

Uma Visão de Arquitetura para Redes 6G

Heitor Scalco Neto^{1,2}, Antonia Vanessa D. Araujo², Cristiano B. Both³,
Antonio Oliveira-Jr^{2,4}, Kleber V. Cardoso²

¹Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS), Corumbá, MS, Brasil

²Instituto de Informática - Universidade Federal de Goiás (UFG), GO, Brasil

³Universidade Vale dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil

⁴Fraunhofer Portugal AICOS, Porto, Portugal

heitor.scalco@ifms.edu.br, antoniavanessa@discente.ufg.br

cbboth@unisinós.br, {antoniojr,kleber}@ufg.br

Abstract. *The post-pandemic world must offer several opportunities for evolution in the network communications, as well as changing user experiences with augmented reality, connected industries, smart grids and self-organizing networks. This work presents the visions for new sixth generation (6G) network architectures, with the objective of discussing the key points that a new network architecture must encompass to promote the interaction of man with the world, whether physical and/or digital through a converged, flexible, intelligent and wide-ranging network for communication and computing.*

Resumo. *O mundo pós-pandemia deve oferecer diversas oportunidades de evolução nos meios de comunicação, bem como a mudança de experiências dos usuários com realidade aumentada, indústrias conectadas, redes inteligentes e redes auto-organizáveis. Este trabalho apresenta as visões para as novas arquiteturas de redes de sexta geração (6G), com o objetivo de discutir os pontos chave que uma nova arquitetura de rede deve englobar para promover a interação do homem com o mundo, seja ele físico e/ou digital por meio de uma rede convergente quanto a comunicação e computação, flexível, inteligente e de ampla cobertura.*

1. Introdução

O exponencial crescimento do número de aplicações e dispositivos que dependem de troca de tráfego massiva com outros dispositivos ou *cloud* (nuvem), assim como aplicações que requerem interação em tempo real, dispositivos que trabalham com inteligência artificial e automação, encontram algumas limitações nas tecnologias de redes móveis atuais, como a 5G. As redes de sexta geração, ou redes 6G, devem atender a necessidade de evolução dos *Key Performance Indicators (KPI)* e expectativas não atendidas pela geração atual.

Como principais aspirações para as novas arquiteturas, pode-se citar a abrangência dos temas de *enhanced Mobile Broadband (eMBB)*, *massive Machine Type Communications (mMTC)* e *Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC)*, impulsionados pela otimização dos fundamentos tecnológicos de *cloudization*, *deep slicing*, *softwarização* e *virtualização* com ênfase na inteligentização da rede. Outro aspecto importante é a capacidade de *deep slicing* para garantir ampla conectividade e disponibilidade dos serviços por meio de coberturas de rede terrestres e não-terrestres [Samsung Electronics Co. 2021, Zhang et al. 2019, Mahmood et al. 2019].

Neste trabalho, parte-se da premissa de que as pesquisas em redes 6G já iniciaram, mesmo considerando a fase de implantação das redes 5G, inclusive no Brasil. A partir de uma revisão bibliográfica, apresentam-se as visões para o *design* arquitetônico de redes móveis 6G. Esse *design* está embasado na evolução das características da rede 5G, sobretudo na integração das arquiteturas *Service-Based Architecture (SBA)*, baseada em micro serviços independentes e *End-to-End Mandate-Driven Architecture (MDA)*, com "mandate" de *Quality of Service (QoS) End-to-End (E2E)*, agnóstica de tecnologia e sistema operacional [Taleb 2020]. Com uma abordagem nativa de Inteligência Artificial (IA), as novas arquiteturas para 6G baseiam-se em rádios inteligentes e separação de *Data plane* (plano de dados) e *User Plane* (plano de usuário) para lidar com os recursos de *hardware* heterogêneos e atualizáveis, essa flexibilidade possibilita que as sub-redes locais evoluam e se atualizem individualmente [Letaief et al. 2019].

2. Visões para a Arquitetura 6G

A *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* especificou para a rede 5G a divisão das entidades de rede em duas grandes áreas: Rede de acesso por rádio, conhecida como *Radio Access Network (RAN)* e Núcleo (*Core*). Com uma arquitetura baseada em serviços, denominada *Service-Based Architecture (SBA)*, as partes, RAN e *Core*, podem ser implementadas separadamente, sem dependências e com interoperabilidade.

Para atender as aspirações citadas, as arquiteturas de redes 6G devem promover a integração da arquitetura SBA baseada em micro serviços e da *End-to-End Mandate-Driven Architecture (MDA)*, na qual os locatários e usuários finais se tornarão participantes ativos da arquitetura [Taleb 2020]. Uma SBA de próxima geração deverá promover no *Core* a decomposição dos serviços de rede em micro serviços independentes, enquanto no RAN, considerando a separação do plano de usuário da camada física, deve abordar um *design* de funções modularizadas, orientadas a serviços e divisão funcional [Taleb 2020].

