

Desagregando e Softwarizando as Redes de Celulares e o Programa OpenRAN Brasil

Daniel A. L. Marquês¹, Fernando N. N. Farias¹, Fuad Mousse Abinader Junior², Vitalii Afanasiev², Christian R. E. Rothenberg³, Antônio J. G. Abelém⁴, José F. Rezende¹

¹Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (DPDI) – Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

²Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD) – Campinas – SP – Brasil

³Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas – SP – Brasil

⁴Grupo de pesquisa em Rede de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM) – Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém – PA – Brasil.

{daniel.marques,fernando.farias,jose.rezende}@rnp.br,
{fuad,vitaliiaf}@cpqd.com.br,chesteve@dca.fee.unicamp.br,
abelem@ufpa.br.

Abstract

Advances in network function virtualization associated with market and regulatory demand for more openness and interoperability on Radio Access Networks (RAN) for next-generation cellular networks motivated the introduction of the framework with standards, protocols, and open-source software components known as OpenRAN. This openness aims to democratize parts of the telecommunications network and thus not depend on large telecommunications equipment manufacturers, allowing costs and power reduction for large manufacturers. The OpenRAN architecture combines modular base station software with off-the-shelf hardware, assigning baseband and radio unit components from single vendors for seamless interoperability, whether there are virtualized/disaggregated RAN elements or not. In addition, the introduction of open interfaces between different OpenRAN components allows the gathering of information from the RAN and the update of control policies, which enables the utilization of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) techniques to perform optimizations and smart control of the RAN. Therefore, this minicourse has the main objective to present the concept and challenges which are leading the academia and industry to invest in concept of the open RAN. This minicourse will be essentially theoretical and will begin by introducing the historical

factors of the evolution of the RANs, concepts of openness and softwarization, moreover, it will be addressed disaggregation, RAN intelligent controller (RIC), Core Network, virtualization, open interfaces and challenges. Next, the initiatives around the world that are collaborating in the advance, standardize and development of OpenRAN will be presented. After that, the OpenRAN Brazil Program will be detailed, where it will be presented the motivation, objectives, expected results, testbed and applications. Finally, the final considerations and future trends regarding the research and development of OpenRANs and their components will be presented.

Resumo

Avanços na função de virtualização de rede associadas com o mercado e a demanda regulatória por mais abertura e interoperabilidade nas Redes de Acesso via Rádio (RAN) da próxima geração de redes celulares motivaram a criação de um framework, com padrões, protocolos e componentes de softwares de código aberto, denominado como OpenRAN. Essa abertura tem como objetivo democratizar segmentos da rede de telecomunicações para não depender de equipamentos de grandes indústrias, assim, permitindo a redução de custos e o poderio desses conglomerados. A arquitetura OpenRAN combina o software estação base modular com hardware pronto para uso, onde são atribuídos componentes de banda base e unidades de rádio de fornecedores únicos, assim viabilizando uma interoperabilidade transparente, não importando se os elementos de RAN são ou não virtualizados/desagregados. Além disso, a introdução de interfaces abertas entre os diferentes componentes OpenRAN permite que se obtenha informações da RAN e se efetue atualizações de políticas de controle, o que viabiliza a utilização de técnicas de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizagem de Máquina (ML) para efetuar otimizações e controle inteligente da RAN. Logo, este minicurso tem como principal objetivo apresentar os conceitos e desafios que estão levando a academia e indústria a investir no conceito de RAN aberta. O minicurso será essencialmente teórico e iniciará apresentando os fatores históricos da evolução das RANs e os conceitos de abertura e softwarização, além disso, serão abordados a desagregação, controle inteligente da RAN (RIC), Núcleo da Rede (Core Network), virtualização, interfaces abertas e desafios. Em seguida, as iniciativas ao redor do mundo que estão colaborando no avanço, padronização e desenvolvimento das OpenRANs serão apresentadas. Após isso, será detalhado o Programa OpenRAN Brasil, onde será discutido a motivação, objetivos, resultados esperados, testbed e aplicações. Por fim, serão apresentadas as considerações finais e tendências futuras em relação à pesquisa e desenvolvimento das OpenRANs e seus componentes.

