



# Redes privadas em 5G

Lições aprendidas em *testbeds*  
no Brasil e na Alemanha

**Brazilian-German  
Digital Dialogue**  
Shaping digital  
policy together

**Publicado por:**

Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Projeto Global Diálogos Digitais

Edifício Brasília Trade Center, sala 1501  
Asa Norte, 70711-902  
Brasília – DF, Brasil

E-mail: giz-brasilien@giz.de

**Projeto gráfico e diagramação:**

Kathrin von Eye

**Créditos da foto:**

© Zz / Pexels

© Digital Dialogues–GIZ

**Em nome de:**

Ministério Federal Alemão para Digital e Transporte (BMDV)  
Brasília, Brasil 2023

O Ministério Federal Alemão para Digital e Transporte (BMDV) contratou a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH para implementar o Projeto Global Diálogos Digitais.



Federal Ministry  
for Digital  
and Transport

Implemented by

**giz**

Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

A demanda para escrever este paper surgiu no âmbito do grupo de trabalho bilateral Brasil–Alemanha de Indústria 4.0.

# Autores e colaboradores

## Autores

- Ari Costa, Instituto Mauá de Tecnologia
- Francine de Oliveira, Instituto Eldorado
- Guilherme Spina, V2Com/WEG
- Inácio Cozendey, CNI
- José Borges, Siemens
- Professor Klaus Schützer, UFABC e Poli-USP
- Mauricio Finotti, ABINC
- Mauricio Muramoto, Sindipeças
- Robert Madersdorfer, Lanxess
- Roberto Netto, IP Facens

## Instituições colaboradoras

- Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee)
- Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)
- Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq)
- Bosch
- Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD)
- Ministério da Economia
- Trumpf

# Lista de abreviaturas e siglas

- **3GPP** – 3rd Generation Partnership Project
- **5GC** – 5G Core
- **AI** – Artificial Intelligence
- **CAG** – Closed Access Group
- **CBRS** – Citizen Broadband Radio Service
- **COTS** – Commercial off-the-shelf
- **CU** – Centralized Unit
- **CUPS** – Control User Plane Separation
- **CW** – Contention Window
- **DL** – Downlink
- **DNN** – Data Network Name
- **DoA** – Direction of Arrival
- **DU** – Distributed Unit
- **eMBB** – enhanced Mobile Broadband
- **EPC** – Evolved Packet Core
- **ID** – Identifier
- **IEEE** – Institute of Electrical and Electronics Engineers
- **IIoT** – Industrial IoT
- **IoT** – Internet of Things
- **LAN** – Local Area Network
- **LTE** – Long Term Evolution
- **MEC** – Multi-access Edge Computing
- **MIMO** – Multiple Input Multiple Output
- **mMTC** – massive Machine-Type Communication
- **mmWave** – millimeter Wave
- **MNO** – Mobile Network Operator
- **MOCN** – Multi Operator Core Network
- **MORAN** – Multi Operator RAN
- **NID** – Network ID
- **NPN** – Non-Public Network
- **NR** – New Radio
- **NR-U** – NR Unlicensed
- **NSA** – Non-Standalone
- **OEE** – Overall Equipment Effectiveness
- **PDCP** – Packet Data Convergence Protocol
- **PLMN** – Public Land Mobile Network
- **PNI-NPN** – Public Network Integrated NPN
- **PRS** – Positioning Reference Signal
- **RAN** – Radio Access Network
- **RTT** – Round Trip Time
- **QoS** – Quality of Service
- **SA** – Standalone
- **SDN** – Software Defined Network
- **SNPN** – Standalone NPN
- **TSN** – Time Sensitive Networking
- **UE** – User Equipment
- **UL** – Uplink
- **URLLC** – Ultra-Reliable Low-Latency Communication

# Sumário

<b>1. Introdução</b>	<b>7</b>
<b>2. Redes privadas 5G</b>	<b>8</b>
2.1. Redes privadas autônomas	9
2.2. Redes privadas implantadas em conjunto a uma rede pública	10
2.2.1. Redes privadas parcialmente dependentes	10
2.2.2. Redes privadas totalmente dependentes	12
<b>3. Cenário regulatório e de implementação</b>	<b>13</b>
3.1. Brasil	13
3.2. Alemanha	13
<b>4. Panorama de aplicações de soluções 5G</b>	<b>15</b>
4.1. Monitoramento de processo	15
4.2. Eficiência Energética	16
4.3. Robôs Autônomos	16
4.4. Sistemas em telemedicina e vida assistida	17
<b>5. Principais lições aprendidas em testbeds</b>	<b>19</b>
5.1. 5G Smart Campus Facens	19
5.2. Open Lab 5G WEG-V2COM	20
5.3. Diretrizes de implementação de redes privadas de 5G em PMEs na Alemanha	21
<b>6. Conclusões e recomendações</b>	<b>22</b>
6.1. Campo de ação 1: governança de dados de empresas	22
6.2. Campo de ação 2: investimentos em infraestrutura e oferta de soluções off-the-shelf de redes privadas	22
6.3. Campo de ação 3: interoperabilidade e engenharia end-to-end	23

# 1. Introdução

A Transformação Digital e a adoção de tecnologias digitais pelo segmento industrial são indispensáveis para garantir a produtividade e a competitividade necessárias para assegurar a inserção do setor nas cadeias globais de valor. Portanto, uma conectividade confiável, segura e poderosa é fundamental, uma vez que a implantação de conceitos e tecnologias associados à Indústria 4.0, assim como de aplicações da Internet Industrial das Coisas (IIoT – Industrial Internet of Things), depende intrinsecamente da existência e da disponibilidade da conectividade. A falta deste elemento impede o avanço da digitalização da indústria, assim como de outros segmentos, como agronegócio, saúde e cidades inteligentes.

Diante deste cenário, a quinta geração das redes celulares, conhecida como “5G”, abre caminho para as redes focadas na comunicação máquina-máquina e na IIoT, visto que a tecnologia permite uma comunicação com confiabilidade sem precedentes e latências muito baixas. Além disso, é possível estabelecer redes privadas exclusivas para determinadas unidades fabris, gerando uma vasta gama de possíveis arranjos inovadores a serem explorados pelo segmento industrial.

Em todo o mundo, diversos atores têm se empenhado em examinar como as vantagens de redes privadas 5G podem ser utilizadas para otimização de processos no chão de fábrica de forma prática. Desta forma, a presente publicação, elaborada no âmbito do **Diálogo Digital Brasil-Alemanha**, visa reunir alguns dos principais resultados dessas iniciativas em ambos os países.

Ao reunir entidades brasileiras e alemãs, o documento visa retratar o atual momento dos processos dessa nova tecnologia com suas certezas, dúvidas e desafios. Como resultado, foram apontadas semelhanças e complementaridades relevantes entre os cenários de ambos os países. Espera-se que os resultados possam criar uma base para fomentar iniciativas de cooperação.

