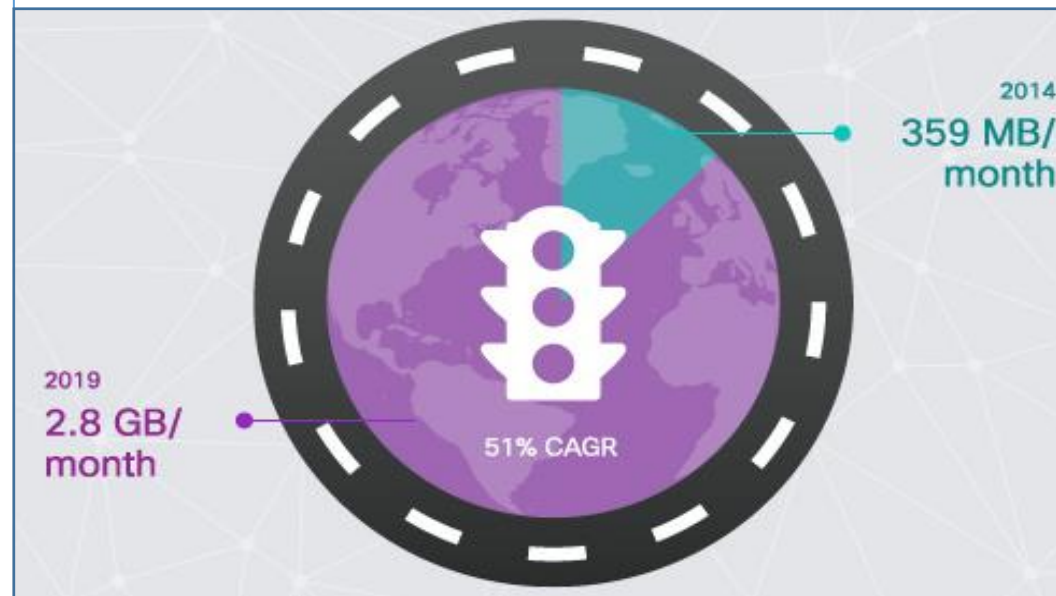
Mais de 11 bilhões de dispositivos móveis em 2019, aproximadamente 1,5 por pessoa em todo o mundo.



Cenários atuais e futuros para as comunicações móveis

Previsão da média de tráfego por dispositivo móvel

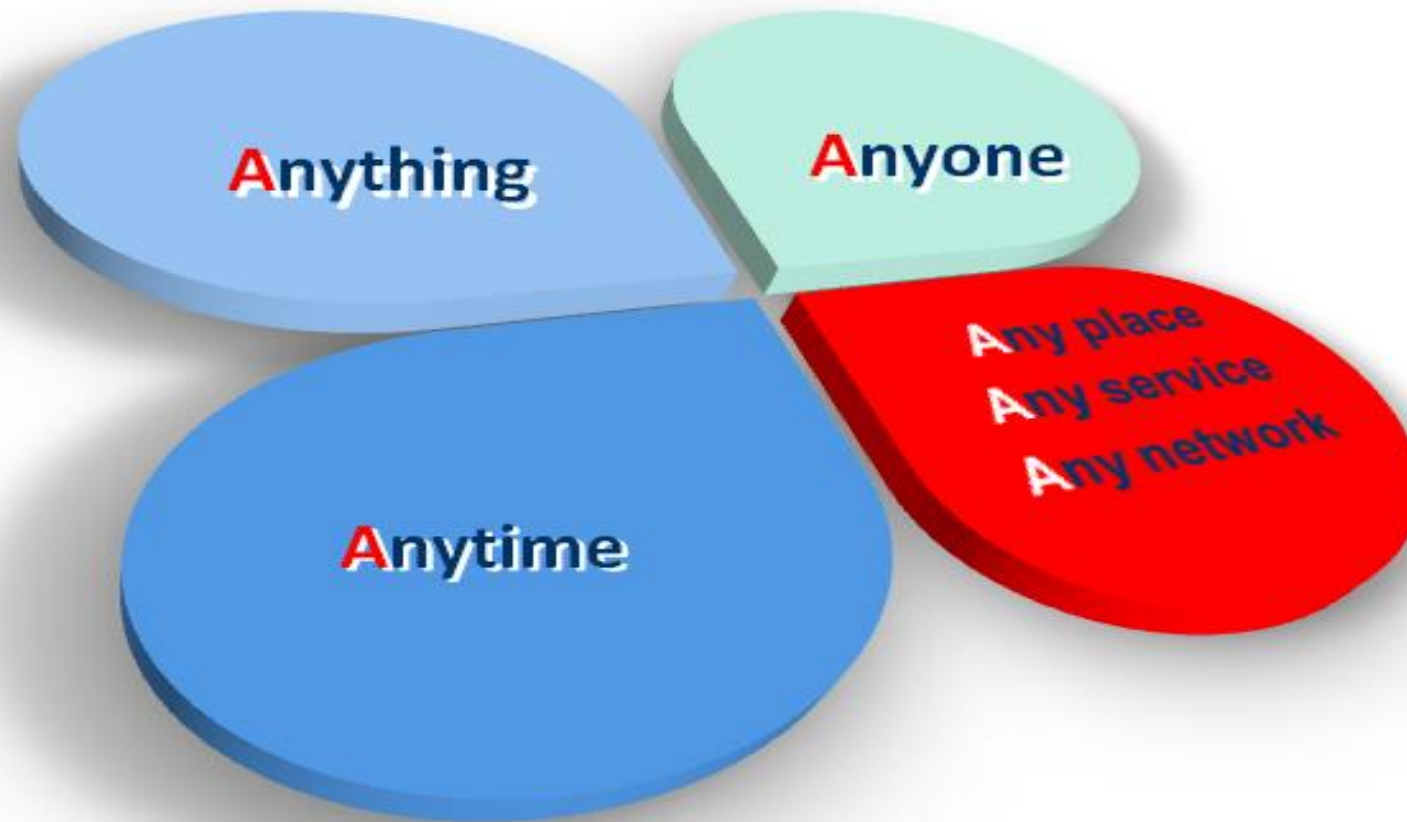
Para 2019, estima-se que o tráfego médio por dispositivo móvel será de 2,8 Gbytes por mês.
Em 2014, eram 359 Mbytes por mês.



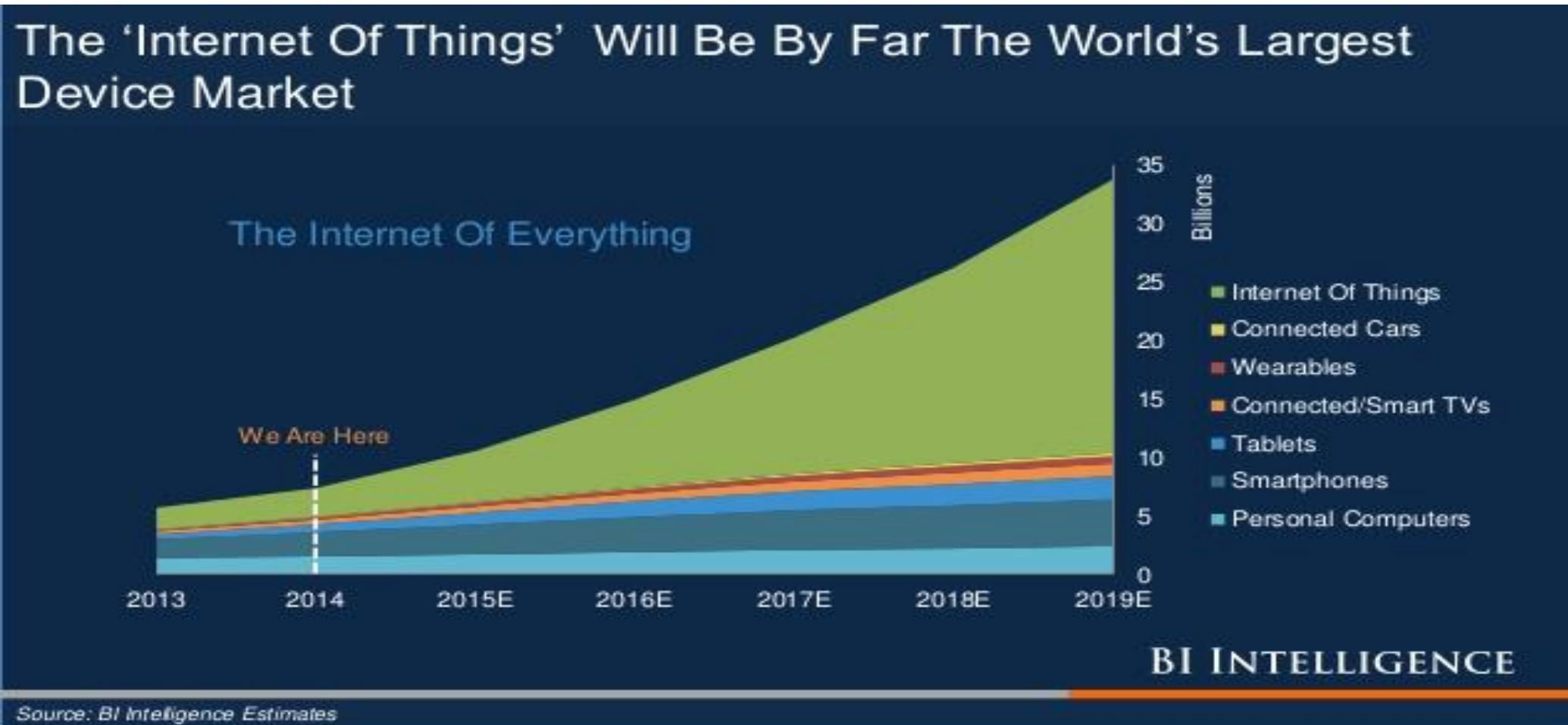
Contexto

IoT (Internet of Things) e IoE (Internet of Everything)