1. Autores que apresentarão o minicurso

- a) Daniel de Arêa Leão Marques – RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa)
- b) Fernando Nazareno Nascimento Farias – RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa)

- c) Fuad Mousse Abinader Junior – CPQD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações)
- d) Vitalii Afanasiev – CPQD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações)

2. Dados Gerais

2.1. Objetivo do Curso

O minicurso será basicamente teórico apresentando os principais conceitos, motivações e desafios que estão levando, tanto a indústria quanto a academia, a investir em pesquisa e desenvolvimento em OpenRAN (*Open Radio Access Network*). O objetivo deste minicurso é apresentar os desafios e soluções que estão abrangendo a evolução do OpenRAN, tais como: interfaces, arquiteturas, protocolos, serviços e etc., que servirão de suporte para consolidação do conceito. Além disso, será também parte do objetivo, apresentar a iniciativa brasileira de pesquisa e desenvolvimento em OpenRAN denominada de “Programa OpenRAN Brasil”.

Especificamente pode-se dizer que os objetivos estarão em torno de:

- a) Apresentar um breve histórico e uma revisão do conceito de redes de acesso via rádio até o 5G e os desafios para sua implementação que motivaram o desenvolvimento do OpenRAN.
- b) Apresentar as principais iniciativas e ambiente experimentais que estão contribuindo para os avanços na padronização do OpenRAN;
- c) Descrever a mudança de paradigma do conceito de RAN tradicional para uma abordagem de RAN (Software e Hardware) mais desgrejada e baseada na neutralidade de vendedores, com interfaces aberta entre os componentes, múltiplas opções de arquitetura e *softwarização* os principais elementos da arquitetura;
- d) Investigar as vantagens e desvantagens da aplicação do conceito OpenRAN e apresentar os principais desafios a serem vencidos;
- e) Apresentar a iniciativa brasileira denominada de Programa OpenRAN Brasil, descrevendo suas fases, a abrangência do P&D em OpenRAN, o desenvolvimento do testbed e investimentos em casos usos;
- f) Exemplificar o funcionamento do testbed do projeto OpenRAN e a integração de domínios para apoio ao OpenRAN;
- g) Apresentar as tendências futuras de P&D em OpenRAN na indústria e academia.

2.2. Perfil do Público-alvo

O minicurso é voltado para alunos de graduação, pós-graduação e pesquisadores, profissionais de operadora de telefonia, telecomunicações e institutos de ciência e tecnologia, além de interessados nas áreas de redes de computadores, Internet do

Futuro, Redes Definidas por Software (SDN), OpenRAN, Inteligência Artificial, (IA), Aprendizagem de Máquina (ML), e Automação e Orquestração. De uma maneira específica, o público-alvo são pessoas que tenham o interesse ou estejam relacionadas à pesquisa e/ou desenvolvimento de soluções para OpenRAN e SDN, bem como na construção de ambientes experimentais (*Testbed*) necessários para avaliar tais soluções.

3. Estrutura Prevista do Texto

- Seção 1. Introdução.
- Seção 2. Abertura e a Softwarização na RAN: OpenRAN.
- Seção 3. Iniciativas OpenRAN pelo Mundo.
- Seção 4. Programa OpenRAN Brasil.
- Seção 5. Considerações Finais e o Futuro do OpenRAN.
- Seção 6. Referências Bibliográficas.

4. Resumo a ser Abordado e Previsão de Páginas

4.1. Introdução (4 – 6 páginas)

Nesta Seção 1 haverá uma particularizada introdução sobre a abrangência das Redes Definidas por Software e Redes Desagregadas apresentando suas vantagens e desvantagens, e a necessidade de sua introdução e padronização das redes de acesso via rádio.

