



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

EDUARDO MORENO MARQUES

SISTEMAS CELULARES 5G, CARACTERÍSTICAS, DESAFIOS PARA A  
IMPLANTAÇÃO NO BRASIL E APLICAÇÕES

CAMPINAS  
2019

**EDUARDO MORENO MARQUES**

**SISTEMAS CELULARES 5G, CARACTERÍSTICAS, DESAFIOS PARA A  
IMPLANTAÇÃO NO BRASIL E APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, na área de Telecomunicações e Telemática.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cardieri

Este trabalho corresponde à versão final da dissertação defendida pelo aluno Eduardo Moreno Marques, e orientada pelo Prof. Dr. Paulo Cardieri

**CAMPINAS  
2019**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

M348s Marques, Eduardo Moreno, 1964-  
Sistemas celulares 5G, características, desafios para a implantação no Brasil e aplicações / Eduardo Moreno Marques. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Paulo Cardieri.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Sistemas celulares. 2. Infraestrutura de informação. 3. Sistemas de telecomunicações. I. Cardieri, Paulo, 1964-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** 5G cellular systems, characteristics, challenges for implementation in Brazil and applications

**Palavras-chave em inglês:**

Cellular systems

Information infrastructure

Telecommunications systems

**Área de concentração:** Telecomunicações e Telemática

**Titulação:** Mestre em Engenharia Elétrica

**Banca examinadora:**

Paulo Cardieri [Orientador]

Maria Silvina Medrano

Michel Daoud Yacoub

**Data de defesa:** 06-06-2019

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Elétrica

## **COMISSÃO JULGADORA - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Candidato:** Eduardo Moreno Marques RA: 840304

**Data da Defesa:** 06 de junho de 2019

**Título da Dissertação:** "Sistemas Celulares 5G, características, desafios para a implantação no Brasil e aplicações"

Prof. Dr. Paulo Cardieri (Presidente, FEEC/UNICAMP)

Dra. Maria Silvana Medrano (Fundação CPqD)

Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub (FEEC/UNICAMP)

A ata de defesa, com as respectivas assinaturas dos membros da Comissão Julgadora, encontra-se no SIGA (Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese) e na Secretaria de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico aos meus pais, que me propiciaram o começo de tudo, as primeiras lições, muito antes da escola, e a motivação para aprender que me acompanha até hoje. Para minha esposa Sílvia, pelo companheirismo e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à UNICAMP, por ter me proporcionado a graduação em Engenharia Elétrica/Eletrônica e a pós-graduação em Telecomunicações, o que me possibilitou ser um profissional capaz de dar alguma contribuição ao meu país. Dentro dela agradeço aos professores Michel Yacoub, Yuzo Yano, Renato Lopes, Leonardo Mendes, Luiz Carlos Kretly, e especialmente ao meu orientador Paulo Cardieri. Também agradeço à pesquisadora Maria Silvana Medrano, e ao professor Omar Carvalho Branquinho.

## **RESUMO**

Os sistemas celulares estão ficando progressivamente mais importantes para a sociedade, e isto demanda uma nova geração de sistemas, a quinta geração (5G). Os sistemas 5G têm novas especificações, trazem novas tecnologias e desafios importantes para sua implantação, particularmente no Brasil, onde a dimensão territorial, a diversidade da geografia, as condições socioeconômicas e as limitações de infraestrutura trazem dificuldades importantes. Neste trabalho, faremos uma descrição destes sistemas, apresentaremos propostas para sua implantação e proporemos soluções, analisaremos estratégias de migração e aplicações para estes sistemas, particularmente para o cenário Brasileiro. A implantação desta nova geração representará uma disruptura em relação a transições tecnológicas anteriores, trazendo problemas e oportunidades maiores.

## **ABSTRACT**

*Cellular systems are becoming progressively more important to society, and this demands a new generation of systems, the fifth generation (5G). The 5G systems have new specifications, bring new technologies and challenges for their implementation, particularly for Brazil, where the territorial dimension, the diversity of geography, the socioeconomic conditions and the infrastructure limitations bring difficulties. In this work, we describe these systems, present proposals for their implementation and propose solutions, analyze migration strategies and applications for these systems, particularly for the Brazilian scenario. The implementation of this new generation represents a disruption concerning previous technological transitions, bringing more significant problems and opportunities.*

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Fig. 1- IMT 2020 & Futuro.....   | 31 |
| Fig. 2- Cenários de utilização IMT 2020.....   | 31 |
| Fig. 3- Cronograma do desenvolvimento dos sistemas 5G.....                                 | 32 |
| Fig. 4- Rotas de Transmissão de longa distância no Brasil.....                             | 42 |
| Fig. 5- Atendimento com redes de transmissão no Brasil.....                                | 43 |
| Fig. 6- Municípios com velocidade média abaixo de 5 MB/s.....                              | 45 |
| Fig. 7- Opções de configurações <i>Standalone</i> (SA) e Não <i>Standalone</i> (NSA) ..... | 57 |
| Fig. 8- Evolução com opção SA com acesso 5G (NR) e <i>core</i> 5GC.....                    | 59 |
| Fig. 9- Evolução com opção NSA com acessos 5G (NR) e 4G (LTE) e <i>core</i> EPC....        | 61 |
| Fig. 10- Macro célula 4G integrando componentes 5G.....                                    | 63 |
| Fig. 11- Crescimento de serviço de dados no mundo.....                                     | 69 |
| Fig. 12- Divisão da utilização do tráfego por tipo de dispositivos.....                    | 70 |
| Fig. 13- Projeção de acessos do SCM.....   | 71 |
| Fig. 14- Projeção de acessos do SMP.....   | 72 |
| Fig. 15- Projeção de demanda de tráfego no SCM.....  | 72 |
| Fig. 16- Projeção de demanda de tráfego no SMP.....  | 73 |
| Fig. 17- Funcionalidade D2D para comunicações em áreas remotas e rurais.....               | 76 |

## **LISTA DE TABELAS**

Tab. 1: Parâmetros para as redes 5G..... 33

Tab. 2: Diagnóstico das redes de transporte e acesso móvel no Brasil..... 44

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

1G – Primeira Geração de Sistemas Celulares

2G – Segunda Geração de Sistemas Celulares

3G – Terceira Geração de Sistemas Celulares

3GPP - *3G Partnership Project*

4G – Quarta Geração de Sistemas Celulares

5G – Quinta Geração de Sistemas Celulares

5GC – *Core 5G*

5G-PPP – *5G infrastructure Public Private Partnership*

5G NR – *5G New Radio*

AAA - *Authentication, Authorization, Accounting*

AMPS – *Advanced Mobile Phone System*

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

AP - *Access Point*

API - *Application Programming Interface*

ARPU - *Average Revenue Per User*

B2B - *Business to Business*

B2C - *Business To Consumer*

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BTS - *Base Transceiver Station*

C-PLANE - *Control Plane*

C-RAN – *Centralized Radio Access Network*

CA - *Carrier Aggregation*

CAPEX - *Capital Expenditure*

CDMA – *Code Division Multiple Access*

CN - *Core Network*

CP - *Control Plane*

CPE - *Customer Premises Equipment*

D2D - *Device to Device*

D-AMPS – *Digital AMPS*

DAS – *Distributed Antenna System*

DFS – *Dynamic Frequency Selection*

D-RAN – *Distributed Radio Access Network*

DL - *Downlink*

E2E - *End to End*

E-MBB - *Extreme Mobile Broadband*

eNode B (eNB) – ERB 4G

EPC - *Evolved Packet Core*

ERB – Estação Rádio Base

ESALQ- USP (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
– Universidade de São Paulo)

ETSI - *European Telecommunications Standards Institute*

EV-DO – *Evolution-Data Optimized*

FD-MIMO – *Full Dimension MIMO*

FDD - *Frequency Division Duplex*

FDMA – *Frequency Division Multiple Access*

FM – *Frequency Modulation*

FMC - *Fixed Mobile Convergence*

FPLMTS – *Future Public Land Mobile Telecommunication System*

FUST – Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações

gNode B (gNB) – ERB 5G

GPON - *Gigabit-capable Passive Optical Networks*

GPRS – *General Packet Radio Service*

GSA – *Global mobile Supplier Association*

GSM – *Global System for Mobile communications*

GSMA - *GSM Association*

HSS – *Home Subscriber Server*

HTC - *Human Type Communication*

HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*

HW – *Hardware*

IA – *Inteligência Artificial*

IaaS - *Infrastructure as a Service*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IMS – *IP Multimedia Subsystem*

IMT - *International Mobile Telecommunications*

INEP – *Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira*

IoT - *Internet of Things*

IS-41 - *US Telecoms Industry Association Interim Standard 41*

IS-54 - *US Telecoms Industry Association Interim Standard 54*

IS-95 - *US Telecoms Industry Association Interim Standard 95*

IS-136 - *US Telecoms Industry Association Interim Standard 136*

ITU - *International Telecommunication Union*

KPI - *Key Performance Indicator*

LBT – *Listen Before Talk*

LTE - *Long Term Evolution*

M2M – *Machine to Machine*

MBB – *Mobile BroadBand*

MCBU – *Modelo de Custos Bottom Up*

METIS – *Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty  
(2020) Information Society*

MIMO - *Multiple Input Multiple Output*

MCTIC – *Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações*

MME - *Mobile Management Entity*

MmW - *Millimetre Wave*

MNO - *Mobile Network Operator*

MTC - *Machine Type Communication*

mMTC – *massive Machine Type Communication*

MVNO - *Mobile Virtual Network Operator*

NaaS - *Network as a Service*

NFV – *Network Function Virtualization*

NGMN – *Next Generation Mobile Network*

NMT – *Nordic Mobile Telephone*

Node B – *ERB 3G*

NR-RAN – *New Radio RAN*

NSA - *Non Stand Alone*

Ofcom - *The Office of Communications*

OFDM/OFDMA - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiple Access*

O&M – *Operação e Manutenção*

OPEX - *Operational Expenditure*

OSS – *Operations Support Systems*

OTT - *Over The Top*

PaaS - *Platform as a Service*

PERT – *Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações*

PGMU – *Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico*

*Fixo Comutado Prestado no Regime Público*

QoS - *Quality of Service*

QPSK - *Quadrature Phase Shift Keying*

RAN - *Radio Access Network*

RAT - *Radio Access Technology*

RRU - *Remote Radio Unit*

SC-FDMA – *Single Carrier FDMA*

SCM – *Serviço de Comunicação Multimídia*

SDN – *Software Defined Network*

SHARC – *Open Source Simulation Tool for Sharing and Compatibility Studies between 5G and Other Radiocommunication Systems*

SIM Card – *Subscriber Identity Module Card*

SindiTelebrasil - Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e Serviço Móvel e Pessoal

SLP – Serviço Limitado Privado

SMP – Serviço Móvel Pessoal

SOA - *Service Oriented Architecture*

SON - *Self Organising Network*

STFC – Serviço Telefônico Fixo Comutado

SW – *Software*

TAC – Termo de Ajustamento de Conduta

TACS – *Total Access Communications System*

TCO - *Total Cost of Ownership*

TDD - *Time Division Duplex*

TDMA – *Time Division Multiple Access*

TPC – *Transmit Power Control*

TVRO – *TV Receiver Only*

UIT – União Internacional de Telecomunicações

UMTS – *Universal Mobile Telecommunication System*

UE - *User Equipment*

URLLC – *Ultra Reliable and Low Latency Communications*

VDSL – *Very high-speed Digital Subscriber Line*

VoLTE – *Voice over LTE*

VPN - Virtual Private Network

WCDMA – *Wide-band Code Division Multiple Access*

WRC - *World Radiocommunication Conference*

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....   | 19 |
| <b>2 – A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS MÓVEIS CELULARES</b> .....                 | 22 |
| <b>2.1 – As Diversas Gerações dos Sistemas Celulares</b> .....            | 22 |
| <b>2.2 – Sistemas 1G</b> .....  | 23 |
| <b>2.3 – Sistemas 2G</b> .....  | 23 |
| <b>2.4 – Sistemas 3G</b> .....  | 26 |
| <b>2.5 – Sistemas 4G</b> .....  | 27 |
| <b>2.6 – Considerações sobre a Evolução dos Sistemas de 1G a 4G</b> ..... | 28 |
| <b>3 – SISTEMAS CELULARES 5G</b> .....                                    | 30 |
| <b>3.1 – A Demanda pelos Novos Sistemas 5G</b> .....                      | 30 |
| <b>3.2 - Organizações para o Desenvolvimento dos Sistemas 5G</b> .....    | 30 |
| <b>3.3 - O Desenvolvimento dos Sistemas 5G</b> .....                      | 31 |
| <b>3.4 – Especificações Técnicas</b> .....                                | 32 |
| <b>3.5 – Novas Tecnologias</b> .....                                      | 33 |
| 3.5.1 – Sistemas <i>mmWaves</i> .....                                     | 33 |
| 3.5.2 - Integração de Faixas Licenciadas e não Licenciadas.....           | 34 |
| 3.5.3 – Tecnologias <i>Multi-RAT</i> .....                                | 34 |
| 3.5.4 - Novas Arquiteturas.....   | 34 |
| 3.5.5 – <i>MIMO</i> Avançado .....  | 35 |
| 3.5.6 - D2D.....  | 35 |
| 3.5.7 – Microcélulas avançadas.....                                       | 35 |
| <b>3.6 – Aplicações</b> .....   | 36 |
| 3.6.1 - Aplicações mMTC .....   | 36 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.6.2 - Aplicações URLLC .....  | 37        |
| 3.6.3 - Aplicações eMBB .....   | 37        |
| <b>4 – DESAFIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS 5G NO BRASIL .....</b>        | <b>38</b> |
| <b>4.1 - Cenário Atual.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>4.2 - Desafios Relacionados a Infraestrutura para as Redes 5G .....</b>    | <b>39</b> |
| 4.2.1 - Introdução .....  | 39        |
| 4.2.2 – Espaço Físico para a Instalação dos Elementos da Rede de Acesso ..... | 39        |
| 4.2.3 - Energia .....   | 40        |
| 4.2.4 – Transmissão.....  | 41        |
| 4.2.5 – Considerações sobre os desafios com a infraestrutura no Brasil .....  | 46        |
| <b>4.3 - Novas Tecnologias.....</b>   | <b>47</b> |
| <b>4.4 - Operação de Rede.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>4.5 – Ambiente Regulatório e seus Desafios .....</b>                       | <b>50</b> |
| 4.5.1– Faixas de Frequência para 5G no Brasil .....                           | 50        |
| 4.5.2 – Análise Técnico-Operacional das Frequências para 5G no Brasil.....    | 53        |
| <b>5 – ESTRATÉGIAS PARA A IMPLANTAÇÃO DAS REDES 5G .....</b>                  | <b>56</b> |
| <b>5.1 - Introdução.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>5.2 - Configurações Incorporando as Redes 5G .....</b>                     | <b>57</b> |
| <b>5.3 - Estratégias de Migração .....</b>                                    | <b>58</b> |
| 5.3.1 - Opção 2 (SA): Acesso 5G (NR) e Core 5GC.....                          | 59        |
| 5.3.2 - Opção 3 (NSA): Acessos 4G (LTE) e 5G (NR) com Core 4G (EPC).....      | 60        |
| 5.3.3 - Evoluções Posteriores .....   | 62        |
| <b>5.4 - Implantação de Rede de Acesso com Microcélulas .....</b>             | <b>63</b> |
| <b>5.5 - Estratégias de Migração para o Cenário Brasileiro .....</b>          | <b>64</b> |
| <b>5.6 - Core 5GC.....</b>  | <b>66</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>6 – APLICAÇÕES DE SISTEMAS 5G NO BRASIL .....</b>                            | <b>69</b> |
| <b>6.1 – Introdução.....</b>  | <b>69</b> |
| <b>6.2 - Redes 5G para a Expansão de Serviços de Banda Larga no Brasil.....</b> | <b>71</b> |
| <b>6.3 - Redes 5G no Atendimento Rural e Periférico .....</b>                   | <b>73</b> |
| <b>7 – CONCLUSÕES.....</b>  | <b>77</b> |
| <b>8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                     | <b>79</b> |

## 1 – INTRODUÇÃO

Os sistemas de telecomunicações celulares têm evoluído e aumentado sua importância relativa em toda a economia, e em praticamente todas as atividades humanas.

Várias gerações de sistemas foram desenvolvidas e se sucederam, sempre buscando ampliar a capacidade dos sistemas, desde a primeira geração, ainda analógica, evoluindo com as novas gerações digitais, sempre incorporando mais capacidade, maior eficiência espectral, novas tecnologias e permitindo o desenvolvimento de novos serviços.

Esta demanda crescente tem exigido novos recursos, e uma nova geração, a quinta geração (5G), está sendo desenvolvida, e representará uma importante evolução em relação às gerações anteriores.

Estas novas redes serão estruturadas de forma bastante diferenciada, aproveitando diversos novos recursos, com especificações desafiadoras, para a prestação de novos serviços inovadores.

Vários serão os desafios para a implantação destas novas redes, em função das dificuldades com suas novas tecnologias, e particularmente no Brasil, desafios adicionais deverão ser enfrentados em função das características geográficas, socioeconômicas e de infraestrutura do país, bastante diferenciadas em relação aos países que lideram o desenvolvimento destes novos sistemas.

Diversas novas aplicações são previstas, e estão sendo desenvolvidas aproveitando as características e o potencial destas novas redes. Para o Brasil, novas aplicações poderão ser incorporadas para auxiliar na solução de diversos desafios existentes, e ainda proporcionar novas aplicações.

Este trabalho descreve sucintamente as diversas gerações de sistemas celulares, mostrando sua evolução e as demandas que trouxeram a necessidade das redes 5G, que são apresentadas, descritas em suas características, tecnologias e aplicações.

Na sequência, mostraremos os principais problemas, desafios e oportunidades que serão tratados com as nossas contribuições em forma de propostas e análises que serão apresentadas neste trabalho:

- Desafios para a implantação dos sistemas 5G no Brasil. Serão abordadas questões referentes a infraestrutura, tecnologia, aspectos financeiros, questões

regulatórias, incluindo discussões sobre recursos de espectro, além de desafios operacionais.

Discutiremos e proporemos soluções para estes vários desafios levantados. Inicialmente faremos uma análise da situação atual pré-implantação das novas redes (4.1). Merece destaque a referência [15] “PERT - Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações” da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) com suas informações e propostas ligadas a infraestrutura. Também são realizadas diversas análises e contribuições em relação ao tema dos desafios associados à infraestrutura no Brasil (4.2). São realizadas considerações e proposições sobre os desafios para a implantação das novas tecnologias do 5G (4.3), das dificuldades operacionais, das quebras de paradigmas e propostas para a operação das novas redes (4.4), discutiremos o ambiente regulatório, realizaremos análises técnico-operacionais e proporemos estratégias e políticas associadas a concessão das faixas associadas aos novos serviços 5G (4.5).