Connecting:

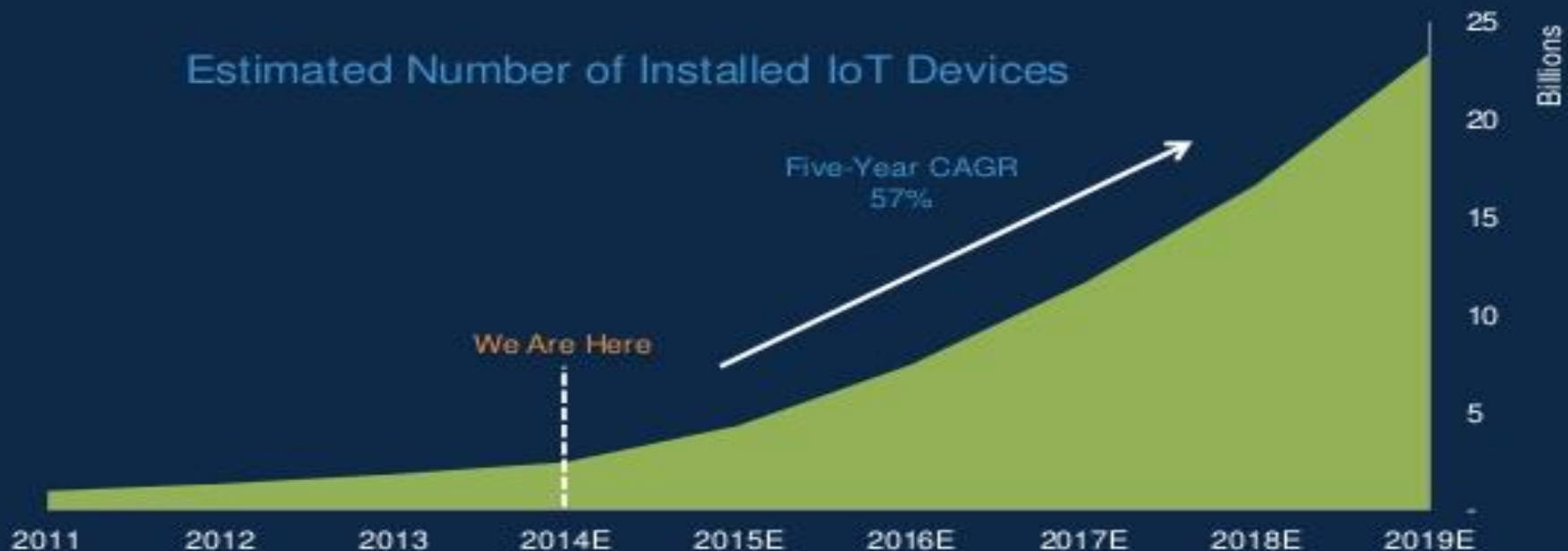


Contexto



It Includes All Those 'Things' That Formerly Weren't Connected

Estimated Number of Installed IoT Devices

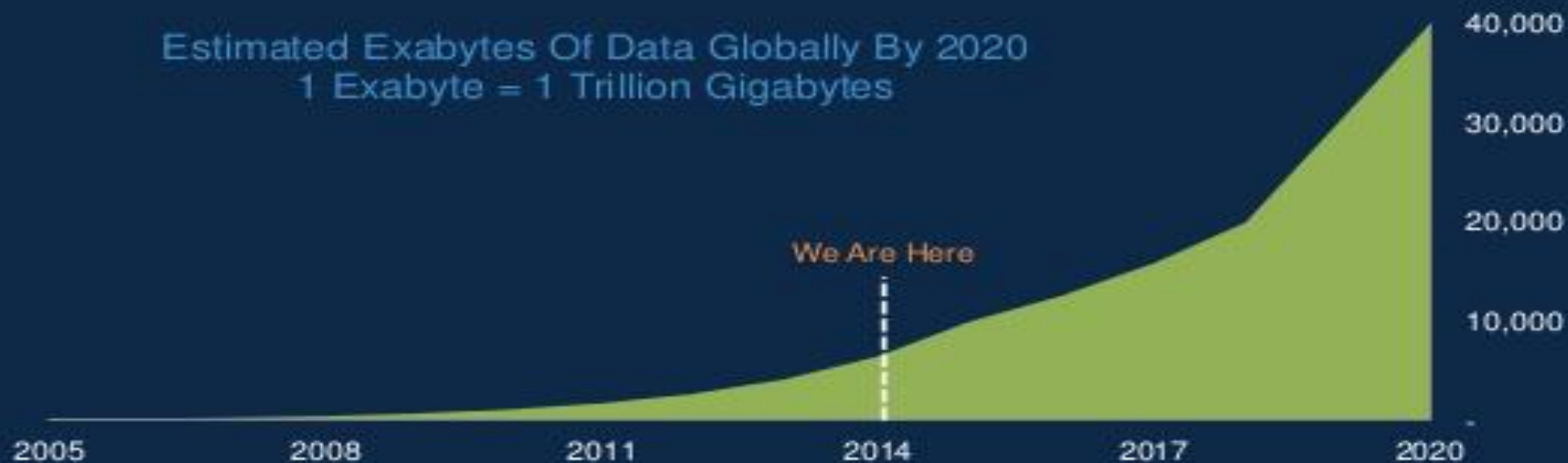


BI INTELLIGENCE

Source: BI Intelligence Estimates

... And Make Sense Of All The 'Big Data' The IoT Will Generate

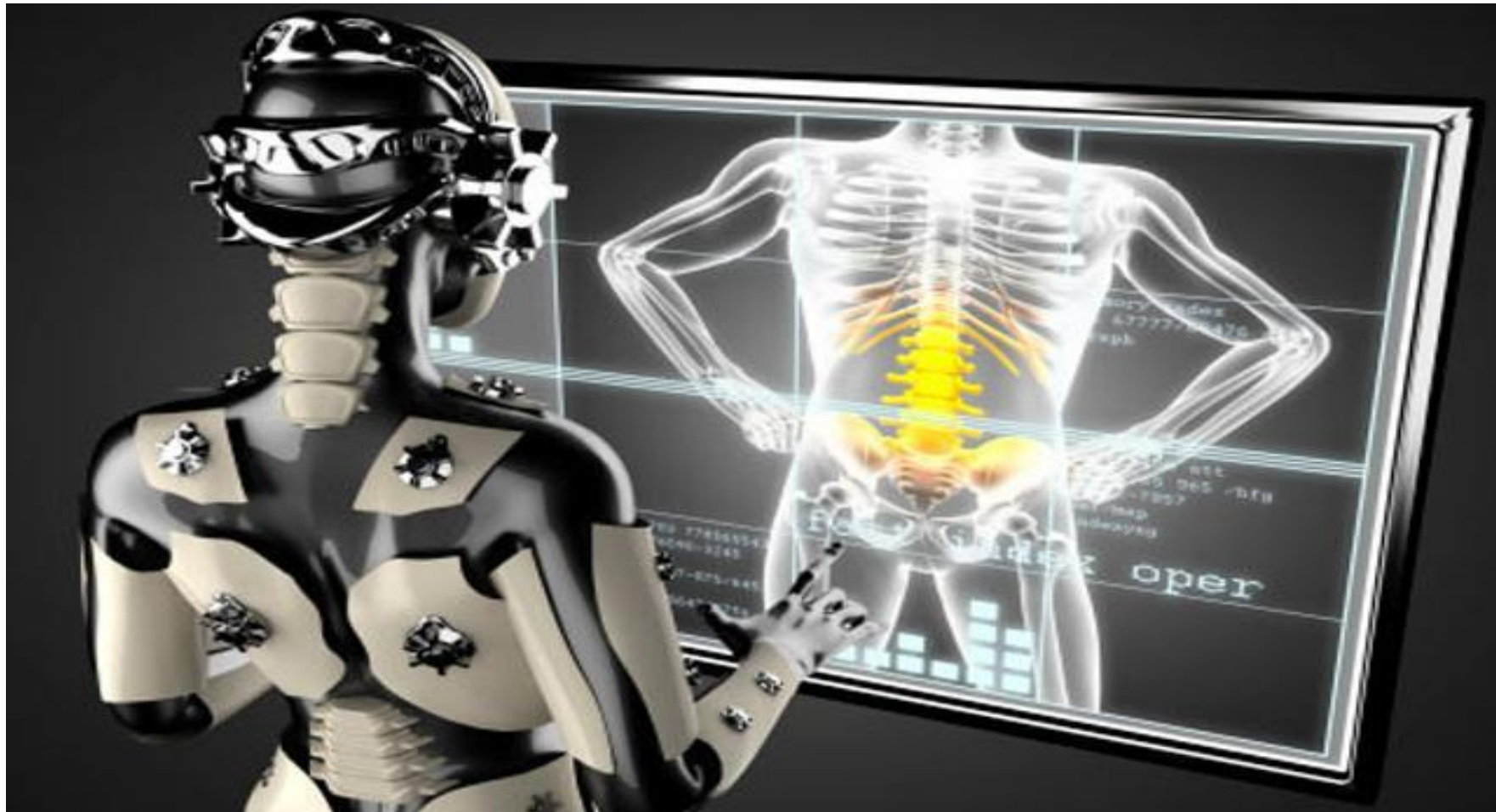
Estimated Exabytes Of Data Globally By 2020
1 Exabyte = 1 Trillion Gigabytes