**// O 5G PERMITE UMA  
COMUNICAÇÃO COM  
CONFIABILIDADE SEM  
PRECEDENTES E GERA  
ARRANJOS INOVADORES  
A SEREM EXPLORADOS  
PELA INDÚSTRIA. //**

## 2. Redes privadas 5G

// Uma rede privada 5G é uma rede corporativa que fornece conexões de comunicação para usuários pertencentes a uma organização privada, ao mesmo tempo em que oferece serviços específicos para aplicativos adaptados às necessidades de cada negócio. No caso de aplicações industriais, a capacidade das redes privadas de implantar redes móveis para atender aos requisitos de confiabilidade, latência e segurança de aplicações críticas é fundamental para a Indústria 4.0. O fatiamento de rede<sup>1</sup>, uma das características mais significativas do 5G, cria uma variedade de redes lógicas dedicadas às necessidades das tecnologias da Indústria 4.0, possibilitando a criação e prestação de serviços otimizados para a rede privada.

A virtualização e a “cloudificação” das funções de rede permitem que as redes 5G funcionem via software, em ambiente de hardware agnóstico<sup>2</sup>. As redes móveis implementadas com softwares não vinculados a equipamentos de hardware dedicados possibilitam aos clientes das redes privadas reduzir os custos e aumentarem a eficiência na implantação e nas operações. Uma rede móvel pública é tipicamente implantada e mantida por operadoras públicas de rede móvel (*Mobile Network*

*Operators* - *MNOs*) em espectros licenciados. No caso de uma rede privada, no entanto, a propriedade da implantação e operação pode ser transferida das *MNOs* para a empresa que está implantando a rede e pode ser criada mesmo em espectros não licenciados, independentes da rede pública. Portanto, as redes privadas 5G podem ser implementadas de diversos modos, sendo estes mais flexíveis do que aqueles observados nas gerações anteriores de comunicação móvel.

Os diferentes tipos de implantação de redes privadas 5G podem ser divididos em duas categorias gerais: redes privadas autônomas, ou seja, totalmente isoladas de uma rede pública, ou redes privadas implantadas em conjunto a uma rede pública. Abaixo serão discriminadas mais detalhadamente as modalidades de implementação das redes.

<sup>1</sup> Separação de várias partes de uma configuração de rede virtual de acordo com as funções que eles servem para aplicativos e serviços.

<sup>2</sup> Hardware agnóstico: aquele que não requer modificações para ser executado em diferentes tipos de dispositivos, reduzindo problemas de compatibilidade.

Figura 1 – Exemplos de tipos de redes 5G

Rede pública	Rede semi-pública	Rede privada
<ul style="list-style-type: none"><li>• Gerenciada pelas operadoras de redes móveis</li><li>• Produção de dados saem das instalações</li><li>• Ampla área de cobertura</li><li>• Adequado para manutenção e monitoramento remoto</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gerenciada pelas operadoras de redes móveis</li><li>• Produção de dados saem parcialmente das instalações</li><li>• Ampla área de cobertura</li><li>• Adequado para manutenção e monitoramento remoto</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gerenciada pelo usuário final</li><li>• Privacidade de dados idela, os dados permanecem nas instalações</li><li>• Alta confiabilidade</li><li>• Bom comportamento em tempo real</li><li>• Não há interface de outros dispositivos ou redes</li></ul>

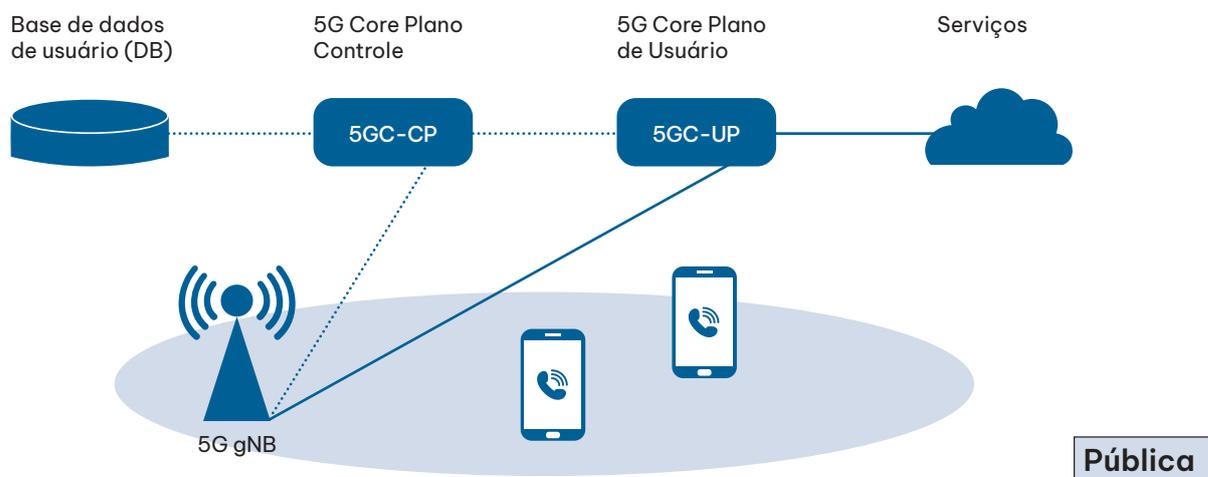
## 2.1. Redes privadas autônomas

// Esse cenário prevê uma rede privada implantada como uma rede **autônoma**, fisicamente **isolada** das redes públicas. Além disso, a rede privada pode

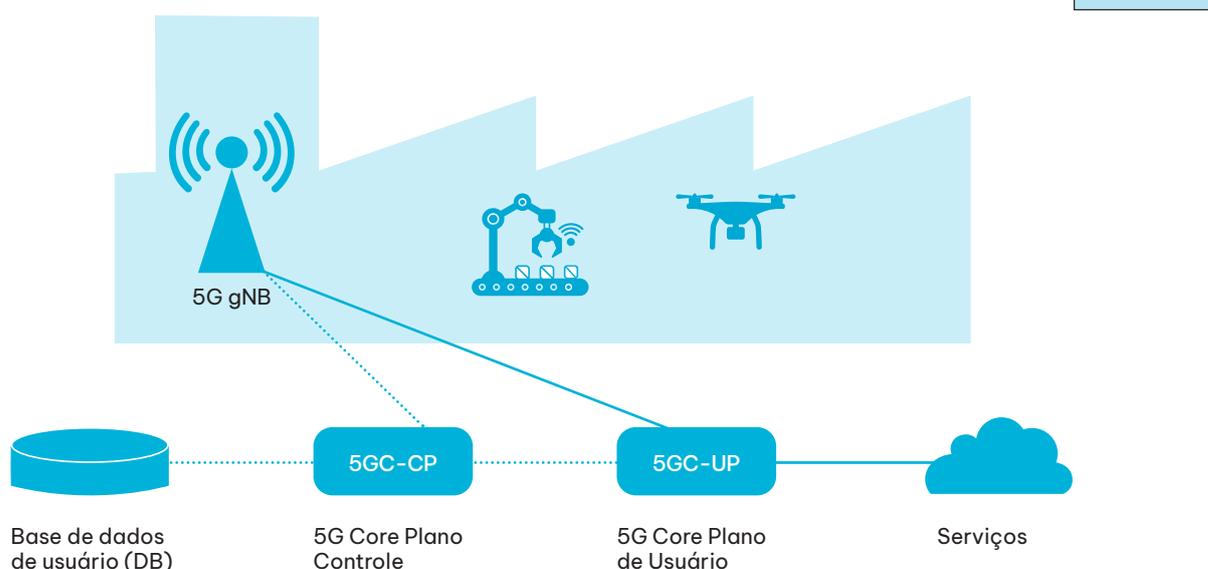
usar espectro 5G local ao invés de um espectro licenciado da *MNO*. Se forem necessários casos específicos de uso ou se houver regulamentações a serem cumpridas, também é possível usar espectros licenciados. Este tipo de rede autônoma está representado na Figura 2 abaixo.