- Estratégias para a implantação das redes 5G. Abordaremos as possibilidades de configurações incorporando redes 5G, apresentaremos e proporemos estratégias de migração, analisando os desafios associados, evoluções nestas configurações, *core* 5G (5GC), implantação utilizando microcélulas, e estratégias de migração para o cenário brasileiro;

Serão apresentadas e discutidas diversas configurações incorporando as novas redes 5G. A referência [28] “*Road to 5G Introduction and Migration*” do GSMA (GSM Association) será discutida (5.2), sendo apresentadas e debatidas diversas estratégias de migração (5.3). Serão propostas estratégias de migração usando microcélulas (5.4), com base nas estratégias apresentadas, e nas características específicas das condições nacionais, proporemos estratégias de migração para o cenário brasileiro (5.5). Analisaremos e realizaremos propostas relacionadas aos desafios de implantação do *core* 5G (5GC), considerando as particularidades das condições do mercado brasileiro (5.6).

- Aplicações de sistemas 5G no Brasil. Abordaremos as possibilidades de utilização das redes 5G para a expansão de serviços banda larga no Brasil, incluindo atendimento rural e periférico;

Mostraremos dados associados a demanda e características dos serviços de banda larga. Serão apresentadas e discutidas informações das referências [32 e 33] (6.1), discutiremos as informações do mercado brasileiro, usando as

referências [15 e 16] (6.2), serão apresentados os problemas associados ao atendimento rural e periférico no Brasil, as questões regulatórias associadas e serão apresentadas propostas de solução de parte destes problemas usando as funcionalidades das novas redes 5G (6.3).

No Capítulo 2, faremos uma descrição sucinta dos diversos sistemas celulares anteriores às redes 5G, descrevendo, brevemente, suas características técnicas, as inovações que trouxeram, seu contexto histórico, as estratégias e desafios associados à sua introdução. No Capítulo 3, descreveremos as características dos novos sistemas 5G, seu processo de desenvolvimento, os principais grupos de serviços, os cenários de utilização, suas especificações técnicas, uma breve descrição das novas tecnologias associadas, e aplicações associadas. O Capítulo 4 apresenta desafios associados a implantação destes novos sistemas no Brasil, descreve o cenário pré-implantação destes sistemas, os desafios relacionados à infraestrutura, às novas tecnologias, a operação de redes, são discutidas também as questões associadas ao espectro para estas novas redes, além de serem apresentadas propostas para superar os desafios. O Capítulo 5 mostra processos e estratégias para a migração das redes 4G para as novas redes 5G, considerando diversas configurações, e processos de incorporação dos elementos de rede 5G, comentando diversas possibilidades e desafios associados, apresentando propostas, incluindo para os cenários de implantação no Brasil. O Capítulo 6 apresenta possibilidades de aplicações das redes 5G no Brasil, mostra dados dos serviços de banda larga no Brasil, projeções de crescimento, e a oportunidade de utilização das novas redes 5G para prestar este serviço, com destaque para áreas periféricas e rurais, onde o serviço é mais deficiente, e também da oportunidade de utilização dos novos serviços MTC (*Machine Type Communication*). O Capítulo 7 conclui o trabalho.

## **2 – A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS MÓVEIS CELULARES**

### **2.1 – As Diversas Gerações dos Sistemas Celulares**

Desde o lançamento dos primeiros sistemas celulares, o seu sucesso e diversos desafios associados, como a necessidade de aumento de capacidade, o aumento da eficiência espectral, a melhoria de qualidade, o aumento da taxa de transmissão de dados, a disponibilidade de novos serviços, o controle de interferências, entre outros, têm motivado o desenvolvimento de novas gerações de sistemas celulares, que incorporem novos recursos que venham a ser disponibilizados, proporcionando maior eficiência.

Após o lançamento de uma nova geração, a anterior continua sendo a mais importante, para a prestação de serviço aos usuários, por vários anos, até que a nova geração atinja o seu pico de utilização e importância. Isto acontece porque no lançamento de uma nova geração, a anterior é a responsável por grande parte do atendimento [1].

As novas redes precisam de um considerável tempo (historicamente vários anos) para resolver seus diversos problemas de operação (maturação tecnológica), e para a implantação de rede com as dimensões apropriadas, nos locais que serão considerados para o projeto de atendimento. Esse processo demora bastante tempo, porque a implantação destes projetos é abrangente, complexa, e durante o processo vários desafios devem ser superados, a demanda por recursos financeiros é grande, e deve ser dividida em um período adequado, conforme a disponibilidade financeira da prestadora. A adesão à nova geração, representada pela troca por novos terminais (com a nova tecnologia) pelos usuários, também é um processo lento.

O tempo para atingir o pico de utilização ocorre vários anos após o lançamento. Este nível de utilização acontece em período próximo ao do lançamento da nova rede, quando a tecnologia mais antiga utilizada entra em processo de desuso, ou seja, é iniciada sua descontinuidade com o avanço da nova geração, entre outros motivos pelo custo operacional de sua operação/manutenção e pela necessidade de utilização das faixas de frequência alocadas para estes sistemas, um recurso limitado, caro, e que pode ter sua utilização mais eficiente com as novas tecnologias disponíveis [1].

A seguir descreveremos, de forma resumida, cada uma das gerações de sistemas celulares móvel já lançadas.

## 2.2 – Sistemas 1G

Os primeiros sistemas celulares de massa utilizavam tecnologia analógica FM (*Frequency Modulation*), o acesso ao sistema era realizado pela técnica FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), onde cada usuário ocupava uma faixa do espectro. No caso do sistema AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), inventado nos Estados Unidos e utilizado em todo o continente americano, incluindo o Brasil, as faixas eram de 30kHz. Vários outros padrões semelhantes, utilizando a tecnologia FM com acesso FDMA, foram implantados em todo o mundo. Alguns exemplos são: NMT (*Nordic Mobile Telephone*) nos países nórdicos, Suíça, Holanda, Europa Oriental e Rússia, TACS (*Total Access Communications System*) no Reino Unido, C450 na Alemanha e Portugal, Radiocom 2000 na França e Itália, entre outros.

Os serviços oferecidos eram basicamente de voz com mobilidade limitada em função da restrita disponibilidade de cobertura. Também foi desenvolvida a facilidade do *roaming*, que permitia que um usuário de uma região pudesse ser atendido em outra. O Brasil construiu uma rede de *roaming* nacional baseada no padrão americano (IS-41), através de sua empresa *holding*, a Telebrás, e suas empresas regionais.

A invenção, pela Portugal Telecom, dos sistemas pré-pago impulsionou a adesão e a popularidade dos sistemas, permitindo o acesso a um mercado muito mais abrangente de clientes, compostas por pessoas de menor poder aquisitivo, que tinham dificuldades em pagar as altas contas que eram cobradas pelo serviço em seu início.

O sucesso destes sistemas, a grande demanda por capacidade para novos assinantes e a necessidade de padronizações mais abrangentes motivaram o desenvolvimento dos novos sistemas digitais 2G.

## 2.3 – Sistemas 2G

O sucesso da primeira geração de sistemas, a grande demanda por capacidade para atender novos assinantes e a necessidade de buscar maior

eficiência na utilização de um recurso escasso representado pelo espectro de frequências, e a necessidade de melhor padronização motivaram o desenvolvimento dos sistemas digitais.

Nos Estados Unidos, ocorreu o desenvolvimento do sistema D-AMPS (*Digital AMPS*) que utilizava a mesma canalização dos sistemas analógicos AMPS, além de serem compatíveis com estes, o que facilitava sua implantação em toda a região que utilizava esta tecnologia, incluindo o Brasil, já que permitia a utilização das mesmas redes implantadas (com adaptações) e de terminais *dual-mode* AMPS/D-AMPS. Um dos primeiros sistemas foi o IS-54, que utilizava tecnologia de acesso TDMA (*Time Division Multiple Access*).

Na Europa, os sistemas celulares também foram um grande sucesso, mas os diversos países ou grupos de países possuíam padrões diferentes e incompatíveis. No momento em que estava sendo realizada a integração do bloco Europeu, decidiu-se que deveria ser padronizado e desenvolvido um único sistema para toda a Europa. Assim, a ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*) liderou a padronização de um novo sistema digital, com acesso TDMA, chamado GSM (*Global System for Mobile Communication*) que ao mesmo tempo que permitia a digitalização dos sistemas, buscava a melhoria na eficiência da utilização espectral, o aumento de capacidade e previa o padrão para um sistema único para toda a Europa. Como o próprio nome sugere (Global) também previa a futura exportação deste sistema para o resto do mundo.

O sistema GSM trouxe um excelente nível de padronização, que serviu de referência para os padrões desenvolvidos posteriormente. O GSM introduziu várias inovações, dentre as quais se destacam o *SIM Card*, dispositivo que incorporado aos terminais dos usuários confere um alto nível de segurança, através de processos criptográficos especialmente projetados para esta finalidade, e a comodidade na transferência de recursos e informações, o GPRS (*General Packet Radio Service*), que estruturou as primeiras redes de dados, serviços que foram se mostrando cada vez mais importantes.

Os primeiros sistemas digitais americanos (TDMA, IS-54) apresentaram muitos problemas na sua implementação, particularmente relacionadas a qualidade de voz. Isto demandou o desenvolvimento dos novos sistemas digitais americanos TDMA (IS-136). Estes atrasos na segunda geração americana abriram oportunidade para o desenvolvimento dos novos sistemas CDMA (*Code*

*Division Multiple Access*), através do padrão americano IS-95, que ofereciam novos equipamentos, mais modernos, com novas características técnicas, maior capacidade e maior eficiência espectral. Estas novas redes obtiveram bastante sucesso, particularmente nos Estados Unidos e no Brasil.

Nos sistemas CDMA (IS-95), vários usuários compartilham a mesma faixa de frequência (de aproximadamente 1,25 MHz) ao mesmo tempo, e a recuperação das informações de cada usuário se dá a partir de códigos específicos. A utilização destes sistemas trouxe vantagens, como a maior eficiência espectral, a robustez as interferências, boas características de penetração *indoor*, segurança na transmissão das informações (criptografia), entre outras. Também trouxeram desafios como o fenômeno do *cell breathing*, no qual a cobertura da célula se reduz em função da carga de utilização do sistema. A degradação na qualidade de voz com elevada carga do sistema e em áreas limítrofes das células representaram muitos problemas para o planejamento e a implementação dos primeiros sistemas.

No Brasil a segunda geração de redes celulares se iniciou com a implantação dos sistemas CDMA (IS-95) sobrepostos às redes AMPS existentes. Isto ocorreu nos estados do Rio de Janeiro (Telerj), Bahia (Telebahia), Sergipe (Telegipe) e São Paulo (Telesp). Nos demais estados foi adotado o padrão TDMA (IS-136). Esta divisão entre as duas tecnologias digitais americanas também se reproduziu em vários países que tinham adotado o padrão AMPS, incluindo os Estados Unidos.

A demora na maturação dos sistemas digitais americanos, o tempo para a solução dos desafios tecnológicos destas novas tecnologias, e a disputa entre as duas tecnologias (TDMA X CDMA), permitiram o avanço dos sistemas baseados na tecnologia Européia GSM, que tinham uma padronização mais estável e madura, o que permitiu a criação e o desenvolvimento de um maior e mais competitivo ambiente multifornecedor de sistemas e terminais.

Com este desenvolvimento, particularmente no campo dos terminais, principal barreira de acesso aos serviços móveis, as redes GSM foram ganhando mercado e substituindo os sistemas com tecnologia baseadas nos padrões americanos. No Brasil, as prestadoras passaram a utilizar o sistema GSM, e a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) definiu faixas de expansão para a telefonia celular harmonizadas com a Europa (1,8 GHz e 900 MHz), e com

isto ocorreu uma grande migração para os sistemas GSM. A última grande empresa de telecomunicações celulares, com operação no Brasil a realizar a migração (Vivo), enfrentou muitas dificuldades em função da falta de disponibilidade de novos modelos de terminais CDMA e de espectro para operar sua rede.

## **2.4 – Sistemas 3G**

O crescente sucesso das redes celulares, o aumento da demanda e do número de usuários e o crescimento da necessidade de transmissão de dados motivou a evolução das redes celulares 2G para 3G.

O desenvolvimento dos sistemas de terceira geração foi iniciado pela UIT (União Internacional de Telecomunicações), inicialmente com o projeto FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunication Systems*), posteriormente denominado IMT-2000 (International Mobile Telecommunications - 2000), que depois ficou mais conhecido como Terceira Geração ou 3G [2]. A ETSI também realizou trabalhos visando a evolução dos sistemas GSM, através do desenvolvimento das redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunication Systems*). O grupo 3GPP (*3G Partnership Program*), que reúne representantes da indústria e entidades regulatórias de todo o mundo, trabalhou nas especificações técnicas. O desenvolvimento destes padrões foi convergente e integrado, o que conferiu segurança para os diversos segmentos (governos, fornecedores, prestadoras, etc), criando um importante ecossistema de redes e terminais, o que permitiu uma evolução massiva das redes 2G para as novas redes 3G padronizadas. Estas redes, no momento da elaboração deste trabalho, ainda estão entre as mais importantes no cenário de serviços móveis celulares no mundo. No Brasil e em vários outros países as redes 4G já ultrapassaram as redes 3G em capacidade de tráfego e número de assinantes.

Um dos principais objetivos da UIT, com o projeto IMT-2000, foi o desenvolvimento de padrões de sistemas que ajudassem no aumento da teledensidade de países mais pobres e em desenvolvimento. A criação deste padrão global incorporando os benefícios da eficiência das novas tecnologias, estabelecendo um grande ecossistema de redes e terminais, contribuiu com a redução de custos e com a facilitação de acesso dos usuários aos sistemas. Os

desenvolvimentos contemplaram a compatibilidade com os sistemas GSM e utilizaram o WCDMA (*Wideband CDMA*) como interface aérea [2].

Os padrões derivados dos sistemas CDMA faixa estreita americano (IS-95) também tiveram sua evolução, com os sistemas da família CDMA 2000, como o EV-DO (*Evolution-Data Optimized*). No entanto, a dimensão do ecossistema de redes e terminais que foi atingido foi inferior ao atingido pelas redes anteriormente descritas (3G-UMTS), assim o número de operações e usuários desta tecnologia foi menor.

O lançamento das redes 3G no Brasil foi realizado pela Claro em dezembro de 2007 em Brasília, Recife e Fortaleza, e em janeiro de 2008, em São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre. Estes sistemas potencializaram o desenvolvimento dos serviços banda larga móvel no Brasil, principal ferramenta de acesso à internet para a maior parte dos usuários no Brasil.

Juntamente com as redes 3G surgiram novos terminais, os chamados smartphones, que rapidamente conquistaram o consumidor apresentando uma diversidade de aplicações, que foram progressivamente fazendo sucesso entre os usuários, e revolucionando o mercado, que passou a demandar dados móveis em quantidades cada vez maiores. A disponibilidade de dados móveis passou a ser uma exigência e uma necessidade dos clientes. Desta forma, estes serviços passaram a demandar redes de transmissão mais robustas, capazes de trafegar grande volume de dados, e permitiram às prestadoras vender pacotes destes serviços aos seus clientes, e desde então sua importância na receita das empresas tem crescido continuamente.

## **2.5 – Sistemas 4G**

A necessidade de capacidade de conexão de mais clientes, a demanda crescente por dados, especialmente motivada pelo uso intensivo dos novos *smartphones* e *modems* celulares, a necessidade de aumento da eficiência no uso do espectro, a oportunidade de incorporar novas tecnologias que permitisse aumentar a capacidade de transmissão de dados e a necessidade de redução de custos com a utilização de equipamentos mais eficientes demandaram o desenvolvimento de uma nova geração de sistemas celulares, a quarta geração (4G). Também conhecida como *Long Term Evolution* ou LTE, representou uma ampla convergência de esforços das várias entidades de padronização,

prestadoras, fornecedores de sistemas e terminais, entidades reguladoras e representativas do setor.

Os sistemas 4G representaram a resposta técnica às necessidades de aumento de capacidade das redes 3G, trazendo inovação por meio da utilização de novas técnicas de acesso, codificação, modulação, detecção, filtragem, etc. Além disso, uma nova topologia de rede otimizada, baseada na transmissão de pacotes de dados, foi introduzida. O acesso evoluiu para o sistema OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) no *downlink* e SC-FDMA (*Single Carrier FDMA*) para o *uplink* [3].

As novas redes LTE incorporaram soluções avançadas em antenas, como diversidade espacial, *Beam-forming* e a técnica MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Também incorporaram flexibilidade na ocupação espectral, sendo que podem ser utilizados em blocos de 1,4MHz a 20MHz [3]. A flexibilidade de utilização de faixas de frequência em blocos menores de 1,4MHz permitiu a utilização no Brasil da faixa de 900 MHz onde cada prestadora tem apenas 2,5MHz, e na qual não seria possível a utilização dos sistemas 3G (que demandariam 5MHz).

No âmbito da UIT (União Internacional de Telecomunicações) foi desenvolvida a evolução da padronização dos sistemas 3G, IMT-2000, e chamados de IMT *Advanced*, também conhecidos como LTE *Advanced*.

## **2.6 – Considerações sobre a Evolução dos Sistemas de 1G a 4G**

Houve uma evolução contínua dos sistemas celulares da primeira à quarta geração, as novas gerações introduziram tecnologias que trouxeram maior capacidade para atender à crescente demanda de novos clientes, e a partir da segunda geração por dados.

Os tempos de implantação das várias gerações foram diminuindo, devido às necessidades de expansão da capacidade de rede, ao acirramento da concorrência no setor e à contínua redução nos preços dos novos equipamentos de acesso. A possibilidade de utilização de sites existentes, utilizados por sistemas de gerações anteriores, a redução no espaço físico ocupado pelos equipamentos, de tamanho cada vez mais reduzido, com menor consumo de energia, e dispensando o uso de ar condicionado, permitiu uma grande aceleração nos processos de implantação.

Também houve desafio, como a crescente demanda por recursos de transmissão, as primeiras gerações podiam ser atendidas por rádios, os sistemas 4G que transportam grandes quantidades de dados e são mais bem atendidos por sistemas de comunicação óptica, em função de sua maior capacidade.

### **3 – SISTEMAS CELULARES 5G**

#### **3.1 – A Demanda pelos Novos Sistemas 5G**

A necessidade de sistemas celulares com novos recursos tecnológicos, para o atendimento da crescente demanda por novos serviços, especialmente de dados, com maiores exigências de taxas e volume, com especificações mais rigorosas no que se refere a confiabilidade, estabilidade, atrasos, consumo de energia, a necessidade da incorporação de novos sistemas M2M (*Machine to Machine*) demandaram os novos sistemas 5G. Esta nova geração está sendo desenvolvida, algumas implantações iniciadas (no momento da realização deste trabalho), e representará uma significativa evolução em relação aos estágios de desenvolvimento anteriores [1].