BI INTELLIGENCE

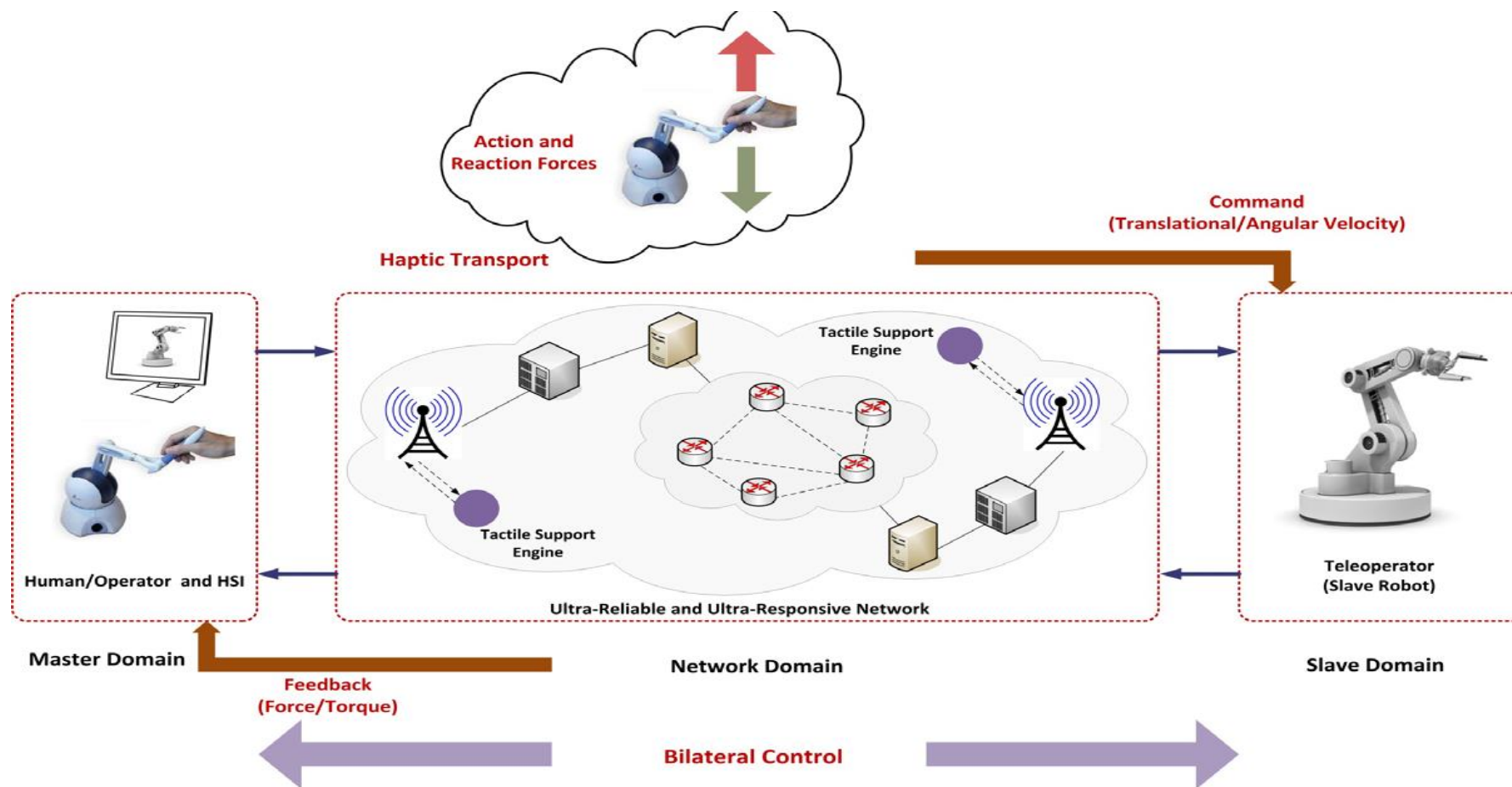
Source: IDC The Digital Universe, BI Intelligence Estimates

