

Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - 2025



Do Conceito à Prática: Softwarização e Orquestração de Redes Open RAN no Testbed OpenRAN@Brasil

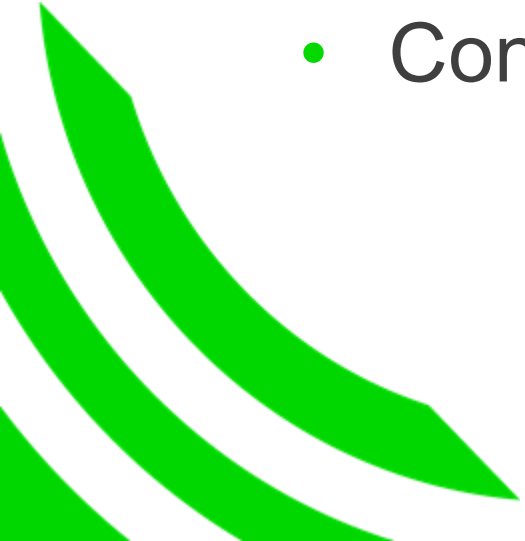
Fernando N. N. Farias, Lucas Borges e Murilo Silva

Agenda

Duração do Minicurso 5
14:00 - 17:00



- Introdução e Contextualização
- Abertura e a Softwarização na RAN
OpenRAN
- Programa OpenRAN Brasil
- Conclusão





Introdução e Contextualização

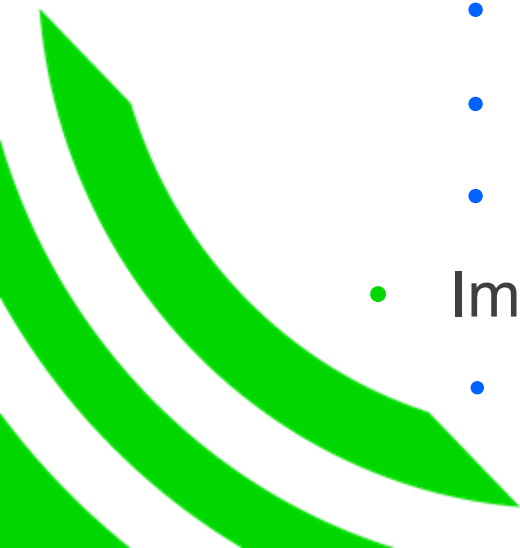


Introdução - Contextualização



Na última década (2010-2020)...

- Desenvolvimento em direção ao software em nuvem, e expansão da cultura Cloud Native (CN)
- Softwarização das redes
 - Paradigma SDN (Software-Defined Networking)
 - Desagregação dos planos de controle e de dados
 - Elementos de redes programáveis
 - Virtualização de recursos
 - Particionamento em fatias logicamente isoladas
- Impulsioneamento de componentes de software:
 - Controladores e Orquestradores



Introdução - Contextualização



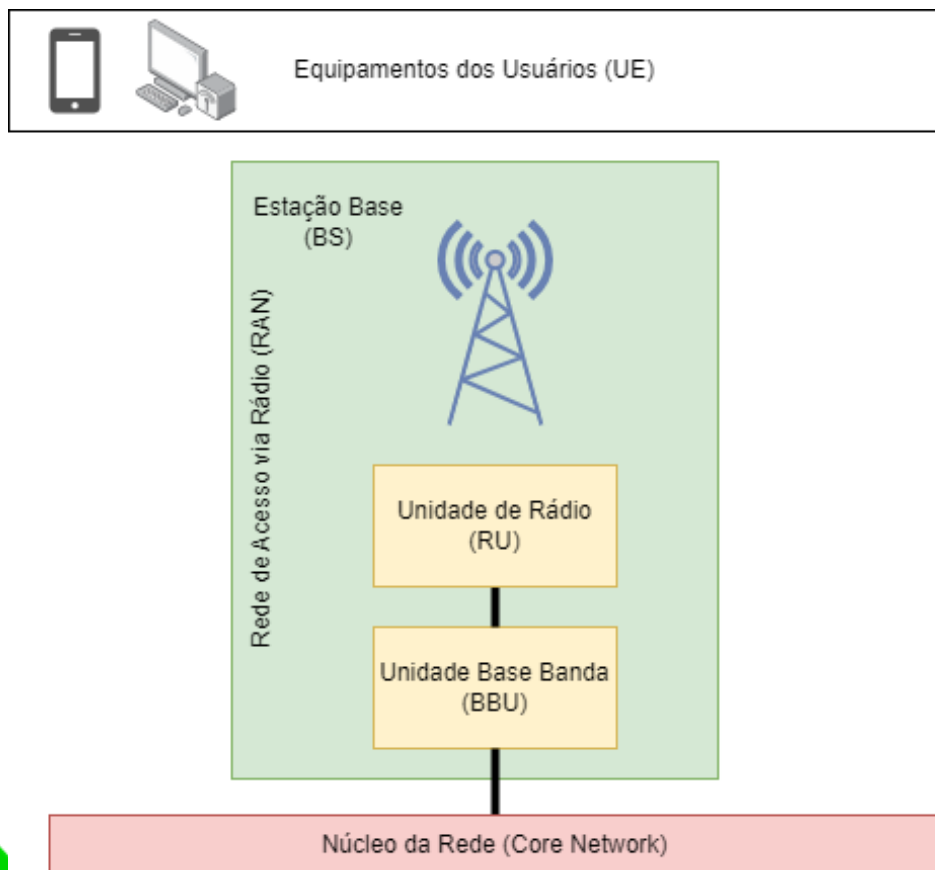
O conceito de SDN se expandiu para outros domínios.

- Óptico
 - orquestração de transponders WDM
 - comutadores ópticos
 - redes ópticas passivas.
- Sem fio
 - Rede de Acesso (WiFi)
 - WiFi
 - Celulares (4G/5G/6G)

Para viabilizar a softwarização:

- Equipamentos devem ser programáveis
- Padronização e abertura das interfaces

Introdução - RAN



RAN - Radio Access Network (Rede de Acesso via Rádio)

É a rede que conecta os equipamentos dos usuários com o núcleo da rede (core network)

- Componentes:
 - **Unidade de Banda Base (BBU)**
Gerenciamento da rede, processamento e encaminhamento de dados para o núcleo da rede
 - **Unidade de Rádio (RU)**
Transmissão e recepção de sinais de rádio.
 - **Antenas**
 - **Software**
- O conjunto desses componentes pode ser conhecido como **Estação Base**
- **Todos os elementos são proprietários**

Introdução - Desafios da RAN tradicional



- **É estimado que entre 65~75% dos custos de CAPEX/OPEX de implementação da rede móvel são referentes apenas a RAN**
 - CAPEX (Investimentos)
 - OPEX (operação)
 - Custos: aluguel de espaço para rádio base, refrigeração
- **Os hardwares baseados em RAN tradicional:**
 - Têm poucos fornecedores
 - São proprietários e fechados
 - Extremamente caros e monolíticos
 - Não são escaláveis
 - Não são reconfiguráveis sem a ajuda dos fornecedores
 - Não são facilmente integráveis e interoperáveis com fornecedores diferentes (vendor lock-in)

Introdução - O-RAN Alliance



- **O-RAN Alliance (Aliança O-RAN)**
 - Fundada em 2018
 - Composta por mais de 20 empresas da área telecom
 - Orange, NTT Docomo, AT&T, Deutsche Telekom...
 - Objetivo: remodelar a indústria, promovendo uma RAN aberta, interoperável, padronizada e inteligente.
- **3GPP - 3rd Generation Partnership Project**
 - É uma organização de desenvolvimento de padrões para as tecnologias de telecomunicação celular

Introdução - Evolução



Pesquisas foram realizadas para redesenhar a implantação da RAN e reduzir os seus custos e atender as demandas de um mercado crescente.

Evolução 1: RAN Tradicional/D-RAN (Distributed RAN)

Evolução 2: C-RAN (Centralized/Cloud RAN)

Evolução 3: vRAN (Virtualized RAN)

Evolução 4: O-RAN (Open RAN)





Evolução 1

RAN Tradicional/D-RAN (Distributed RAN)

- Unidade de Rádio (RU) e Unidade de Banda Base (BBU) próximas e integradas por um sistema
 - Cada RAN é operada de forma independente
- Mais equipamentos de usuário, mais Estações Base



Evolução 2

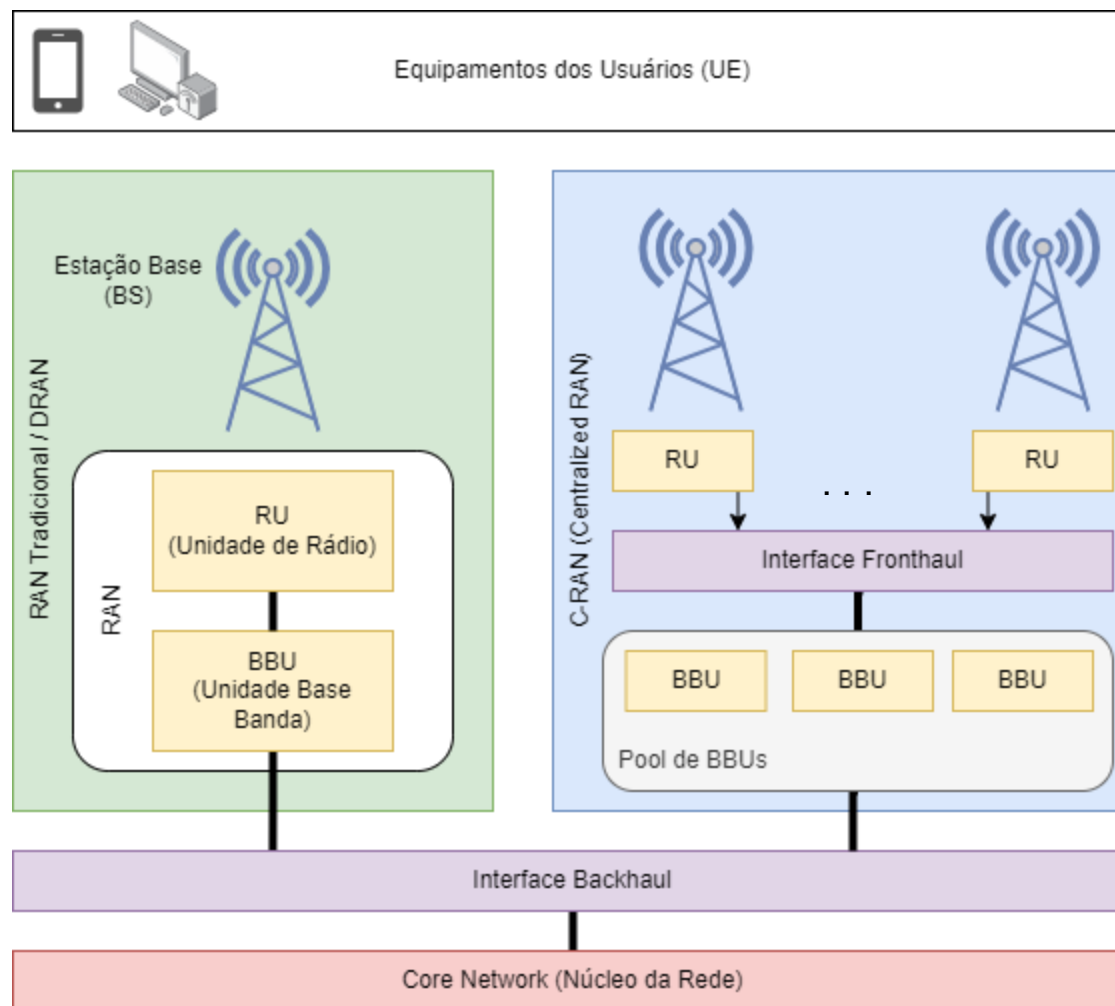
C-RAN (Centralized/Cloud RAN)