Figura 2 – Ilustração do funcionamento de redes 5G autônomas

### Rede pública



### Rede privada



## As características típicas deste tipo de rede podem ser sintetizadas da seguinte forma:

**Segurança:** uma rede independente completamente separada da rede pública garante segurança e privacidade, evitando vazamentos de informações internas relacionadas ao tráfego de dados e de assinantes;

**Latência ultrabaixa:** com todas as funções de rede localizadas na empresa, o atraso de rede entre o dispositivo e o servidor de aplicativos é mínimo, permitindo serviços de latência ultrabaixa, como aplicativos de controle de movimento;

**Qualidade personalizada dos serviços:** as configurações de rede das redes privadas podem ser personalizadas para atender aos requisitos dos aplicativos corporativos, diferentemente da configuração padrão das redes públicas. As configurações incluem todos os parâmetros que podem afetar o desempenho da taxa de dados, a confiabilidade e a latência;

**Autonomia:** a natureza de uma rede privada autônoma garante sua operação independente, mesmo que ocorram falhas na rede 5G pública da MNO, como tempo de inatividade da rede e degradação de desempenho.

## 2.2. Redes privadas implantadas em conjunto a uma rede pública

// As redes privadas que não se enquadram na definição anterior por terem algum vínculo com redes públicas podem ser diferenciadas em duas categorias. São elas: redes parcialmente dependentes, com compartilhamento do acesso às estações rádio base e do plano de controle de rede, e redes totalmente dependentes, implementadas totalmente dentro de uma rede pública.

### 2.2.1. Redes privadas parcialmente dependentes

// Este tipo de rede **privativa parcialmente dependente** da rede da operadora está ilustrado na Figura 3 abaixo. Neste caso, cabe destacar a existência de elementos dentro da empresa que está desenvolvendo a rede privada.

// A operadora móvel terá controle integral sobre a segurança e a privacidade da rede, visto que o cenário de implantação depende completamente da rede pública e uma falha nesta implica necessariamente em falha da rede privada. Além disso, a utilização de serviços de baixa latência pode ser dificultada. Como os recursos computacionais, conhecidos como MEC<sup>3</sup>, também estão restritos à rede da operadora móvel, o *delay* (tempo de ida e volta de informações) da rede pode aumentar consideravelmente a depender da distância entre a empresa e a nuvem de borda da operadora onde está localizado o MEC.

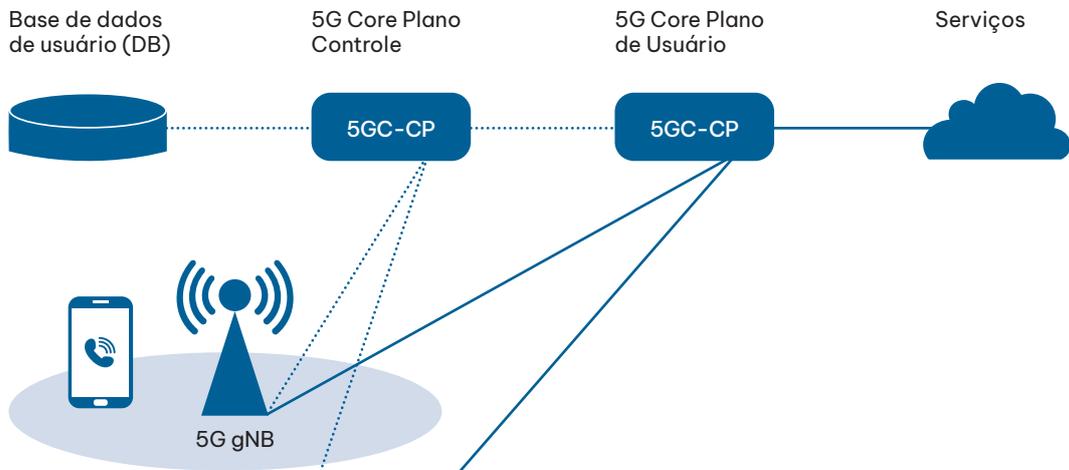
Nesses cenários de implantação hospedada na rede da operadora, há uma despesa operacional mensal obrigatória para a empresa. Isto não ocorre em cenário em que as funções da rede são construídas dentro da empresa. Por outro lado, essa modalidade oferece como vantagem a garantia de continuidade do serviço via *roaming*, quando os dispositivos se movem entre as redes privada e pública.

---

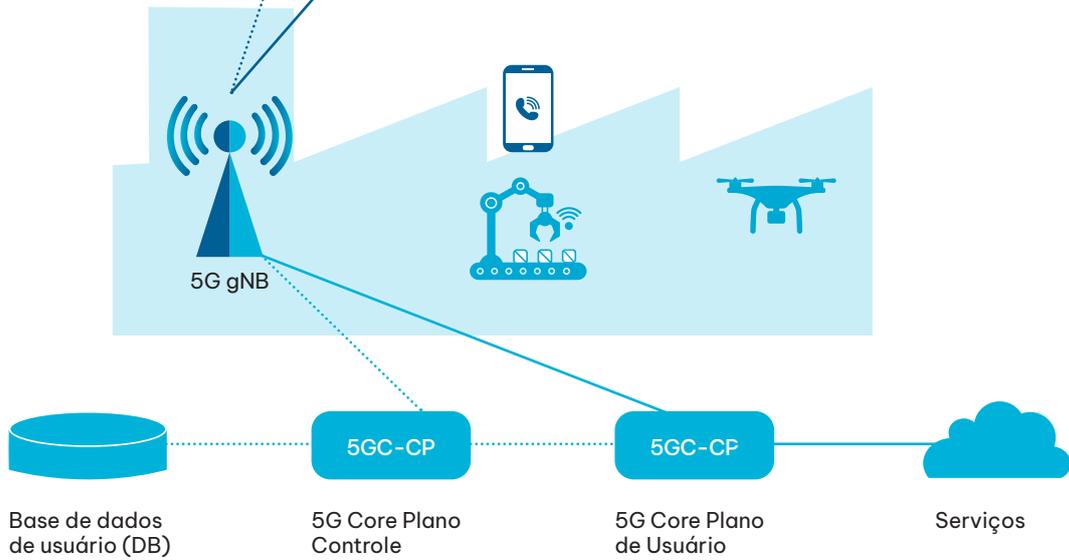
<sup>3</sup> MEC: *Multi-Access Edge Computing* ou *Edge Computing* de acesso múltiplo. Trata-se de uma arquitetura de rede que permite o processamento e análise de dados em redes móveis locais, visando descongestionar a rede e melhorar a performance de aplicativos. É usualmente implementada em estações de rádio base. *Edge Computing*: “computação de borda”, definido como tecnologia que utiliza micro data centers, a fim de promover o processamento, o armazenamento e a classificação de dados na fonte em que são gerados, deixando-os perto do usuário. Qualquer prática de computação em que o processamento dos dados ocorre em local próximo a sua fonte, reduzindo a latência da rede.