TACTILE INTERNET



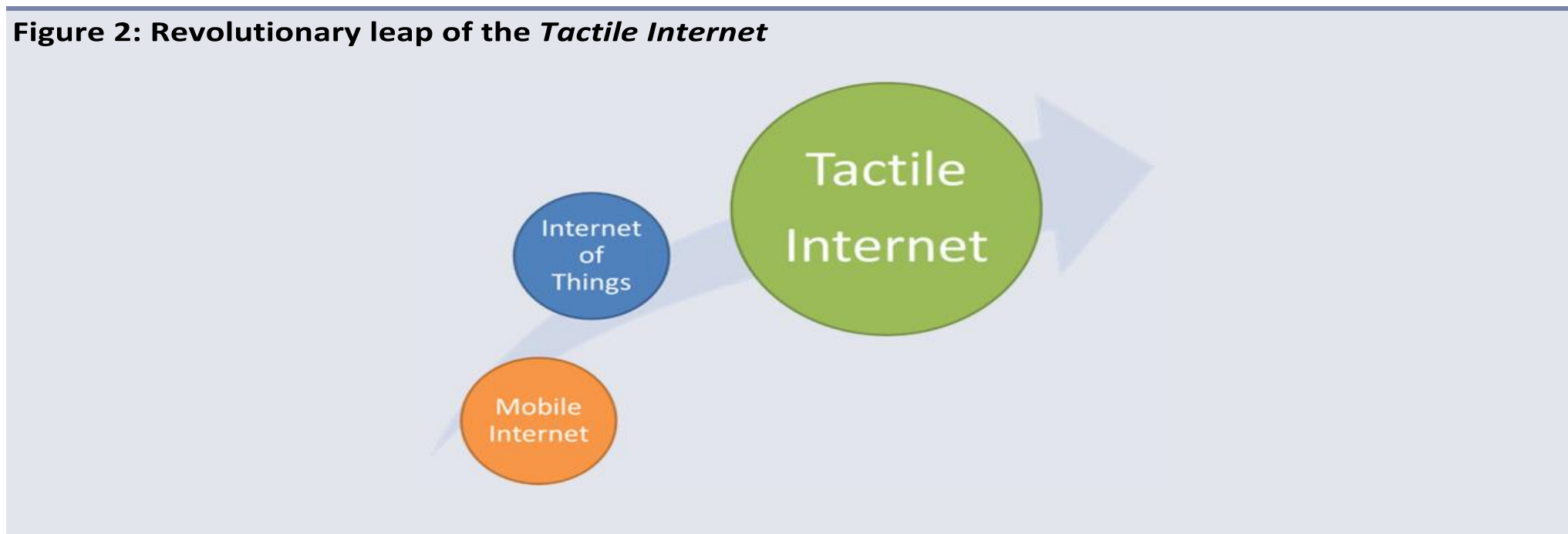
Contexto

TACTILE INTERNET



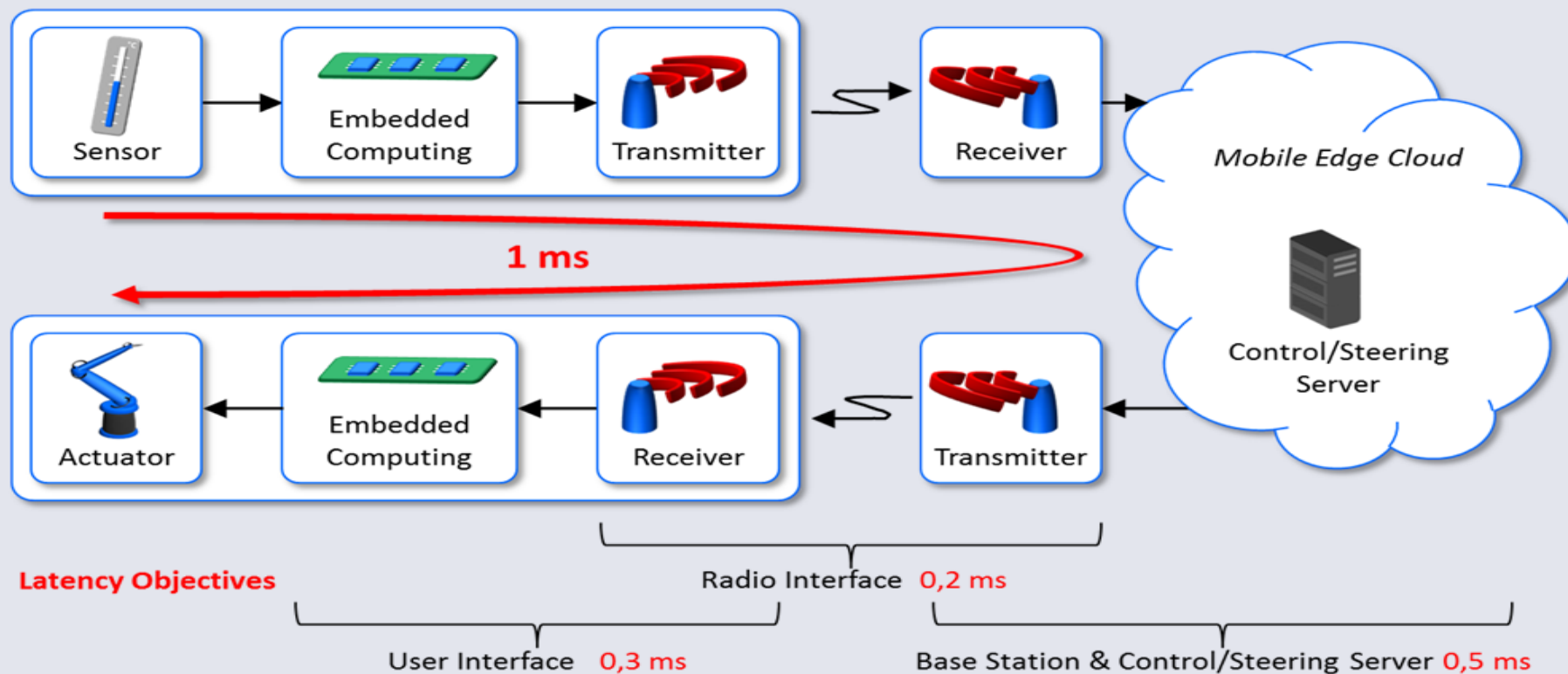
TACTILE INTERNET

Figure 2: Revolutionary leap of the *Tactile Internet*



TACTILE INTERNET

Figure 8: Exemplary latency budget of a system of the *Tactile Internet*⁸



Conclusões

- A evolução tecnológica resultou no aumento significativo e contínuo da capacidade de processamento, armazenamento, geração e de visualização de fotos e vídeos de alta resolução dos dispositivos móveis.
- O fenômeno das redes sociais e mudanças comportamentais colocaram o usuário comum na condição de gerador de tráfego (e não apenas consumidor de tráfego).
- O tráfego nas redes sem fio cresce exponencialmente e há demanda crescente por taxas de transmissão cada vez mais elevadas.
- *IoT, IoE, M2M e Tactile Internet* prometem aumentar de maneira inimaginável o número de dispositivos conectados (7 trilhões?) e, conseqüentemente, o tráfego na rede.
- Novas aplicações (Tactile Internet) demandam latência muito baixa (1ms), totalmente incompatível com as tecnologias atuais.

O que motivou o 5G?

- As redes atuais não suportam o incremento de tráfego e os novos serviços esperados para a próxima geração.



<http://orientadordigital.com/aumento-de-trafego-como-fazer-os-visitantes-retornarem-ao-seu-blog/>



<http://ipnews.com.br/ericsson-e-telefonica-firmam-parceria-para-desenvolver-5g/>

O que será o 5G segundo a ITU?

International Telecommunication Union – ITU

“Tem-se visto um aumento acentuado nos rumores da indústria relativo aos futuros passos para a tecnologia 5G com foco em uma sociedade perfeitamente conectada por volta de 2020 e além; que reúne pessoas juntamente com coisas, dados, aplicativos, sistemas de transporte e cidades em um ambiente de comunicações em rede inteligente.”

A identificação do ITU para a tecnologia 5G é IMT-2020.

O que será o 5G segundo a *ITU*?

A visão sobre as tendências para a tecnologia 5G, de acordo com a *ITU*, podem ser vistas nos três documentos a seguir:

- **Report ITU-R M.2320** – *Future technology trends of terrestrial IMT systems (November 2014)* [9].
- **Report ITU-R M.2376** – *Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz (July 2015)* [10].
- **Recommendation ITU-R M.2083** – *Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond (September 2015)* [11].

O que será o 5G segundo a *ITU*?

Report ITU-R M.2320 – *Future technology trends of terrestrial IMT systems (November 2014)* [9]

A fim de suportar as tendências do mercado e para se harmonizar com a explosão de tráfego móvel, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- **Vazão média:** deve aumentar dramaticamente;
- **Experiência do usuário:** deve ser pelo menos mantida independentemente da localização do usuário e condições de tráfego da rede;
- **Escalabilidade:** o número de terminais móveis por estação radiobase aumentará significativamente devido aos novos serviços como, *IoT* e *M2M*; 28

O que será o 5G segundo a *ITU*?

Report ITU-R M.2320 [9]

- **Latência:** a qualidade das experiências dos usuários pode ser muito melhorada, reduzindo a latência no estabelecimento da conexão e entrega dos pacotes;
- **Eficiência energética:** baixo consumo de energia tanto para rede como para os dispositivos móveis;
- **Eficiência dos custos:** necessidade de diminuir o CAPEX e OPEX para motivar a expansão e melhoria das redes além de reduzir o custo de uma assinatura móvel;
- **Flexibilidade:** topologia flexível juntamente com serviços sem fio complexos e integração com diferentes tecnologias de acesso via rádio (RAT);

O que será o 5G segundo a *ITU*?

Report ITU-R M.2320 [9]

- **Serviços não-tradicionais:** novos serviços esperados como vídeo móvel em alta definição, comunicação M2M, serviços baseados na localização, computação em nuvem;
- **Espectro:** mais espectro pode ser necessário para acomodação do grande aumento do tráfego móvel. Espera-se arranjos de frequência e compartilhamento com outros serviços. A harmonização do espectro pode reduzir o custo dos recursos de tecnologia.

O que será o 5G segundo a ITU?

Recommendation ITU-R M.2083-0 – IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond (September 2015) [11]

Fornecerá recursos muito mais avançados do que o IMT-2000 (*Recommendation ITU-R M.1645*). Ampla diversidade de aplicações intimamente ligados com cenários distintos. Oito parâmetros são considerados essenciais para o desenvolvimento do IMT-2020. Estes são apresentados a seguir.

O que será o 5G segundo a *ITU*?

Recommendation *ITU-R M.2083-0 [11]*

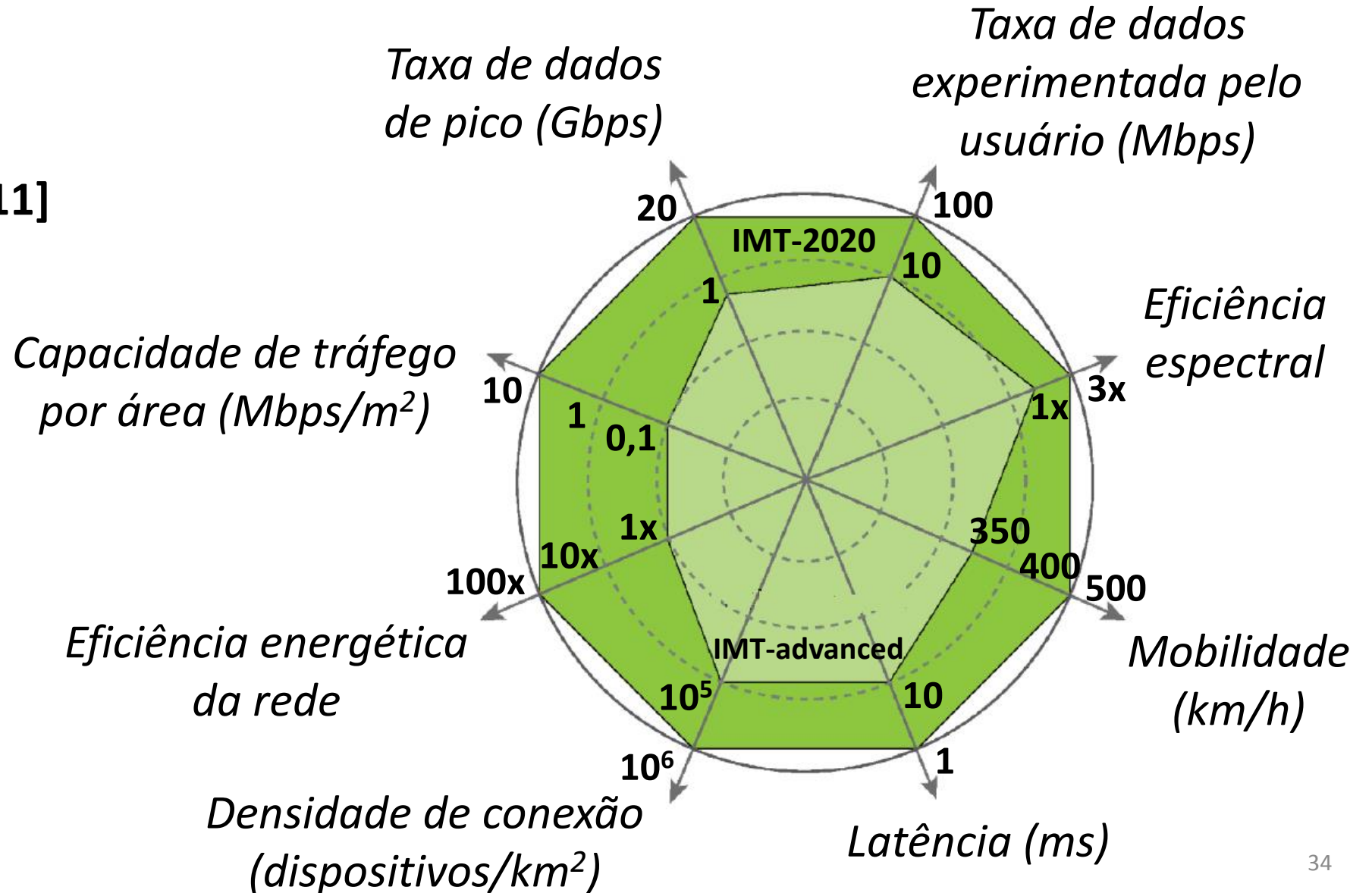
Oito parâmetros são considerados como **requisitos** estratégicos para o desenvolvimento do 5G:

1. Taxa de dados de pico
2. Taxa de dados experimentada pelo usuário
3. Latência
4. Mobilidade
5. Densidade de conexão
6. Eficiência energética
7. Eficiência espectral
8. Capacidade de tráfego por área

- Em comparação com o 4G (*Long Term Evolution - Advanced*) espera-se [1][4][8][21]:
 - Aumentar em 1000 vezes o volume de dados por área.
 - Aumentar de 10 a 100 vezes a taxa de dados para o usuário.
 - Aumentar de 10 a 100 vezes o número de dispositivos conectados.
 - Aumentar em 10 vezes o tempo de duração da bateria dos dispositivos móveis.
 - Diminuir em 5 vezes a latência.
- Espera-se alcançar a taxa de 1Gbps em redes ultra densas [3][6].
- Banda larga móvel onipresente [7].