#### **3.2 - Organizações para o Desenvolvimento dos Sistemas 5G**

Diversas organizações e empresas tem desempenhado um importante papel no desenvolvimento dos sistemas 5G. Entre as organizações se destacam:

- GSMA- *Global System for Mobile Communication Association*, a associação mundial que representa as prestadoras de serviços de telecomunicações móveis;

- UIT – União Internacional de Telecomunicações, a agência das Nações Unidas (ONU) para as Telecomunicações;

- 3GPP – *3<sup>rd</sup> Generation Partnership Program*, grupo que agrega associações de padronização na área de Telecomunicações;

- GSA- *Global mobile Supplier Association*, organização que representa os fabricantes de equipamentos de Telecomunicações;

- 5G-PPP- *5G infrastructure Public Private Partnership*, grupo iniciado pela Comissão Europeia, fornecedores de equipamentos de telecomunicações, prestadoras de serviços de telecomunicações e pesquisadores que desenvolvem especificações para sistemas de telecomunicações;

- METIS- *Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society*, pesquisadores e respectivos centros de pesquisa formado pela Comissão Europeia;

### 3.3 - O Desenvolvimento dos Sistemas 5G

No contexto da UIT (Fig. 1) entende-se que os sistemas 3G (IMT-2000) e 4G (IMT-Advanced) evoluirão para os novos 5G (IMT-2020). Apesar da disponibilidade atual de Banda Larga Móvel ou *Mobile BroadBand* (MBB) que as redes atuais podem oferecer, será demandada muito mais velocidade, capacidade e conectividade. Os sistemas IMT-2020 responderão com Banda Larga Móvel avançada (*enhanced-MBB* - eMBB), comunicação massiva MTC (*massive Machine Type Communication* - mMTC), serviços de comunicações ultra confiáveis e de baixa latência (*Ultra Reliable and Low Latency Communications* - URLLC), ou MTC de Missão Crítica, além de novos casos de usos [4].

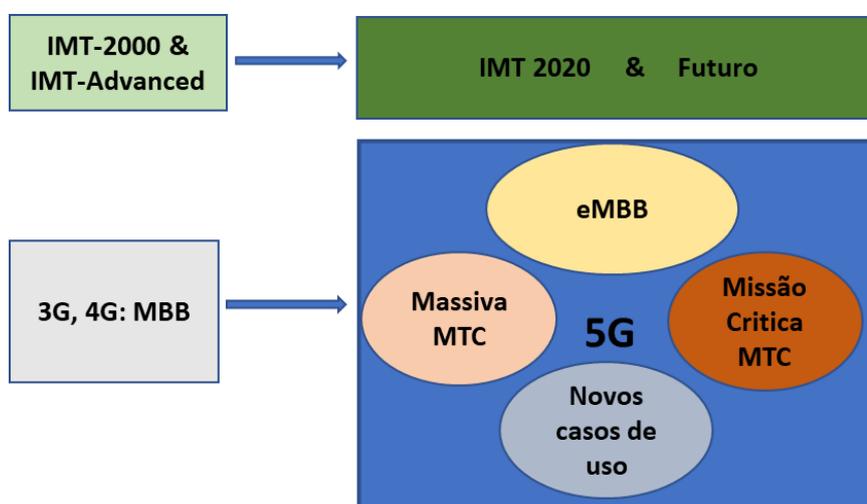


Fig. 1: IMT 2020 & Futuro, Fonte: adaptado de [4,5,6]

A Fig. 2 mostra, esquematicamente, os grupos de serviços que serão demandados das redes 5G: eMBB, mMTC e URLLC.

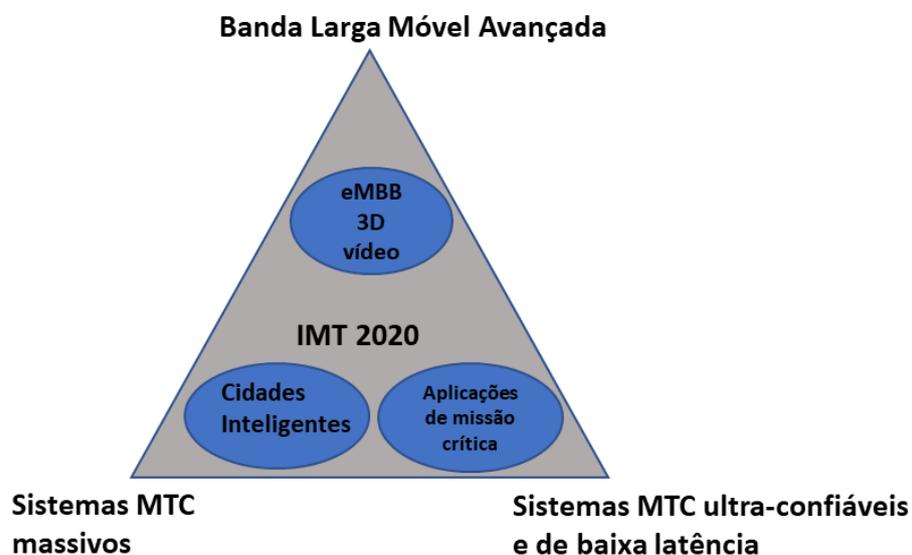


Fig. 2: Cenários de utilização IMT 2020, Fonte adaptado de [4,5]

A Fig. 3 mostra uma visão geral na linha de tempo para o desenvolvimento da padronização dos sistemas 5G, definido pelo 3GPP (3G Partnership Program), pela UIT, dentro da janela de desenvolvimento do projeto UIT-IMT-2020, e do correspondente desenvolvimento de redes pela indústria de equipamentos de telecomunicações.

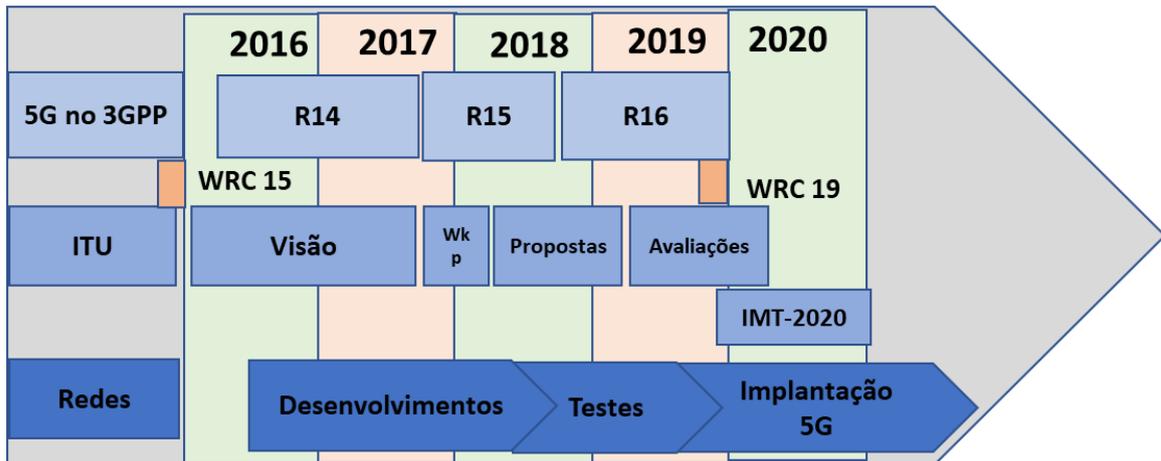


Fig. 3: Cronograma do desenvolvimento dos sistemas 5G, Fonte adaptado e atualizado de [4,5,7,8]

### 3.4 – Especificações Técnicas

As novas redes 5G terão especificações técnicas desafiadoras, como alta conectividade, altas taxas de dados, baixa latência, alta confiabilidade, baixo consumo de energia, entre outras. Além disso, várias características deverão ser atingidas simultaneamente para aplicações específicas. As respostas técnicas para estes requerimentos deverão vir com redes heterogêneas que utilizarão várias tecnologias, operando em várias faixas de frequência (licenciadas e não licenciadas), novas e flexíveis arquiteturas e novos equipamentos e terminais.

Novos recursos como SDN (*Software Defined Network*) e NFV (*Network Function Virtualization*), SON (*Self-Organized Network*), *self-backhauling*, refarming dinâmico, massivo MIMO (*Multiple In Multiple Out*), novos RATs (*Radio Access Technologies*), D2D (*Device to Device*), novas arquiteturas, entre outros recursos farão parte das soluções 5G [6,7].

A Tab. 1 mostra alguns parâmetros considerados para as futuras redes 5G [5,9]. Várias soluções técnicas que permitirão o atingimento destas especificações

estão em processo de desenvolvimento, e representarão um grande desafio para a indústria.

| Parâmetro                          | Valor                          |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Taxa de pico por conexão           | 10Gbit/s                       |
| Eficiência espectral (por célula)  | 10bit/s/Hz/Cel                 |
| Densidade de capacidade por área   | 1Tbit/s/km <sup>2</sup>        |
| Densidade de conexões              | 100 X LTE Densidade de conexão |
| Latência (do terminal para o core) | < 10ms                         |
| Latência (interface aérea)         | < 1ms                          |
| Eficiência energética              | > 90% sobre LTE                |

Tab. 1: Parâmetros para as redes 5G, Fonte adaptado de [5,9]

### 3.5 – Novas Tecnologias

Para possibilitar que as novas redes 5G sejam capazes de fornecer os serviços e as especificações previstas, vários desenvolvimentos e novas soluções tecnológicas deverão ser incorporadas a estas redes. Entre estas tecnologias podemos citar: sistemas *mmWaves*, integração de faixas licenciadas e não licenciadas, tecnologias Multi-RAT, novas arquiteturas, MIMO avançado, D2D e Microcélulas Avançadas [10]. A seguir descreveremos brevemente estes recursos tecnológicos associados às redes 5G.

#### 3.5.1 – Sistemas *mmWaves*

A grande quantidade de dados que será trafegada pelas redes 5G demandará muito mais espectro, do que pode ser disponibilizado nas faixas de espectro mais baixas.

Em função disso, será necessário o desenvolvimento de sistemas que trabalhem em frequência mais elevadas, com comprimento de onda milimétricas (*mmWave*), faixas acima de 6 GHz, especialmente para centros urbanos densos e ambientes *indoor*. A utilização prevista destas faixas se dará principalmente através de microcélulas e *femto* células [10].

A propagação nestas faixas é bem mais desafiadora que em faixas mais baixas, e diversos fenômenos como chuvas, neve e neblina têm o potencial de causar perdas [10]. Estudos recentes têm trabalhado para caracterizar as

condições de propagação nestas faixas, e também já existem sistemas implantados em operação, demonstrando o seu potencial de utilização.

### **3.5.2 - Integração de Faixas Licenciadas e não Licenciadas**

A grande demanda por espectro se dará tanto em faixas licenciadas, que conferem segurança e garantia de disponibilidade, mas também trazem o desafio de sua obtenção em processos tipicamente demorados e onerosos, como também em faixas não licenciadas, onde diversas aplicações que seriam inibidas por processos de homologação longos e custosos poderiam ser viabilizadas.

Para maximizar o aproveitamento da utilização contínua destas faixas, e permitir a funcionalidade com eficiência de diversas aplicações, são previstas integrações e agregações.

Para viabilizar a utilização de faixas não licenciadas, técnicas e processos devem ser desenvolvidos e padronizados. Alguns exemplos destas técnicas: LBT (*Listen Before Talk*), TPC (*Transmit Power Control*), DFS (*Dynamic Frequency Selection*) entre outras [10].

### **3.5.3 – Tecnologias *Multi-RAT***

Para a disponibilização dos diversos serviços, com várias especificações estabelecidas para os sistemas 5G são previstas a utilização de Tecnologias de Acesso Multi Radio (*Multi Radio Access Technologies*). Os sistemas deverão usar vários tipos de tecnologias de acesso para aproveitar suas características específicas, por exemplo, baixa latência de alguns dispositivos, elevada cobertura proporcionada por outros, baixo custo de algumas categorias de dispositivos, alta confiabilidade de outros [10].

### **3.5.4 - Novas Arquiteturas**

O controle das novas redes 5G, que permitirá atingir as especificações e funcionalidades previstas, deverá ter recursos suplementares aos utilizados atualmente.

Para a necessária redução da latência, indispensável para várias aplicações importantes e críticas, para aumentar a flexibilidade, para a implantação de novos serviços, para melhorar a tolerância a falhas deverá haver

um controle dinâmico e com funcionalidades controladas nas bordas do sistema e nos terminais.

Recursos como SDN (*Software-Defined Networking*) e NFV (*Network Function Virtualization*), que consistem em tecnologias adaptativas e programáveis, deverão ser incorporadas e ajudarão a prover a flexibilidade e a velocidade de implementação de novos serviços e funcionalidades previstas e a serem desenvolvidas.

### **3.5.5 – MIMO Avançado**

Os sistemas avançados MIMO (*Multiple In Multiple Out*) serão utilizados em larga escala nos sistemas de acesso, e consistirão em recursos importantes para as redes 5G, para conferir ganho de capacidade e aumentar a imunidade a interferências. Estes sistemas MIMO, preveem a composição de sistemas de antenas em duas dimensões, em uma configuração conhecida como *Full Dimension MIMO* (FD-MIMO).

### **3.5.6 - D2D**

A funcionalidade que permitirá que um aparelho se comunique diretamente com outro em proximidade, conhecida como D2D (*Device to Device*) deverá desempenhar um papel importante no conjunto de soluções 5G, reduzindo a latência, diminuindo a carga na rede, abaixando custos, aumentando a eficiência espectral e viabilizando uma grande quantidade de aplicações. Um exemplo de aplicação são carros autônomos trocando informações entre si, sem passar por um nó de controle, o que poderia introduzir um atraso que comprometeria a segurança da operação. Outro exemplo seria a troca de informações entre elementos de automatização de uma casa ou edifício [10].

### **3.5.7 – Microcélulas avançadas**

As microcélulas irão desempenhar um papel importante para ampliar a capacidade de transmissão de dados móveis nos sistemas 5G. É prevista a implantação de um grande número destes dispositivos, em faixas de frequências diversificadas, com destaque para faixas mais altas para permitir acesso a maior largura de espectro e, conseqüentemente, maior capacidade de transmissão. Elas serão gerenciadas pelos elementos de controle da rede móvel.

Funcionalidades como *in-band wireless backhaul* que consiste no fornecimento do meio de transmissão, na mesma faixa utilizada para a operação do sistema de acesso, especialmente através de microcélulas, representarão uma forma de agilizar, reduzir custos e simplificar a implantação destes recursos, já que atualmente uma das maiores dificuldades na implantação da rede de acesso é a disponibilização de recursos de transmissão [10].

São previstos gerenciamento de recursos para permitir que o usuário seja atendido simultaneamente, por um conjunto de microcélulas servidoras, maximizando as possibilidades de atendimento, com melhores taxas de dados, reduzindo a degradação na prestação do serviço pelo efeito borda de célula [10].

### **3.6 – Aplicações**

São diversas as aplicações para as novas redes 5G, e podem ser divididas em aplicações mMTC, URLLC e eMBB. Dentro do conjunto de aplicações que usarão mMTC alguns exemplos são aplicações em cidades inteligentes, casas inteligentes e prédios inteligentes. Entre as aplicações que usarão aplicações URLLC podemos citar controle de transportes, gerenciamento de segurança e automação industrial. Os serviços de Banda Larga Avançados (eMBB) permitirão rápida transmissão de dados via modems e terminais, vários serviços como vídeos 3D, e de muito alta definição, realidade aumentada, entre outros [1,4,5].

#### **3.6.1 - Aplicações mMTC**

Diversas aplicações das redes 5G usarão recursos MTC, considerando o uso de dispositivos terminais de comunicações de baixo custo e larga escala, suportando serviços como *smart grids* (para sistemas de distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto, etc), câmeras de vigilância para segurança pública, dispositivos para gerenciamento de tráfego, transporte público, entre outros serviços [11].

Outros exemplos de aplicações MTC estão relacionados às cidades inteligentes, com aplicações em diversas áreas como *smart grids*, vigilância pública, entre outros [5]. O desenvolvimento das cidades inteligentes se beneficiar-se-á dos recursos das redes 5G para endereçar vários dos seus desafios de implantação [5,12].

As novas redes 5G irão fazer parte da infraestrutura para promover o desenvolvimento das cidades inteligentes, e fornecerão diversos recursos que as tornarão capazes de ter vantagens das tecnologias de comunicação e informação, em várias áreas, para proverem melhores e mais eficientes serviços públicos [1,5,12,13].

### **3.6.2 - Aplicações URLLC**

Aplicações URLLC disponibilizarão comunicações de alta confiabilidade, baixa latência e serão importantes para diversas aplicações como carros autônomos, controle de tráfego inteligente, gerenciamento de segurança do trabalho, automação industrial entre outros [6, 11].

### **3.6.3 - Aplicações eMBB**

Os sistemas eMBB serão capazes de oferecer vários serviços avançados para os usuários em suas atividades de lazer (como vídeos em 3D, em alta definição, jogos, acesso a redes sociais), no seu trabalho (disponibilizando dados e informações sobre demanda), para as empresas (gerenciamento de vendas, de força de trabalho, de frota, etc), na administração pública, como nas áreas de finanças, obras, saúde, educação, etc. Várias aplicações como realidade aumentada poderão ser usadas por pessoas em suas atividades de lazer (jogos, informativos em veículos), por empresas (divulgando os seus serviços, disponibilizando informações), assim como nos serviços públicos, como na área de informações turísticas e culturais, na prestação de serviços aos cidadãos, permitindo progressos e maior eficiência na prestação desses serviços [6, 11].

## 4 – DESAFIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS 5G NO BRASIL

### 4.1 - Cenário Atual

Os primeiros desafios para a implantação das novas redes 5G estão relacionados à obtenção das redes compatíveis com o novo padrão e suas novas especificações. É possível prever uma corrida dos fornecedores, anunciando a disponibilidade da nova tecnologia para venderem seus sistemas, mesmo antes destes estarem estáveis, confiáveis e totalmente compatíveis com as novas especificações.

Também é possível antever as iniciativas das principais prestadoras de se apropriarem da imagem de inovação representada pelas redes 5G, com a estratégia de atrair clientes, oferecendo melhores características de oferta de serviço, mesmo antes destes estarem maduros. Esta fase será muito desafiadora para todos, fornecedores, operadores, clientes e reguladores, que entrarão em um novo universo de serviços com redes e dispositivos de acesso em fase de amadurecimento.

No Brasil, e fora das economias centrais, existirá outro desafio muito importante que será a viabilização financeira para a aquisição e implantação destas redes. Os investimentos ou CAPEX (*Capital Expenditure*) demandados serão muito altos, com expectativa de retorno em longo prazo.

Além disto, demandarão mais despesas ou OPEX (*Operational Expenditure*), já que as redes existentes não deixarão de funcionar no curto e médio prazo, e uma nova rede será instalada obrigando as prestadoras a gastarem mais, com uma contrapartida em receita que será pequena inicialmente, o que pressionará o resultado e o equilíbrio econômico-financeiro das empresas, e provavelmente levará os acionistas a questionarem sobre o retorno dos investimentos demandados.