Figura 3 – Ilustração do funcionamento de redes 5G parcialmente dependentes

### Rede pública



### Rede privada



## 2.2.2. Redes privadas totalmente dependentes

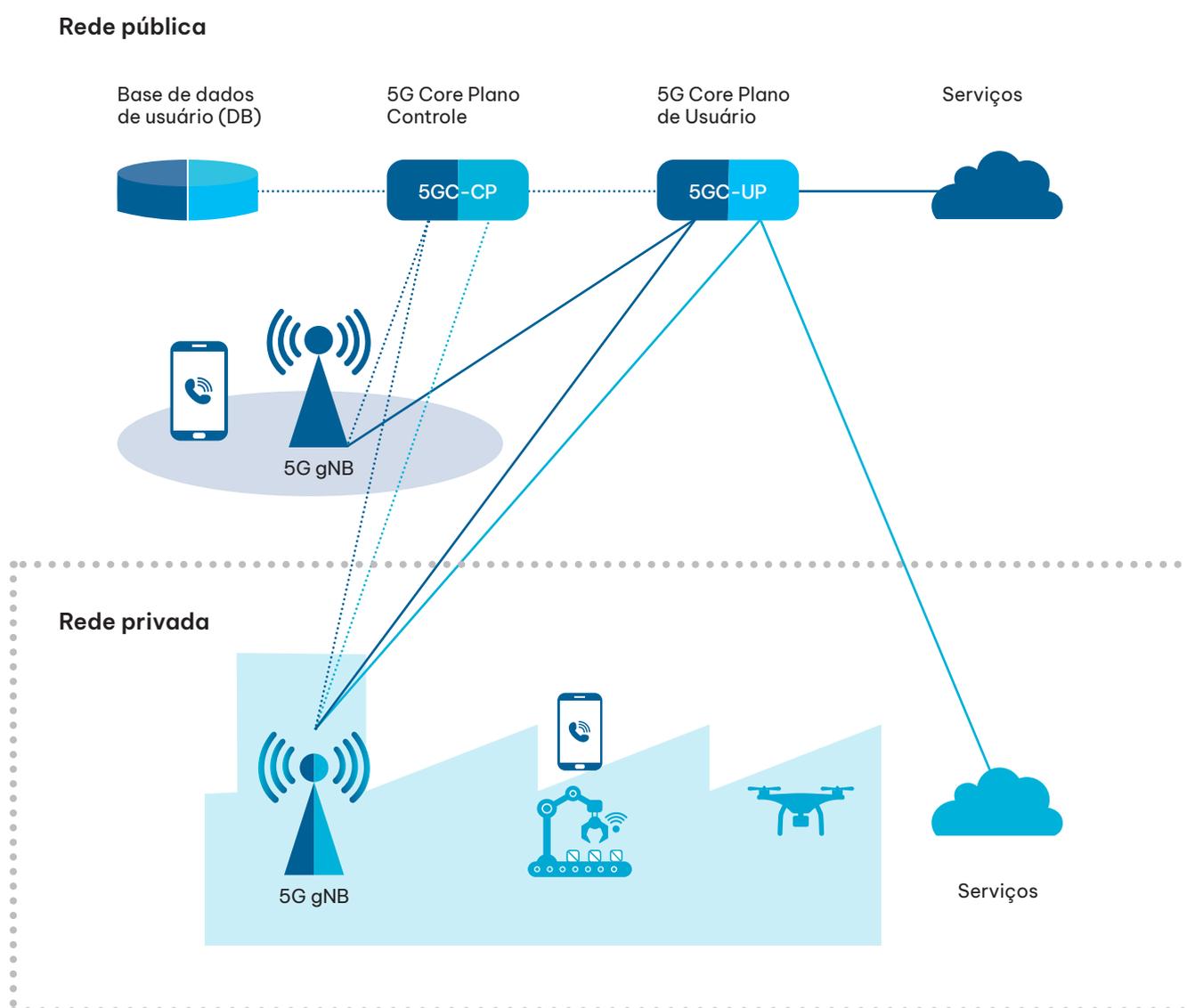
// As redes privadas **totalmente dependentes** da rede da operadora estão ilustradas na Figura 4 abaixo. Neste caso, todos os elementos pertencem à operadora móvel.

// A alocação de frequências 5G para estabelecer redes privadas foi introduzida e regulamentada em vários países nos últimos anos. As novas frequências 5G para uso de redes privadas são expressas em vários termos, como frequências não licenciadas,

privativas, locais ou compartilhadas. O principal exemplo deste cenário pode ser encontrado nos Estados Unidos, que oferece um serviço conhecido como CBRS (*Citizens Broadband Radio Service*). No Reino Unido, a *Ofcom*<sup>4</sup> introduziu a possibilidade de licenciamento local da banda na faixa de frequências 3,8–4,2 GHz. Na Alemanha foi adotado um modelo semelhante ao britânico para a faixa 3,7–3,8 GHz.

<sup>4</sup> Ofcom: *Office of Communications*. Agência reguladora de radiodifusão, telecomunicações e serviços postais do Governo do Reino Unido.

Figura 4 – Ilustração do funcionamento de redes 5G totalmente dependentes



## 3. Cenário regulatório e de implementação

### 3.1. Brasil

// No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), órgão responsável por administrar e regulamentar a destinação e as condições de uso do espectro de radiofrequência, definiu que as redes privadas são categorizadas como “Serviços de Telecomunicações de Interesse Restrito”. Os serviços desta categoria são destinados ao uso do próprio executante ou prestado a determinados grupos de usuários, selecionados pela prestadora mediante critérios por ela estabelecidos, observados os requisitos da regulamentação.

Dentro da categoria ampla de serviços de interesse restrito, as redes privadas são enquadradas como Serviço Limitado Privado (SLP). Os SLPs abrangem múltiplas aplicações, dentre elas, a comunicação de dados e de sinais de vídeo, áudio e texto. Para explorar esse serviço, a entidade necessita de outorga para exploração de serviços de telecomunicações de interesse restrito. A outorga é emitida pela Anatel mediante preenchimento dos requisitos dispostos no Regulamento Geral de Outorgas, aprovado pela Resolução nº 720, de 10 de fevereiro de 2020.

Ao mesmo tempo, o uso de radiofrequências destinadas à exploração de serviços de telecomunicações depende de autorização prévia da Anatel. Essa condição não se aplica a casos específicos em que a radiofrequência é utilizada por meios confinados, como fibra ótica, ou emitida por equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita, conforme definido pela Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017.

Para a exploração do SLP, a Anatel disponibiliza diversas faixas de frequência abaixo de 3 GHz, porém, para o uso do 5G em aplicações verticais, as faixas de maior interesse do setor industrial localizam-se em torno de 3.5 GHz e acima de 24 GHz. A primeira pela sua boa capacidade de transmissão de dados

e de contornar objetos em ambientes fechados, tais quais fábricas, e a segunda pela sua altíssima capacidade de transmissão de dados.