Além disso, também será apresentado um breve histórico de evolução das tradicionais RANs para C-RAN, V-RANs e finalmente OpenRANs. No final da Introdução, serão apresentados os desafios para a implementação de redes 5G e consequentemente os fatores que motivaram a introdução das RANs abertas e suas vantagens tanto na visão da academia quanto da indústria.

4.2. Abertura e a Softwarização na RAN: OpenRAN (10 – 15 páginas)

Nesta Seção 2 será apresentada a junção dos conceitos de abertura e softwarização às RANs, levando em consideração, como surgiu a ideia, a motivação e a necessidade. Também será apresentada a arquitetura OpenRAN, com seus principais componentes e interfaces, além dos seus princípios arquiteturais. Neste tópico deverão ser abordados os seguintes temas: desagregação, controle inteligente da RAN (RIC), Núcleo da Rede (Core Network), virtualização, interfaces abertas e desafios.

Em relação ao controle inteligente de RAN (RIC) será realizada uma discussão sobre controle inteligente, automação e orquestração da RAN, onde serão demonstrados os conceitos sobre o Near-RT (Near Real Time) RIC, o papel das xApps e como tudo isso se conecta para executar o controle da RAN. Além disso, serão apresentados o Non-RT RIC, os rApps e como eles se conectam dentro das plataformas de automação e orquestração. Ademais, serão discutidos o papel das técnicas de Inteligência Artificial (IA) e Aprendizagem de Máquina (ML) enquanto habilitadores do OpenRAN.

Abordaremos a *OpenRAN Alliance* (O-RAN), com seus diferentes grupos de trabalho e comunidades, como a O-RAN Software Community e os seus programas de certificação e treinamento. Como parte da arquitetura estarão abordadas as principais interfaces abertas padronizadas pelas O-RAN, incluindo as interfaces E2, O1, A1, Open FrontHaul/F2 (eCPRI/RoE, PTP/SyncE e NetConf/YANG), F1 e E1.

Por fim, no contexto de desafios, esta parte apresentará a lista dos principais desafios no âmbito do OpenRAN levando em consideração avanços em protocolos, interface, RIC, xHaul, orquestração e aplicações.

4.3. Iniciativas OpenRAN pelo Mundo (5 – 7 páginas)

Na Seção 3 serão discutidas as iniciativas OpenRAN pelo mundo, apresentando as principais plataformas *open source* para a implementação dos diferentes componentes OpenRAN. Este segmento também abordará os principais consórcios que estão direcionando a padronização do OpenRAN, tanto a nível de *software* quanto de *hardware*, tais como: *Telecom Infra Project* (TIP), *OpenRAN Alliance* (O-RAN), *Linux Foundation* (LF) e a *Open Networking Foundation* (ONF).

Finalmente, serão abordados os principais projetos que estão relacionados com a construção de testbed ou no desenvolvimento de componentes para OpenRAN. Dentre as principais iniciativas tem-se: 5G-OPERA, Plat5GBR, OpenAirInterface e MOSAIC-5G

4.4. Programa OpenRAN Brasil (6 – 10 páginas)

A Seção 4 relatará em detalhes o Programa OpenRAN Brasil que atualmente é o maior programa de pesquisa, desenvolvimento e inovação na área de redes aberta e desagregada para acesso via rádio no Brasil. O programa está dividido em três fases, cujo objetivo principal é desenvolver uma plataforma *open source* para o controle e gestão de infraestruturas de rede programáveis compostas por equipamentos abertos e desagregados, ou seja, construídos a partir da integração de múltiplos componentes fornecidos por diferentes fabricantes de hardware e software.