A dinâmica de mercado não deixará espaço para dúvidas em relação à necessidade de implantação destas redes, já que a sua superioridade tecnológica é grande, e haverá um movimento dos concorrentes em direção à sua implantação. Ficar atrasado em relação a esta evolução custaria caro em termos de imagem, valor da empresa, perda de clientes importantes de difícil reversão, já que estes sempre são sensíveis às melhores condições de atendimento.

## 4.2 - Desafios Relacionados a Infraestrutura para as Redes 5G

### 4.2.1 - Introdução

Neste trabalho, o foco da discussão sobre os desafios de infraestrutura para a implantação do 5G será o cenário brasileiro, já que este é de maior interesse para a proposta deste trabalho. Outros países mais ricos e desenvolvidos poderão ter condições mais favoráveis, e outros mais pobres poderão ter condições mais difíceis.

Os principais desafios de infraestrutura se referem aos recursos necessários para a implantação e operação da rede de acesso (RAN – *Radio Access Network*), e da transmissão associada, já que para os recursos de rede centralizados como o *core* (recursos de rede centralizados responsáveis pelo controle do sistema) e plataformas (sistemas centralizados que desempenham funções específicas provendo suporte e serviços), as locações físicas são em menor número, e, em geral, podem ser escolhidas dentro de espaços legados, ou em novos espaços planejados, em menor número, para adequar às necessidades previstas.

No caso da RAN temos uma importante complicação em função do grande número de elementos que serão somados à rede, especialmente nesta nova geração que contemplará muitas células de menor cobertura, para atender muitos dispositivos conectados com demanda por dados mais elevada.

Neste contexto, os principais elementos da infraestrutura a serem considerados são: espaço físico para a instalação dos elementos da rede de acesso (*site*), energia, e transmissão.

### 4.2.2 – Espaço Físico para a Instalação dos Elementos da Rede de Acesso

Os desafios para a instalação destes elementos dependem do tipo de equipamento e do local de sua instalação.

Existe muita dificuldade de obtenção de novos *sites* para a implantação de Estações Rádio Bases (ERBs) macro, especialmente nas grandes cidades, em função das dificuldades de se encontrar imóveis e locais apropriados dentro da área de busca e de se conseguir as licenças associadas. Estima-se que a burocracia municipal seja responsável pela não liberação e consequente inviabilização da metade dos *sites* solicitados pelas empresas [14]. A lei das

antenas (Lei 13.116/2015, que estabelece regras em nível Federal), poderia contribuir para simplificar e tornar o processo de aprovação mais rápido, mas para isto as autoridades municipais deveriam se convencer que a competência para tratar dos assuntos técnicos associados deveria ser unificada no país pela ANATEL, que possui maior capacitação técnica para estabelecer as regras e definir a regulamentação associada.

Dentro deste contexto, outro desafio para a implantação das redes 5G é que a frequência de 3,5 GHz, uma das previstas para a operação 5G, é mais alta do as que estão em operação atualmente. Esta realidade faz com que o *grid* (conjunto de pontos irradiantes externos de sinais de telefonia celular) existente não seja o mais adequado para a operação com as novas frequências, o que demandaria novos *sites* de difícil obtenção.

Para remediar o problema citado, uma estratégia seria a de utilizar a faixa de 3,5 GHz juntamente com a de 700 MHz, está última já utilizada por sistemas 4G no Brasil, através da facilidade de agregação de portadoras e com a utilização da tecnologia MIMO com o recurso *beamforming*. A otimização na utilização do espectro disponível para as tecnologias 4G e 5G demandará um detalhado planejamento técnico, em cada região de utilização, levando em consideração as condições técnicas e características do mercado local. Estas facilidades ainda demandarão o desenvolvimento de soluções técnicas por parte dos fornecedores de tecnologias.

A utilização de microcélulas também terá um importante papel no desenvolvimento das novas redes 5G. Esta estratégia tem potencial de facilitar a sua implantação, já que a obtenção de espaços e coordenação de utilização frequências associadas é facilitada.

Em cidades menores e em localidades remotas, o processo de obtenção de espaços e de licenciamento é, em geral, menos complexo, mas outros problemas podem se manifestar, como dificuldade de acesso, segurança e viabilidade econômica para os recursos demandados.

#### **4.2.3 - Energia**

Este recurso é, tipicamente, disponível nas grandes cidades, e no caso da RAN 5G que demandará um consumo energético muito menor em relação à RAN

4G, de acordo com as especificações previstas [9], com isto, sua obtenção deverá ser facilitada.

Nas pequenas cidades e em localidades remotas, este recurso pode estar indisponível, e pode demandar adequações nas redes locais e/ou novas soluções alternativas, como sistemas de energia solares suportados por baterias, soluções especialmente indicadas para estações remotas, distantes de redes de distribuição de energia. Novamente, o menor consumo da RAN 5G facilita a implementação destas soluções alternativas de fornecimento de energia, que têm tido um grande desenvolvimento recente. Com isto pode-se prever uma mudança nos paradigmas de abastecimento de energia para estas novas redes.

Além das macros e microcélulas, outros dispositivos transmissores e receptores de menor porte deverão fazer parte das novas redes, e a sua energização através da rede convencional pode não ser viável, ou não ser a melhor opção. Para estes dispositivos as melhores opções deverão ser baterias de longa duração e células solares associadas com baterias.

#### **4.2.4 – Transmissão**

Do ponto de vista das necessidades de infraestrutura para a implantação e operação para as novas redes 5G, um dos recursos mais desafiadores está relacionada com a transmissão necessária para conectar os diversos elementos de rede, especialmente para a rede de acesso (RAN).

No Brasil, as maiores cidades contam com boa infraestrutura de transmissão, com vários provedores. As maiores prestadoras contam com redes próprias juntamente com redes de terceiros. Entretanto, para o desenvolvimento das redes 5G novos recursos serão demandados, já que mais capacidade de tráfego será demandada.

No interior do país a deficiência em recursos de transmissão é maior, conforme mostramos a seguir.

No mapa apresentado na Fig. 4 as rotas de transmissão de longa distância são mostradas.



Fig. 4: Rotas de Transmissão de longa distância no Brasil, Fonte [15]

Esse mapa mostra a grande concentração dos recursos de transmissão nas regiões sudeste, sul e nas áreas litorâneas, o que acompanha a maior concentração populacional e de recursos econômicos do país. Os núcleos destas redes são estruturados com sistemas de comunicação óptica. Para a implantação das redes 5G, e para suporte da maior demanda por dados, estas rotas deverão ser ampliadas e estendidas, com acréscimo de estruturas e de recursos tecnológicos, com equipamentos mais atualizados e de maior capacidade [15].

Na Fig. 5 os municípios Brasileiros são mapeados de acordo com sua disponibilidade de redes de transmissão com e sem fibra óptica.

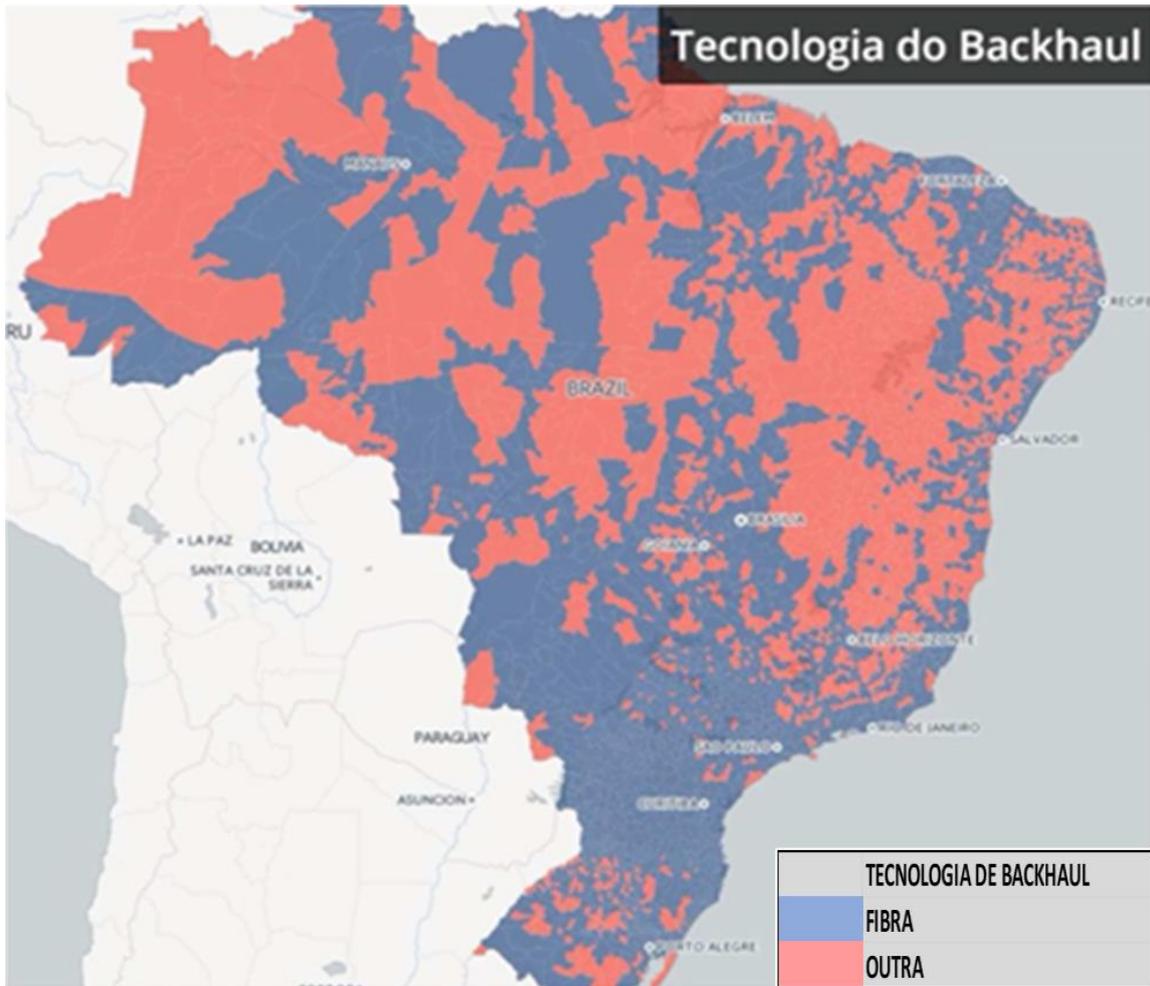


Fig. 5: Atendimento com redes de transmissão no Brasil, Fonte [15]

Em função desta realidade, a ANATEL desenvolveu o Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações – PERT 2018, que apresenta um planejamento regulatório informativo e propositivo visando a ampliação do acesso e do atendimento com serviço de banda larga no Brasil [15, 16].

Este planejamento tem como objetivos [15]:

- Realizar diagnóstico da situação atual da Banda Larga no Brasil;
- Obter visão das lacunas de atendimento e infraestrutura que impactam a expansão do serviço de banda larga;
- Identificar as áreas com baixa viabilidade econômica;
- Propor projetos que estimulem a construção de infraestrutura necessária para a expansão da banda larga;
- Propor a elaboração de um plano nacional que fomente ampliação do acesso aos serviços de banda larga;

- Apontar fontes de financiamento que possibilitem investimentos em áreas de pouca atratividade do mercado;

Esse plano mostra necessidades da infraestrutura de transmissão e endereça soluções. Estas redes também poderão ser utilizadas pelos sistemas 5G, e estes poderão ser utilizados para melhorar o atendimento de serviços de banda larga no Brasil, conforme previsto.

A ANATEL realizou um diagnóstico das redes no Brasil, e um resumo das condições de transporte e acesso móvel é apresentada na Tab. 2 [15, 16].

|                     | CONDIÇÕES ATUAIS   | DESAFIOS   |
|---------------------|--|--|
| <b>TRANSPORTE</b>   | 58% dos municípios (com 86% da população) atendidos por redes de transporte com fibra<br>42% dos municípios (com 14% da população) não atendidos por redes de transporte com fibra | 54% dos municípios sem fibra estão nas regiões Norte e Nordeste<br>23% em Minas Gerais     |
| <b>ACESSO MÓVEL</b> | 4G em Municípios com 72% habitantes<br>Obrigações existentes:<br>3G em 100% sedes municipais (2019)<br>4G nas sedes municipais com mais de 30.000 hab (2017)                       | Faltam:<br>3G nos distritos não sede<br>4G nas sedes dos municípios com menos de 30.000hab |

Tab. 2: Diagnóstico das redes de transporte e acesso móvel no Brasil, Fonte adaptado de [15, 16]

### **Desafios e propostas apresentadas no PERT 2018 ANATEL [15, 16]:**

#### **Desafio 1:**

- Existem 2.345 municípios (42% do total) sem conexão por fibra, com 14% da população brasileira.

#### **Propostas:**

- Atendimento com fibra óptica de 75% dos municípios, o que contemplaria 95% da população;

- Os 5% restantes da população seriam atendidos com rádio IP de alta capacidade;

#### **Desafio 2:**

- Existem 2012 distritos (não sede) sem ERBs instaladas (com população de 3,8 milhões de habitantes). As sedes municipais com mais de 30 mil habitantes contam com sistemas 4G de pelo menos uma prestadora.

**Propostas:**

- Atendimento com instalação de ERB 3G ou superior, em todos os distritos do país ainda sem atendimento;

- Atendimento com ERB 4G ou superior, em todos os municípios onde este atendimento ainda não é disponível;

**Desafio 3:**

- 2.221 Municípios com redes de transmissão, via fibra óptica, com velocidade baixa e média. A Fig. 6 mostra a distribuição de municípios, nos diversos estados do país, onde a velocidade média de transmissão está abaixo de 5 Mbps. Esta velocidade média pode ser considerada baixa e demandariam investimentos em recursos técnicos para promover sua melhoria.

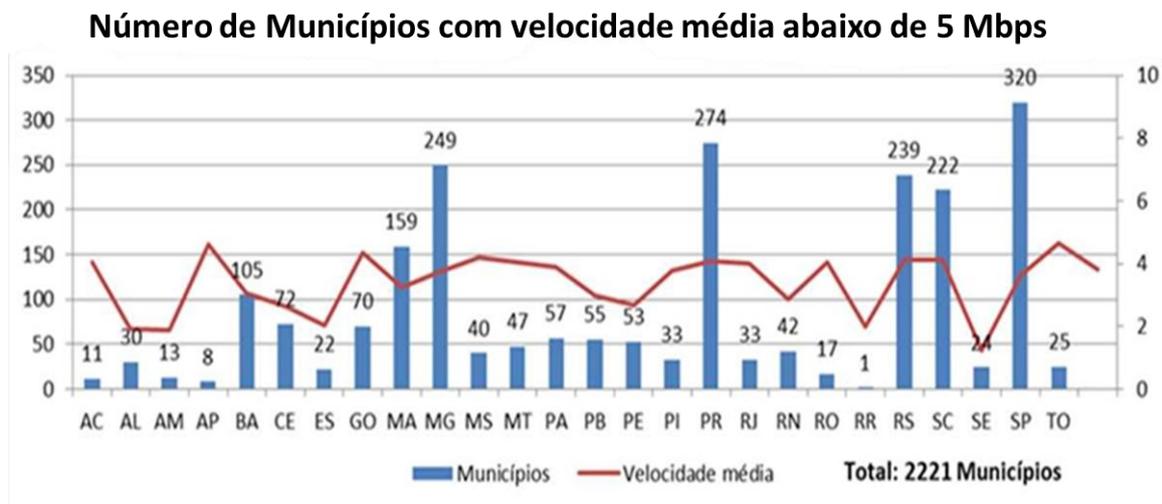


Fig. 6 - Municípios com velocidade média abaixo de 5 Mbps, Fonte [15]

**Proposta:**

Implantação de redes de acesso de alta velocidade como GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Networks*) e VDSL (*Very high speed Digital Subscriber Line*) em sedes municipais que já disponham de rede de transmissão com fibra.

Assim teríamos a implantação de fibra para municípios que ainda não dispõem deste recurso, ou a implantação de rádio enlaces para municípios sem viabilidade técnica/econômica para a implantação de fibra óptica.

É preciso notar que os números apresentados variam continuamente, e os números apresentados representam a situação, com as informações disponíveis quando da elaboração do documento referenciado em [15].

### **Fontes de Financiamento para os projetos propostos [15, 16]**

São listadas a seguir algumas formas de financiamento para os projetos propostos:

- Revisão do modelo de concessão das prestadoras de telecomunicações;
- Saldo do PGMU (Plano Geral de Metas de Universalização);
- Novas obrigações para as prestadoras de serviços de telecomunicações voltadas para a ampliação do acesso à banda larga;
- Termos de Ajustamento de Conduta (TAC), que consistem em um acordo entre a ANATEL e as prestadoras, onde penalidades e/ou obrigações são substituídas por outras obrigações que não constem na regulamentação vigente, como neste caso de expansão da cobertura banda larga em localidades com esta demanda;
- Compromissos adicionais para as prestadoras voltados à infraestrutura de rede de transporte e de acesso;
- Venda e renovação de radiofrequências para as prestadoras;
- Definição de obrigações decorrentes da autorização de uso de radiofrequências no SMP (Serviço Móvel Pessoal), para a cobertura de serviços fixos e móveis;
- Desonerações tributárias, obrigações tributárias que seriam substituídas por obrigações de atendimento;
- Investimentos públicos através do FUST (Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações);

#### **4.2.5 – Considerações sobre os desafios com a infraestrutura no Brasil**

Os desafios para a obtenção de sites são significativos nas grandes cidades brasileiras. Assim, além da alternativa de construção de novos *sites* para a rede 5G, será fundamental o reuso dos *sites* existentes (próprios e de terceiros) e o maior uso de microcélulas.

O recurso energia aparece como desafio em novas localidades, mas também como uma oportunidade para economia de OPEX, uma vez que os novos equipamentos 5G deverão consumir menos energia, o que ajudará na introdução de novos sistemas de fornecimento de energia alternativos, que têm se tornado mais disponíveis como sistemas de células solares protegidos por baterias.

A disponibilidade de transmissão adequada é um grande desafio para a implantação das redes 5G. Do exposto pode se prever que nos municípios maiores e de maior renda, haverá maior facilidade em sua obtenção, com a capacidade adequada, utilizando fibra óptica e com equipamentos mais modernos, como são indicados para as novas redes 5G.

Parte da RAN poderá se beneficiar da funcionalidade “in-band wireless backhaul”, obtendo os recursos de transmissão na mesma faixa utilizada para a operação do sistema, o que facilitará a implantação deste recurso.

No caso dos municípios mais pobres e distantes, serão demandadas políticas específicas e novas fontes de recursos, que poderão incluir incentivos públicos como descritos. O PERT-2018 apresenta propostas nesta direção, que têm o potencial de viabilizar as redes 5G em diversos municípios, e de se valer destas para buscar seus objetivos de atendimento, particularmente para prover acesso aos serviços de banda larga fixa.