- Desagregação da Estação Base - Separação das BBUs das RUs
 - Agrupar as BBUs em um pool
- Primeiras iniciativas de desagregação através da criação da interface Fronthaul para conectar as RUs com o pool de BBUs
 - Redução de custos
 - Sobrecarga na interface Fronthaul
 - Ponto de falha único

Introdução - Evolução



D-RAN x C-RAN





Evolução 3 **vRAN (Virtualized RAN)**

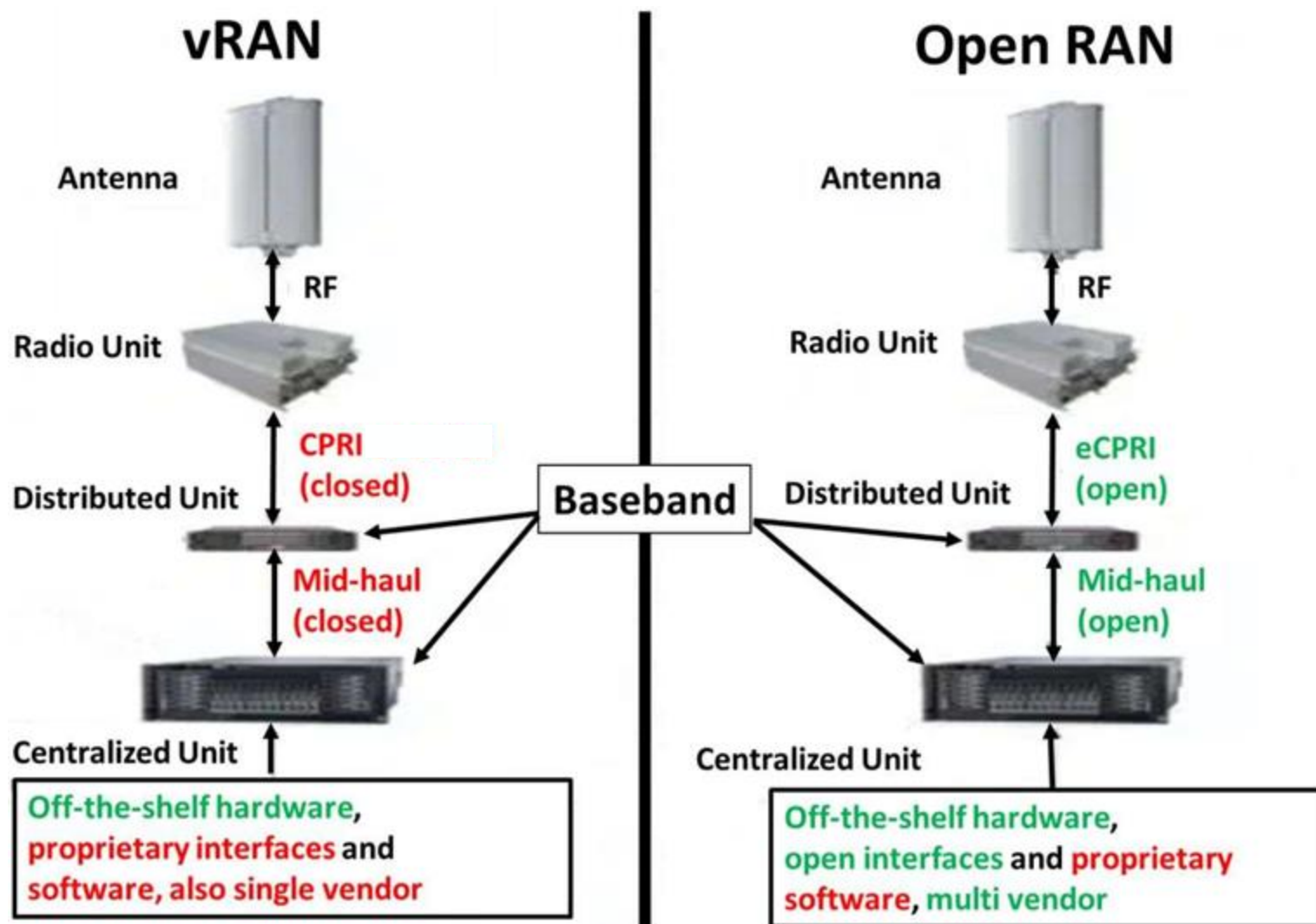
- Adoção de hardware COTS (Commercial Off-the-Shelf)
 - Virtualização da BBU (uso de VMs ou containers)
 - Adoção do uso de Funções Virtualizadas (NFV)
 - Escalabilidade e orquestração de recursos
 - Redução de consumo de energia
- **Complexidade na orquestração de múltiplas RANs**
 - **Hardware e Interfaces proprietárias**



Evolução 4 Open RAN

- Padronização e softwares elaborados pela O-RAN Alliance
 - Compatíveis com especificação da 3GPP.
- Adoção de hardware **COTS** (Commercial Off-The-Shelf)
 - Interfaces Abertas e padronizadas
- Desagregação completa da BBU em **Unidade Central - CU** (Gerenciamento de mobilidade e controle de recursos) e **Unidade Distribuída DU** (Processamento de dados do tráfego sem fio)
 - Automação no gerenciamento da RAN através de IA/ML
 - **Controlador inteligente da Non/Near Real-Time RAN**

Introdução - Evolução



Introdução - Benefícios x Desafios



Benefícios

- Alavancamento de um novo ecossistema de inovação
 - Academia pode participar
- Construção de redes mais baratas
 - Fim do “*vendor lock-in*”
- Diminuição dos custos de CAPEX e OPEX

Desafios

- Orquestração não otimizada
 - Cada domínio de tecnologia tem o seu controlador
- Hardware ainda são caros
 - Hardware de otimização (GPUs, FPGAs e eASICs)
- Softwares open source ainda não são maduros suficientes, dependência de pilhas proprietárias
- Oferecer de redes de altíssima velocidade e com baixa latência