Em novembro de 2021, a Anatel licitou frequências nessas faixas do espectro, onde as empresas vencedoras poderiam, além de fornecer outros tipos de serviços, utilizá-las para o SLP, como observado nos modelos de Rede de Acesso por Rádio (RAN) compartilhada. Recentemente, a Agência reservou as faixas de 3.700 MHz a 3.800 MHz e de 27,5 GHz a 27,9 GHz para o fornecimento de SLPs por qualquer empresa que tenha autorização para explorar este serviço.

Por meio dos Atos nº 8.991 e nº 8.995, de junho de 2022, a Anatel estabeleceu os requisitos técnicos e operacionais para o uso destas faixas para o SLP. Desse modo, as redes privadas não estão limitadas ao fornecimento do serviço pelas empresas vencedoras do leilão. Qualquer empresa interessada em fornecer este tipo de serviço pode fazê-lo, desde que respeite os requisitos pré-estabelecidos e obtenha autorização da Anatel.

### 3.2. Alemanha

// A Alemanha é um dos países pioneiros em licenciamento de redes privadas de 5G, que compõem parte essencial da estratégia nacional para desenvolvimento industrial. No país, é possível licenciar faixas de espectro localmente, não havendo necessidade de aquisição nacional de espectro licenciado, como ocorre com as MNO, o que diminui os custos do licenciamento. O órgão responsável pela política nacional de espectro de frequência é a agência *Bundesnetzagentur* (BNetzA).

Em novembro de 2019, a BNetzA iniciou o processo de licenciamento de espectro, reservando a faixa de frequência entre 3,7 e 3,8 GHz exclusivamente para redes privadas. As políticas de espectro do Brasil e da Alemanha assemelham-se nesse sentido, visto que ambos os países buscaram utilizar as faixas pré-determinadas por parâmetros internacionais.

Os interessados em adquirir os lotes de frequência, com extensão mínima de 10 MHz, devem fazer uma solicitação à BNetzA. As outorgas podem ser concedidas para um período de até 10 anos, com possibilidade de renovação até 2040. Os solicitantes devem cumprir uma série de pré-requisitos estipulados pela agência, como demonstração de planos concretos para a utilização do espectro e provas de que o uso não acarretaria interferência nas demais faixas. Além disso, o espectro deve ser utilizado no prazo máximo de até 1 (um) ano a partir da aquisição.

Recentemente, a BNetzA definiu a fórmula do cálculo do licenciamento, considerando a largura da banda e duração da licença de espectro, bem como o tamanho e a localização da área de cobertura. A agência definiu um valor mínimo de 1000 euros para o licenciamento. A quantia foi pensada de forma a não inviabilizar a adesão de pequenas e médias empresas.

No que concerne à demanda nacional por redes privadas, a Alemanha encontra-se entre os cinco países com mais solicitações de aquisição de redes privadas, atrás apenas do Estados Unidos, China, Reino Unido e Japão. O Ministério Alemão para Assuntos Econômicos e Proteção Climática (BMWK) estima que, até 2025, a demanda por redes privadas no país pode chegar até 10 mil campus, dos quais a maioria será utilizada por pequenas e médias empresas. Ainda, uma pesquisa da Associação Alemã de Fabricantes de Máquinas e Instalações Industriais (VDMA) indicou que 35% das empresas do país pretendem criar sua própria rede privada.

Em 2022, a BnetzA realizou uma consulta pública para mapear a demanda por espectro na Alemanha, visando identificar possíveis sinais de escassez do recurso. Segundo a agência, foi possível identificar que as faixas disponíveis não são suficientes para atender à crescente demanda por espectro. Ainda, a consulta indicou que a realização de leilões transparentes e não-discriminatórios é a alternativa mais recomendada para solucionar o problema a longo prazo e otimizar a alocação de espectro. Enquanto solução a curto prazo, foi sugerida a permuta da outorga de espectro, medida que pode aliviar temporariamente a demanda pelo recurso.

## 4. Panorama de aplicações de soluções 5G

// No caso do setor da indústria de transformação, a utilização de redes privadas pode ser dividida em três vertentes:

**Aplicações que demandam conexões confiáveis e de baixa latência:** Futuramente, fábricas serão equipadas com robôs e AGVs (*Automated Guided Vehicle's*), que se moverão de forma autônoma, executando as tarefas da logística interna. Para o bom funcionamento, os robôs e AGVs recebem novas informações constantemente e se comunicam com as suas centrais de forma instantânea, possibilitando o traçado do trajeto ideal. Nesse sentido, linhas de produção necessitam comunicação instantânea e confiável para operarem de forma autônoma. Esse cenário somente será possível com a existência de uma conexão confiável e de baixa latência, oferecida unicamente por redes privadas 5G.

**Aplicações que demandam largura de banda:** A evolução e a complexidade tecnológica aumentam o desafio das equipes de manutenção. Com o aumento das equipes de especialistas em todas as tecnologias, os investimentos precisam ser maiores, o que pode onerar os projetos de forma considerável. Em contrapartida, esse fator favorece o uso de tecnologias de realidade virtual, em que a assistência via especialistas externos facilita a manutenção. O uso em larga escala de realidade virtual implica na existência da conexão de banda larga disponível no 5G.

**Conexões com elevada quantidade de dispositivos:** A coleta e o processamento abundante de dados tornaram-se cotidianos nas empresas. Os sensores e atuadores nas máquinas e linhas de produção, que estão cada vez mais presentes, também necessitam de conexão e interconexão asseguradas. Os dados coletados e processados por algoritmos darão uma pronta intervenção através dos atuadores, assegurando ações imediatas para algum tipo de anomalia.

<sup>5</sup> OEE: *Overall Equipment Effectiveness* ou Eficiência Global de Equipamentos. Trata-se de um dos indicadores mais importantes da Indústria para medir a eficiência de equipamentos.

### 4.1. Monitoramento de processo

// O Monitoramento de Processo em um novo cenário com a comunicação 5G privada no ambiente de produção permite criar Indicadores de Desempenho (KPIs) e obter um OEE<sup>5</sup> que apresenta uma visão real daquele momento da produção. No aspecto de gerenciamento da produção, o uso de sensores, associado à coleta de informações do PLC e à comunicação das informações coletadas com gestores de produção através de redes 5G privadas, possibilitou a obtenção de informações em tempo real sobre a situação de cada equipamento de produção, bem como do lote em produção. Em caso de falha de um equipamento ou de interrupção da produção, torna-se possível uma intervenção imediata no processo em andamento para atender às demandas de clientes ou priorizar determinados itens em produção.

Quanto ao aspecto tecnológico, a obtenção em tempo real de dados de sensores instalados em componentes críticos permite acompanhar o desempenho e a evolução do comportamento do componente e/ou equipamento. Com o devido tratamento de dados com softwares para monitoramento de processo, é possível estimar com elevada acurácia a vida restante de um componente crítico e identificar o melhor momento para sua substituição ou reparação.