Uma estratégia que tem o potencial de acelerar a disponibilização de recursos de transmissão e serviços, seriam políticas de apoio aos pequenos e médios provedores que existem em grande número no país (mais de 2.000), tem grande capilaridade, foco regional, grande flexibilidade e rapidez nas ações. Estas políticas poderia ser desonerações tributárias e liberação de recursos do FUST (Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações), vinculados ao cumprimento de metas de atendimento e disponibilização de recursos de infraestrutura, para uso competitivo no atendimento de localidades remotas.

Também é importante notar a importância dos sistemas de comunicação via satélite, para a composição do conjunto de soluções de atendimento a serem disponibilizadas para o atendimento. O Brasil tem dimensões continentais, diversos desafios geográficos, e diversos sistemas de comunicação via satélite estão disponíveis, vários estão em processo de disponibilização, com novos recursos tecnológicos e melhores preços de acesso, e eles farão parte do conjunto de soluções 5G.

### **4.3 - Novas Tecnologias**

As redes 5G utilizarão várias novas tecnologias, muitas das quais em desenvolvimento, para que equipem os novos sistemas. É possível antever

algumas das tendências de avanços técnicos para contemplar as várias dimensões das especificações demandadas.

Entre as tendências para as redes 5G está a densificação da rede, com muitos elementos RAN como microcélulas e *femto* células compondo a topologia do sistema. A funcionalidade de agregação de portadoras possibilitará a utilização de porções descontínuas do espectro para prover maior capacidade e múltiplas conexões para habilitar o aumento da capacidade de transmissão com o equipamento terminal, que poderá ser atendido por mais de um elemento da rede de acesso. A tecnologia MIMO avançada (*Multiple In Multiple Out*) aumentará a eficiência dos sistemas irradiantes, receptores avançados, mais eficientes e com maior imunidade a interferências.

Também será importante a utilização de múltiplos sistemas de acesso rádio, recursos como acesso assistido para otimizar a ocupação espectral, otimização da distribuição de tráfego, redução de carregamento através de sistemas de acesso alternativos, comunicação direta entre terminais (D2D).

Várias novas tecnologias deverão ser incorporadas para auxiliar a introdução destas novas redes, entre elas: novas arquiteturas de rede, rede em camadas (*network slicing*), recursos em nuvem, plataformas baseadas nas tecnologias SDN (*Software Defined Network*) e NFV (*Network Function Virtualization*) deverão, progressivamente, substituir várias plataformas convencionais e prover novas funcionalidades.

#### **4.4 - Operação de Rede**

Na área de operação de rede ocorrerão mudanças importantes, com os novos equipamentos, e as novas tecnologias introduzidas com os sistemas 5G, e com novos recursos tecnológicos que se disponibilizarão no mercado.

A rede de acesso terá mais elementos, com muitas células adicionais. Além das ERBs Macro, serão adicionadas equipamentos para prover menor cobertura e será crescente a incorporação de dispositivos e equipamentos que irão compor as redes mMTC e URLLC. Com estes novos elementos os processos de operação, incluindo gerência de redes, manutenção e restauração, deverão incorporar recursos e ferramentas que enderecem a maior complexidade da nova rede, integrando os recursos dos sistemas existentes. Ferramentas de gerência

customizadas para a supervisão e gerência de falhas deverão ser desenvolvidas e adaptadas para os novos requisitos, processo que deverá ser complexo e lento, e que já se iniciou com o uso crescente de novas tecnologias.

A utilização de informações de características do serviço a partir do terminal/dispositivo de acesso dos clientes e da RAN, será crescentes, o que permitirá a obtenção de informações em grande volume e com elevada precisão sobre características, qualidade e disponibilidade dos serviços prestados aos clientes, que serão tratadas com novas técnicas de análise utilizando técnicas de Inteligência Artificial (IA) e de *Big Data*. Estas informações oferecerão subsídios importantes para sistemas de gerência de redes inteligentes. Sistemas de IA farão análise, correlação de alarmes, irão disparar ações automáticas de configurações, reparo, restauração, comutação entre outras, e fornecerão informações e recomendações a técnicos operadores e gestores. Também estão sendo desenvolvidos sistemas IA, que fazem disparo automático de técnicos de campo e orientam estes profissionais sobre as operações a serem realizadas. Estes sistemas têm avançado, e nas redes 5G terão uma importância relativa muito maior, serão indispensáveis para tratar e gerir com eficiência a grande quantidade de dados proveniente dos elementos de rede, especialmente das redes RAN, e gerir serviços com alta demanda de confiabilidade.

Os processos de manutenção e restauração das redes 5G terão que ser redefinidos em função das novas necessidades, o número de elementos de redes irá se multiplicar, existirão aplicações utilizando sistemas URLLC que exigirão um altíssimo nível de confiabilidade, o que demandará a implantação de redes robustas, e processos de O&M (Operação e Manutenção) que contemplem esta exigência. Parte desta necessidade será endereçada por novos sistemas, com tecnologias SON (*Self-Organizing Network*), novamente, como descrito anteriormente sistemas de análise de Big Data, e plataformas de IA desempenharão um papel imprescindível para garantir a complexa gerência de redes inteligente.

Na área de plataformas, será marcante a utilização dos novos sistemas baseados nas tecnologias NFV/SDN. A substituição das plataformas tradicionais (legadas) se dará progressivamente, e marcará uma transição da gerência de um ambiente onde as funcionalidades têm razoável independência, e o suporte de grandes fornecedores, para novos sistemas onde diversas funcionalidades serão

realizadas simultaneamente em novas plataformas, com novos e tradicionais fornecedores, sendo demandada a implantação de diversos *data centers*. Além disso, diversos processos de O&M, entre eles de gerência de redes, com detecção e correlação de alarmes, manutenção e correção de falhas deverão ser redefinidos e aprimorados. Novos formatos de suporte por parte dos fornecedores, baseados em plataformas mais inteligentes e automatizadas, deverão ser estabelecidos em substituição aos atuais. A evolução da incorporação dos novos sistemas SDN/NFV se dará progressivamente, inicialmente aplicadas a funcionalidades menos críticas e posteriormente às funções essenciais. Uma vantagem importante destes novos sistemas será a possibilidade da realização de sistemas redundantes, que hoje não é possível para diversos equipamentos e funcionalidades essenciais.

#### **4.5 – Ambiente Regulatório e seus Desafios**

No Brasil, em 15 de fevereiro de 2017, representantes do Governo Federal, através do MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações), ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), representantes das indústrias de equipamentos de Telecomunicações, Prestadoras de Serviços de Telecomunicações, entidades representativas e academia lançaram o projeto 5G Brasil. A motivação do projeto foi a de promover a criação de um ecossistema de quinta geração de telefonia móvel no país e sua participação e cooperação em fóruns internacionais de padronização e cooperação [17, 18, 19].

Para a ANATEL um dos desafios mais significativos do ponto de vista regulatório será a regulamentação da Internet das Coisas (IoT), em função da necessidade de cuidado para que as regras (e taxas) não inibam o seu desenvolvimento, mas ao mesmo tempo tragam as garantias necessárias aos seus usuários e a sociedade. Várias questões serão endereçadas como espectro, conectividade, classes de serviços, concessões, numeração, qualidade, certificação, roaming, coexistência, segurança, privacidade, modelos de entrega, tarifação, tributação etc.

##### **4.5.1 – Faixas de Frequência para 5G no Brasil**

Os novos serviços 5G demandarão muito mais espectro. Estas frequências deverão ser disponibilizadas em faixas mais baixas que permitirão maior

cobertura, e em faixas mais altas (acima de 6GHz), com maior banda, onde fornecerão maior capacidade [20].

### **Faixas inferiores a 6GHz**

A ANATEL através do seu Comitê de Espectro e Órbita realizou uma tomada de subsídios referente à utilização para as faixas de 2,3 GHz e 3,5 GHz.

Estas faixas são candidatas para a utilização com os novos sistemas 5G. Este procedimento teve a finalidade de obtenção de subsídios para a definição de modelos de venda das faixas. Foram levantadas informações sobre sistemas e aplicações que poderiam ser utilizadas nestas faixas, atratividade comercial e técnica, complementariedade entre as faixas, propostas de canalização, tamanho de blocos, formatos de outorgas, possibilidades de contrapartidas a serem exigidas no processo de licitação, inclusive em relação ao Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações – PERT [15]. Subsídios sobre questões técnicas, como interferências, são de especial importância. Laboratórios terceirizados deram suporte às análises, para a realização de testes de interferência e compatibilidade, especialmente com os sistemas de recepção de sinais de TV em banda C (TVRO – *TV Receiver Only*). Políticas e definições de certificação de equipamentos nestas faixas também serão importantes [21].

A Agência também realizou consulta pública sobre a utilização da faixa de 3,5 GHz (Banda 42 do 3GPP), que será primordial para a futura implantação dos sistemas 5G. Representantes da Anatel manifestaram a expectativa da Agência que a licitação desta faixa se dará em março de 2020 [22].

A GSMA defende a necessidade da rápida liberação do espectro para o 5G. A associação argumenta que, embora sejam esperados crescimentos em 4G na América Latina nos próximos anos, é necessário iniciar imediatamente os trabalhos preparativos para a disponibilização de frequências para 5G, incluindo alocação e limpeza de espectro, já que isto sempre demanda bastante tempo [23]. A Associação também defende que, para bandas médias, como de 3,5 GHz, sejam alocadas faixas com largura entre 80 a 100 MHz. A ANATEL planeja uma faixa total de 300 MHz, utilizando além de faixa de 3,5 GHz, também parte das faixas de 3,3 GHz e 3,4 GHz [24].

O SindiTelebrasil (Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e Serviço Móvel e Pessoal), representante das prestadoras, se manifestou alegando que

este espectro de 2,3 GHz será fundamental para os novos sistemas 5G, e que a utilização para serviços restritos (o SLP é um serviço de interesse restrito), em caráter primário, resultaria na redução da disponibilidade de espectro para serviços de interesse coletivo, com impacto na oferta e na qualidade de serviços que serão demandados por grande parcela dos usuários [25]. A entidade argumenta que mesmo que o SLP seja prestado em caráter primário nas regiões de menor densidade populacional, isto inviabilizaria a adequada ampliação dos serviços de interesse coletivo nestas localidades futuramente, privando a população destas regiões do acesso a novos serviços, aplicações e tecnologias. O sindicato entende que o atendimento à maior parcela da população deve ser priorizado, e propõe que o SLP utilize a faixa em caráter secundário, mediante acordo com a entidade que detenha a radiofrequência outorgada em caráter primário [25].

Na sua resposta à consulta pública, a Telefônica argumenta que a destinação desta faixa para serviços de interesse restrito, em caráter primário, poderia reduzir a disponibilidade de radiofrequências para serviços de interesse coletivo, com impacto direto na oferta de serviços e aplicações. A empresa entende que esta faixa é fundamental para a expansão do 4G no futuro próximo, e para o desenvolvimento e massificação de aplicações que envolvam as novas redes 5G. De forma alinhada com o SindiTelebrasil também defende que o SLP seja alocado em caráter secundário. A TIM, a Claro e o GSMA se manifestam de forma semelhante [25].

### **Faixas superiores a 6 GHz**

As chamadas ondas milimétricas (*mmWave*), faixas acima de 6 GHz, terão um papel importante no conjunto de frequências que serão utilizadas pelas redes 5G, especialmente no que se refere a proporcionar capacidade e altas taxas de transmissão de dados em sistemas operando com cobertura limitada, incluindo redes de acesso para sistemas de fixos. Existem muitos desafios técnicos para o funcionamento de sistemas eficientes nestas faixas, como dificuldades de propagação e de penetração em ambientes *indoor* e degradação com condições climáticas adversas (por exemplo chuva, neve, etc). Vários novos recursos técnicos, como novas antenas, novas técnicas de acesso, novos transceptores deverão ser incorporados para a melhorar o desempenho destes sistemas.

A alocação destas faixas para 5G será discutidas na WRC-19 (*World Radio communication Conference-2019*), com questões como necessidades de alocação de banda de guarda, para determinar a quantidade e posicionamento de espectro a serem alocados, bem como a busca de harmonização com outros países, antecipando o cronograma global na definição da utilização de bandas, como as de 26 e 40 GHz [24,26]. Também deverão ser definidos procedimentos de limpeza e alocação de espectro, alocação dinâmica, compartilhamento e transferência destas faixas, o que permitirá viabilizar a sua utilização para os sistemas 5G. Nessas faixas de frequências será possível prover bandas maiores para cada prestadora, o que poderá potencializar o aumento de capacidade. Na reunião técnica da UIT, que ocorreu em Abu Dhabi em setembro de 2017, a administração brasileira, representada pela ANATEL, apresentou um estudo [26, 27] demonstrando a viabilidade técnica da utilização da faixa de 26 GHz. Essa questão é especialmente importante para o Brasil, que devido à sua extensão territorial, usa intensivamente soluções de comunicações via satélite, e a preocupação seria a interferência destes sistemas que prestam serviços utilizando a banda Ka ocupando o espectro entre 27 e 30 GHz, com novas redes celulares operando em 26 GHz. Este estudo reforça a possibilidade do uso da faixa de 26 GHz como faixa de extensão para serviços celulares 5G. O desafio será o de harmonizar esta e outras faixas com o resto do mundo. A Ofcom, agência regulatória Britânica, já demonstrou suporte a esta posição brasileira [26].

Os referidos estudos realizados no Brasil, importantes para fornecer subsídios para a tomada de decisões sobre alocação de espectro, considerando o compartilhamento e a coexistência entre redes 5G e outros sistemas, utilizaram a ferramenta de simulação (*open source*) chamada SHARC (*Open Source Simulation Tool for Sharing and Compatibility Studies between 5G and Other Radiocommunication Systems*). Esses estudos são apresentados na referência [27] e mostram a possibilidade de convivência entre os sistemas 5G e os sistemas Satelitais com uma margem segura, nas referidas faixas.

#### **4.5.2 – Análise Técnico-Operacional das Frequências para 5G no Brasil**

Em função da previsão de grande crescimento de tráfego, de que vários novos serviços serão disponibilizados, do fato que a incorporação de novas redes se fará de forma gradual, preservando as redes legadas no processo de transição,

muito espectro adicional será demandado [20] para a implantação dos sistemas 5G.

Considerando a grande demanda por espectro de frequência que os novos sistemas 5G irão requerer, as frequências em 2,3 GHz serão importantes para as prestadoras em seus processos de implantação, pelos motivos expostos a seguir:

- O grande potencial desta faixa de ter um amplo ecossistema de equipamentos de rede de acesso, terminais, e demais dispositivos conectados para aplicações em 5G. Já existem mais de 30 redes de telefonia celular em operação comercial pelo mundo nesta faixa;
- A pouca disponibilidade de espectro em faixas mais baixas que permitam novas implementações, inicialmente em 4G, e posteriormente em 5G, que ofereçam boas condições de cobertura, e com isto ajudem na utilização eficiente de recursos de investimentos (CAPEX), e custos associados (OPEX), trazendo uma boa relação custo/benefício, indispensável em ambientes mercadológicos mais desafiadores, como é o caso do Brasil.
- Necessidade de faixas de manobra, que são faixas necessárias para alocar novos sistemas e/ou sistemas em operações, que necessitem ser remanejados para ocuparem outras faixas de frequência liberando as faixas de utilização para os novos sistemas;
- Boas condições técnicas, especialmente no que se refere às características de propagação, próxima de outras faixas que estão em operação (1,8GHz e 2,5GHz) para a operação em conjunto com outras faixas de frequência, para atendimento urbano e suburbano, usando facilidades de agregação de portadoras, provendo mais capacidade.
- Flexibilidade para o planejamento de frequências, oferecendo uma alternativa com condições de propagação próximas às faixas em uso, possibilitando o estabelecimento de faixas dedicadas para a introdução de redes de microcélulas 5G.
- Grande dificuldade de obtenção de novos sites, especialmente em cidades grandes para adequação do novo grid exigido por faixas mais altas.

As faixas de 2,3 e 3,5 GHz (além de faixas próximas) serão fundamentais para a implantação do 5G, pois permitirão a disponibilização de novos blocos de frequência para a implantação dos novos sistemas, e para a manobra de sistemas

que precisem ser realocados. Estas faixas poderão ser usadas isoladamente ou agregadas com outras, permitindo boa cobertura urbana, suburbana e até rurais para macrocélulas, e também poderão fornecer faixas para serem utilizadas por microcélulas, contemplando um bom aproveitamento de capital (otimização de CAPEX), com controle nos custos associados (otimização de OPEX), facilitando o planejamento celular, com suas características de propagação.

É necessário ressaltar a situação particular do Brasil nesta área. O país tem uma dimensão continental (8.516.000 Km<sup>2</sup>), um dos ARPU (*Average Revenue Per User*) médio mais baixos do mundo (USD 5,58 set/18), uma das cargas tributárias mais altas do mundo para o setor. Em função dessas características, a eficiência na alocação de recursos é uma exigência e, para ser contemplada existe a necessidade de faixas de espectro mais baixas.

As faixas altas (acima de 6 GHz), ondas milimétricas (*mmWave*), especialmente as faixas de 26 GHz e 40 GHz, deverão ter ecossistemas de equipamentos, terminais e outros dispositivos conectados desenvolvidos, e oferecer faixas mais amplas para prover maior capacidade e taxa de transmissão de dados.

Do ponto de vista operacional estas faixas também oferecerão muitos desafios para o seu planejamento e utilização. A limitada cobertura, a necessidade de incorporação de novos equipamentos e sistemas com novas tecnologias em desenvolvimento, a falta de experiência no planejamento nestas faixas, a suscetibilidade a interferências, em função das características de propagação própria desta faixa demandarão muito mais trabalho.

## 5 – ESTRATÉGIAS PARA A IMPLANTAÇÃO DAS REDES 5G

### 5.1 - Introdução

A seguir descreveremos estratégias de migração das atuais redes 4G para as novas redes 5G. As estratégias descritas se baseiam na bibliografia relacionada, especialmente na referência do GSMA [28], na experiência do autor e nos posicionamentos de vários líderes técnicos de prestadoras de serviços de telecomunicações atuando no mercado Brasileiro.

Historicamente a evolução das redes celulares se deu por etapas, em ondas de evolução, em que novas gerações permitiam mais capacidade, novos serviços, e melhor eficiência na utilização de investimentos. Também trouxeram desafios na implementação das novas tecnologias, ainda em processo de amadurecimento, e realizada por profissionais em processo de capacitação nestes novos sistemas e serviços.

Os desafios para a implementação das novas redes 5G são diversificados. Haverá uma nova rede de acesso 5G NR (*New Radio*), além de outras tecnologias de acesso, que demandarão mais sites, com a utilização extensiva de microcélulas, e operando em faixas de frequência variadas, incluindo faixas mais altas (acima de 6GHz), para prover mais capacidade e melhor aproveitamento do espectro radielétrico disponível. Os sistemas de transmissão deverão contemplar muito mais capacidade e conectividade para integrar e fornecer capacidade para a rede de acesso ampliada.

Em termos do *core* e plataformas haverá uma grande evolução com o novo *core* 5G (5GC), que trará muitas novas facilidades e a incorporação de tecnologias, como SDN, NFV, novas arquiteturas, que darão suporte e mudarão de forma significativa os atuais sistemas em operação.