Também descreveremos os objetivos das três fases de atuação do programa e os investimentos que serão aplicados para o avanço e desenvolvimento de aplicações para redes 5G baseadas em OpenRAN

Por fim, a Seção irá descrever o testbed, que abrangerá em todo o país, envolvendo tecnologias para academia, indústria e provedores de serviços, combinando controladores, orquestradores, funções e serviços de rede envolvendo virtualização, computação e armazenamento em nuvem e inteligência artificial.

4.5. Considerações Finais e o Futuro do OpenRAN (3 – 5 páginas)

A Seção 5 apresentará as considerações finais do minicurso, abordando quais as vantagens em se investir no P&D de OpenRAN e as principais oportunidades de pesquisa no campo. Além disso, pretende-se abordar qual será o futuro do OpenRAN no Brasil.

5. Bibliografia Principal Utilizada na Preparação do Curso

- Akhtar, H. O-RAN Architecture Description. 2022. Disponível em: <<https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=310>>. Acesso em: 5 jan. 2022.
- Akman, A. O-RAN Working Group 1 Use Cases Detailed Specification. 2020. Disponível em: <<https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=311>>. Acesso em: 5 jan. 2022.
- Ashwin Kumar, U.; Gundu Hallur, G. (2022). Economic and Technical Implications of Implementation of OpenRAN by “RAKUTEN MOBILE”. *2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications, DASA 2022*, p. 959–964.
- Azariah, W. et al. (2022). A Survey on Open Radio Access Networks: Challenges, Research Directions, and Open Source Approaches. *arXiv*, Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/2208.09125>>
- Brassil, J. (2021). Investigating Integrated Access and Backhaul on the Aether 5G Testbed. *Proceedings - 2021 IEEE 4th 5G World Forum, 5GWF 2021*, p. 281–286.
- Kempf, J.; Yegani, P. (2002). OpenRAN: a new architecture for mobile wireless internet radio access networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 40, n. 5, p. 118–123. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1000222/>>
- Lyong. O-RAN Working Group 6 Cloudification and Orchestration Use Cases and Requirements for O-RAN Virtualized RAN Table of Contents. 2022. Disponível em: <<https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=337>>.
- Polese, M. et al. (2022). Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/2202.01032>>
- Rouwet, W. Open Radio Access Network (O-RAN) Systems Architecture and Design. [s.l.] : Elsevier,(2022). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com:5070/book/9780323919234/open-radio-access-network-o-ran-systems-architecture-and-design?via=ihub=>>>. Acesso em: 5 jan. 2023.
- Singh, S. K.; Singh, R.; Kumbhani, B. (2020). The Evolution of Radio Access Network Towards Open-RAN: Challenges and Opportunities. *2020 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops, WCNCW 2020 - Proceedings*,
- Bonati, L. et al. (2020). Open, Programmable, and Virtualized 5G Networks: State-of-the-Art and the Road Ahead. *Computer Networks*, v. 182, n. July, p. 107516. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107516>>

6. Curriculum Vitae Resumido dos Autores

6.1 **Daniel de Arêa Leão Marques:** Possui bacharelado em Sistemas de Informação pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (2009), Mestrado em Sistemas de Informação com ênfase em redes de computadores pela Universidade Federal do

Estado do Rio de Janeiro (2012) e desde 2013 atua na Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), atualmente como coordenador. Tem experiência na área de Sistemas de Informação, atuando principalmente nos seguintes temas: automação, manutenção e infraestrutura de testbeds de Internet do Futuro.

6.2. Fernando Nazareno Nascimento Farias: é Coordenador de Projetos em P,D & I na Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) desde 2019. Possui graduação em bacharelado e licenciatura em Matemática pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2003. Mestrado em Engenharia Elétrica com ênfase em Computação Aplicada e Redes de Computadores pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2008. Doutorado em Ciência da Computação com ênfase em Sistemas de Computação e Redes de Computadores pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2019. Já participou de projetos (MCTI, FAPESP, CNPq e RNP) sem e com cooperação internacional visando Testbeds para Experimentações em redes como: MENTORED, Brasil 6G, SAMURAI, FIBRE e NECOS. E atualmente na RNP, tem trabalhado em projetos de Internet Avançada nas áreas de Redes Definida por Softwares, OpenRAN, 5G/6G, Circuitos Dinâmicos e Monitoramento de Desempenho de Redes.