Para exemplificação deste caso, é possível citar a produção de componentes metálicos pelo processo de estampagem e corte para conectores elétricos de alto desempenho. São produzidos centenas de componentes por minuto e, geralmente, o processo só é interrompido quando ocorrem falhas, implicando em um elevado tempo para troca e reparação de matrizes complexas. Com o uso de sensores fotográficos de alta velocidade e da computação de ponta (*Edge Computing*), torna-se possível monitorar o desgaste das matrizes pela variação dimensional dos componentes estampados. Ao inserir esses recursos em um ambiente 5G, é possível realizar o monitoramento do processo, como o planejamento de manutenção ou de troca de matriz, sem a necessidade de interromper o processo produtivo.

## 4.2. Eficiência Energética

// A eficiência de operação de caldeiras de cogeração à base de biomassa sólida (cavaco de madeira) para geração de vapor e energia elétrica é fortemente influenciada por características específicas da biomassa fornecida. Atualmente, a análise de umidade do material ocorre, tipicamente, manualmente por amostragem do lote. O caminhão é pesado antes e depois da entrega da biomassa e os dados obtidos não são integrados com o sistema de controle e supervisão. O tempo total dessa operação é de aproximadamente 3 horas.

O sistema de controle do processo de combustão é feito através de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e sistema supervisor SCADA<sup>6</sup> com comunicação Modbus<sup>7</sup> TCP/IP<sup>8</sup>, controlando válvulas e motores. Também é possível realizar a leitura de variáveis como pressão, temperatura, vazão, depressão, entre outros, por meio da disponibilização de os dados de processo via OPC UA<sup>9</sup> para gestão e criação de séries históricas de dados.

Uma possível aplicação de redes 5G é a obtenção de informações referentes à biomassa, como peso e umidade, durante o transporte no caminhão. Com o monitoramento em tempo real de trajeto do caminhão até a entrega, os dados completos da carga para liberação automática da portaria seriam obtidos e transmitidos com maior velocidade e confiabilidade.

Em função da maior previsibilidade dos dados e consequente otimização do processo de combustão, tornam-se possíveis a redução de consumo de biomassa e um melhor gerenciamento de estoque, gerando ganhos adicionais com redução de tempo de caminhão parado no pátio e otimização dos processos administrativos. Com a disponibilidade de comunicação em 5G, esses dados podem ser integrados nos sistemas de gestão e análise de dados em tempo real, criando alertas e tendências e auxiliando na tomada de decisão.

Considerando que o 5G é uma conexão sem fio de longa distância, seria garantido cobertura total para conexão com os caminhões, independentemente da sua localização, com criptografia de ponta a ponta. Com as informações do caminhão de biomassa, o setup de combustão da caldeira poderá ser

antecipado para o lote a ser entregue, inclusive com controle adequado dos ventiladores, exaustores e alimentadores, otimizando o consumo de energia elétrica utilizada no processo de combustão da caldeira.

## 4.3. Robôs Autônomos

// Entre as diversas inovações alavancadas pela rede 5G, destacam-se os veículos autônomos, em especial os robôs autônomos, e suas variadas aplicações, que impactam diretamente o ecossistema de transporte e logística. Também denominados *Autonomous Mobile Robots* (AMRs), os robôs autônomos, quando incorporados ao ambiente do chão de fábrica, representam o primeiro passo do movimento tecnológico para a massificação de uma vasta gama de outras aplicações relacionadas à mobilidade inteligente.

Por apresentarem sensores e scanners equipados com Internet das Coisas (IoT), os robôs autônomos deslocam-se de forma livre, contando com 100% de autonomia para desempenharem suas rotas, sem que a operação fique limitada a ambientes controlados. A viabilização desse cenário deve-se à consolidação da rede 5G, cuja robustez garante o processamento rápido e ultra confiável de todo o volume de dados envolvidos nesse tipo de aplicação. Por trás de cada centímetro percorrido pelos robôs autônomos, encontra-se o trabalho de softwares inteligentes, que processam as informações do ambiente, transformando-as em respostas de tempo quase real.

<sup>6</sup> SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition* (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados). Software utilizado para monitorar, controlar e supervisionar dispositivos de um processo.

<sup>7</sup> Modbus: estrutura de comunicação de dados utilizado em processos de automação industrial, criado, no fim da década de 1970, pela empresa Modicon.

<sup>8</sup> TCP/IP: *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet). Conjunto padronizado de regras que permite a comunicação de computadores em uma rede como a Internet.

<sup>9</sup> OPC UA: *Open Platform Communications Unified Architecture*. Conjunto de padrões e especificações para a comunicação industrial que permite a troca de dados entre todos os dispositivos e sistemas internos de uma fábrica. Visa a automação industrial.

Os mecanismos supracitados capacitam os AMRs a desviarem de obstáculos e a calcularem rotas mais eficientes dentro de um trajeto programado. Quanto maior for a densificação de robôs e a complexidade do ambiente em que eles trafegam, mais rápidas devem ser as respostas geradas pelos softwares inteligentes.

A evolução dos robôs autônomos está diretamente relacionada às especificações da rede 5G. Os *releases* 16 e 17 da 3GPP são especialmente importantes para o fino ajuste das atividades desempenhadas pelos AMRs, uma vez que estabelecem o funcionamento da Internet das Coisas conectada à rede de quinta geração. Sob esses novos protocolos, surgem especificações para sensores, direções remotas e autônomas, diretrizes para redução de interferências, além de aplicações direcionadas para o ambiente industrial.

Além disso, passa a ser possível garantir a localização de objetos com uma margem de erro de poucos centímetros. Um ajuste com esse nível de detalhamento é capaz de redesenhar toda a dinâmica operacional do setor industrial, viabilizando o armazenamento desestruturado de partes e componentes.

#### 4.4. Sistemas em telemedicina e vida assistida

// A área de tratamentos para reabilitação física é um amplo campo para soluções inovadoras, que visam aumentar a disponibilidade desses tratamentos através do uso de equipamentos inteligentes e autônomos com monitoramento real à distância. A utilização destas ferramentas adiciona conveniência aos usuários, sejam estes pacientes ou não. A difusão da tecnologia 5G permitirá o desenvolvimento de sistemas em telemedicina e vida assistida de forma segura e eficaz, devido à baixa latência.

A seguir, serão descritos resumidamente dois casos da aplicação de 5G em sistemas de saúde. O primeiro deles é sistema ArchiMotu, desenvolvido pela empresa Cyberphysics, em parceria com o Instituto Mauá de Tecnologia, e subvencionado pelo programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE) da FAPESP. O segundo trata do equipamento Cicloergômetro, cujo conceito foi desenvolvido pelo INOVAHC e pelo Instituto de Reabilitação Lucy Montoro (IMREA). A fase de viabilização para o mercado foi executado pela empresa SPI, com construção e integração do protótipo físico pelo Instituto Mauá de Tecnologia e subvenção da Agência Brasileira para Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Os dois projetos utilizaram a metodologia Nível de Maturidade Tecnológica (NMT) ou, em inglês, *Technological Readiness Level* (TRL), que possui 9 níveis, conforme a NBR:IEC 16920. Simultaneamente, foram desenvolvidos “primótipos” para validação de funções críticas de componentes e sistemas. Os dois produtos estão atualmente no nível TRL 7, que estabelece a demonstração do protótipo do sistema em ambiente operacional e antecede a etapa de introdução comercial.