Nas gerações tecnológicas anteriores, havia uma rede de acesso, e uma rede *core*, que funcionavam conjuntamente. Por exemplo, na rede 4G temos a RAN LTE funcionando com o *core* EPC (*Evolved Packet Core* - 3GPP TS 23.401). Na rede 5G teremos a nova rede de acesso 5G NR (*New Radio*), que poderá funcionar com o *core* 5G: 5GC (5G Core - 3GPP TS 23.501), mas também com o *core* EPC adaptado. Assim será possível integrar elementos de diferentes gerações em diferentes configurações:

- *Standalone* (SA): quando se usa uma tecnologia (4G ou 5G) para a rede de acesso rádio

- *Não-Standalone* (NSA): quando se usam múltiplas tecnologias (4G e 5G) de rede de acesso rádio

Estas facilidades são características importantes das redes 5G, que irão lhe conferir flexibilidade, úteis em seus objetivos de contemplar suas especificações, maximizar o aproveitamento de recursos de tecnologias legadas, e novas que se tornem disponíveis, e serão facilitadoras do processo de implantações destas novas redes.

## 5.2 - Configurações Incorporando as Redes 5G

As prestadoras SMP atuais possuem atualmente redes 4G (além de 2G e 3G), e a incorporação de novas tecnologias 5G poderá ser realizada por meio de várias configurações (*Standalone* e *Não-Standalone*), conforme Fig. 7.

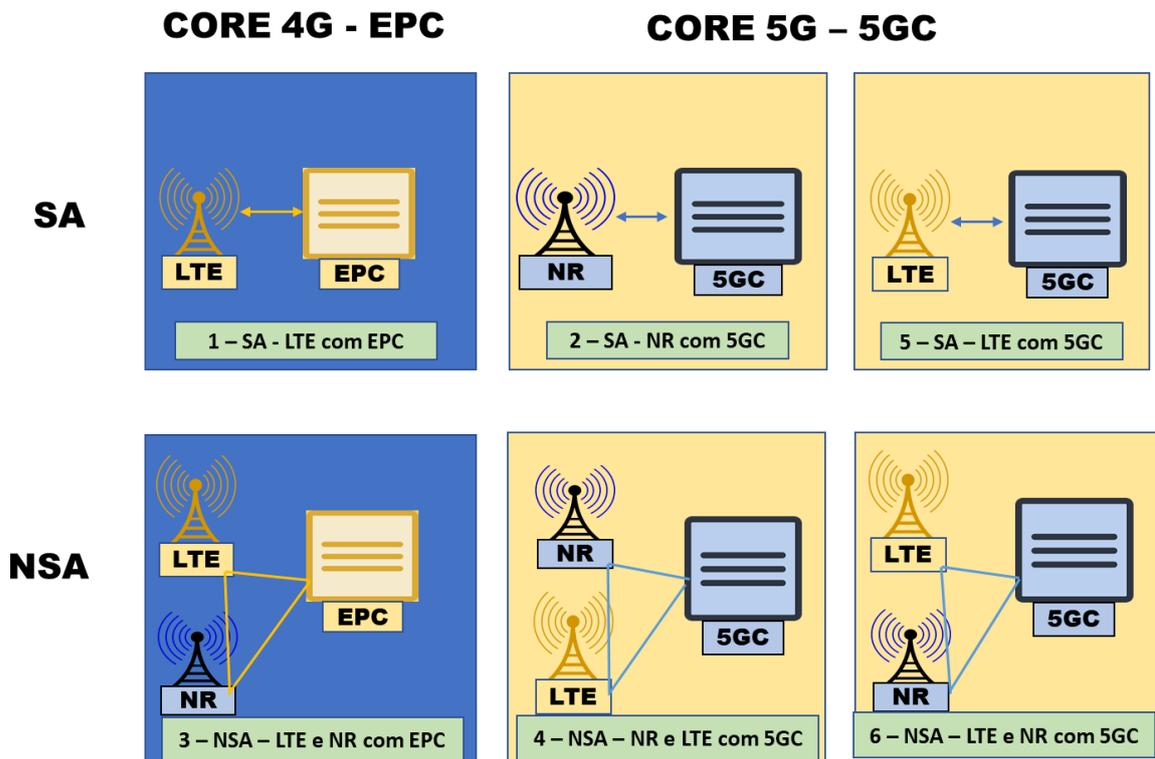


Fig. 7: Opções de configurações *Standalone* (SA) e *Não Standalone* (NSA),  
Fonte: adaptado de [28]

- Na primeira opção (SA) teríamos uma rede convencional 4G, com sua rede de acesso 4G (LTE) e com seu *core* 4G (EPC);

- Na segunda opção (SA) teríamos uma rede de acesso 5G (NR) com um *core* 5G (5GC);
- Na terceira opção (NSA) teríamos redes de acesso 4G (LTE) e 5G (NR) com o *core* 4G (EPC);
- Na quarta opção (NSA) teríamos redes de acesso 5G (NR), como rede máster, e 4G (LTE) com o *core* 5G (5GC);
- Na quinta opção (SA) teríamos uma rede de acesso 4G (LTE) com um *core* 5G (5GC);
- Na sexta opção (NSA) teríamos redes de acesso 4G (LTE), como rede máster, e rede 5G (NR) com o *core* 5G (5GC);

### **5.3 - Estratégias de Migração**

Passaremos a discutir as estratégias de migração, considerando as possibilidades para uma prestadora de serviços celular típica que já tenha sua rede 4G, rede de acesso LTE e *core* EPC, e que planeje implantar a tecnologia 5G em sua rede [28]. Focaremos na descrição da estratégia de migração, sem a descrição técnica mais detalhada, que não faz parte do escopo deste trabalho.

As estratégias de migração apresentadas não são exaustivas, ou seja, outros caminhos podem ser visualizados, e com o decorrer do desenvolvimento e implantação dos sistemas, outras estratégias poderão ser desenvolvidas, em função de necessidade das prestadoras, disponibilidade de sistemas, terminais, recursos financeiros, problemas técnico-operacionais, a serem superados no processo de implantação e operação, prioridades na disponibilização de serviços, e de novas soluções técnicas que venham a ser disponibilizadas pelo fornecedores e/ou demandadas pelas prestadoras.

### 5.3.1 - Opção 2 (SA): Acesso 5G (NR) e Core 5GC

De acordo com esta opção, os correntes sistemas 4G migrariam para uma rede que mantivesse a rede 4G, com seu acesso LTE e *core* EPC funcionando em paralelo com a rede *Standalone* e com acesso 5G (NR) e *core* 5GC, conforme Fig. 8.

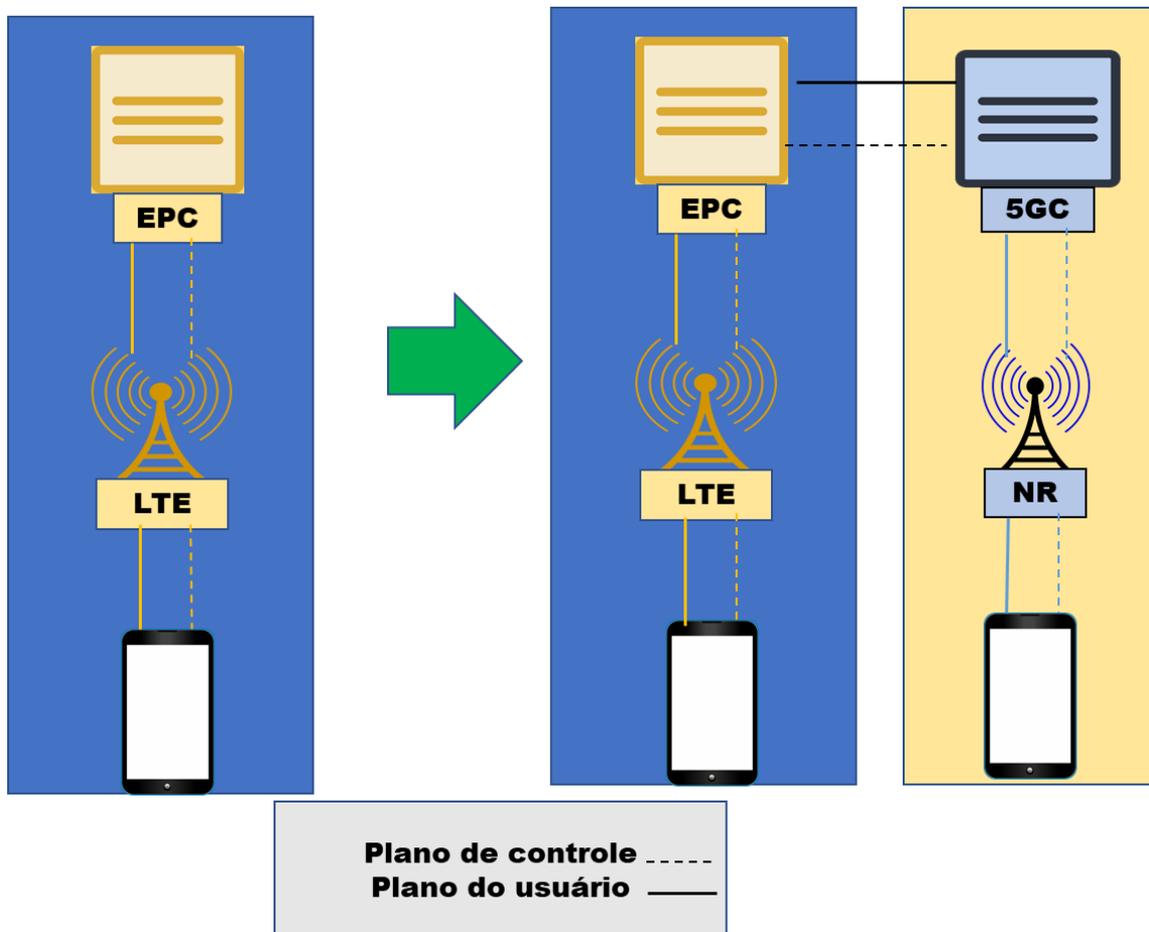


Fig. 8: Evolução com opção SA com acesso 5G (NR) e *core* 5GC, Fonte: adaptado de [28]

Teríamos facilidades de mecanismos de mobilidade, possibilidade de um usuário que está sendo atendido por um sistema de acesso, passar a ser atendido por outro, sem descontinuidade no seu atendimento, a funcionalidade inter-RAT permitiria a mobilidade de terminais conectados com a rede de acesso 4G sob o controle do *core* EPC com a rede de acesso 5G sob o controle do *core* 5GC.

Esta estratégia de migração teria como vantagem a possibilidade de testar as diversas funcionalidades da rede 5G, incluindo as suportadas pelo acesso NR e pelo *core* 5GC, e de prover serviços mais avançados baseados na arquitetura 5G, incluindo aplicações que demandem *network slicing*. Como desvantagem poderíamos citar que as implementações de sistemas com o *core* 5GC (*stage 2*)

estão em fase de desenvolvimento (no momento do desenvolvimento deste trabalho), e as adequações sistêmicas deverão tomar mais tempo [28]. A migração descrita proveria arquitetura aberta, flexível, baseada em serviços, e poderia ser adequada para atender demandas de novos serviços para várias verticais (ex.: transporte, produção industrial, etc).

Esta opção demandaria a implantação das novas ERBs 5G gNB (SA NR), o *core* 5G (5GC), novas funcionalidades na rede legada (4G) para permitir a mobilidade inter-RAT, assim como novos dispositivos terminais compatíveis com o 5G.

Com esta estratégia, o interfuncionamento das redes 4G e 5G para permitir a continuidade dos serviços poderia ser conforme interface definida no 3GPP (TS 23.501/502).

O serviço de voz sobre a rede 5G poderá ser oferecido com o auxílio do serviço de voz da plataforma IMS (*IP Multimedia Subsystem*), com o uso da plataforma de VoLTE (*Voice over LTE*) existente, ou ainda através de soluções proprietárias (não padronizadas) oferecidas pelos fornecedores. A solução seria efetiva dentro dos limites de abrangência do serviço das referidas plataformas. Em caso de impossibilidade de suporte destas plataformas para os serviços 5G, ainda seria possível o retorno para as redes de gerações anteriores para o acesso aos serviços de voz [28].

### **5.3.2 - Opção 3 (NSA): Acessos 4G (LTE) e 5G (NR) com Core 4G (EPC)**

Nesta opção, os sistemas 4G atuais migrariam para uma rede que mantivesse a rede 4G, com seu acesso LTE e *core* EPC, operando também com o acesso 5G (NR), conforme Fig. 9.

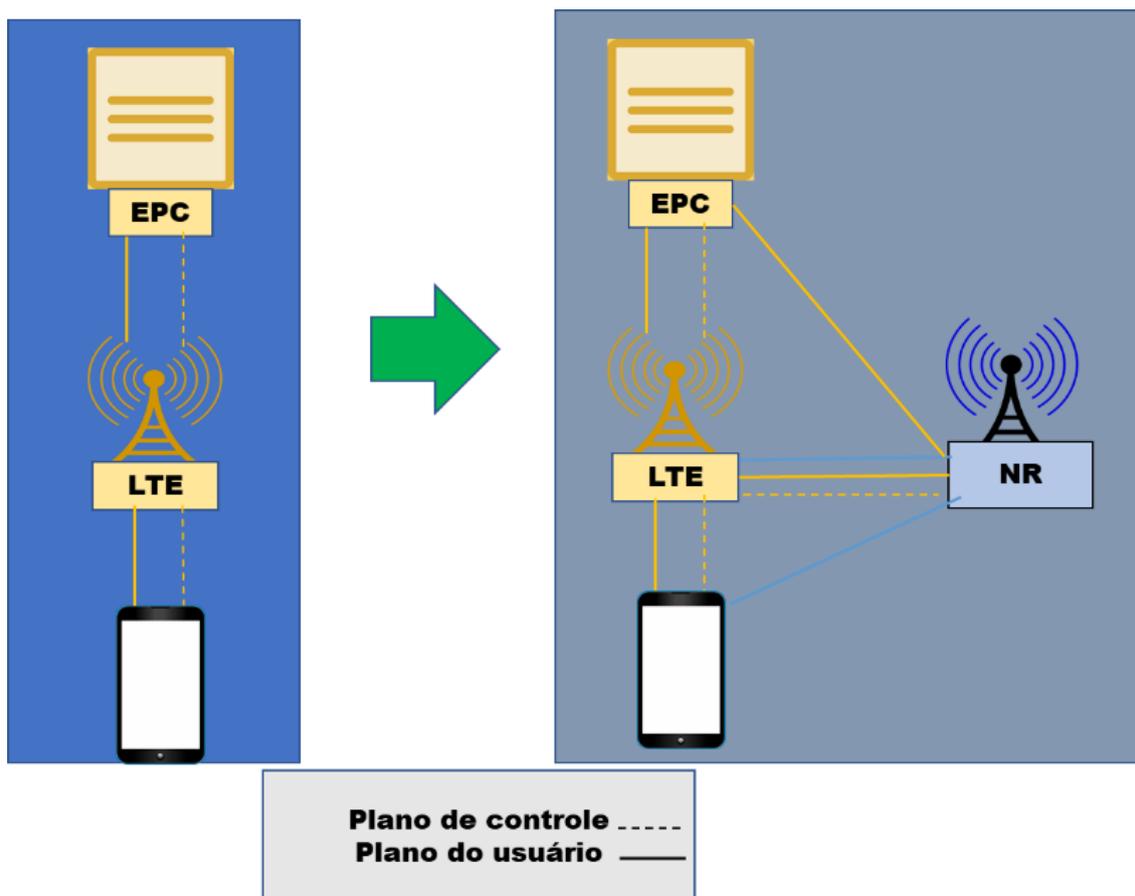


Fig. 9: Evolução com opção NSA com acessos 5G (NR) e 4G (LTE) e core EPC,  
Fonte: adaptado de [28]

Uma das vantagens deste caminho de migração é a utilização do *core* EPC existente, com as adaptações associadas às especificações do novo acesso 5G (NR), configurado para funcionar na modalidade Não *Standalone*, sem as especificações do sistema 5G completo, como no caso anterior e em outros casos que envolvam a utilização do *core* 5GC. As especificações para esta configuração foram finalizadas em dezembro 2017 [28].

Esta pode ser uma alternativa para acelerar a entrada no mercado de soluções de acesso 5G, promovendo testes da tecnologia, desenvolvimento de serviços, produtos e de mercado.

Como os sistemas são padronizados, existe a disponibilidade de diferentes fabricantes, fornecendo equipamentos para as redes 4G e 5G. Entretanto, como sempre ocorre nos lançamentos de novas gerações tecnológicas, o início da interoperabilidade de diferentes fornecedores requer bastante trabalho de integração.

Com esta alternativa, é possível usar a nova rede de acesso 5G (NR) tanto nas faixas abaixo de 6GHz, provendo cobertura mais extensiva, como em faixas acima, onde uma maior banda seria disponibilizada, possibilitando aplicações com maiores taxas de dados, adequadas, por exemplo, para aplicações *indoor* com altas taxas de dados. Esta alternativa demandaria a disponibilidade de equipamentos, terminais e frequência associadas.

Naturalmente, o *core* 4G (EPC) imporá algumas limitações ao desempenho do serviço 5G provido pela rede de acesso. Alguns exemplos de limitação se referem a taxa de dados e latência, e por consequência serviços associados.

Esta opção demandaria ERBs 5G gNB (NSA NR), novas funcionalidades e adaptações no *core* 4G (EPC e HSS- *Home Subscriber Server*), novas adaptações na rede de acesso 4G (eNBs), assim como novos dispositivos terminais compatíveis com o 5G.

Os serviços de voz poderiam ser oferecidos através da plataforma VoLTE existente, que poderia receber atualizações para suportar 5G.

### **5.3.3 - Evoluções Posteriores**

A partir das opções descritas anteriormente, novas evoluções são previstas, com o objetivo de incorporar novos elementos e recursos tecnológicos, que venham a ser disponibilizados pela indústria, demandados pelo mercado e que sejam viabilizados financeiramente pela possibilidade de investimento das prestadoras. A partir da opção 3 (descrita em 5.3.2) por exemplo, uma evolução seria a incorporação do *core* 5G (5GC), que permitiria a incorporação de diversas novas possibilidades técnicas, e assim novos serviços previstos para serem fornecidos pelas redes 5G.

Novamente é preciso deixar claro que os caminhos de evolução mostrados não são os únicos possíveis. Esta abordagem não pretende e não teria como ser exaustiva, em função da grande possibilidade de alternativas e também da possibilidade de mudanças futuras do ecossistema de sistemas, soluções e serviços, que se encontram em desenvolvimento, e que terão grande evolução e transformação o que torna possível (e provável) que premissas e planejamentos vigentes neste momento venham a se transformar.