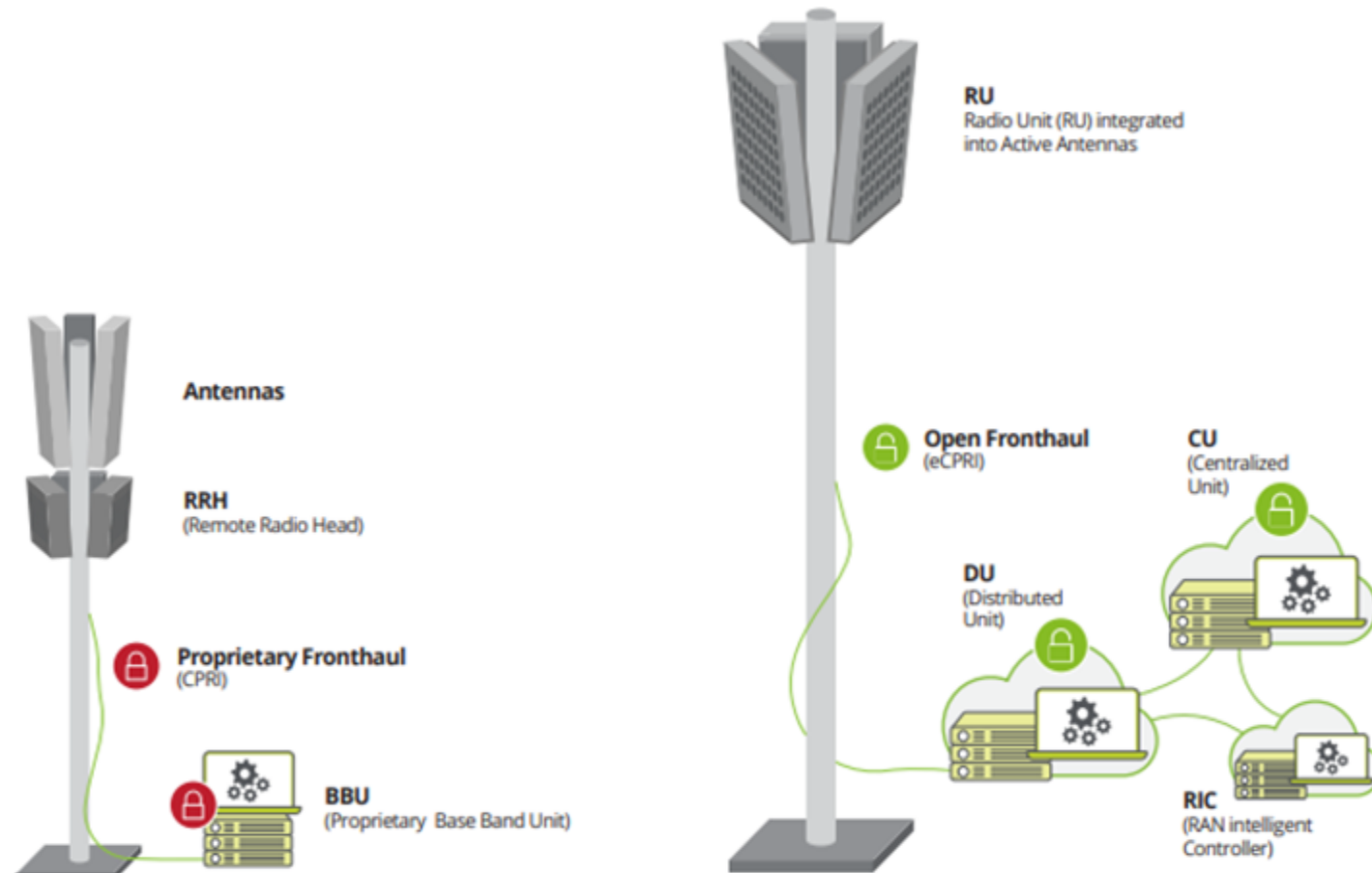


Abertura e a Softwarização na RAN OpenRAN





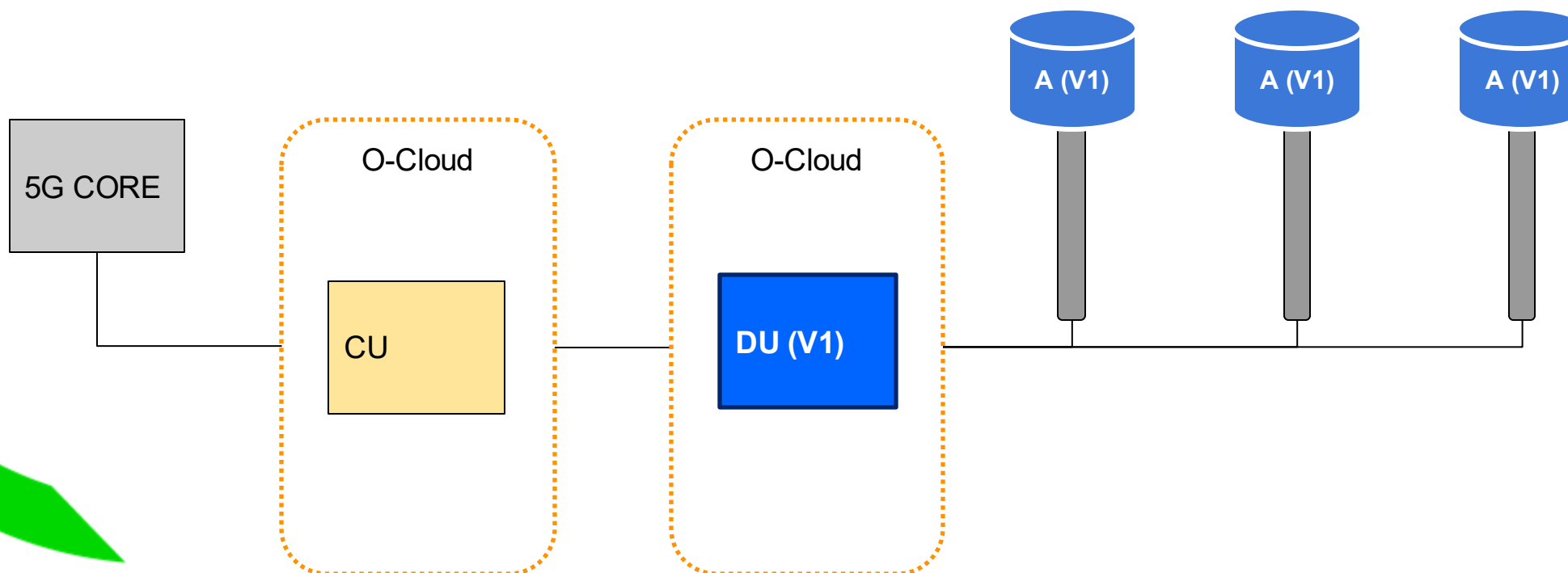
RAN Tradicional vs RAN Aberta (Open RAN)





Por Que o OpenRAN é Interessante?

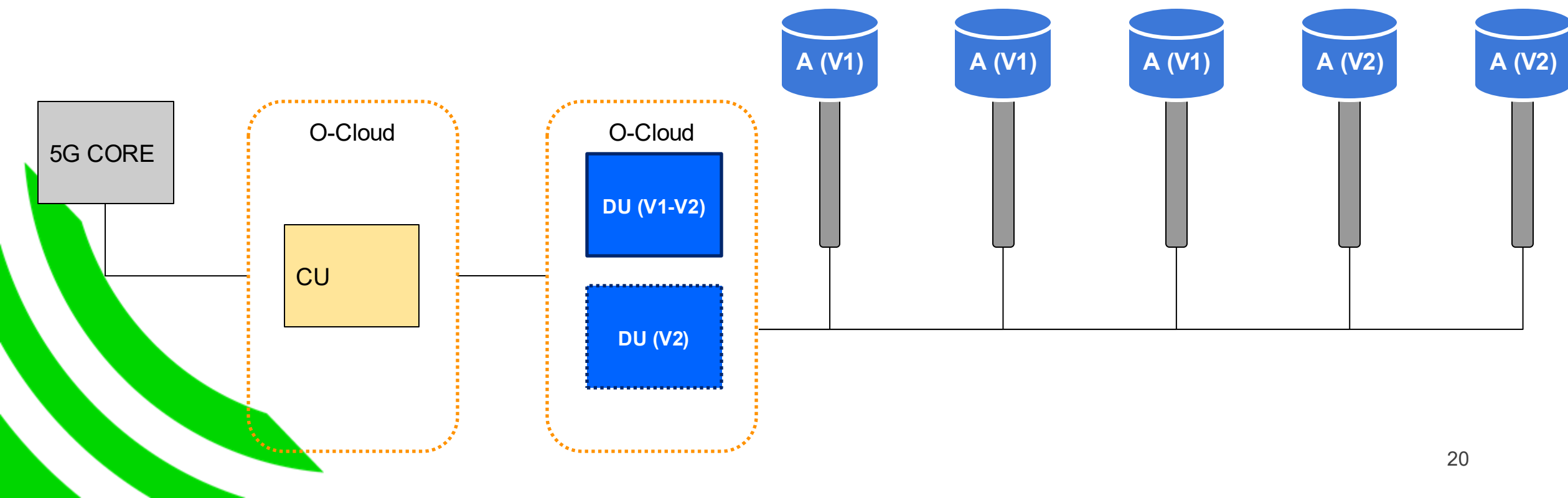
Vejamos um cenário de exemplo de Operadora ou um provedor de serviço





Por Que o Openran é Interessante?

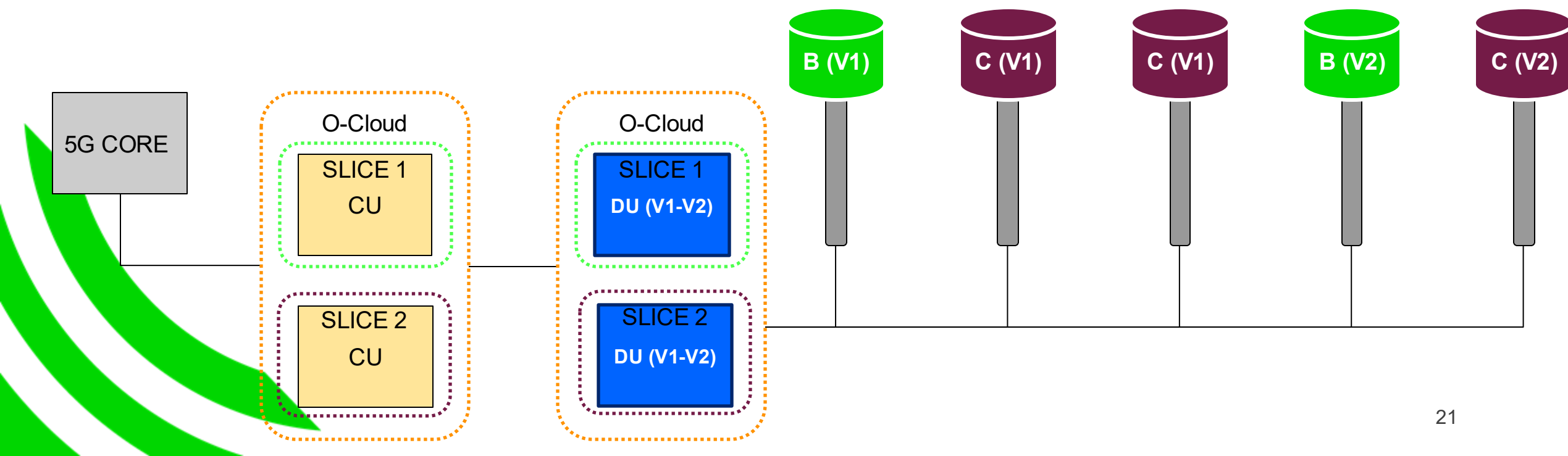
Vejamos um cenário de exemplo de Operadora ou um provedor de serviço





Por Que o Openran é Interessante?

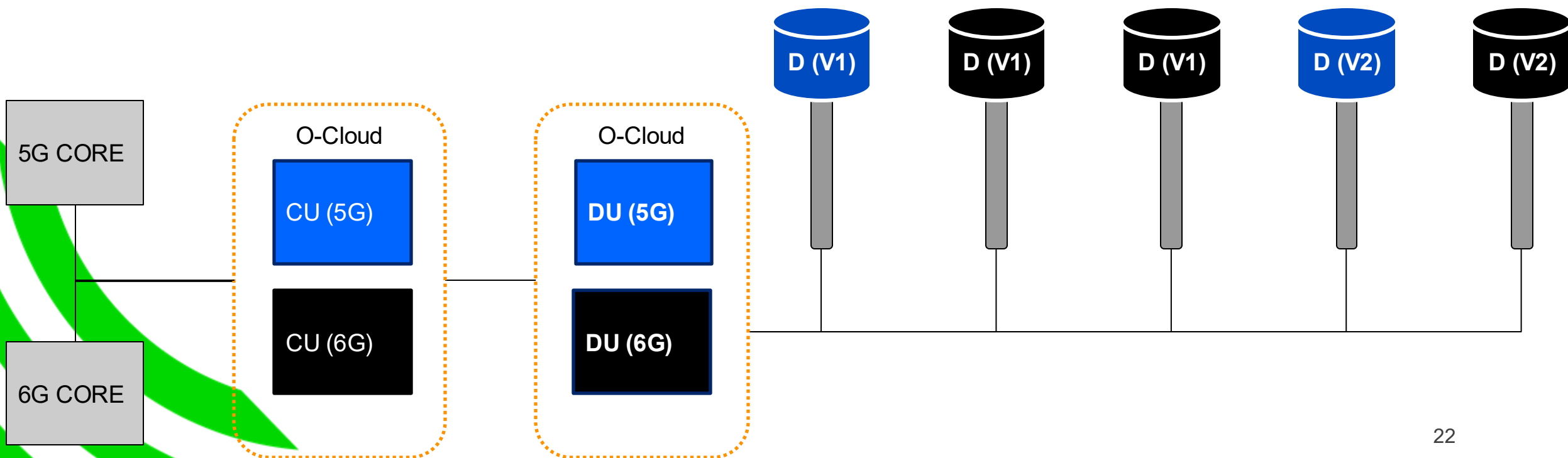
Vejamos um cenário de exemplo de Operadora ou um provedor de serviço