O projeto ArchiMotu visa o desenvolvimento de um sistema adaptativo de reabilitação, utilizando a prática de exercícios físicos assistidos por monitoramento remoto, composto por dois dispositivos. Conforme a descrição do projeto, trata-se de “um dispositivo de treinamento portátil (iMoTU - *Mobile Training Unit*), que fornece resistência e assistência mecânica para diagnóstico, tratamento e avaliação nas áreas de reabilitação fisioterapêutica, atividade física e treinamento de alto rendimento. Equipado com sensores eletrônicos, tais como células de carga, *encoder* e potenciômetro, o dispositivo pode ser usado separadamente ou

anexo aos equipamentos. O Archi foi especialmente desenvolvido para armazenar até 30 unidades iMoTU, fornecendo vários vetores de movimento e planos de exercícios simultaneamente”.

A incorporação da tecnologia 5G permite a incorporação da função de distributibilidade ao sistema. Sendo assim, a atividade física e o treinamento de alto rendimento podem ser adaptados em tempo real ao estilo de uso de pacientes e praticantes, colaborando para a universalização da reabilitação física.

As mesmas funcionalidades, com a utilização de redes 5G, estão presentes no Cicloergômetro, com a ampliação da aplicação de vida assistida para usuários que não possuem movimento nos membros inferiores, temporária ou permanentemente. Neste caso, foi incorporada a função de eletroestimulação, que pode ser conduzida e adaptada em tempo real para aperfeiçoamento do tratamento. A tecnologia permite a redução do período de tratamento, ampliando a capacidade de atendimento nos institutos de reabilitação assistida.

## 5. Principais lições aprendidas em testbeds

// Na seção a seguir, serão resumidas algumas das principais lições aprendidas de iniciativas no Brasil e na Alemanha, que buscam detalhar barreiras e desafios para a implementação prática de redes privadas de 5G. Não se trata de uma visão exploratória, mas integrativa de diferentes visões sobre o processo de implementação da tecnologia. Vale ressaltar que as diferentes iniciativas tendem a destacar desafios técnicos que não demonstram ligação direta com modelos específicos de regulação de determinado país. Nesse sentido, é possível vislumbrar amplo potencial de troca internacional de experiências e boas práticas, como, por exemplo, no contexto do Diálogo Digital Brasil-Alemanha.

### 5.1. 5G Smart Campus Facens

// A necessidade de instalação de uma rede privada se dá principalmente em projetos que visam a comunicação entre dois dispositivos. Nesse caso, percebe-se o impacto que a arquitetura de redes públicas pode ter na implementação. Isso ocorre por conta de diretivas de segurança que existem na rede pública, que impede que dois dispositivos da mesma rede (operadora) realizem uma conexão ponto a ponto diretamente. Uma forma para contornar esse problema é a utilização de uma VPN, possibilitando que um dispositivo ou serviço atrelado a um outro dispositivo, possa ser acessado diretamente. Essa solução cria uma rede privada sobre uma rede pública, fornecendo segurança e um controle mais efetivo de conectividade entre os dispositivos. Por outro lado, pode criar um overhead e aumentar a latência entre os dispositivos, impossibilitando, por exemplo, o funcionamento correto de soluções em nuvem para realidade aumentada.

Além disso, observa-se que a maioria das empresas que desenvolvem aplicações e soluções não estão preparadas para utilizar os benefícios trazidos pelo 5G. É comum a crença de que se trata apenas de uma troca de conexão WiFi pela nova tecnologia, o que não contribui para a demonstração do valor do 5G. Este cenário inviabiliza a disseminação da tecnologia e, conseqüentemente, reduz o valor de implementação de ambientes e redes privadas.

Portanto, é necessário que os desenvolvedores de soluções, sejam eles de hardware ou software, tenham conhecimento dos principais diferenciais trazidos pela tecnologia 5G, de forma que seja possível mudar a forma como produtos são projetados. É necessário clarificar que está sendo oferecido um meio de transmitir e enviar informações e que outras tecnologias habilitadoras, como AR/VR, IA, Cloud e *Edge Computing*, devem ser mutuamente integradas a fim de possibilitar a utilização das informações. Para que isso ocorra, são necessários programas de capacitação de arquitetos de soluções, capazes de guiar as equipes dentro do novo paradigma criado pelo 5G.

Por fim, em relação à arquitetura de rede, mostrou-se necessária a criação de nuvem em *edge*, para que a latência desejada (próxima a 1ms) seja alcançada. Quando o *User Plane* está longe do chão de fábrica, torna-se inviável alcançar esse indicador de desempenho. Porém, para projetos não críticos e que podem trabalhar com um tempo de resposta um pouco maior, essas aplicações podem ficar alocadas em uma nuvem privada ou mesmo em outro local da empresa.

## 5.2. Open Lab 5G WEG-V2COM

// O projeto *Open Lab 5G WEG-V2COM* tem como principal objetivo testar a conectividade de diversos dispositivos IoT ao 5G, em um ambiente real de produção na fábrica da WEG Drives & Controls, localizada em Jaraguá do Sul (Santa Catarina, Brasil). A iniciativa analisa a viabilidade de conexão e identifica os benefícios obtidos com a mudança para a nova rede de quinta geração. Os testes realizados em campo utilizaram redes privadas 5G mistas (integradas) e independentes na faixa de frequência FR1 n78 (que compreende o espectro entre 3,5 GHz e 3,8 GHz), além de detalhamentos de topologia e arquitetura da rede.

Os testes também utilizaram estudos econômicos e de casos de uso pertinentes, que, por sua vez, foram divididos em três grupos. O primeiro, relacionado ao Industrial IoT, o segundo, à robótica e, por fim, o terceiro, aos testes em dispositivos e câmeras inteligentes, além de sistemas WEG para gestão de ativos e energia (respectivamente, *WEG Smart Machine* e *WEG Energy Management*).

No geral, os testes realizados no *Open Lab 5G WEG-V2COM* validaram as premissas de capacidade do 5G (em seu Release 15), permitindo velocidades de tráfego de dados em torno de 95% do limite teórico, algo aceitável para um ambiente industrial, em que inerentemente há interferências físicas e eletromagnéticas. Foi concluído que a tecnologia está madura para adoção imediata em plantas fabris. As capacidades técnicas permitiram a instalação de casos de uso inovadores, como o robô de inspeção com Realidade Aumentada (VR) e as câmeras

inteligentes. Em redes Wi-Fi industriais, esses usos não seriam viáveis, em função da exigência de baixa latência e largura de banda.

Também foi possível verificar o impacto do 5G em casos de uso já existentes, como o Robô Logístico, que apresentou tempos de decisão menores que aqueles observados utilizando Wi-Fi. Dessa forma, evitou-se que o Robô volte a percorrer sua rota padrão por falta de comunicação adequada.