#### 5.4 - Implantação de Rede de Acesso com Microcélulas

As redes celulares implementadas através de microcélulas já são uma realidade para sistemas 3G e 4G. Entretanto, sua implementação ainda é pouco utilizada. Particularmente no Brasil as redes com microcélulas ainda são muito pouco exploradas em função de diversos fatores, como dificuldade para obtenção de *sites*, segurança, disponibilidade de recursos de transmissão, necessidade de pagamento de licenças e taxas, demanda de cobertura para grandes áreas, entre outros.

Entretanto, os modelos atuais devem evoluir e sistemas de acesso utilizando microcélulas deverão se tornar progressivamente mais importantes para integrar os sistemas de acesso, particularmente para as redes 5G. Estes sistemas permitirão prover soluções específicas para áreas com alta demanda de tráfego. O controle dos elementos de acesso da rede poderá se dar através da conexão direta aos nós de controle, ou através da conexão das ERBs 4G (*eNode B*) controlando redes de microcélulas 5G. Estas soluções são candidatas para resolver problemas de aplicações *indoor* em ambientes de alto tráfego, com soluções mais econômicas que as atuais soluções DAS (*Distributed Antenna Systems*).

A Fig. 10 mostra o cenário descrito, considera uma macrocélula 4G da rede legada fornecendo os recursos necessários para o controle das novas microcélulas, e neste exemplo também para sistemas MTC.

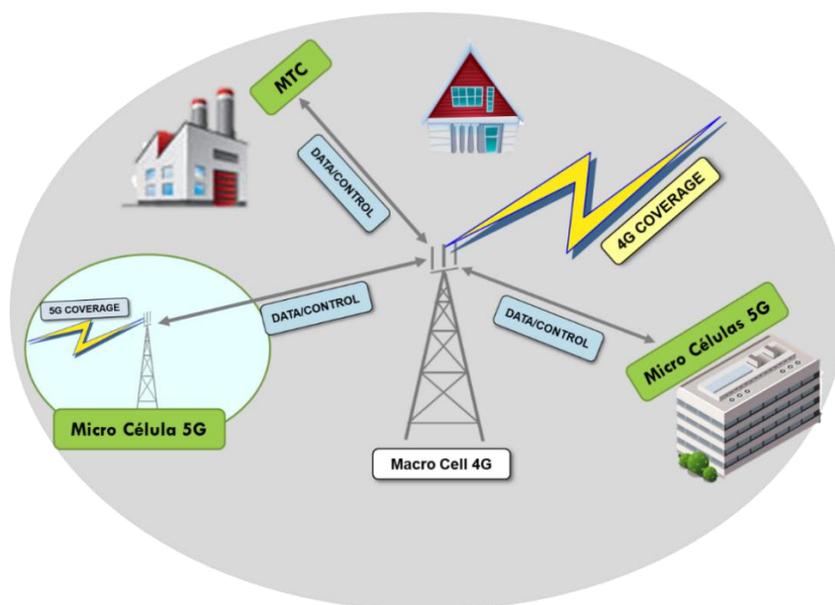


Fig. 10: Macro célula 4G integrando componentes 5G, Fonte [5]

A primeira versão de RAN com microcélulas a ser implementada deverá ser a NSA (Não *Standalone*), versão 3GPP *Release-15* [29], que permitirá acelerar e adiantar soluções de eMBB, utilizando o acesso 5G (NR), com recursos da rede legada (rede de transporte e *core*). Posteriormente haverá desenvolvimentos das redes 5G *Standalone*.

Esta alternativa permite que, com simplicidade e baixos custos, prestadoras realizem testes e lançamentos antecipados de redes 5G, já que grandes prestadoras têm poder de negociação junto aos fornecedores para conseguirem, com baixos custos, equipamentos para realizarem testes, inclusive com operação comercial, antes da decisão por compras. Estes procedimentos teriam alguns objetivos, como avaliar a tecnologia e a solução de cada fornecedor, realizar testes de interoperabilidade, desenvolver novos produtos e serviços, treinar equipes em novas tecnologias. Do ponto de vista de marketing, esta estratégia permite a apropriação da inovação representada pelas novas tecnologias, e comunicar ao mercado e aos seus clientes que disponibilizarão melhores serviços por disporem de melhor e mais recente tecnologia.

Na perspectiva do planejamento técnico, para a implantação desta solução é possível implantar uma rede de microcélulas, ou usar os mesmos *sites* do 4G, em uma aplicação co-localizada. A disponibilização das novas faixas para o 5G ainda demandará sua licitação, e em alguns casos, posterior limpeza deste espectro. As primeiras implantações podem ser realizadas em faixas de operação já licenciadas, limpas para esta aplicação, ou em faixas não licenciadas, em aplicações secundárias.

### **5.5 - Estratégias de Migração para o Cenário Brasileiro**

As estratégias de migração das redes legadas para as redes 5G deverão levar em consideração as condições específicas e desafiadoras do cenário brasileiro. A seguir apresentaremos algumas possibilidades e propostas de migração considerando as condições do mercado brasileiro. É importante ressaltar que diversas alternativas poderão ser adotadas, em alguns casos de forma simultânea, e sua adoção dependerá da evolução das ofertas de sistemas, terminais, dispositivos de acesso, faixas de frequência, disponibilidade de recursos, bem como das estratégias tecnológicas e mercadológicas da prestadora.

Uma estratégia de evolução que pode ser adotada é a adoção da opção 3 (5.3.2):

- Non Standalone com *core* 4G (EPC), acesso 4G (LTE) e o acréscimo progressivo do acesso 5G (NR).

O aproveitamento das redes legadas, incluindo o seu *core*, permitirá um processo de incorporação de novas tecnologias mais econômico, e um avanço na implantação sintonizado com as novas oportunidades de mercado, e com o aumento e amadurecimento do mercado dos dispositivos e terminais de clientes.

As faixas de 3,5GHz e/ou 2,3GHz fornecerão os recursos de espectro necessários para o início do desenvolvimento de novas redes, e para as manobras que se farão necessárias entre as os sistemas com as novas tecnologias e as redes legadas.

A infraestrutura inicial a ser utilizada seria a dos sites atuais, aproveitando o *grid* existente, e utilizando-se de novos recursos técnicos, como da agregação de portadoras, novos sistemas de antenas com tecnologia MIMO avançada, para compor as necessidades de cobertura e capacidade demandadas.

Redes de microcélulas 5G (NR) poderão auxiliar na solução dos problemas de falta de capacidade em áreas de alto tráfego, utilizando a tecnologia de microcélulas avançadas, maximizando as possibilidades de atendimento com estes sistemas, especialmente para atendimento em grandes cidades, e em ambientes *indoor*, complementando e substituindo outras soluções como DAS.

A próxima migração poderia ser a da opção 3 (NSA) para as opções 5 (SA) e 6 (NSA) [28]. Nesta estratégia, o *core* 5G (5GC) seria incorporado permitindo maior flexibilidade e diversidade de serviços, com a RAN 4G funcionando como master, já que esta deverá ser mais amplamente utilizada e a mais importante por muito tempo.

Esta evolução representa um avanço, já que a opção 3 (NSA) não contempla o *core* 5GC, que traz diversas novas funcionalidades e características técnicas mais avançadas, permitindo a utilização da rede legada para as aplicações correntes, e novos casos de uso para a rede 5G, e em áreas selecionadas, onde novas as aplicações sejam indicadas. Assim as vantagens de um sistema *end-to-end* 5G estariam contempladas, e novos serviços e aplicações poderiam ser oferecidas para os usuários.

Esta estratégia requer o desenvolvimento do *core* 5G (5GC). A rede de acesso 4G (RAN LTE) necessitaria de upgrade para conectar com o *core* 5G (5GC) e para a interconexão com o acesso 5G (NR), assim como novos dispositivos terminais 5G compatíveis com a rede implantada [28].

Atenção especial deve ser dada com aplicações que envolvam a mudança de *core* (5GC/EPC) que pode trazer desafios técnicos para a continuidade dos serviços.

No futuro, com o amadurecimento do mercado, com o ganho da importância relativa das redes 5G e a superação das redes 4G, estas passariam a ser a rede máster e as redes 4G continuariam a prestar serviços de forma mais limitada e progressivamente cederiam recursos de espectro para as redes 5G.

## **5.6 - Core 5GC**

A implantação do *core* 5G (5GC) trará desafios e oportunidades, relacionadas com a incorporação de suas novas tecnologias e arquiteturas. Dentre as tecnologias se destacam as baseadas em SDN/NFV que trarão novos paradigmas para estes sistemas, modificando radicalmente os processos e recursos associados ao planejamento, implantação, operação, e dos processos de incorporação de novos serviços. As arquiteturas também terão grande transformação, com destaque para os modelos de *network slicing*, que consistem no provisionamento, por parte da prestadora de uma rede virtual com funcionalidades específicas para atendimento de um serviço ou cliente, sobre uma infraestrutura de rede comum.

A utilização dos recursos SDN/NFV tem diversos objetivos, sendo o primeiro deles econômico. Com funções de rede emuladas por sistemas em bastidores genéricos, em *data centers* distribuídos, existe o potencial de incorporação de diversos fornecedores de *hardware* e de aplicações, reduzindo a dependência dos atuais fornecedores de redes e plataformas, permitindo maior concorrência com novos fornecedores e melhores condições de negociações com os fornecedores tradicionais. Existe o potencial de redução nos valores pagos atualmente por máquinas, licenças e serviços. Também são previstos menores custos de desenvolvimento, implantação, customização, operação e manutenção, bem como, maior rapidez na implantação de novas funcionalidades. Cabe ressaltar que a situação descrita tende a ocorrer a médio prazo. No início da

introdução destas tecnologias, os fornecedores tradicionais ainda serão os principais responsáveis pelo fornecimento dos recursos de *core* e plataformas, incluindo as baseadas nas tecnologias SDN/NFV.

Existem alguns motivos para este cenário:

- Grande conhecimento e capacitação dos fornecedores tradicionais em relação à rede legada do cliente;
- Sua capacidade de desenvolvimento e realização de adaptações;
- Modelo adotado pelas prestadoras de *turn key* onde obrigações de conformidade, suporte, customização, integração com sistemas de gerência, garantia de continuidade dos serviços, suporte as falhas nos processos de operação e restauração podem ser transferidas ou apoiadas por estes fornecedores, que tem estrutura para oferecer este nível de serviço;
- As cobranças de eventuais problemas também são facilitadas em função dos encontros de contas entre a prestadora e o grande fornecedor.

Outro objetivo das redes SDN/NFV é prover maior flexibilidade e rapidez no desenvolvimento de novos serviços, o que será essencial em um cenário com uma maior diversidade de serviços em um ambiente mais competitivo. A possibilidade de implantação remota, diretamente dos centros de desenvolvimento e seu carregamento nas máquinas que realizam a operação, contribuirão para a redução de custos, agilidade na implementação e maior eficiência nos procedimentos de busca e correção de falhas [30, 31].

Os aspectos negativos destas novas tecnologias estão relacionados à sua pouca maturidade, e à falta de experiência, estrutura e confiabilidade dos novos fornecedores, enquanto os sistemas atuais, dos grandes fabricantes, que empregam tecnologias maduras e contam com um bom suporte, e além de profissionais técnicos com significativa experiência nestas plataformas.

Os novos sistemas, com novos fornecedores, demandarão capacitação, desenvolvimento de processos de manutenção e restauração, e o aprimoramento do suporte por estes fornecedores, alguns com pequena estrutura. Este fato representa uma mudança de paradigma, já que a cultura de estabilidade e confiabilidade inerente da área de operação de telecomunicações passará por desafios neste processo de amadurecimento destas tecnologias com diferentes fornecedores. Os grandes fornecedores de tecnologia atuais também serão

fornecedores destas novas redes, terão desafios próprios na sua implantação, mas contam com importante estrutura de desenvolvimento, suporte e operação, e a tendência é que continuem sendo os mais importantes na implantação destes sistemas. Do ponto de vista de evolução operacional, pode-se ressaltar a possibilidade de implementação de redundância destas redes, inclusive com a implantação de vários *data centers*, um recurso operacional mais difícil de ser obtido atualmente. Já existe um trabalho de implantação e testes de sistemas SDN/NFV nas prestadoras Brasileiras, assim como uma significativa expansão e implantação de novos *data centers* que suportarão estas novas tecnologias.

## 6 – APLICAÇÕES DE SISTEMAS 5G NO BRASIL

### 6.1 – Introdução

Além das diversas aplicações das novas redes 5G já descritas neste trabalho, nas suas diversas categorias (eMBB, mMTC, URLLC), no caso brasileiro várias novas aplicações baseadas nestas novas redes terão o potencial de promoverem o desenvolvimento de setores que necessitam de recursos tecnológicos, e que demandam soluções mais eficientes.

A Fig. 11 mostra uma estimativa do crescimento de tráfego de dados no mundo [32]. Pode-se observar que a tendência é de crescimento, o que demandará investimentos em infraestrutura e tecnologia mais eficiente. As redes 5G desempenharão um papel essencial, trazendo mais eficiência e com isto otimização na aplicação dos recursos.



Fig. 11: Crescimento de serviço de dados no mundo, Fonte adaptado de [32]

Assim como ocorreu com os sistemas IMT-2000 (3G) da UIT [2], que tinham como um dos seus objetivos aumentar a teledensidade em países em desenvolvimento, como o Brasil, utilizando novas tecnologias para facilitar o acesso aos serviços de voz para milhões de usuários, as redes 5G (IMT-2020), têm o potencial de auxiliar no aumento da oferta de serviços de banda larga, através de novas redes, terminais e demais dispositivos conectados.

Dentre os vários dispositivos que serão utilizados pelos usuários, a Fig. 12 mostra uma projeção da distribuição do tráfego de dados, por dispositivos

conectados, através de vários anos. Nessa figura vemos a grande importância dos diversos terminais móveis como os *Smartphones* e *Tablets*, e a crescente importância da comunicação M2M, que tende a se tornar a forma de comunicação com mais dispositivos conectados [33]. As principais formas de comunicação se dão através de dispositivos que se conectam, principalmente, via rede celular, e a importância relativa destes dispositivos aumenta significativamente. A Fig. 12 mostra que as redes 5G ampliarão este potencial de conexão e a importância das redes celulares.

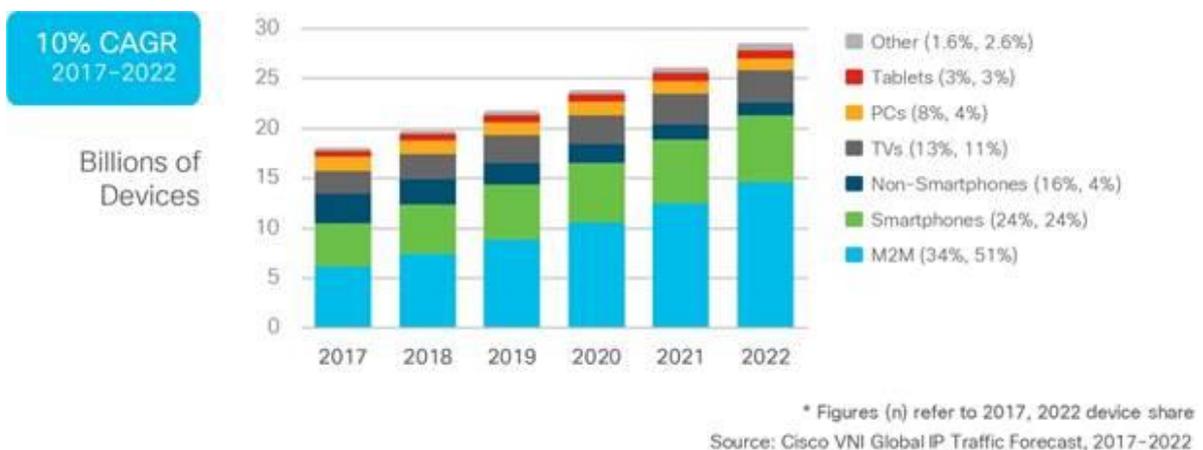


Fig. 12: Divisão da utilização do tráfego por tipo de dispositivo, Fonte [33]

O Brasil tem grande área rural, com deficiências no atendimento, com diversas comunidades desatendidas, com um agronegócio desenvolvido, que consiste em uma das principais atividades econômicas do país. As novas redes 5G têm potencial de endereçarem soluções para estes desafios.

Nas periferias de pequenas cidades e em localidades menores sem visibilidade radioelétrica, existe a dificuldade de resolver a deficiência no atendimento em função dos custos de implantação, e da baixa rentabilidade que pode ser obtida nestas áreas. Novamente as novas redes poderão endereçar soluções para estas dificuldades, já que tem o potencial de prover soluções mais econômicas, com novas tecnologias, com padronização global e com a escala de produção mundial.

## 6.2 - Redes 5G para a Expansão de Serviços de Banda Larga no Brasil

Um dos maiores desafios dos serviços de telecomunicações no Brasil é expandir e tornar viável, o acesso aos serviços de Banda Larga, para a maior parte da população. A seguir apresentamos um estudo realizado pela ANATEL, que utiliza a sua ferramenta de Modelo de Custo *Bottom Up* (MCBU) para a estimativa do número de conexões de banda larga fixas SCM<sup>1</sup> em cada estado da federação entre os anos de 2018 e 2025 [15], conforme mostrado na Fig. 13. Nesta categoria estará o serviço de banda larga fixo, cujo acesso poderá ser facilitado com a utilização de serviços e terminais fixos 5G.



Fig. 13: Projeção de acessos do SCM, Fonte adaptado de [15]

Outra forma de prover acesso de Banda Larga é através do serviço móvel SMP (Serviço Móvel Pessoal), ou seja, a prestação de serviço de telecomunicações móveis, por empresas autorizadas pela ANATEL, utilizando radiofrequências, conforme mostrado na Fig. 14. Nesta categoria estarão os serviços de banda larga móveis, que incluirá os futuros serviços e terminais móveis 5G.

---

(1) SCM (Serviço de Comunicação Multimídia), que segundo definição da Anatel [34] consiste em “um serviço fixo de telecomunicações de interesse coletivo, prestado em âmbito nacional e internacional, no regime privado, que possibilita a oferta de capacidade de transmissão, emissão e recepção de informações multimídia, permitindo inclusive o provimento de conexão à internet, utilizando quaisquer meios, a assinantes dentro de uma área de prestação de serviço).