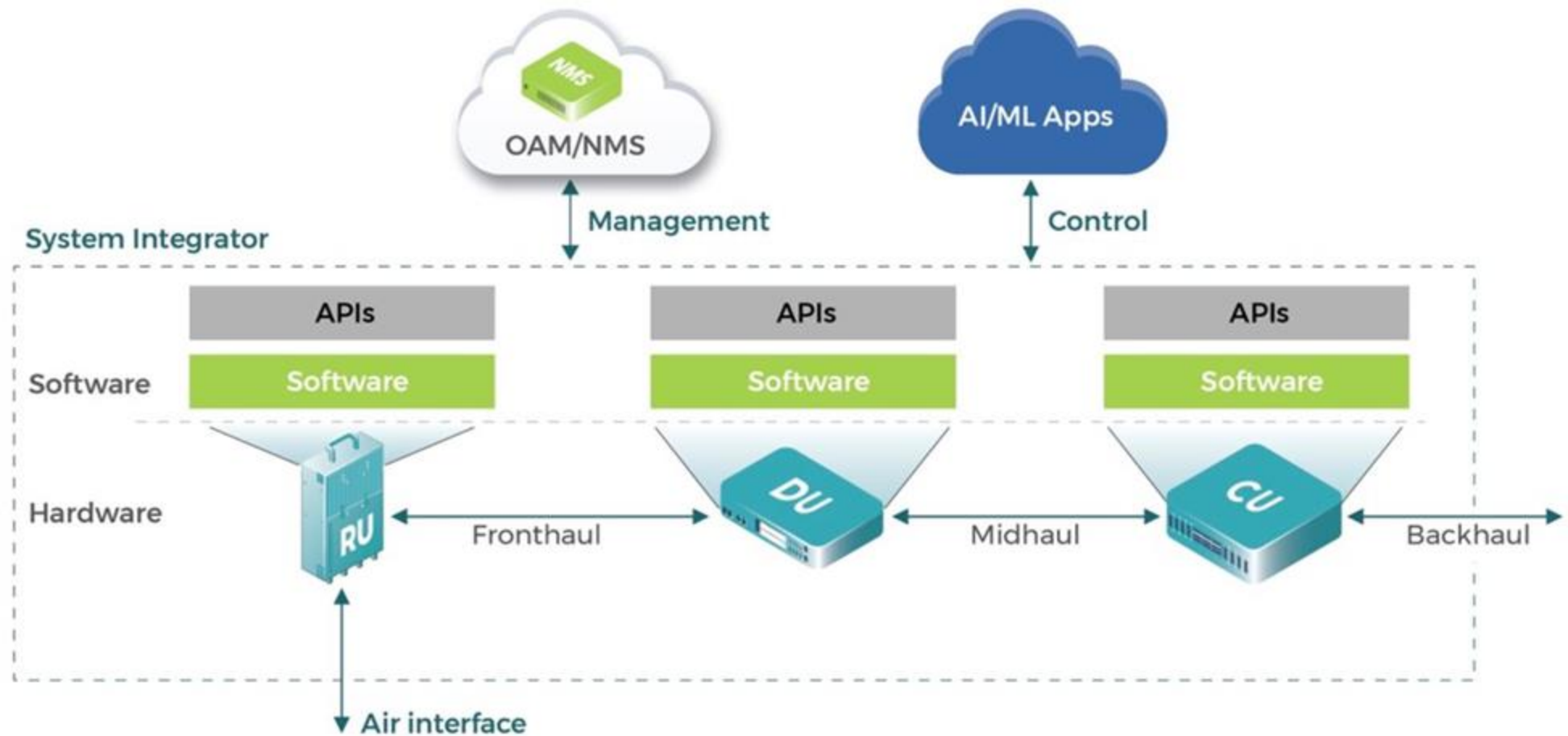
Por Que o Openran é Interessante?

Vejamos um cenário de exemplo de Operadora ou um provedor de serviço





Abertura da RAN





Benefícios do Open RAN

Sem dependência de H/W & S/W

Simplificação na Operação e Manutenção

Facilmente escalável com uma arquitetura baseada em micro-serviços

Redução de CAPEX & OPEX

Fácil adição de novos serviço 5G

Rápidos lançamentos de novas características





Componentes Open RAN



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



O-Cloud
(Open Cloud)



O-RAN
Centralized Unit
(O-CU)

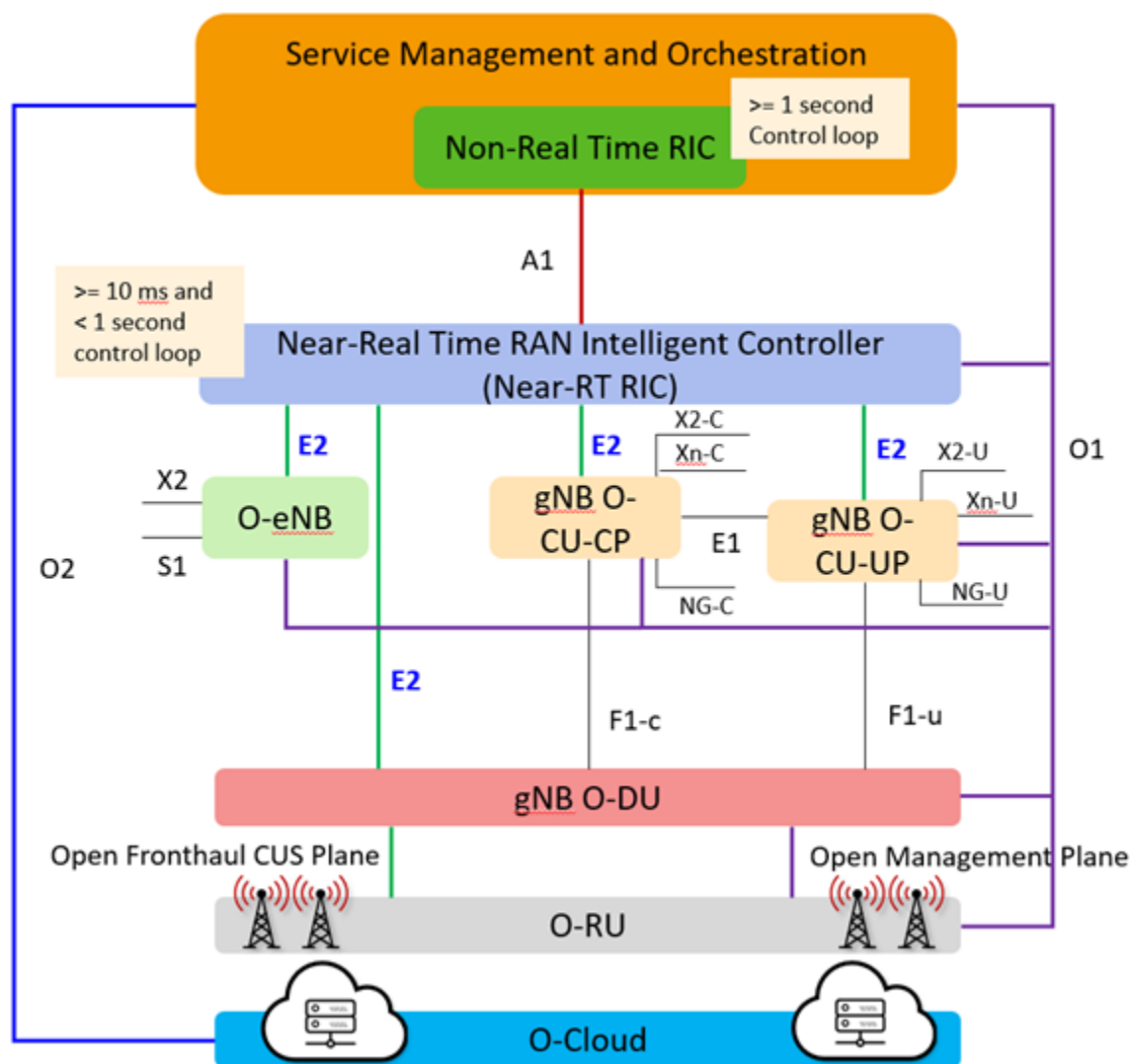


O-RAN
Distributed Unit
(O-DU)



O-RAN Radio
Unit
(O-RU):