A arquitetura MDA será conduzida por interações E2E entre os dispositivos finais, considerando todos os modelos de interação possíveis entre usuários e máquinas. Nesta abordagem cada "mandate" é visto como uma coleção de serviços de rede exigidos das redes subjacentes para atingir a qualidade de serviço necessária, ou seja, estratégias escalonáveis de monitoramento e verificação *End-to-end (E2E)*, implantadas em toda a rede, desde a parte de infraestrutura até os dispositivos finais onde os aplicativos estão em execução [Taleb 2020].

Além da integração SBA e MDA, conforme apresentado na Tabela 1, arquiteturas 6G devem apresentar o objetivo principal dos serviços, das características de rede e dos tipos de dispositivos que mais terão impacto na evolução da arquitetura 5G para a arquitetura 6G. A agregação de dispositivos e habilitadores tecnológicos, e.g. *cloudization*, *deep slicing*, softwarização, virtualização e inteligentização da rede; sensores e *Distributed Ledger Technologies (DLT)*, *Wireless Brain-Computer Interactions (BCI)*, vestíveis e implantes inteligentes, *Extended Reality (XR)*¹ ou *Connected Robotics and Autonomous Systems (CRAS)*, representado por sistemas de entrega de drones, carros autônomos, enxames de drones autônomos e robótica autônoma ou ainda, [Saad et al. 2020], devem embasar a criação de novos cenários e casos de usos.

¹Um novo termo que combina *Virtual Reality (VR)*, *Augmented Reality (AR)* e *Mix Reality (MR)*

	Arquitetura 5G	Arquitetura 6G
Objetivo	Conexão de Pessoas e Coisas	Interação de Pessoas e o Mundo
Características	Cloudization; Softwarização; Virtualização; <i>Slicing</i> .	Inteligentização; Cloudization; Softwarização; Virtualização; <i>Deep Slicing</i> .
Dispositivos	<i>Smartphones</i> ; Sensores; Drones.	Sensores e DLT; CRAS; Equipamento XR e BCI; <i>Smart Implants</i> .

Tabela 1. Aspectos evolutivos: Arquitetura 5G x Arquitetura 6G

2.1. Tecnologias Habilitadoras

De acordo com [Ziegler et al. 2020], os norteadores dos projetos para funções 6G incluem habilitadores tecnológicos que visam a simplificação, escalabilidade, flexibilidade, *time-to-market*² e redução de erros. Outra característica fundamental de propostas de arquiteturas 6G é manter a diferenciação, assim como no 5G, entre o *control plane (CP)* e o *user plane (UP)*, onde o CP será configurado como uma cadeia de serviços. Para atender os norteadores tecnológicos de simplificação das arquiteturas e funcionalidades, bem como de expansão da cobertura e inteligentização da rede, a literatura propõe um *design* que promova a convergência das RANs com o *Core* [Samsung Electronics Co. 2021], assunto que será discutido na próxima sub-seção.

2.1.1. Convergência da RAN e Core

Uma visão mais ampla sobre o significado da convergência entre RAN e *Core* é apresentada na Figura 1. Diferentemente da arquitetura proposta para redes 4G, em redes 5G, pode-se disponibilizar poder computacional (*Core*) nas estações rádio base, reduzindo drasticamente a latência das comunicações com a inclusão de dispositivos de borda. Para as arquiteturas 6G a visão é que o *Core*, ou seja, o poder de processamento estará presente tanto na RAN quanto nos equipamentos de usuários (UEs - *User Equipments*).

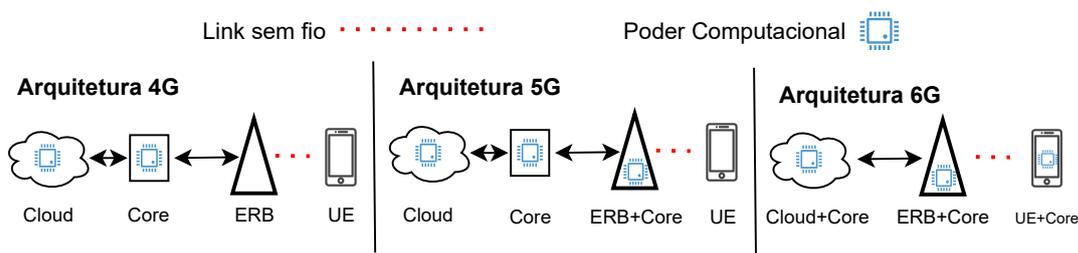


Figura 1. Evolução das Arquiteturas até a Convergência de RAN e Core

Uma das propostas para as redes 6G é a implementação de uma entidade chamada LLF (*Lower Layer Function*), que será responsável por incluir funções relacionadas a RAN que possuem requisitos críticos de latência, tanto no *User Plane Micro Services (UPMS)* quanto no *Control Plane Micro Services (CPMS)*. Ao trazer essas funções para próximo da borda, alcança-se latências menores.