5G x LTE-A

Recommendation
ITU-R M.2083-0 [11]



Aspectos importantes

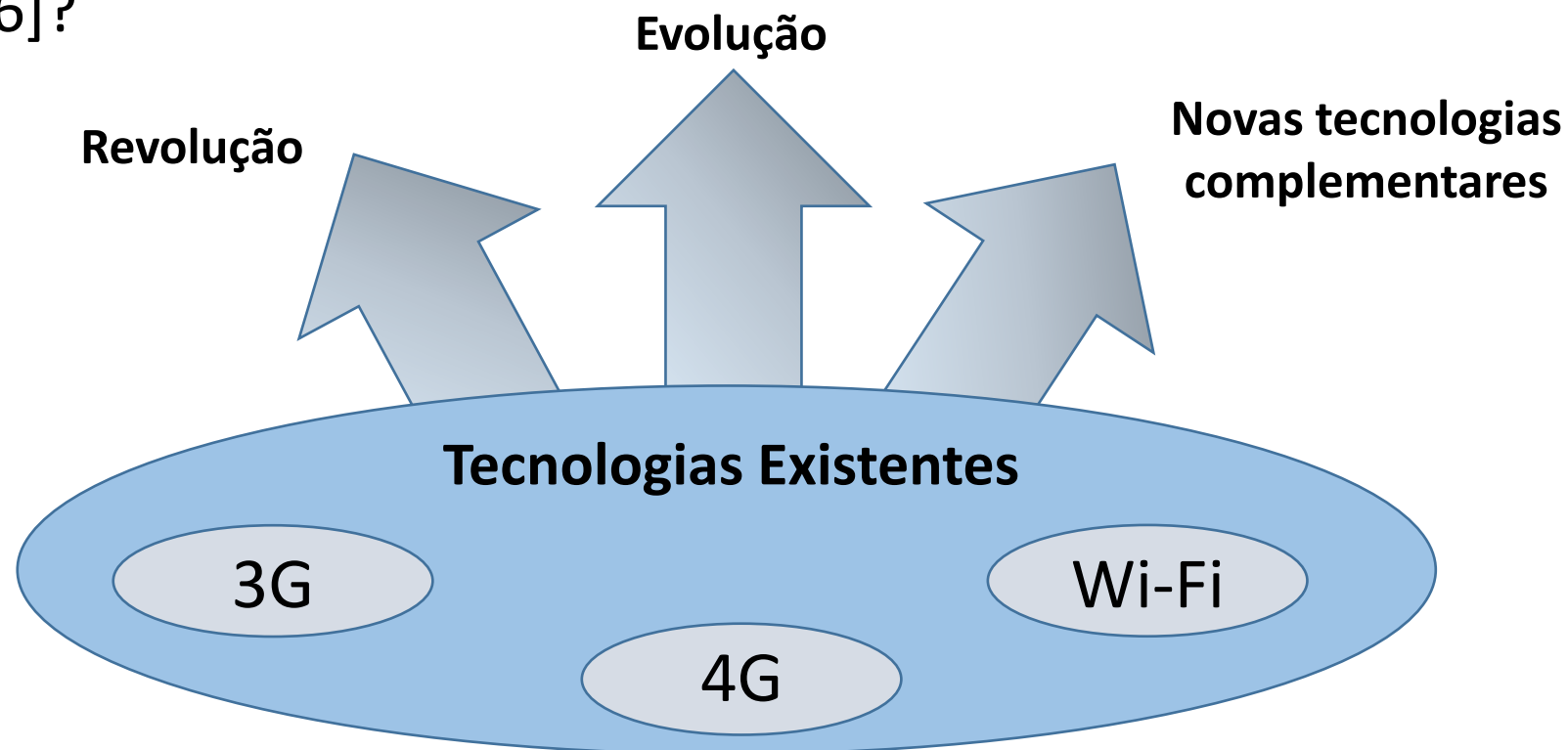
- Atualmente há diversos estudos voltados para a definição de um padrão internacional de tecnologia móvel 5G [3][7][12].
- Ainda não há um consenso sobre um prazo para as definições de um padrão, contudo alguns estudos mostram o ano de **2020 como um marco para o 5G** [3][4][13][14].



Especificações do padrão devem ficar prontas em 2020.

Aspectos importantes

- A tecnologia 5G será desenvolvida através da integração das técnicas de acesso existentes ou apontará para uma verdadeira revolução dessas tecnologias [4][15][16]?



Aspectos importantes

- Algumas aplicações já estão sendo estudadas no LTE-A por exemplo transmissão *broadcasting eMBMS – Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service* [20], células pequenas [3][4][16][17][18], comunicação *Device to Device – D2D* [15][16][17], *Machine to Machine – M2M* [16][19], computação em nuvem [3][4][15][19] e etc.

2. CENÁRIOS x REQUISISTOS x APLICAÇÕES

2. Cenários x Requisitos x Aplicações

- Cenários.
 - 1 – Alta vazão.
 - 2 – Baixa latência.
 - 3 – Comunicação entre máquinas.
 - 4 – Acesso em áreas remotas.
- Requisitos x Cenários.
- Requisitos x Cenários x Aplicações.

Cenários

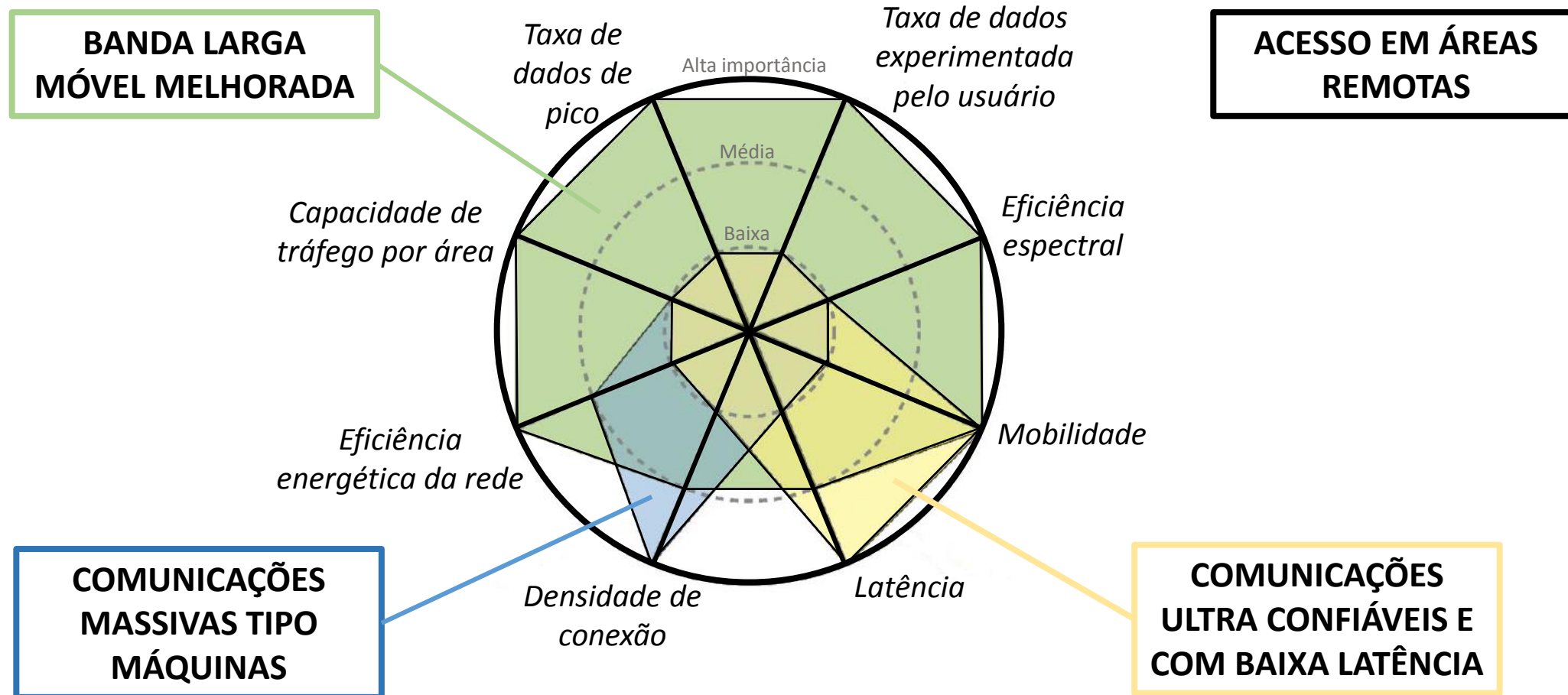
Grandes **esforços** estão sendo tomados em várias vertentes das telecomunicações em prol da realização das redes 5G [3][4].