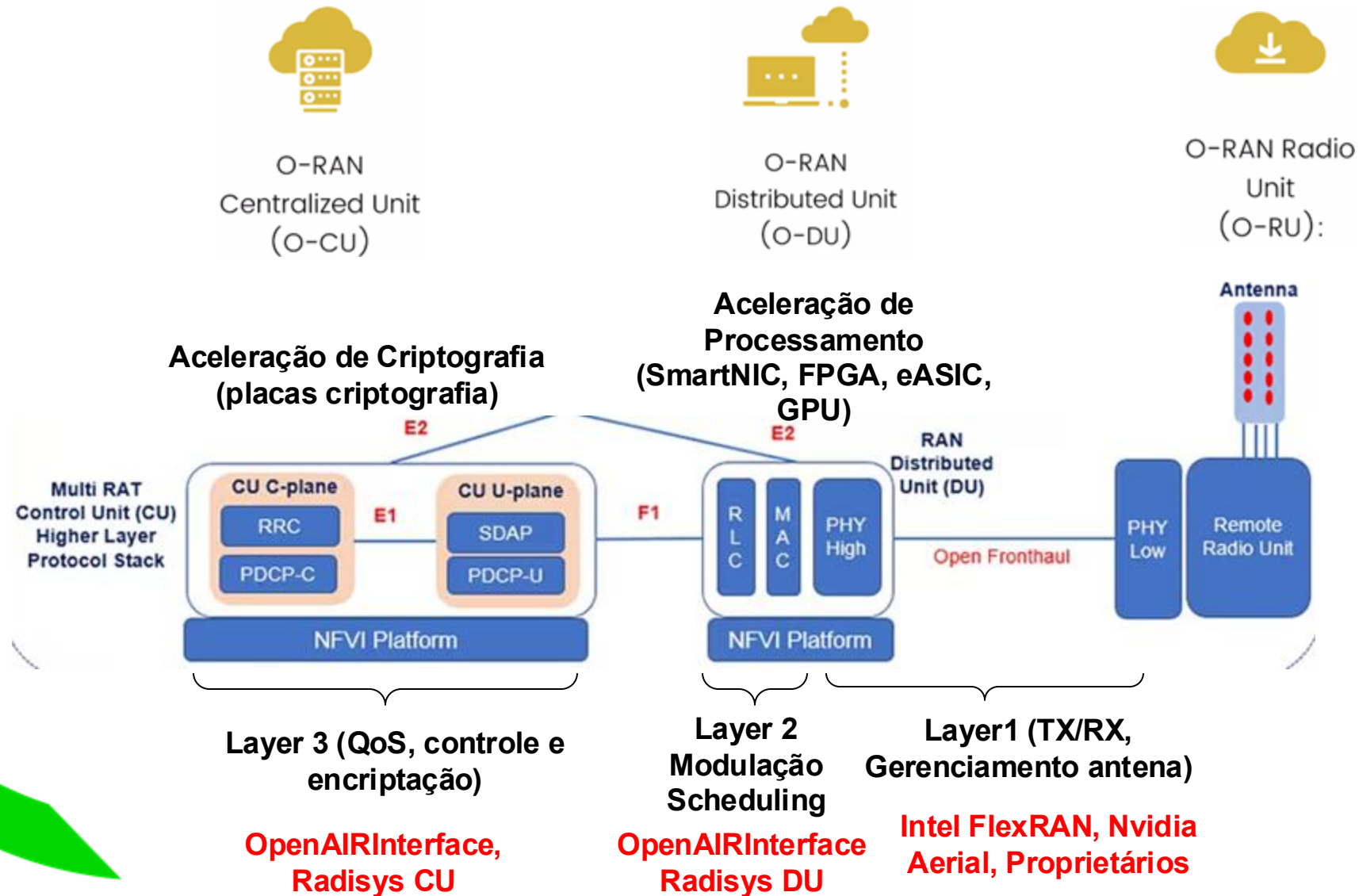
Arquitetura OpenRAN



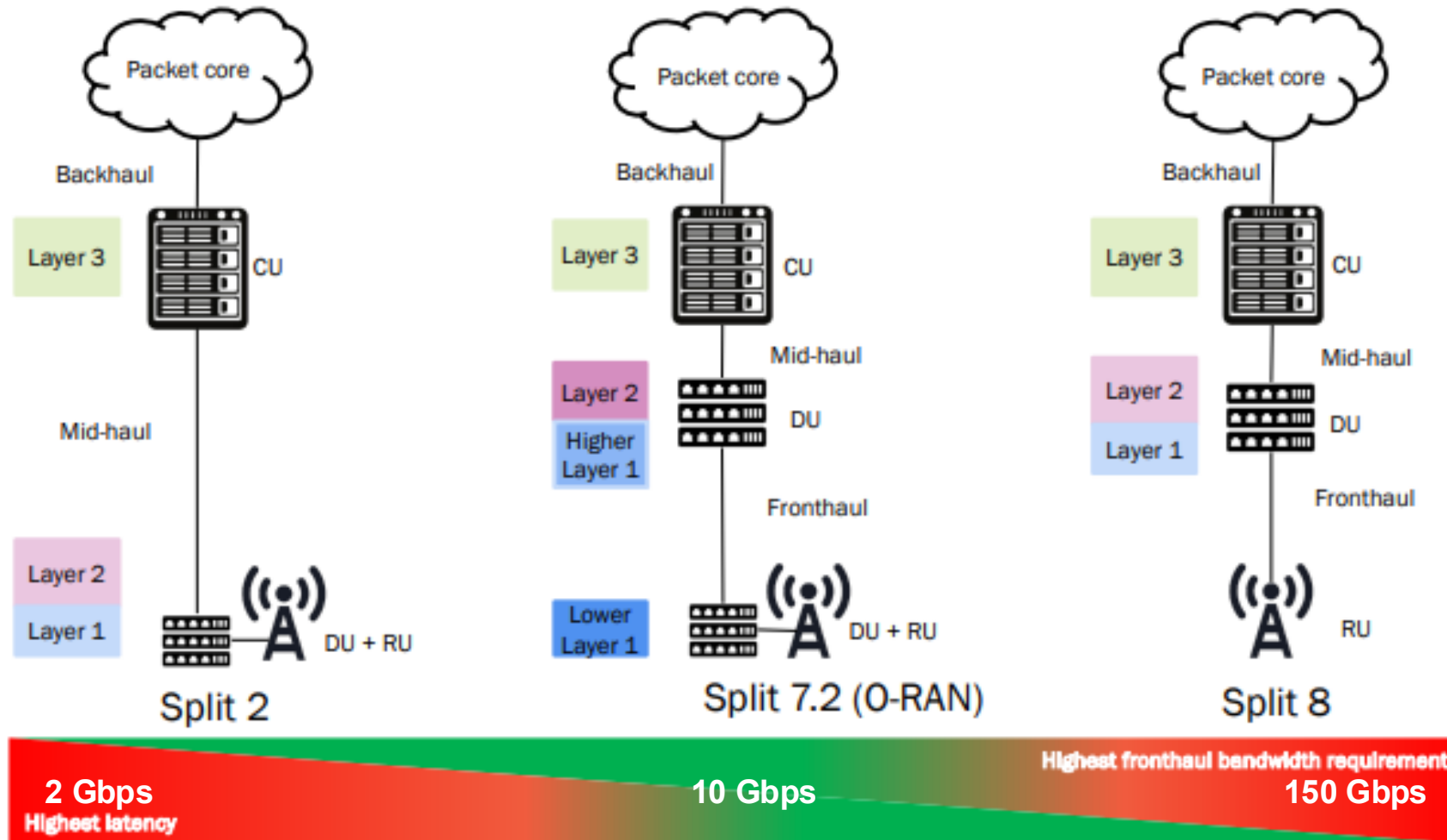
- **A1:** Conecta um ou mais nearRT-RIC. Usada para políticas de alto nível e modelos de ML em xApps
- **O1:** Conecta o SMO aos demais elementos, usada para gerenciamento dos elementos O-RAN
- **E1:** Conecta O-CU (Control Plane) com a O-CU (User Plane)
- **E2:** Conecta o NearRT-RIC a CU e DU. Coleção de métricas pelo RIC e controle de procedimentos e funcionalidades
- **F1:** Conecta uma CU a uma ou mais DUs. Troca de mensagens do status da rede e compartilhamento de frequência
- **O2:** Conecta o SMO ao infra estrutura cloud para notificações de inventário (mensagens alarms, plataforma e recursos, deploy de serviços) e monitoramento.
- **Fronthaul:** Conecta DU com RU trocando informações de controle, dados, sincronismo e gerenciamento



Open RAN (CU, DU e RU)



Open RAN (CU, DU e RU)



Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC

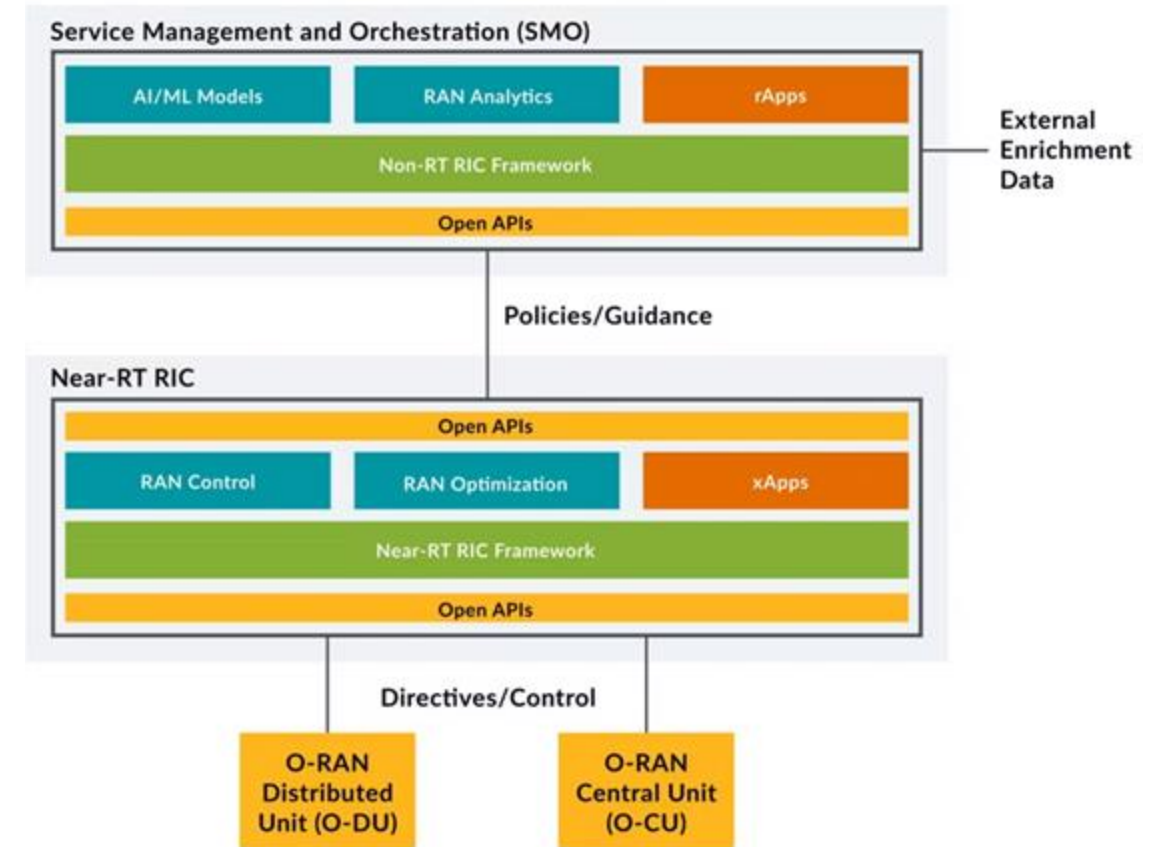


Near-Real-Time
RIC



- **Ran Intelligent Controller (RIC)**
 - Gerencia recursos de rádio em tempo real e otimiza a rede.
 - Aplica políticas de gerenciamento de recursos de rádio.
- Dividido em:
 - **NearRT-RIC:** Controla e otimiza a RAN em tempo quase real via interface E2.
 - **NonRT-RIC:** Função lógica no SMO que gerencia a interface A1 e suas aplicações.

RIC Architecture



Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



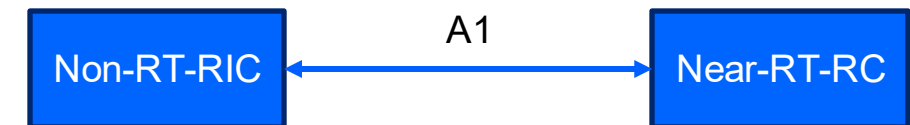
Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- Dividido em:
 - **NearRT-RIC:** Controlador Inteligente de RAN em Tempo Quase Real do O-RAN.
 - A arquitetura do Near-RT RIC e suas interfaces internas devem ser abertas para suportar xApps de terceiros.
 - O Near-RT RIC deve ser composto por múltiplos xApps e por um conjunto de funções de plataforma comumente utilizadas para dar suporte às funções específicas hospedadas pelos xApps



Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



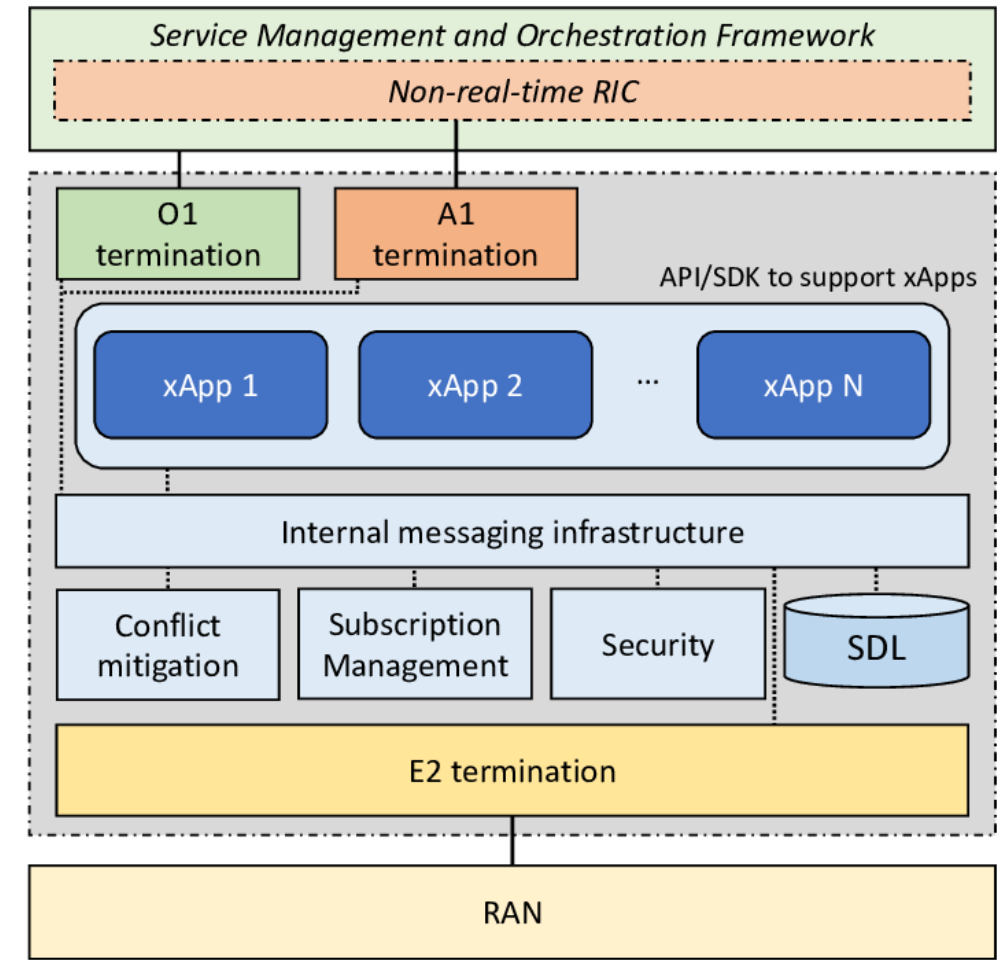
Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- Arquitetura do Near-RT RIC
 - **SDL**: que permite leitura e escrita de informações de RAN/EU
 - **Subscription management**: que mescla assinaturas de diferentes informações xApps e fornece distribuição unificada de dados para elas.
 - **Conflict mitigation**: que resolve solicitações potencialmente sobrepostas ou conflitantes de múltiplos xApps
 - **Messaging infrastructure**: que permite a interação de mensagens entre as funções internas do Near-RT RIC
 - **Security**: que fornece o esquema de segurança para os xApps



Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- **Serviços de Gerenciamento**
 - Gerenciamento de falhas, configuração e desempenho atuando como fornecedor de serviços para o SMO;
 - Administração do ciclo de vida dos xApps;
 - Registro de logs, monitoramento e coleta de métricas que capturam e acompanham o status dos componentes internos do Near-RT RIC, podendo ser enviados a um sistema externo para análise complementar.

Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- **Encerramento de Interface:**
 - **E2**, responsável por finalizar a interface E2 proveniente de um Nó E2 (DU, CU-CP ou CU-UP);
 - **A1**, que finaliza a interface A1 oriunda do RIC Não em Tempo Real (Non-RT RIC);
 - **O1**, que encerra a interface O1 proveniente do SMO;
 - Funções hospedadas por xApps, que possibilitam a execução de serviços no Near-RT RIC e o envio dos resultados aos Nós E2 por meio da interface E2;
 - Função de habilitação de API, que suporta capacidades relacionadas às operações de API do Near-RT RIC, incluindo repositório/registo de API, autenticação, descoberta e assinatura genérica de eventos.

Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- Requisitos das xApps:
 - Devem aprimorar o Gerenciamento de Recursos de Rádio (RRM) do Near-RT RIC.
 - Podem estar associadas a zero ou mais E2SMs.
 - Devem usar APIs do Near-RT RIC para acessar Elementos de Informação dos E2SMs associados.
 - Precisam comunicar-se diretamente com qualquer Nó E2 que suporte o E2SM, sem intermediários.
 - Devem receber informações acionadas por eventos sobre a RAN e o estado da rede.
 - Precisam fornecer dados de logs, rastreamento e métricas ao Near-RT RIC.
 - Devem incluir um descritor com informações de configuração, controle e métricas.

Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- Requisitos relacionados às APIs do Near-RT RIC
 - O Near-RT RIC deve oferecer APIs para hospedar xApps, assegurando alta performance e baixa latência (10 ms a 1 s).
 - As APIs precisam ser independentes da implementação e incluir uma Camada de Dados Compartilhada.
 - Deve haver registro das APIs e mecanismos para descoberta e acesso controlado conforme políticas.
 - As APIs permitem uso direto dos dados dos E2SMs e suportam várias linguagens, como C, C++, Python e Go.
 - O gerenciamento de assinaturas de xApps deve seguir políticas, restringindo comunicação com certos Nós E2 quando necessário.

Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- Non-RT RIC
 - Non-RT RIC é uma função da O-RAN Alliance para gerenciar a Rede de Acesso por Rádio em tempo não real.
 - Ele otimiza recursos, ajusta políticas e fornece modelos de IA/ML para apoiar o Near-RT RIC, visando metas estratégicas.
 - Atua como o cérebro estratégico da rede, tomando decisões que não exigem respostas imediatas, enquanto o Near-RT RIC age em tempo quase real.



- Arquitetura do Non-RT RIC
 - O RIC Non-RT é uma função interna da estrutura SMO (Gerenciamento e Orquestração de Serviços). O diagrama mostra três categorias de componentes do Non-RT RIC
 - rApps
 - Non-RT RIC framework
 - Open APIs for rApps.



- Arquitetura do Non-RT RIC
 - rApps
 - Os rApps são aplicações modulares que aproveitam as funcionalidades expostas pelo Non-RT RIC para fornecer serviços de valor agregado relacionados à otimização e operação inteligente da RAN (Rede de Acesso por Rádio). Exemplos desses serviços de valor agregado incluem:
 - Fornecendo orientações baseadas em políticas e informações de enriquecimento por meio da interface A1.
 - Realizando análise de dados, treinamento e inferência de IA/ML para otimização da RAN ou para uso por outros rApps.
 - Recomendando ações de gerenciamento de configuração por meio da interface O1.

Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- Arquitetura do Non-RT RIC
 - Non-RT RIC framework
 - O conjunto de funções inerentes do framework Non-RT RIC para suportar a interface A1 e os rApps, outras funções do framework Non-RT RIC (se houver), e funções “variáveis de implementação” que são implantadas no Non-RT RIC. As funções do framework Non-RT RIC fornecem serviços aos rApps por meio de APIs abertas.
 - “Funções de fluxo de trabalho de IA/ML”,
 - “Funções de Gerenciamento de Modelos de IA/ML”,
 - “Funções de Preparação de Dados de IA/ML”,
 - “Funções de Modelagem/Treinamento de IA/ML”,
 - “Repositório de Modelos de ML”.
 - As funções de fluxo de trabalho de IA/ML são funções de variabilidade de implementação e podem ser implantadas de forma flexível dentro do Non-RT RIC, fora do Non-RT RIC mas dentro do SMO, ou até mesmo fora do SMO.

Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC



Near-Real-Time
RIC



- Arquitetura do Non-RT RIC
 - R1 interface (Open APIs for rApps)
 - São responsáveis pela comunicação entre os rApps e o framework do Non-RT RIC
 - Serviços de registro e descoberta
 - Serviços de fluxo de trabalho de IA/ML
 - Serviços relacionados à interface A1
 - A origem das funções (se estão no framework do Non-RT RIC ou no framework do SMO) é transparente para as APIs abertas — ou seja, os rApps acessam os serviços sem precisar saber onde estão implementados.
 - Define diretrizes para comunicação entre rApps e o Non-RT RIC
 - Oferecem suporte funcional para que os rApps operem de forma modular, segura e interoperável.

Open RAN (RIC)



Service Management
& Orchestration
Framework (SMO)



Non-Real Time
RIC

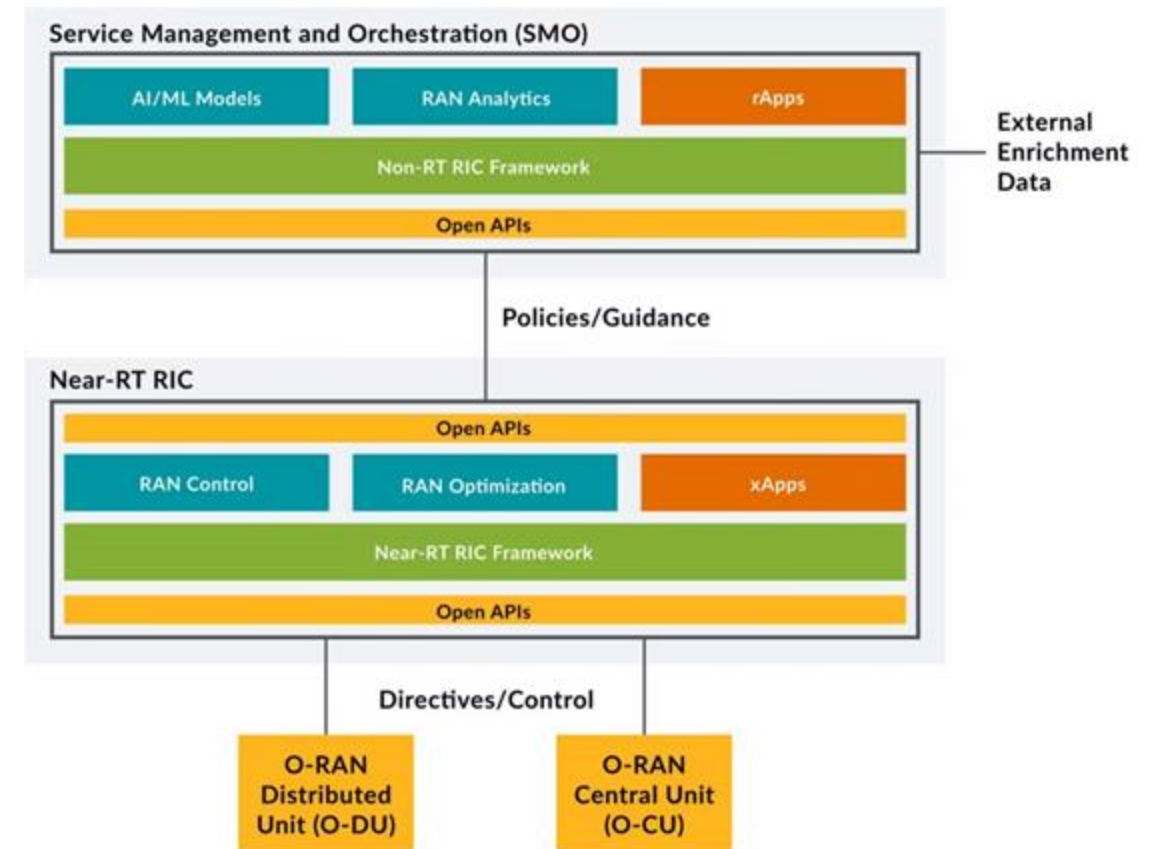


Near-Real-Time
RIC



- Ran Intelligent Controller – RIC
 - Gerenciamento de recursos de rádio em tempo real
 - Otimização de rede
 - Aplicação de políticas de gerenciamento de recursos de rádio
- Dividido em:
 - **NearRT-RIC:** 10ms-1s. Localizado na borda ao lado DU e/ou CU
 - **NonRT-RIC:** Acima de 1s. Parte do SMO, responsável por otimizar a rede a partir de uma perspectiva macro