A comparação de índices técnicos com o Wi-Fi Industrial demonstra uma capacidade mais ampla do 5G, permitindo a densificação de aplicações já existentes, porém atualmente limitadas em número, seja pela capacidade de comunicação restrita do Wi-Fi ou por sua cobertura. Entre as redes privadas integradas e independentes não há diferenças significativas no âmbito técnico, de tal modo que a escolha de uma ou de outra está relacionada à definição do modelo de negócio e de operação.

Em termos econômicos, a implantação do 5G depende de um número significativo de pontos a serem conectados ou de casos de uso específicos que demandem tal rede. Entre os principais empecilhos a esse movimento, encontram-se os custos de equipamentos de conectividade (CPE) e a licença de uso para os equipamentos de rede, algo que deve reduzir exponencialmente com a massificação de dispositivos entrantes com novas tecnologias.

### 5.3. Diretrizes de implementação de redes privadas de 5G em PMEs na Alemanha

// A fim de qualificar a escolha, particularmente por parte de pequenas e médias empresas (PMEs), o [documento](#) publicado pelo Ministério Alemão para Assuntos Econômicos e Proteção Climática (BMWK) discute escolha entre os diferentes modelos de arquitetura de redes privadas de 5G (*vide* Cap. 2). O que diferencia esses modelos é principalmente a participação de equipamentos da rede instalados e operados *in-house*. Essa escolha, por sua vez, impacta não somente o custo e o tempo para instalação, mas também o grau de segurança dos dados transmitidos.

As seguintes perguntas são recomendadas para auxiliar na escolha do modelo mais adequado para cada aplicação:

- 1) Qual o tempo máximo aceitável para o *round trip* dos dados transmitidos?
- 2) Seria aceitável que os meus dados sejam processados no sistema de TI de um parceiro externo (ex.: operadora de rede)?

3) Seria aceitável que um parceiro externo tenha informações sobre número e localização de dispositivos dentro da minha fábrica (mesmo se os dados transmitidos permaneçam no próprio sistema de TI)?

4) A demanda de conectividade se restringe à área da fábrica ou também se estende para fora dela (ex.: em caminhões ou outras fábricas)?

5) Há recursos financeiros e humanos próprios disponíveis para criação e operação de uma rede de 5G de forma autônoma ou será necessário adquirir serviços externos?

6) Seria possível estipular e cobrar níveis mínimos de qualidade do serviço junto aos parceiros externos (ex.: por meio de acordos de nível de serviço ou transparência da operação da rede)?

Por fim, o documento destaca a importância de acompanhar o trabalho de normalização da 3GPP. Ainda diversos padrões de redes 5G de alta relevância para aplicações industriais encontram-se em fase de elaboração. Com a publicação dos padrões 3GPP, previstos para o início de 2023, poderá ser recomendado às empresas usuárias postergar a implementação de redes privadas.

## 6. Conclusões e recomendações

// A partir da experiência em ambientes de testes relatadas no capítulo anterior, é possível destacar campos de ação estratégicos para transformar o potencial identificado no capítulo 2 em valor agregado para cadeias de valor industriais. Vale enfatizar que não se trata de uma lista exploratória e sim de pontos de discussão elaborados pelos autores ao longo do processo de elaboração desta publicação. As sugestões e recomendações, portanto, representam estímulos para discussão e não propostas de solução.

### 6.1. Campo de ação 1: governança de dados de empresas

// Considerando o rápido surgimento de diversas oportunidades dentro do ambiente de transformação digital e seus respectivos desdobramentos, o setor industrial não é capaz de adaptar-se a este cenário com a mesma velocidade e de forma realista. Conforme mencionado na descrição do caso de uso sobre monitoramento de processos, redes 5G podem potencializar a obtenção de KPIs cada vez mais adequados em tempo real.

Entretanto, é possível constatar uma falta de processos de governança adequados para traduzir dados em informações relevantes para tomada de decisão. Este cenário é observado frequentemente no caso de pequenas e médias empresas (PMEs). A maturidade da empresa neste requisito deverá, portanto, ser considerada um fator central para determinar se redes 5G agregarão valor ao processo de produção.

### 6.2. Campo de ação 2: investimentos em infraestrutura e oferta de soluções off-the-shelf de redes privadas

// Para aumentar a cobertura 5G em áreas urbanas densamente ocupadas e estender para áreas rurais, será preciso desenvolver uma nova infraestrutura em diversos lugares, incluindo pequenas áreas geográficas, o que envolve uma série de questões jurídicas. Além disso, há também barreiras físicas que podem facilmente bloquear o sinal da rede, considerando que, apesar de sua capacidade imensamente superior em relação às tecnologias anteriores, o comprimento de onda das frequências do 5G é mais curto. O governo federal é o responsável pelas regras específicas para a infraestrutura, porém a instalação de equipamentos envolve ainda autorizações e restrições de cada município sobre a ocupação do solo. Além disso, cada governo estadual possui diretrizes próprias relacionadas às infraestruturas físicas sob sua administração. Muitos municípios precisam adequar suas legislações para receber a tecnologia 5G, como a cidade de Londrina, no Paraná, que, até o momento de publicação deste paper, possuem leis restritivas e processos de licenciamento não favoráveis à instalação de novas infraestruturas.

Um avanço recente foi o sancionamento da Lei 14.424/2022, que regula o “silêncio positivo”, permitindo a instalação automática de infraestrutura de telecomunicações em casos de não manifestação do órgão público competente no prazo estabelecido, desde que os equipamentos estejam em conformidade com a legislação pertinente.

São necessárias mais ações nesse sentido, que oferecem regras claras, coerentes e que levem em conta as especificidades locais, permitindo o desenvolvimento de um ambiente legal e regulatório seguro para a construção de infraestrutura para a rede de tecnologia 5G. Somente assim, será possível reduzir os custos de investimento e criar garantias legais para assegurar o acesso aos postes públicos, dutos, direitos de passagem e prédios públicos, permitindo investimentos regulares em todo o país.

### 6.3. Campo de ação 3: interoperabilidade e engenharia *end-to-end*

// A necessidade de integrar dispositivos fora da própria fábrica tem impacto significativo sobre a escolha do modelo mais adequado de arquitetura de rede privativa 5G. Somente o fluxo de dados ao longo da cadeia de valor viabiliza a engenharia *end-to-end* de base digital. Portanto, é recomendável considerar a importância da interoperabilidade entre redes privadas e públicas.

Assim como na discussão sobre a governança de dados acima, viabilizar essa interoperabilidade se soma ao desafio transversal de criar a confiança necessária para que empresas possam compartilhar dados sensíveis com outras empresas. Esse desafio atualmente está contemplado pelo debate em torno do conceito *data spaces*, conduzido majoritariamente pela *International Data Space Association* (IDSA).

A contínua harmonização global das tecnologias 5G de forma alinhada à disseminação de soluções de *data spaces* contribuirá para o aumento da transparência e para otimização de cadeias globais de valor. A busca por modelos de economia circular com menor impacto ambiental seria particularmente beneficiada por esta tendência.

// A CONTÍNUA HARMONIZAÇÃO GLOBAL DAS TECNOLOGIAS 5G CONTRIBUIRÁ PARA A OTIMIZAÇÃO DE CADEIAS GLOBAIS DE VALOR. //