Espera-se uma **grande diversidade de aplicações** que estão associadas a pelo menos um dos **quatro cenários** a seguir [5]:

1. *Alta vazão*
2. *Baixa latência*
3. *Comunicação entre máquinas*
4. *Acesso em áreas remotas*

Requisitos x Cenários

Recommendation ITU-R M.2083-0 [11]



Requisitos x Cenários x Aplicações



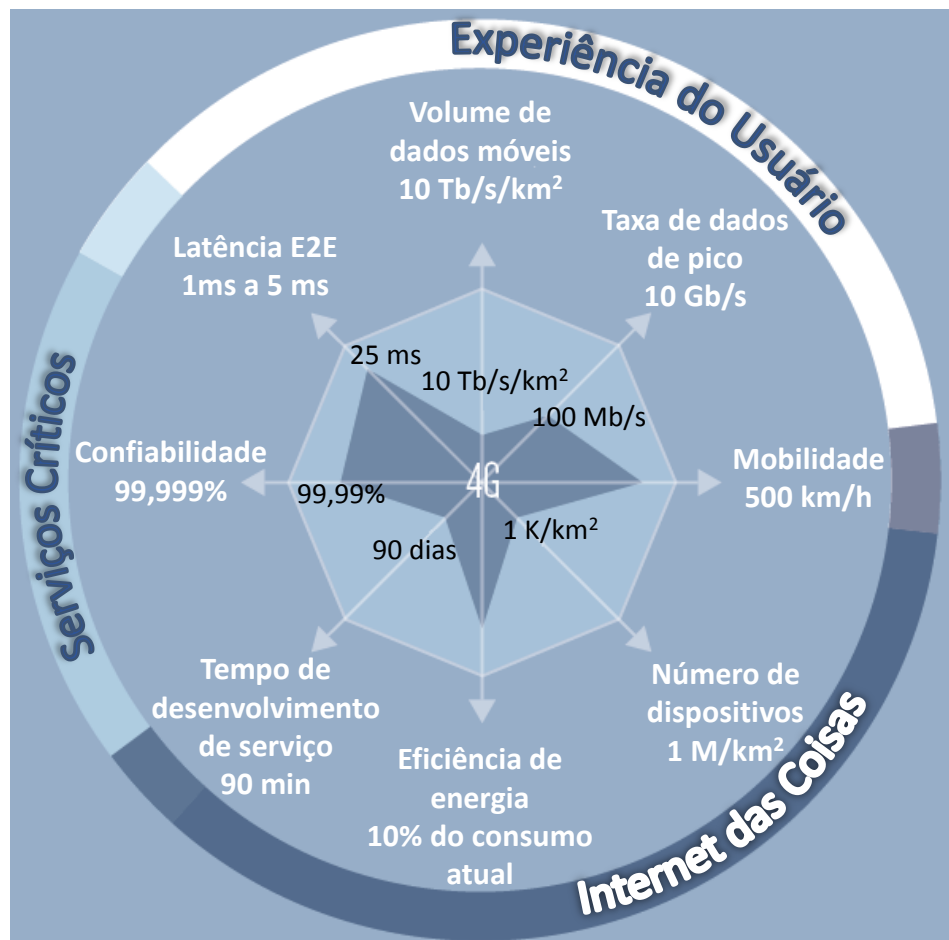
3. GRUPOS DE PESQUISA

Grupos de Pesquisa

- **Financiados pelo FP7 - Seventh Framework Programme.**
 - ✓ **METIS** - Mobile and wireless communications Enabler for the Twenty-twenty Information Society.
 - ✓ **Outros grupos.**
- **5G PPP** – The 5G Infrastructure Public Private Partnership.
- **4G Américas.**
- **5GMF** – The Fifth Generation Mobile Communication Promotion Group.

- **O 5G-Infrastructure-PPP** é um projeto europeu que congrega:
 - ✓ Indústrias de TIC europeias
 - ✓ Comissão europeia
- **Objetivo:** repensar a infraestrutura e criar uma nova geração de redes de comunicação e serviços que proverá conectividade super rápida e ubíqua, com entrega de serviços sem interrupção em todas as circunstâncias.

O que será o 5G segundo o 5G-PPP?



- Garantia de taxa por usuário \geq **50 Mb/s**
- Terminais móveis orientado para o homem \geq **20 bilhões**
- Terminais *IoT* \geq **1 trilhão**
- Precisão de localização do terminal \leq **1 metro**

O que será o 5G segundo o 5G-PPP?



O documento “*5G-PPP Pre-standardisation Working Group*” apresenta o processo de padronização do 5G que se dará em 3 fases [22]:

1. 2015-2016 → fase de discussão sobre o que será o 5G;
2. 2017-2018 → fase de especificação das características do 5G;
3. 2018-2019 → fase de especificação da tecnologia.

Questões fundamentais para 2015-2016 [22]

1. Definição dos cenários

- 1. Melhorar o acesso banda larga móvel
- 2. Comunicação massivas M2M
- 3. Comunicações ultra confiáveis e baixa latência

2. Modelagem do canal

- Assunto já em pesquisa entre os pesquisadores inclusive para utilização do espectro acima de 6 GHz.

Questões fundamentais para 2015-2016 [22]

3. Tecnologias de Acesso

- Nova portadora
- Nova forma de onda/numerologia
- MIMO massivo
- Técnicas para redução da latência
- Comunicação em ondas milimétricas (*mmWaves*)
- Múltiplo acesso não-ortogonal
- Estrutura de quadro adaptativo/flexível
- Virtualização de célula (*C-RAN*)
- Centralização no usuário (*NFV*, divisão da rede, *RAN virtualization*)
- Redes ultradensas
- MIMO avançado/*beamforming*

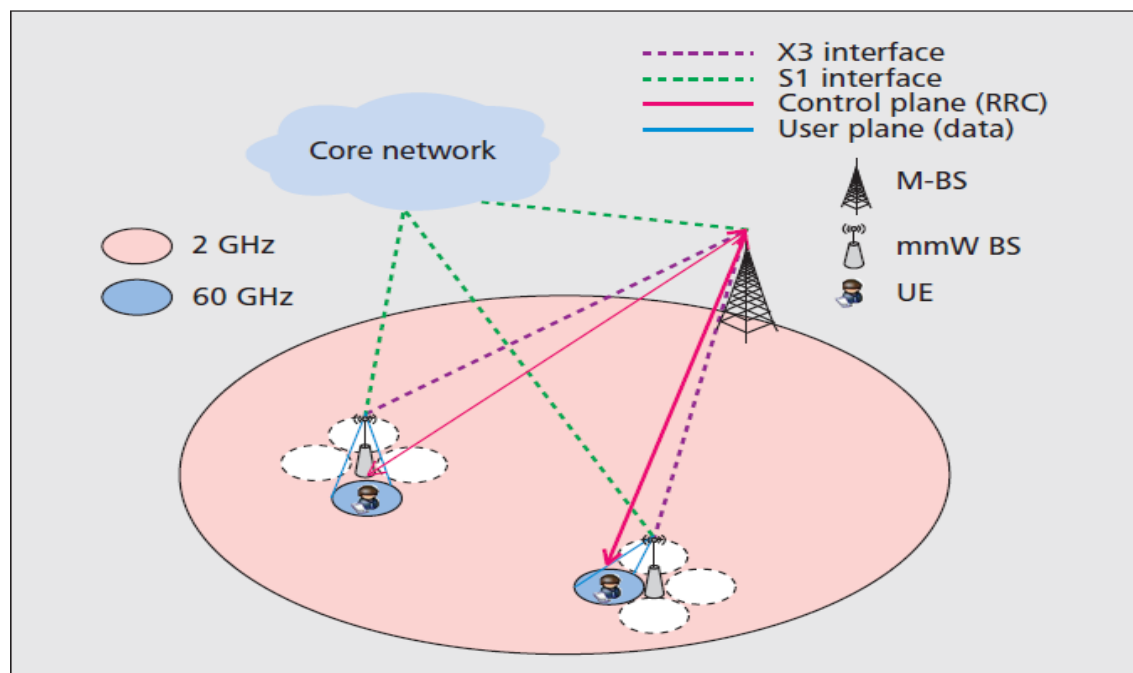
Questões fundamentais para 2015-2016 [22]

3. Tecnologias de Acesso

- TDD dinâmico
- Redução do *broadcasting* da rede (período de não transmissão de dados)
- Duplex flexível
- *Uplink/Downlink* simétrico (ex. MC-OFDM)
- *D2D*
- Células pequenas
- Comunicação em malha sem fio (*D2D*)

Utilização de frequências mais altas em *SHF – Super High Frequency* e *EHF – Extremely High Frequency (Millimeter Waves – mm Waves)*

O artigo [6] ainda apresenta uma arquitetura de rede e avaliação de desempenho para a rede de acesso:



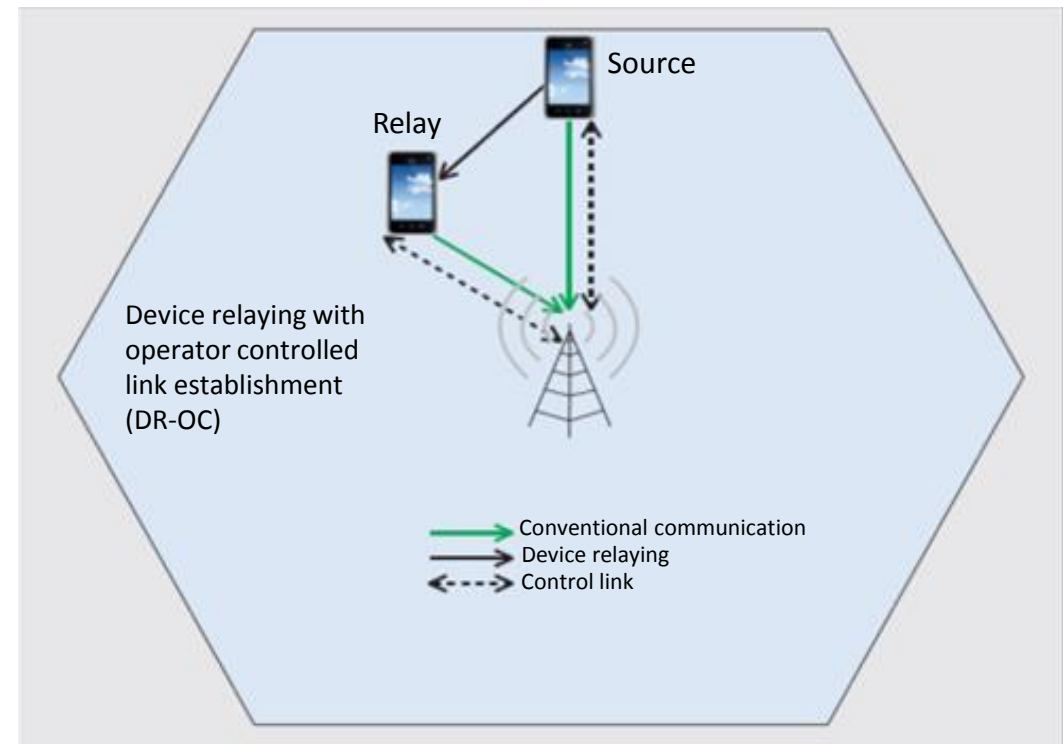
Arquitetura híbrida para a rede de acesso [6].

- O *3GPP Rel-12* mostra uma interface (chamada X3) que habilitará a macro célula a gerenciar as pequenas células *mmWave*.
- A macro célula poderia desligar as células *mmWave* e auxiliar o gerenciamento dos recursos de rádio para atenuar a interferência entre as células.

Comunicação *Device-to-Device* – D2D

DR-OC: Dispositivo retransmitindo com o estabelecimento do link controlado pela operadora [37]

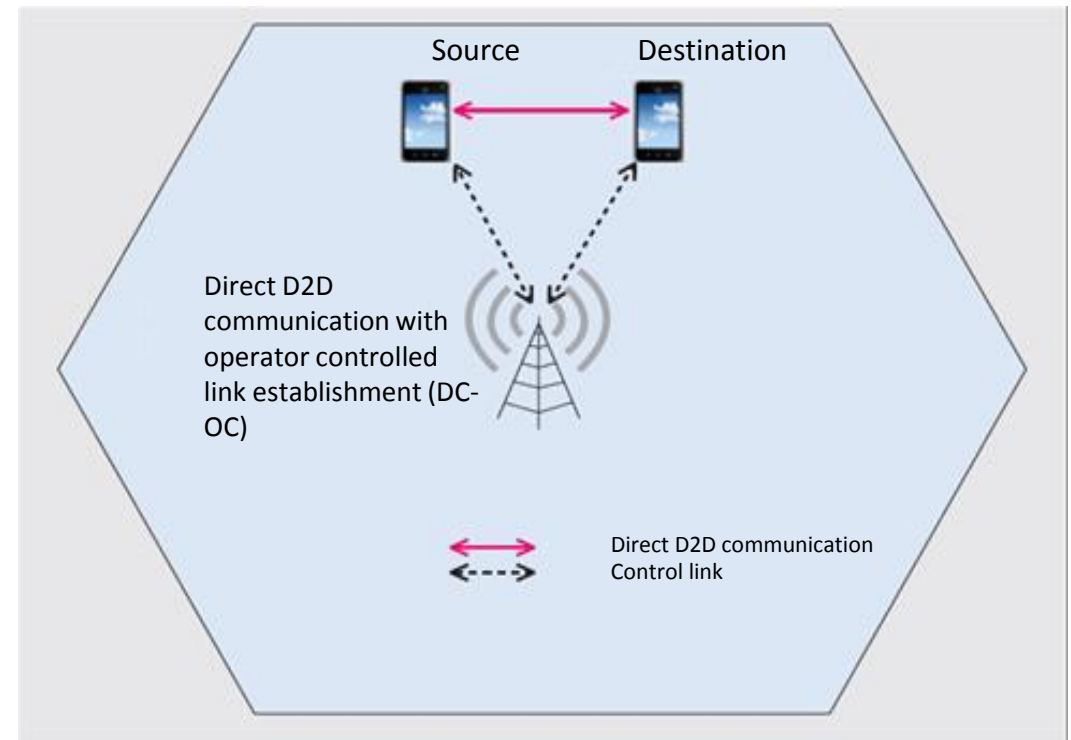
- Esta comunicação favorece os dispositivos que estão na **borda da célula** ou em área de **cobertura ruim**, utilizando outro dispositivo como relay para se conectar à estação radiobase.
- Isto permite ao dispositivo alcançar uma **Qualidade de serviço (QoS)** mais elevada e aumentar em média a vida útil da bateria.



Comunicação *Device-to-Device* – D2D

DC-OC: Comunicação D2D direta com o estabelecimento do link controlado pela operadora [37]

- Os dispositivos fonte e destino **se comunicam e trocam dados entre si**, sem passar pela radiobase, porém **são assistidos pela operadora**.



Suporte nativo para comunicações M2M

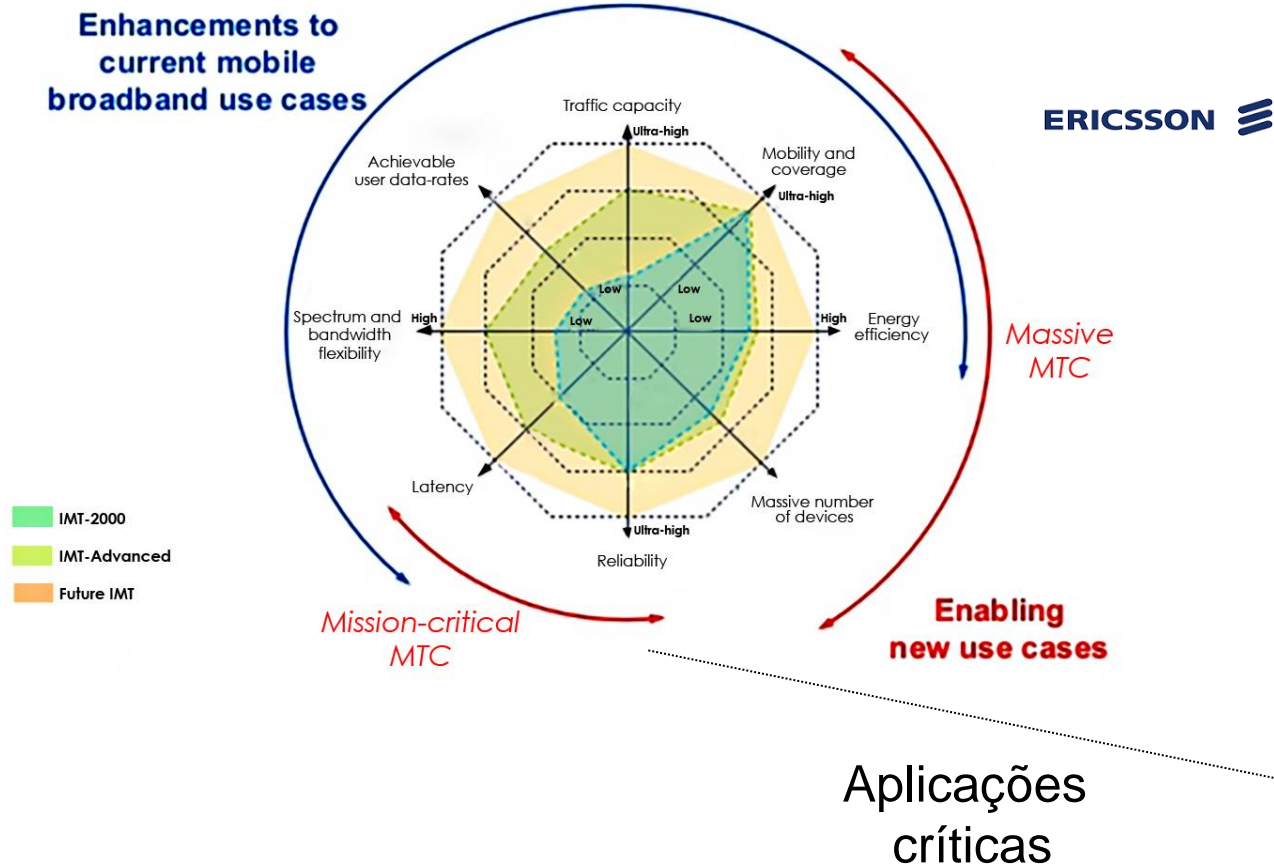
De acordo com a referência [17], há grande esforço para o desenvolvimento dessa tecnologia:

OneM2M Partnership Project (PP) formado em 2012.

<http://www.onem2m.org/>

- Padronizar o acesso mundial da tecnologia M2M.
- Formado por organismos de desenvolvimento e padronização em todo o mundo: ETSI (Europa), ATIS e TIA (EUA), TTC e ARIB (Japão), CCSA (China) TTA (Coreia do Sul).
- Mais de 200 membros
- Arquitetura baseada em torno de funções de serviços comuns (gerenciamento de dispositivos para gerenciamento de sessão) que residem em Entidades de Serviços Comum (CSE).