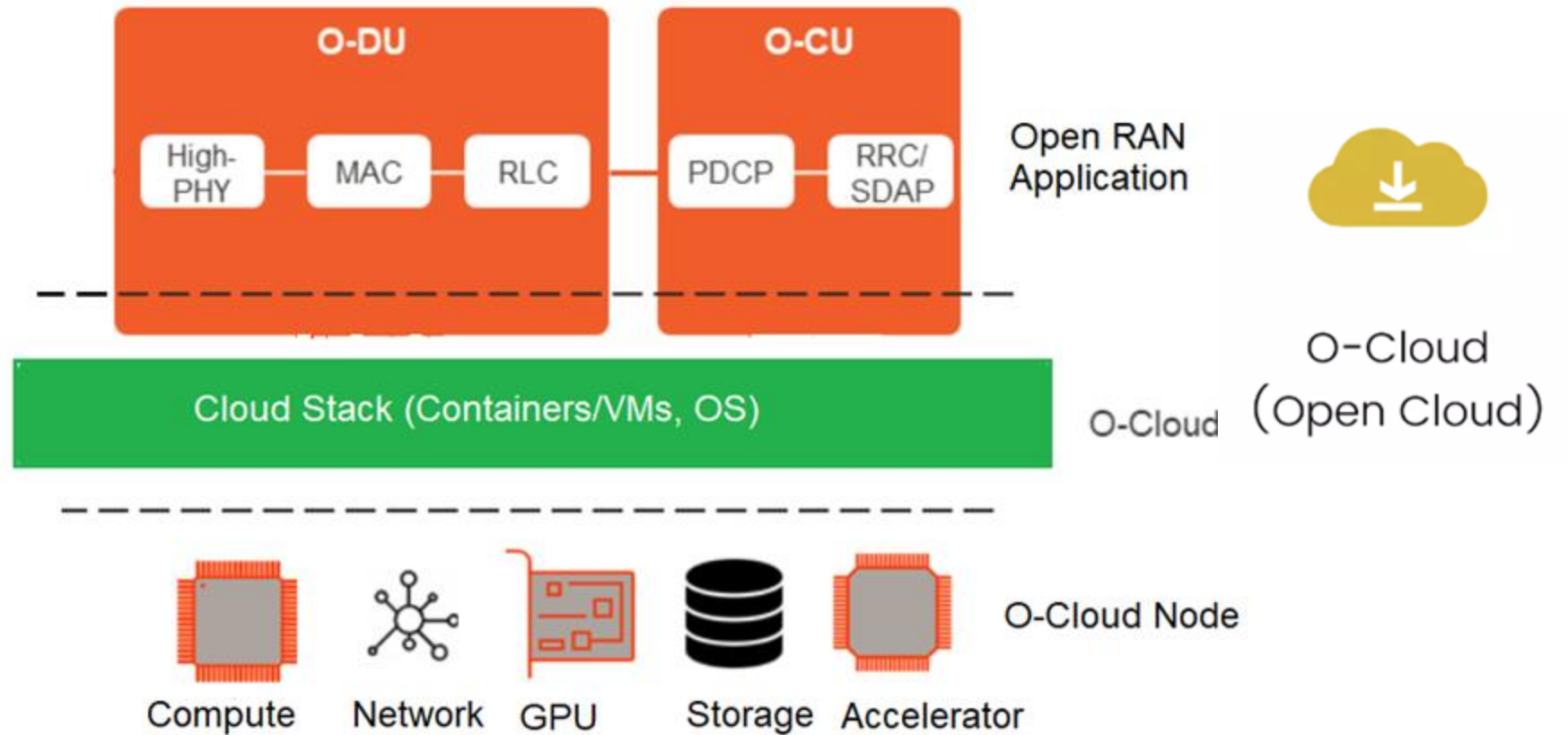
RIC Architecture



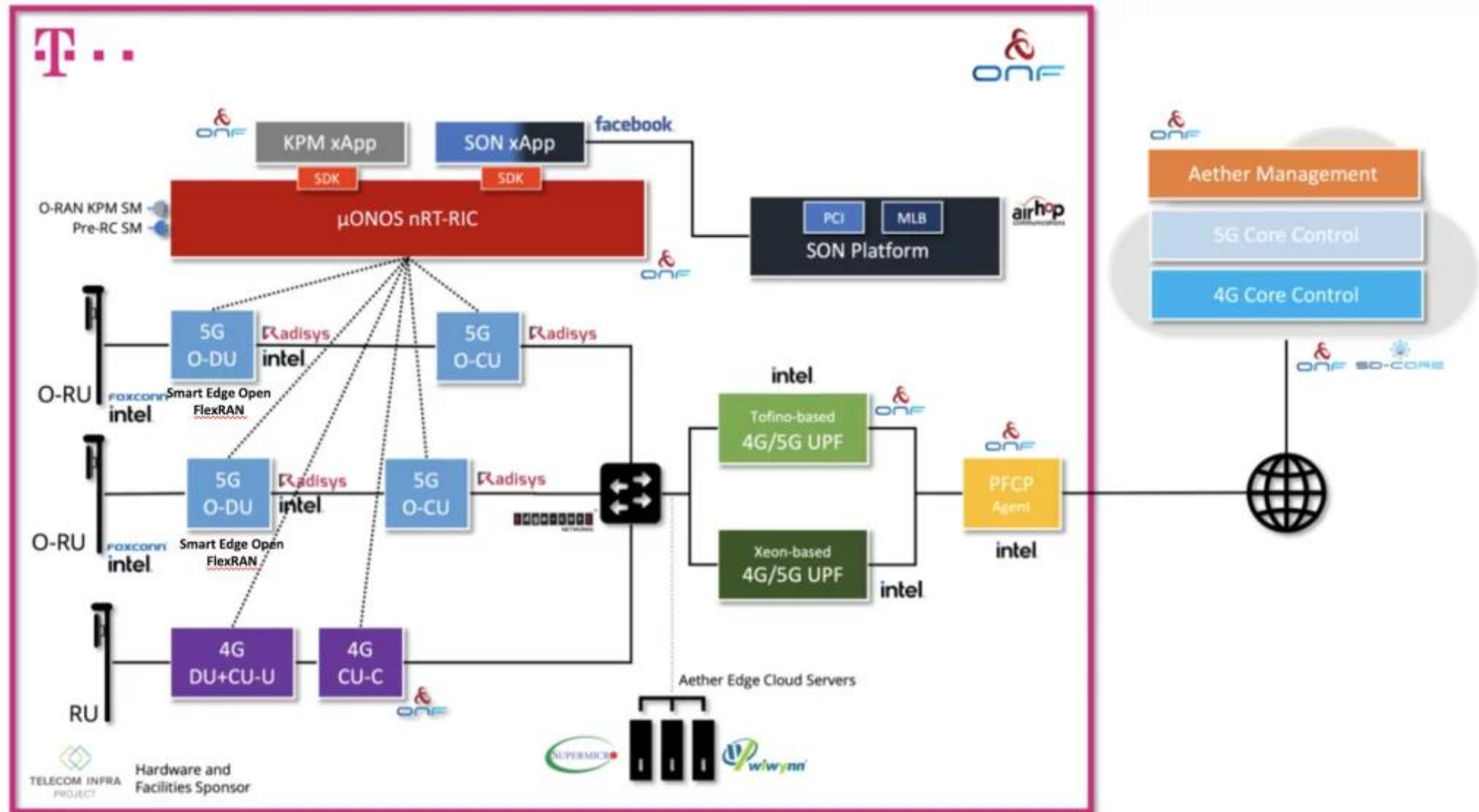
Open RAN (CLOUD)



**Kubernetes,
OpenStack**



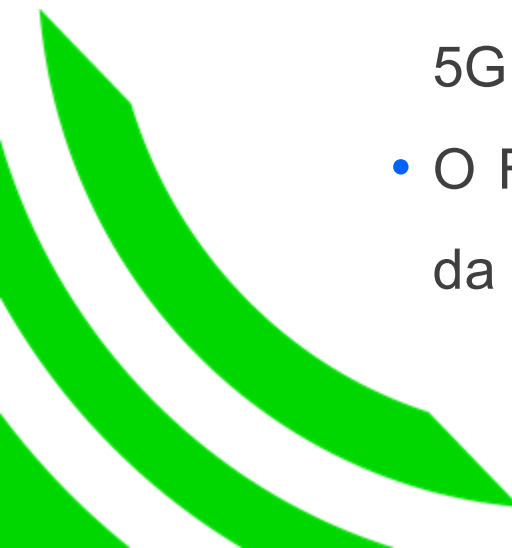
Open RAN (Implementação)



FrontHaul O-RAN



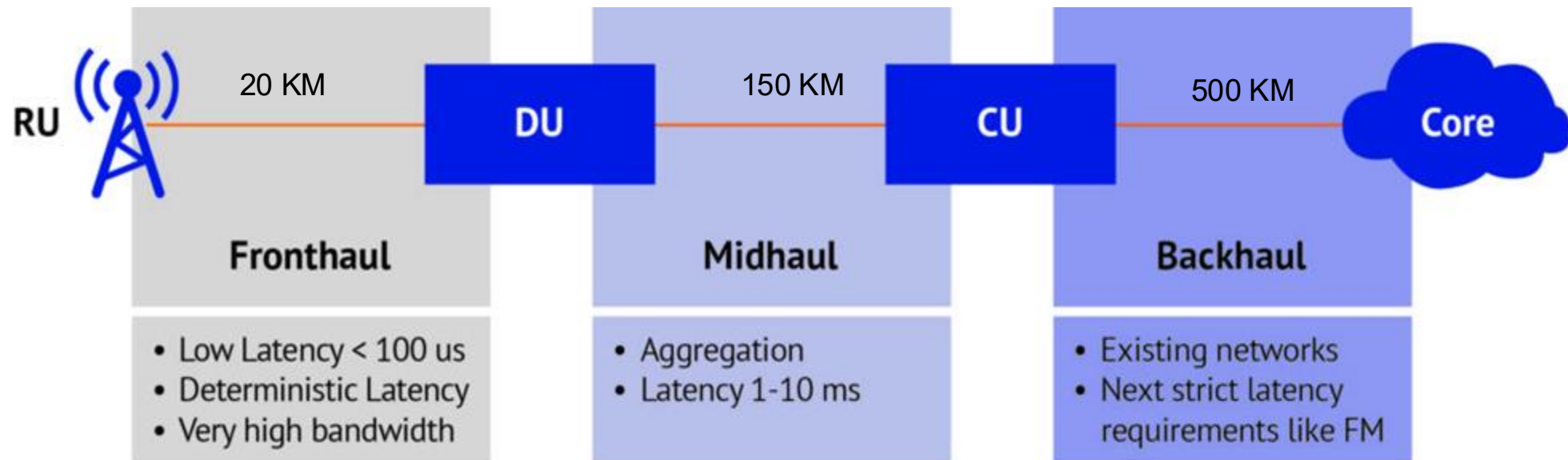
- FrontHaul é a interface chave para flexibilidade da arquitetura OpenRAN
 - Mantém as propriedades de como uma estação base deve interagir com rádio, mesmo gerenciadas e controladas de forma remota.
 - É responsável pela entrega das informações as camadas subjacentes 5G (O-DU/O-CU e 5G Core)
 - Estabelece a sincronização entre os demais elementos da arquitetura 5G (entre O-RU e O-DU/O-CU)
 - O FrontHaul é principal elo das antenas O-RAN (O-RU) com o resto da arquitetura OpenRAN.