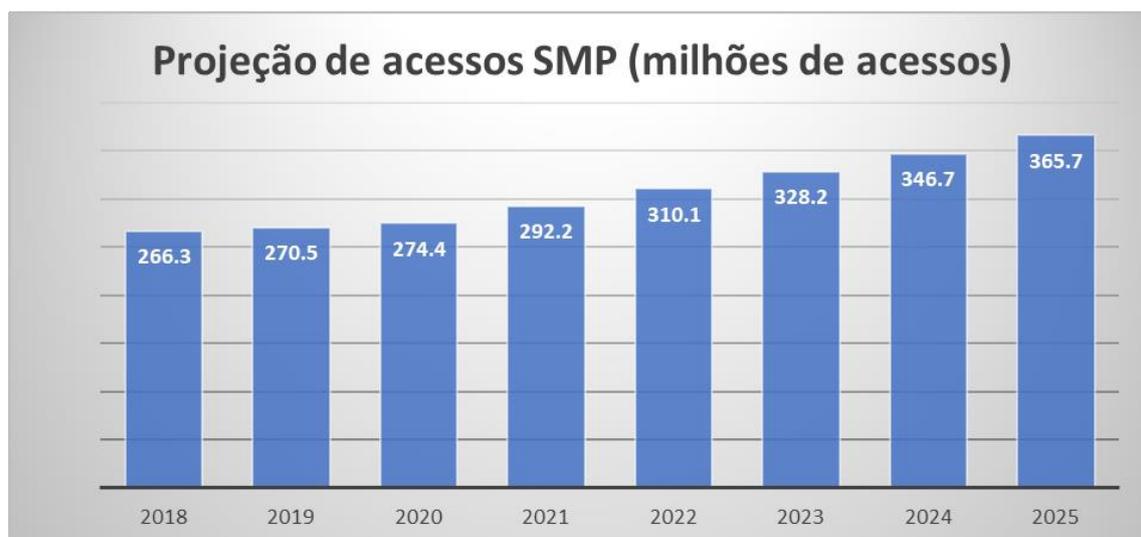


Fig. 14: Projeção de acessos do SMP, Fonte adaptado de [15]

Estes estudos mostram um crescimento de 36,34% nos acessos do serviço SCM, e de 37,33% no número de acessos móveis.

A seguir, na Fig.15 é mostrada a estimativa da evolução do tráfego no SCM, utilizando a mesma ferramenta (MCBU) da ANATEL [15].



Fig. 15: Projeção de demanda de tráfego no SCM, Fonte adaptado de [15]

A Fig.16 mostra uma estimativa da evolução de tráfego no SMP, também utilizando a ferramenta (MCBU) da ANATEL [15].



Fig. 16: Projeção de demanda de tráfego no SMP, Fonte adaptado de [15]

De acordo com os estudos sobre a expansão de tráfego, notamos que enquanto a previsão do aumento no número de conexões está em torno de 33%, a previsão de aumento de tráfego é bem mais expressiva, sendo 303% para o SCM e 213% para o SMP. Este aumento na demanda por dados requer a utilização de infraestrutura e tecnologias compatíveis com estes novos requisitos. Desta forma, tanto a já discutida necessidade de infraestrutura de transmissão, como as novas gerações de telefonia celular 4G e 5G se farão necessárias.

É preciso registrar que as projeções de demandas apresentadas têm dependência de vários fatores, que incluem disponibilidade e eficiência tecnológica, crescimento econômico e distribuição de renda, entre vários outros, que naturalmente não são totalmente previsíveis.

### 6.3 - Redes 5G no Atendimento Rural e Periférico

O Brasil tem dimensões continentais e uma receita média por usuário (ARPU) baixa (USD 5,58 set/18), o que traz dificuldades na viabilização do atendimento, especialmente em áreas rurais e periféricas, com menor densidade de clientes, e menor potencial econômico.

Existe grande necessidade no atendimento destas localidades, e a ANATEL incluiu em seu edital para o leilão do espectro de 450MHz e 2,5 GHz, realizado

em 2012, uma série de exigências para contemplar a cobertura em áreas rurais [35]. Entre as principais e mais desafiadoras destas obrigações se destacam:

- Ofertar serviços de voz e dados com cobertura de 80% da área no raio de até 30 km do limite do distrito sede dos respectivos municípios;

- Ofertar gratuitamente a conexão de dados para todas as escolas rurais situadas na área, de acordo com a base do INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira);

- Disponibilizar capacidade de rede para que as concessionárias do STFC (Serviço Telefônico Fixo Comutado) cumpram suas obrigações de universalização;

Apesar das obrigações previstas no referido Edital, e formalizadas através dos respectivos contratos de aquisição das faixas, a cobertura prevista não foi atendida em função dos seguintes motivos:

- A diversidade topográfica e morfológica presente nas regiões a serem atendidas dificultam o atingimento da cobertura prevista;

- A presença de parques e unidades de conservação nas áreas a serem cobertas dificultam ou impedem a implantação de sistemas terrestres para prover a cobertura prevista;

- Os sistemas LTE na frequência de 450 MHz (LTE 450) não tiveram o desenvolvimento previsto e, conseqüentemente, não disponibilizaram um ecossistema adequado de sistemas e terminais. Na época da elaboração do Edital esperava-se que os sistemas LTE 450 se desenvolvessem e se tornassem uma alternativa viável para a cobertura de áreas mais abrangentes;

- Existe uma grande deficiência de infraestrutura nas áreas remotas;

Desta forma, apesar do planejamento e esforços por parte da ANATEL, e das prestadoras, desafios naturais (características de relevo, como presença de montanhas, vales, florestas, rios e lagos), econômicos, tecnológicos e mercadológicos limitaram a abrangência das possibilidades de cobertura rural no país.

Por outro lado, a demanda por serviços de telecomunicações na área rural aumenta continuamente. Além da demanda por serviços de voz, nos diversos domicílios e localidades rurais, a demanda por dados é crescente. Somadas as aplicações pessoais, domésticas e públicas, também serão muito importantes as

aplicações associadas ao agronegócio. As aplicações mMTC e URLLC deverão ter um papel importante auxiliando na melhoria de eficiência, no controle e produtividade, nesse setor que é um dos mais importantes da economia Brasileira.

Um dos exemplos de desenvolvimento de aplicações no setor agrícola, utilizando aplicações M2M na faixa de 450 MHz, é o que está sendo realizado em Piracicaba, entre as empresas Vivo, Ericsson e Raízen, com o apoio da ESALQ-USP (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo) [36]. O uso de sistemas M2M nos equipamentos, sensores e maquinaria agrícola tem o potencial de aumentar a produtividade e de reduzir custos. Importantes avanços nestas aplicações podem ser previstos com a introdução das novas redes 5G.

A seguir mostramos um exemplo de possível de aplicação da tecnologia 5G que endereça situações de atendimentos (periférica e rural) referidas anteriormente, e muito encontradas no Brasil.

A funcionalidade D2D mostrada na Fig. 17, permite que um terminal de usuário, ou demais dispositivos conectados, transmita informação diretamente para outro terminal de usuário, sem passar pela rede de acesso ou pelo *core* da prestadora local.

Em regiões onde a propagação dos sinais de rádio é dificultada, por condições topológicas e morfológicas, os usuários podem se beneficiar do uso destas funcionalidades, estendendo os serviços de voz e dados para regiões mais distantes. Vários serviços públicos que demandam transmissão de dados como os associados a educação, saúde, transporte, entre outros, podem se beneficiar destas técnicas para serem oferecidos, utilizando os próprios equipamentos dos usuários, evitando a necessidade de implantação de ERBs e repetidores periféricos, facilitando o provimento destes serviços [5].

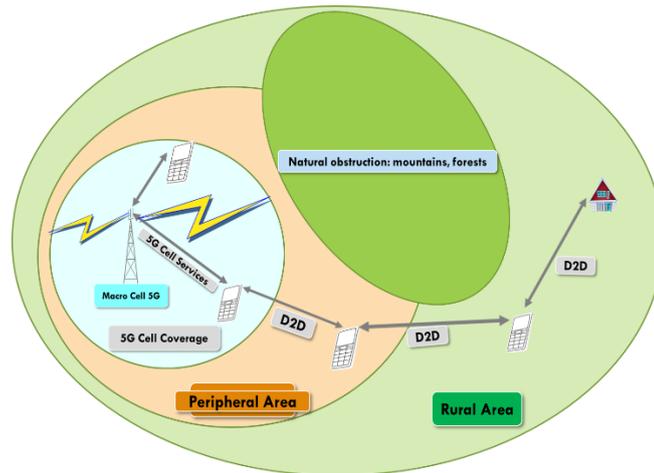


Fig. 17: Funcionalidade D2D para comunicações em áreas remotas e rurais, Fonte [5]

A implantação das novas redes de acesso 5G em locais remotos também será facilitada pela possibilidade de utilização da transmissão na mesma faixa do serviço. Além disso, em função do menor consumo de energia, será viabilizada a utilização de fontes de energia alternativas como a energia solar, em associação com baterias, que permitirá uma grande facilitação com a eliminação da necessidade da extensão de linhas de transmissão elétrica.

## 7 – CONCLUSÕES

Como foi mostrado, os sistemas celulares tiveram grande evolução tecnológica e mercadológica. O seu sucesso hoje é inquestionável, e chega a ser difícil imaginarmos a sociedade moderna sem eles. Em função deste desempenho, muito mais se espera destas tecnologias, especialmente nos serviços de transmissão de dados e na comunicação entre máquinas (MTC). A evolução prevista com as redes 5G fará com que novos avanços venham a ser entregues e a importância relativa destes sistemas na econômica e na vida das pessoas deverá aumentar.

As redes 5G possibilitarão novos serviços, especialmente nas categorias eMBB, mMTC e URLLC, trazendo uma diversidade de aplicações. Novos recursos e tecnologias serão empregadas buscando contemplar os requisitos previstos, entre elas podemos citar *core 5GC* com SDN/NFV, *mmWaves*, *Multi-RAT*, MIMO avançado, D2D, sistemas de microcélulas, novas arquiteturas, entre várias outras.

Neste trabalho, são apresentadas, analisadas e propostas soluções para muitos desafios para a implantação destes sistemas, especialmente no Brasil. Alguns são intrínsecos a introdução de uma nova rede, como a estabilidade dos seus padrões, disponibilidade de sistemas e terminais, interoperação com rede legada e entre diferentes fornecedores, capacitação das equipes, operação de novas redes, outros estão associados aos paradigmas trazidos pelas redes 5G, com suas arquiteturas, rede *Multi-RAT*, *core 5GC* com SDN/NFV, entre outros.

Além das questões tecnológicas, surgem questões econômicas, especialmente em países como o Brasil, que está fora do grupo das economias desenvolvidas, e que possuem um desafio para prover a cobertura que a dimensão de seu território demanda, e que dispõe de uma infraestrutura limitada. Viabilizar os investimentos e as despesas associadas às implantações destas novas redes será um desafio, em função da grande necessidade de investimentos por parte das prestadoras, da elevada tributação, e do baixo ARPU do mercado brasileiro.

No que se refere às frequências, as faixas de espectro em 2,3GHz e 3,5GHz desempenharão um papel importante para prover a cobertura da nova rede, mas também deverão ser desenvolvidos sistemas em faixas mais altas (ondas

milimétricas) que muito irão agregar para complementar a capacidade demandada.

São várias as possibilidades de definição de estratégias para a implantação das redes 5G, a partir da migração das redes 4G. Neste trabalho são apresentadas e analisadas alternativas, nas variações Standalone e Não Standalone, considera a introdução de microcélulas 5G e apresenta propostas para o caso Brasileiro.

O potencial de aplicação das redes 5G para o Brasil é grande, o país acompanhará outros nas aplicações envolvendo serviços eMBB, mMTC e URLLC, à medida que os sistemas, terminais e soluções se tornem disponíveis. Além destes, várias deficiências específicas do mercado brasileiro poderão ser endereçadas por estas tecnologias. Neste trabalho, descrevemos e sugerimos algumas, como dar suporte à expansão dos serviços de banda larga, comunicação periférica e rural, incluindo as aplicações MTC.

5G é mais que uma nova rede, consiste em um sistema de redes. Podemos entender seu desenvolvimento e implantação no Brasil como um grande desafio, em função das dificuldades técnicas, econômicas e mercadológicas associadas, mas também como uma grande oportunidade de usar esta disruptura tecnológica, para possibilitar a solução de problemas que ainda não foram resolvidos, criando oportunidades de inovação, aumentando a eficiência e melhoria de comunicação e conectividade, que tem grande potencial de trazer benefícios para a economia e para a sociedade brasileira.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GSMA Intelligence, “**Understanding 5G: Perspectives on Future Technological advancements in mobile**”, [www.gsmainelligence.com](http://www.gsmainelligence.com), December 2014.
- [2] ITU – “**M.1308 - Evolution of land mobile systems towards IMT-2000**”, October 1997.
- [3] Menaged Eran, “**LTE the next generation of mobile internet**”, Ericsson presentation, 2012.
- [4] ITU, “**Recommendation ITU-R M.2083-2, IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond**”, [www.itu.int/publ/R-Rec/en](http://www.itu.int/publ/R-Rec/en), September 2015.
- [5] E. Moreno, L. Mendes, P. Cardieri, “**5G and its application in the evolution of Smart Cities**”, SBrT2018, Campina Grande – Pb, September 2018.
- [6] METIS - “**Deliverable D6.6 Final report on the METIS 5G system concept and technology roadmap**”, April 2015.
- [7] ITU, “**ITU towards IMT for 2020 and beyond**”, [www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx](http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx), May 2017.
- [8] 5G-PPP, “**5G Vision, The 5G Infrastructure Public Private Partnership: next generation of communication networks and services**”, [www.5g-ppp.eu](http://www.5g-ppp.eu), December 2015.
- [9] GSA, “**The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development**”, [www.gsacom.com](http://www.gsacom.com), November 2015.
- [10] Samsung, “**White paper 5G Vision, Global Networks insight**” <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/white-paper/5g-vision/global-networks-insight-samsung-5g-vision-2.pdf>, February 2015.
- [11] Ericsson, “**5G Radio Access**”, [www.ericsson.com/res/docs/2016](http://www.ericsson.com/res/docs/2016), April 2016.
- [12] Cisco, “**The Internet of Everything**”, <http://internetofeverything.cisco.com/vas-public-sector-infographic/>, June 2017.
- [13] Skoub, K E, et al. “**Smart Home and Smart City Solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT Services**”, 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC31), 2014.

- [14] TELETIME News, “**Burocracia municipal impede a viabilização de metade das antenas de celular necessárias**”, [Online]. Available: <http://teletime.com.br/18/10/2018/burocracia-municipal-impede-a-viabilizacao-de-metade-das-antenas-de-celular-necessarias/>. [Accessed: 20-Oct-2018], 18-Oct-2018.
- [15] ANATEL, “**Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações**”, (Processo 53500.026707/2016-47), 2018.
- [16] C. A. Diniz, “**Planejamento Regulatório da ANATEL para a Ampliação do Acesso e do Atendimento com Serviço de Banda Larga no Brasil**”, 2018.
- [17] Telebrasil – “**Setor de Telecomunicações lança projeto 5G Brasil**” - <http://www.telebrasil.org.br/sala-de-imprensa/releases/8198-setor-de-telecomunicacoes-lanca-projeto-5g-brasil>, 22 de fevereiro de 2017.
- [18] Exame – “**Governo e empresas se unem para criar o projeto 5G Brasil**” <https://exame.abril.com.br/tecnologia/governo-e-empresas-se-unem-para-criar-o-projeto-5g-brasil/>, 23 de fevereiro de 2017.
- [19] Telebrasil, “**5G Brasil**”, <http://5gbrasil.telebrasil.org.br/>, 2018
- [20] J. Lee *et al.*, “**Spectrum for 5G: Global Status, Challenges, and Enabling Technologies**” *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 3, pp. 12–18, Mar. 2018.
- [21] TELETIME News, “**Anatel quer saber como usar e como licitar as faixas de 2,3 GHz e 3,5 GHz**”, [Online]. Available: <http://teletime.com.br/03/09/2018/anatel-quer-saber-como-usar-e-como-licitar-as-faixas-de-23-ghz-e-35-ghz/>. [Accessed: 23-Sep-2018]. 03 de setembro de 2018.
- [22] TELETIME News, “**Leilão de 5G deverá acontecer em março de 2020, diz Euler de Moraes**”, [Online]. Available: <http://teletime.com.br/27/02/2019/leilao-de-5g-devera-acontecer-em-marco-de-2020-diz-euler-de-morais/>. [Accessed: 09-Mar-2019]. 27 de fevereiro de 2019.
- [23] TELETIME News, “**GSMA: leilão de frequências para 5G no Brasil precisa acontecer logo**”, [Online]. Available: <http://teletime.com.br/06/11/2018/gsma-leilao-de-frequencias-para-5g-no-brasil-precisa-acontecer-logo/>. [Accessed: 20-Nov-2018]. 06 de novembro de 2018.

- [24] TELETIME News, “**Leilão de 5G deve ter 300 MHz disponíveis**” TELETIME News, [Online]. Available: <http://teletime.com.br/05/04/2019/leilao-de-5g-deve-ter/>. [Accessed: 06-Apr-2019], 06 de abril de 2019.
- [25] TELETIME News, “**Para operadoras, 2,3 GHz não deve ser destinado ao SLP em caráter primário**”, [Online]. Available: <http://teletime.com.br/24/09/2018/para-operadoras-23-ghz-nao-deve-ser-destinado-ao-slp-em-carater-primario/>. [Accessed: 28-Sep-2018], 24 de setembro de 2018.
- [26] TELESINTESE, “**Brasil demonstra na UIT que 5G não interfere na faixa de 27 GHz do satélite - TeleSÍntese**” [Online]. Available: <http://www.telesintese.com.br/brasil-demonstra-na-uit-que-5g-nao-interfere-na-faixa-de-27-ghz-do-satelite/>. [Accessed: 29-Sep- 2018], 27 de outubro de 2017.
- [27] E. Souza, A. Linhares, C. Queiroz, L. Valle, U. Dias, and A. Barreto, “**An open source simulation tool for sharing and compatibility studies between 5G and other radiocommunication systems**” in *2017 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, 2017.
- [28] GSMA, “**Road to 5G, Introduction and Migration**” [https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/04/Road-to-5G-Introduction-and-Migration\\_FINAL.pdf](https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/04/Road-to-5G-Introduction-and-Migration_FINAL.pdf), April 2018.
- [29] 3GPP, “**The Mobile Broadband Standard – Release 15**”, <http://www.3gpp.org/release-15>. [Accessed: 30-Sep-2018], 2017.
- [30] ITU, “**Y.3300: Framework of software-defined networking**” [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3300/en>. [Accessed: 30-Sep-2018], Sep. 2014.
- [31] V. G. Nguyen, A. Brunstrom, K. J. Grinnemo, and J. Taheri, “**SDN/NFV-Based Mobile Packet Core Network Architectures: A Survey**” *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1567–1602, 2017.
- [32] Cisco, “**Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021**”, 2017.
- [33] Cisco, “**Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2017-2022**”, 2017
- [34] ANATEL, “**Comunicação Multimídia**”, <http://www.anatel.gov.br/setor-regulado/comunicacao-multimidia-outorga>, 2019.

[35] ANATEL, "**Edital Licitação Nº 004/2012/PVCP/SPV**" – ANATEL-Radiofrequências na subfaixa 2500 MHz A 2690 MHz e/ou na subfaixa de 451 MHz a 458 MHz e de 461 MHz a 468 MHz, 2012.

[36] 450 Alliance, "**Ericsson, Vivo and Raízen agree to develop IoT in agribusiness**", <https://450alliance.org/450-mhz-iot-network-to-be-deployed-in-brazil/>, 2019.