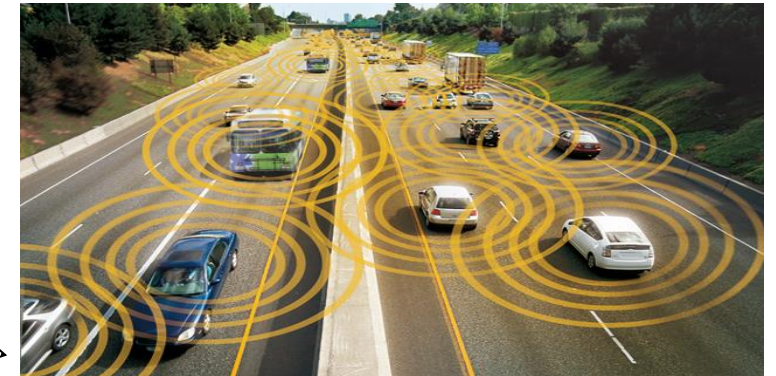
Suporte nativo para comunicações M2M



M2M não é uma aplicação nativa nos padrões anteriores (3G e 4G).

A questão é aplicação em situações que realmente exigem:

- Pequeno atraso
- Confiabilidade



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – WEI, Lili; HU, Rose; QIAN, Yi. Key elements to enable millimeter wave communications for 5G wireless systems. *IEEE Wireless Communications*, [s.l.], v. 21, n. 6, p.136-143, dez. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mwc.2014.7000981.
- [2] – FETTWEIS, Gerhard; ALAMOUTI, Siavash. 5G: Personal mobile internet beyond what cellular did to telephony. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 2, p.140-145, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736754.
- [3] – YIFEI, Yuan; LONGMING, Zhu. Application scenarios and enabling technologies of 5G. *China Communications*, [s.l.], v. 11, n. 11, p.69-79, nov. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/cc.2014.7004525.
- [4] – PIRINEN, Pekka. A Brief Overview of 5G Research Activities. *Proceedings Of The 1st International Conference On 5g For Ubiquitous Connectivity*, [s.l.], p.17-22, 2014. Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering (ICST). DOI: 10.4108/icst.5gu.2014.258061.
- [5] – MENDES, Luciano Leonel et al. Cenários de aplicações das redes 5G no Brasil. Santa Rita do Sapucaí: Inatel, 2015. 31 p. (DE R5G 15.001). Centro de Referência em Radiocomunicações - Inatel.
- [6] – DEHOS, Cedric et al. Millimeter-wave access and backhauling: the solution to the exponential data traffic increase in 5G mobile communications systems?. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 9, p.88-95, set. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6894457.
- [7] – HONG, Xuemin et al. Cognitive radio in 5G: a perspective on energy-spectral efficiency trade-off. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 7, p.46-53, jul. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6852082.
- [8] – Petar, Popovski et al. Final report on the METIS 5G system concept and technology roadmap. European Union: ICT-317669- Metis/D6.6, 2015. 81 p. Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty - twenty Information Society - METIS. Disponível em: <https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D6.6_v1.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2015.
- [9] – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - ITU (Swiss). Future technology trends of terrestrial IMT systems: M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services. Geneva, 2014. 32 p. (Rep. ITU - R M.2320 - 0). Disponível em: <http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2320-2014-PDF-E.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2015.
- [10] – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - ITU (Swiss). Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz: M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services. Geneva, 2015. 134 p. (Rep. ITU - R M.2320 - 0). Disponível em: <http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2376-2015-PDF-E.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2015.
- [11] – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - ITU (Swiss). IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond: M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services. Geneva, 2015. 21 p. (Recommendation ITU - R M . 2083 - 0). Disponível em: <http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!!PDF-E.pdf>. Acesso em: 01 out. 2015.
- [12] – GOHIL, A.; MODI, H.; PATEL, S. K.. 5G technology of mobile communication: A survey. 2013 International Conference On Intelligent Systems And Signal Processing (issp), [s.l.], p.288-292, mar. 2013. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/issp.2013.6526920.
- [13] – THOMPSON, John et al. 5G wireless communication systems: prospects and challenges [Guest Editorial]. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 2, p.62-64, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736744.
- [14] – THOMPSON, John et al. 5G wireless communication systems: prospects and challenges part 2 [Guest Editorial]. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 5, p.24-26, maio 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6815889.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [15] – MUMTAZ, Shahid; HUQ, Kazi Mohammed Saidul; RODRIGUEZ, Jonathan. Direct mobile-to-mobile communication: Paradigm for 5G. IEEE Wireless Communications, [s.l.], v. 21, n. 5, p.14-23, out. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mwc.2014.6940429.
- [16] – BOCCARDI, Federico et al. Five disruptive technology directions for 5G. IEEE Communications Mag., [s.l.], v. 52, n. 2, p.74-80, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736746.
- [17] – CHIN, Woon; FAN, Zhong; HAINES, Russell. Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks. IEEE Wireless Communications, [s.l.], v. 21, n. 2, p.106-112, abr. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mwc.2014.6812298.
- [18] – CHEN, Shanzhi; ZHAO, Jian. The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication. IEEE Communications Mag., [s.l.], v. 52, n. 5, p.36-43, maio 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6815891.
- [19] – MARSCH, Patrick et al. Future Mobile Communication Networks: Challenges in the Design and Operation. IEEE Veh. Technol. Mag., [s.l.], v. 7, n. 1, p.16-23, mar. 2012. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mvt.2011.2179343.
- [20] – CALABUIG, Jordi; MONSERRAT, Jose F.; GOMEZ-BARQUERO, David. 5th generation mobile networks: A new opportunity for the convergence of mobile broadband and broadcast services. IEEE Communications Mag., [s.l.], v. 53, n. 2, p.198-205, fev. 2015. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2015.7045409.
- [21] – Aziz, Danish et al. METIS final project report. European Union: ICT-317669-Metis/D8.4, 2015. 35 p. Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty - twenty Information Society - METIS. Disponível em: <https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D8.4_v1.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2015.
- [22] – THE 5G INFRASTRUCTURE PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIP - 5G-PPP (European Union). The 5G Pre-Standardisation Working Group. 2015. Disponível em: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-Pre-standards-WG-Issues-Paper-for-20-Oct-15-WS_final-edited.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2015.
- [23] – 4G AMERICAS (Org.). Summary of Global 5G Initiatives. 2014. Disponível em: <http://www.4gamericas.org/files/2114/0622/1680/2014_4GA_Summary_of_Global_5G_Initiatives__FINAL.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2015.
- [24] – 4G AMERICAS. Recommendations on 5G Requirements and Solutions. 2014. Disponível em: <http://www.4gamericas.org/files/2714/1471/2645/4G_Americas_Recommendations_on_5G_Requirements_and_Solutions_10_14_2014-FINALx.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2015.
- [25] – 4G AMERICAS. The Voice of 5G for the Americas - 5G Technology Evolution Recommendations. 2015. Disponível em: <http://www.4gamericas.org/files/2414/4431/9312/4G_Americas_5G_Technology_Evolution_Recommendations_-_10.5.15_2.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2015.
- [26] – THE FIFTH GENERATION MOBILE COMMUNICATIONS PROMOTION GROUP - 5GMF (Japan). "Network Technology Concept for 5G". 2015. Network Architecture Committee. Disponível em: <http://5gmf.jp/cp-bin/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/5GMF_NetArch_Whitepaper_v17.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2015.
- [27] – WUNDER, Gerhard et al. 5GNOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications. IEEE Communications Mag., [s.l.], v. 52, n. 2, p.97-105, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736749.
- [28] – BANGERTER, Boyd et al. Networks and devices for the 5G era. IEEE Communications Mag., [s.l.], v. 52, n. 2, p.90-96, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736748.
- [29] – BEECUBE INC. (Usa). Challenges and Solutions in Prototyping 5G Radio Access Network. 2014. Disponível em: <<http://www.beecube.com/academics/Challenges and Solutions in Prototyping 5G Radio Access Network .pdf>>. Acesso em: 01 out. 2015.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [30] – WANG, Cheng-xiang et al. Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 2, p.122-130, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736752.
- [31] – LARSSON, Erik et al. Massive MIMO for next generation wireless systems. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 2, p.186-195, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736761.
- [32] – SWINDLEHURST, A. Lee et al. Millimeter-wave massive MIMO: the next wireless revolution?. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 9, p.56-62, set. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6894453.
- [33] – BHUSHAN, Naga et al. Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 2, p.82-89, fev. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6736747.
- [34] – WU, Dan et al. Millimeter-wave multimedia communications: challenges, methodology, and applications. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 53, n. 1, p.232-238, jan. 2015. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2015.7010539.
- [35] – RAPPAPORT, T. S.; SUN, Shu; MAYZUS, R.. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!. *IEEE Access*, [s.l.], v. 1, p.335-349, 2013. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/access.2013.2260813.
- [36] – NAM, Young-han et al. Full-dimension MIMO (FD-MIMO) for next generation cellular technology. *IEEE Communications. Mag.*, [s.l.], v. 51, n. 6, p.172-179, jun. 2013. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2013.6525612.
- [37] – TEHRANI, Mohsen Nader; UYSAL, Murat; YANIKOMEROGLU, Halim. Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions. *IEEE Communications Mag.*, [s.l.], v. 52, n. 5, p.86-92, maio 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/mcom.2014.6815897.
- [38] – NUNES, Bruno Astuto A. et al. A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, [s.l.], v. 16, n. 3, p.1617-1634, 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/surv.2014.012214.00180.
- [39] – XIA, Wenfeng et al. A Survey on Software-Defined Networking. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, [s.l.], v. 17, n. 1, p.27-51, 2015. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/comst.2014.2330903.
- [40] – DAI, Linglong et al. Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends. *IEEE Commun. Mag.*, [s.l.], v. 53, n. 9, p.74-81, set. 2015. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2015.7263349>.