²Quantidade de tempo necessário para projetar e fabricar um produto até sua disponibilidade para venda.

A Figura 2 apresenta um modelo de convergência entre RAN e *Core*, onde a LLF situada na borda pode conter características de *cloud* ou não. A LLF tem acesso a um micro serviço do plano de controle e plano de usuário. Por fim, tem-se a comunicação *inter-cloud*, especialmente no plano de usuário.

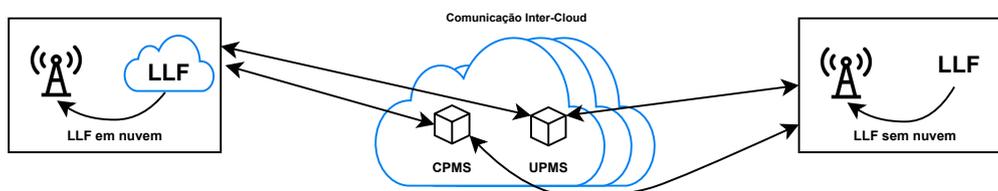


Figura 2. Convergência da RAN e *Core*

O CPMS inclui serviços de RAN e *Core*, tais como o controle de recursos do rádio, controle de rádio inteligente (*Radio Intelligent Control (RIC)*), gerenciamento de mobilidade, autenticação etc. Já o UPMS inclui os serviços das camadas mais altas da RAN no plano de usuário, bem como os serviços das camadas mais altas do *Core*, tais como: compressão de cabeçalho, criptografia, política de QoS e *Deep Packet Inspection* [Ziegler et al. 2020].

O UPMS e o CPMS serão baseados em uma estrutura que expõe APIs para novos micro serviços a serem adicionados ao conjunto principal de serviços que definem as duas entidades funcionais. Os micro serviços que constituem o UPMS e o CPMS podem ser alocados em uma nuvem híbrida de forma desagregada, onde pode haver uma instância local e uma central do UPMS atendendo a diferentes conjuntos de casos de uso.

A convergência de RAN e *Core*, incluindo as otimizações funcionais, permitirão o surgimento de RANs altamente especializadas (por exemplo: *vehicle-to-vehicle communication (V2V)* e RANs para *slices* específicos da rede. A facilidade de introdução de novos serviços e novos tipos de dispositivos com diferentes recursos de rádio e pilhas de *software* dedicadas otimizará o *time-to-market* e o custo total.

2.1.2. Conexões em Malha (*Mesh*)

Outro fator importante para o desenho das arquiteturas 6G é a ausência da separação entre células para a conectividade por áreas. A conectividade dupla entre *New-Radio* e *New-Radio (NR-NR)*, permite a formação de redes *Mesh*, na qual um dispositivo pode ser associado a uma “célula” principal e uma escrava, diferentemente do que ocorre nas redes 5G e anteriores, onde um dispositivo é associado a apenas uma célula. Dispositivos 6G podem conectar-se a diversos dispositivos próximos para formar sub-redes 6G enquanto mantém a conectividade com o nó principal. As arquiteturas 6G devem ser projetadas para nativamente suportar conectividade *Mesh*, o que deve ser possível a partir da alocação do UP e CP em nuvem, com a desassociação do modelo de conexão por células para facilitar a mobilidade entre as redes.

2.1.3. Inteligentização da rede

O *design* 6G requer a mudança do clássico paradigma *Self-Organizing Networks (SON)*, para o SSN *Self-Sustaining Networks (SSN)*, ou seja, de redes auto-organizadas para redes autossustentáveis. As SSNs devem ser capazes de, além de adaptar suas funções, sustentar seu uso e gerenciamento de recursos (ex.: captando energia e explorando espectro) para manter de forma autônoma KPIs altos e de longo prazo. Para atender os requisitos de automação previstos, as funções das SSNs devem aproveitar as recentes evoluções nas tecnologias de IA [Saad et al. 2020] que, considerando as entidades de redes, podem ser implementadas e categorizadas em três níveis: IA local, IA Conjunta, IA E2E [Samsung Electronics Co. 2021].

- **IA local:** implementada em cada entidade da rede, realiza tarefas como otimização da modulação, codificação da fonte e codificação do canal.
- **IA Conjunta:** implementada para otimizar a operação conjunta de UEs e BSs (*Base Stations*) ou a operação conjunta de redes centrais e servidores de aplicativos, como a adaptação com base na previsão das condições futuras da rede em ambientes sem fio complexos.
- **IA E2E:** implementa em todo o sistema de comunicação, possibilitando identificar ou prever anomalias no funcionamento da rede e sugerir ações corretivas.