6.3 Fuad Mousse Abinader Junior: graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM, 1999-2003), mestrado em Informática/Redes de Comunicações no Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM, 2004-2006), e doutorado em Telecomunicações no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPgEEC) na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 2011-2015). Desde outubro de 2022 atua como Desenvolvedor de Tecnologia Especialista no CPQD, na área de projetos em Open RAN. Tem experiência na área de Telecomunicações e Desenvolvimento de Software voltados para telefonia celular móvel, incluindo atividades de desenvolvimento de novos algoritmos e protocolos visando a prototipação, produtização, geração de propriedade intelectual (patentes), atividades de padronização e publicações científicas.

6.4 Vitalii Afanasiev: Formado em Engenharia de Telecomunicações na Universidade Nacional de Rádio Eletrônica de Kharkiv (KHNURE, Ucrânia, 2001 - 2006). Possui ampla experiência em integração e otimização das redes móveis 2G/3G/4G/5G atuando na parte de rede de acesso (RF/TX) e no desenvolvimento de software voltado para otimização das redes. Atua na área de controladores inteligentes Open RAN (RIC).

6.5 José Ferreira de Rezende: É assessor especial na diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento da RNP. Possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1988), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1992) e doutorado em Ciência da Computação pela Université de Paris VI (Université Pierre et Marie Curie) (1997). Atualmente, é Professor Associado IV do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da COPPE/UFRJ. Tem experiência na área de Teleinformática, atuando principalmente nos seguintes temas de pesquisa: QoS na Internet, Internet do Futuro, redes móveis, redes de sensores sem fio, redes ópticas elásticas, experimentação remota, avaliação de desempenho e computação em nuvem.

6.6 Antônio Jorge Gomes Abelém: Engenheiro, doutor em Informática e professor Titular da Universidade Federal do Pará (UFPA). Pesquisador de produtividade em

desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora do CNPq, nível 2, desde 2011. Faz parte do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pará (UFPA) desde a criação do mesmo. Membro do conselho da Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Coordena o Grupo de Pesquisa em Redes de Computadores e Tecnologias para Transformação Digital - GERCOM (<http://www.gercom.ufpa.br/>), a partir do qual coordena e participa de diversos projetos de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico no âmbito regional, nacional e internacional. Diretor-presidente do Parque de Ciência e Tecnologia Guamá (PCT Guamá) a partir da inauguração do mesmo em 2010 até dez/2018, sendo um dos responsáveis pela estruturação, implantação e gestão do parque. Contribui com a criação e estruturação do sistema paraense de inovação, para incentivar o empreendedorismo inovador, o desenvolvimento de empresas de base tecnológicas e, conseqüentemente, o desenvolvimento sustentável do Estado do Pará e da Amazônia.

6.7 Christian Rodolfo Esteve Rothenberg: É professor Doutor na Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Estadual de Campinas desde 2013 e líder do grupo de pesquisa INTRIG (Information & Networking Technologies Research & Innovation Group). Possui graduação em Engenharia de Telecomunicações pela Universidad Politécnica de Madrid (2004), Espanha, mestrado em Engenharia Elétrica pela Technical University of Darmstadt (2006), na Alemanha, e doutorado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (2010). De 2010 a 2013 trabalhou como pesquisador sênior do CPQD, atuando em projetos de P&D na área de plataformas IP e redes convergentes. É coautor de mais de 200 publicações em revistas e eventos científicos, totalizando mais de 9 mil citações (H-10: 31), 5 patentes internacionais, e vários projetos open source de impacto na área de redes, resultados, muitos deles em produtos de colaborações internacionais com parceiros da indústria e da academia.