2.1.4. Expansão da Cobertura

No intuito de garantir ampla cobertura, as arquiteturas de rede 6G devem ser projetadas para integrar as *terrestrial networks (TN)* com as entidades *non-terrestrial networks (NTN)* como: aviões, *urban air mobility systems (UAM)*, satélites *low earth orbit (LEO)* e *geo-stationary orbit (GEO)*, e *high altitude platform stations (HAPS)*.

As topologias de redes futuras devem evoluir, sobretudo com o uso dos componentes NTN, tais como: satélites e HAPS, para garantir coberturas em áreas onde não há rede terrestre. Esta abordagem ainda apresenta muitos desafios de pesquisa, sobre aspectos conhecidos, porém ausentes nas redes terrestres e aspectos adicionais, ainda não reconhecidos, que podem surgir e precisam ser considerados ao implementar redes com suporte a NTN [Samsung Electronics Co. 2021].

3. Discussões, Direcionamento e Conclusões

Os modelos de arquitetura propostos para as redes 6G ainda são abstratos para uma implementação inicial. Entretanto, já é possível, embasados na evolução dos cenários eMBB, URLLC e mMTC propostos para redes 6G, visualizar e discutir a evolução das arquiteturas com foco na hiper conectividade e interações do homem com o mundo, seja digital ou físico, propostos na literatura. Além do objetivo dos serviços disponibilizados, as características desses serviços, bem como as estruturas das redes, devem ser fortemente embasados nos fundamentos tecnológicos de *cloudization*, *deep slicing*, *softwarização*, *virtualização* e *inteligentização da rede*, sendo este último um dos aspectos de maior destaque na literatura.

Acredita-se que os projetos das arquiteturas 6G estarão embasados na evolução da arquitetura SBA, proposta para redes 5G, em conjunto com a arquitetura MDA/E2E, com

IA nativa. Essa integração deve prover micro serviços independentes, agrupados de forma inteligente em "mandates" que especifiquem e garantam QoS/E2E na rede. Outro aspecto importante é a convergência entre RAN e Core, que podem a partir de uma nuvem híbrida prover simplificação e conectividade em rede Mesh; além de proporcionar que casos de uso onde não há infraestrutura definida (por motivos de localização remota ou desastres) sejam explorados, e.g. conectividade em veículos de mineração, comunicação de viaturas de segurança pública, swarm de drones, redes de sensores e outros. A principal ideia da convergência de RAN e Core é fazer com que dispositivos possam criar suas próprias sub-redes e auto gerenciá-las.

A flexibilidade oferecida pelas arquiteturas 6G deve permitir um alto nível de especialização das redes para propósitos específicos, tais como: sub-redes e slices otimizados por tipo de tráfego. As arquiteturas dos componentes de orquestração baseadas em domínios, redes e automação serão grandes habilitadores para a implementação em indústrias. Alguns outros aspectos ainda não estão bem definidos nas propostas de arquiteturas 6G, um deles é como serão tratadas questões de segurança, visto a utilização de micro serviços com alta flexibilidade, podendo ser alocados em nuvens ou UEs que podem ter recursos e funcionalidades variadas, rodando ao mesmo tempo. As escolhas de protocolos de rede e políticas de controle ainda não foram definidas e podem ser desenvolvidas em trabalhos futuros.

4. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Projeto Brasil 6G, financiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e Rede Nacional de Pesquisa (RNP).

Referências

- Letaief, K. B., Chen, W., Shi, Y., Zhang, J., and Zhang, Y. A. (2019). The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks. *IEEE Communications Magazine*, 57(8):84–90. Conference Name: IEEE Communications Magazine.
- Mahmood, N. H., Alves, H., López, O. A., Shehab, M., Osorio, D. P. M., and Latva-aho, M. (2019). Six key enablers for machine type communication in 6g. *arXiv preprint arXiv:1903.05406*.
- Saad, W., Bennis, M., and Chen, M. (2020). A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems. *IEEE Network*, 34(3):134–142. Conference Name: IEEE Network.
- Samsung Electronics Co., L. (2021). 6G the next hyper Connected Experience for All | Samsung Research.
- Taleb, T. (2020). White paper on 6G networking. Publisher: Oulu : University of Oulu,.
- Zhang, Z., Xiao, Y., Ma, Z., Xiao, M., Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G. K., and Fan, P. (2019). 6g wireless networks: Vision, requirements, architecture, and key technologies. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14(3):28–41.
- Ziegler, V., Viswanathan, H., Flinck, H., Hoffmann, M., Räisänen, V., and Hätönen, K. (2020). 6G Architecture to Connect the Worlds. *IEEE Access*, 8:173508–173520.