FrontHaul O-RAN



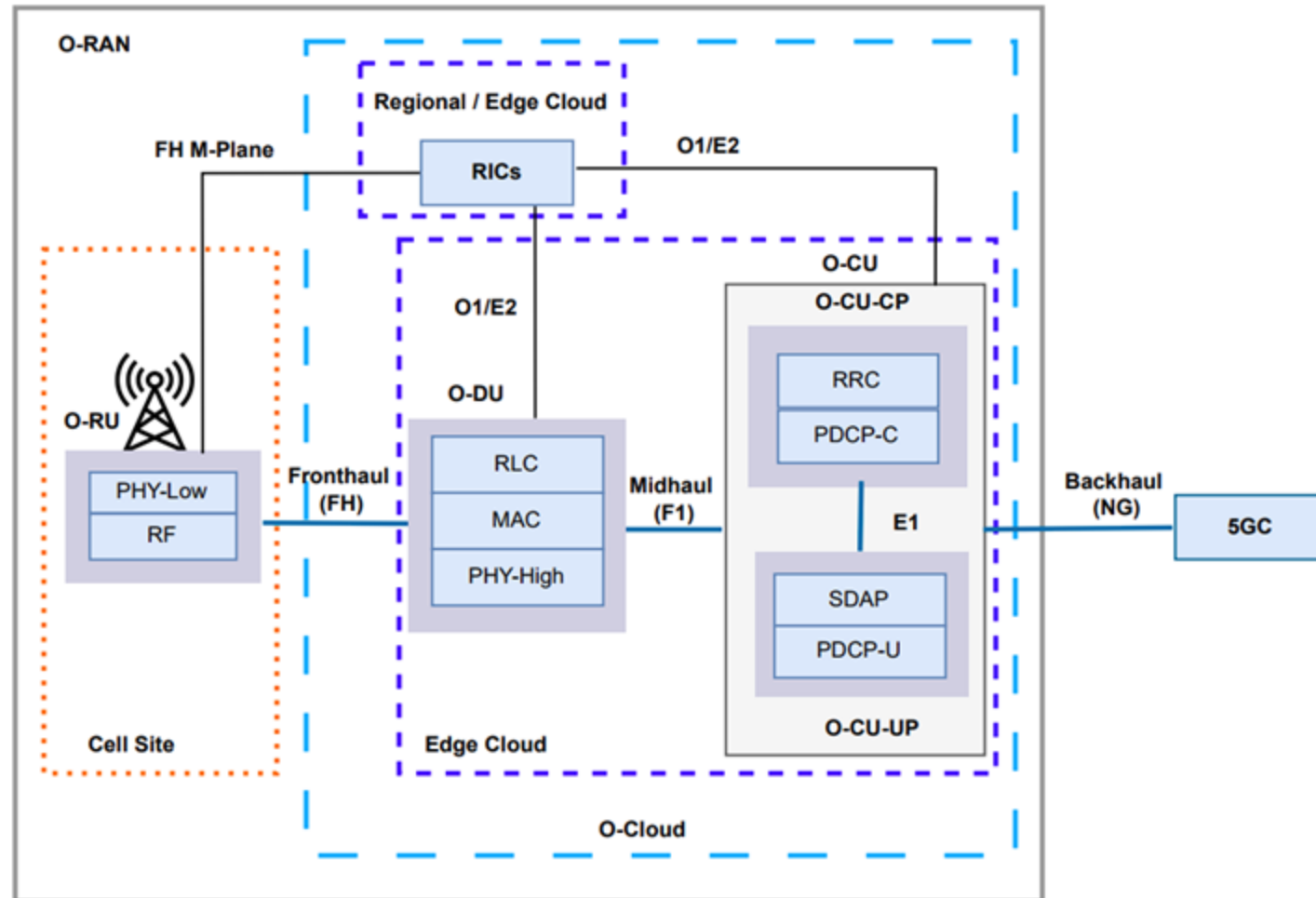
- Arquitetura xHaul



FrontHaul O-RAN



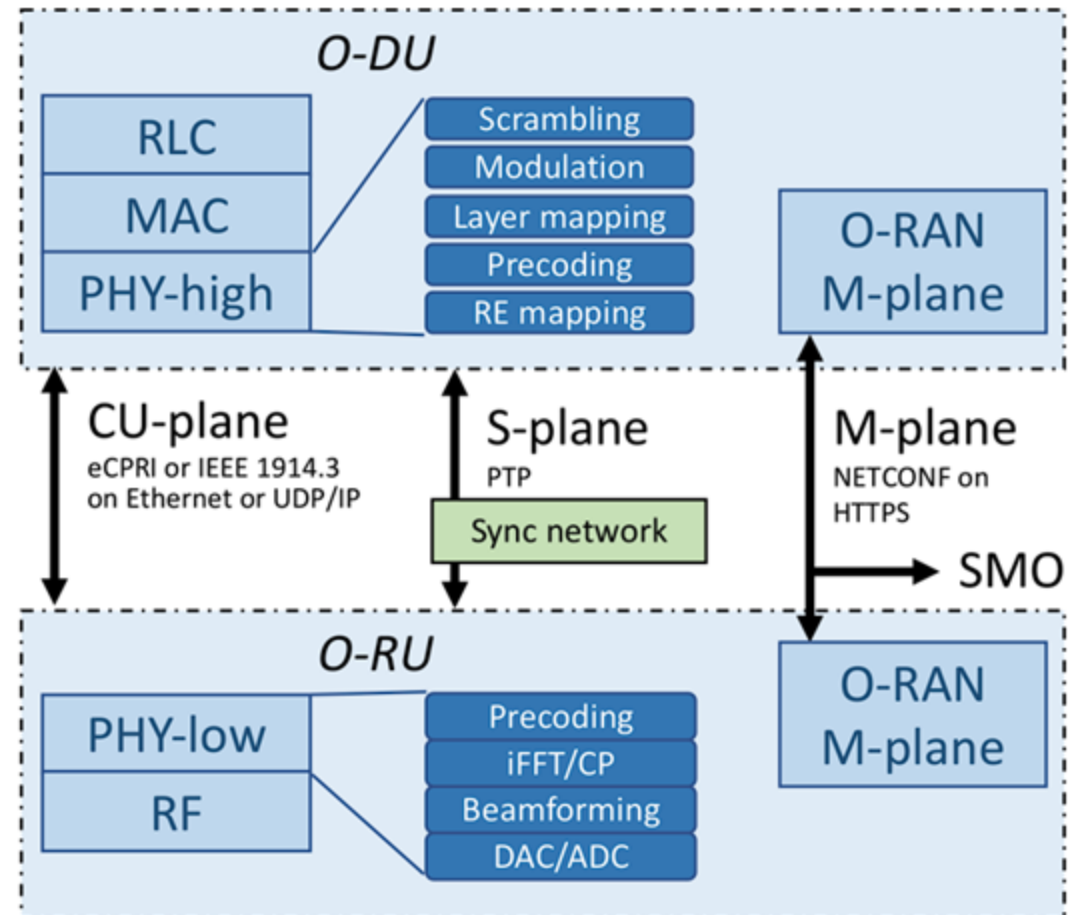
- Arquitetura xHaul



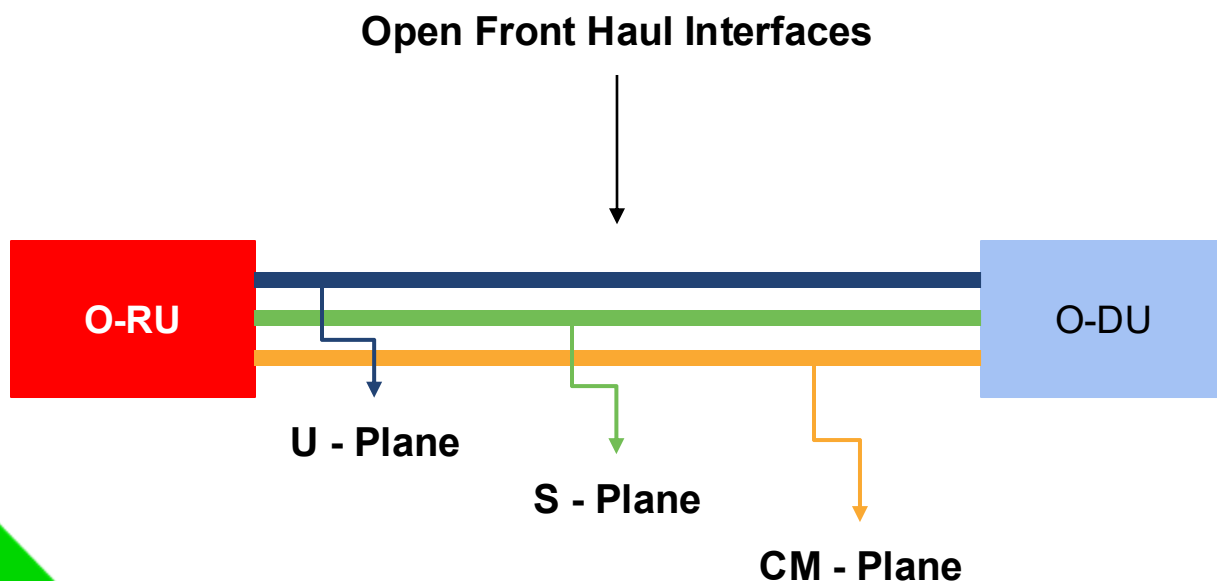
FrontHaul O-RAN



- Arquitetura Open FrontHaul (O-FHL)



FrontHaul O-RAN



- **Plane (U-Plane)**

- Responsável por definir o agendamento, a coordenação necessária para transferência de dados, Beamforming e transferência eficiente dos dados dentro dos limites definidos no CM-Plane

- **Synchronization Plane (S-Plane)**

- Responsável pelos aspectos de temporização e sincronização entre a O-DU e a O-RU

- **Control & Management Plane (M-Plane)**

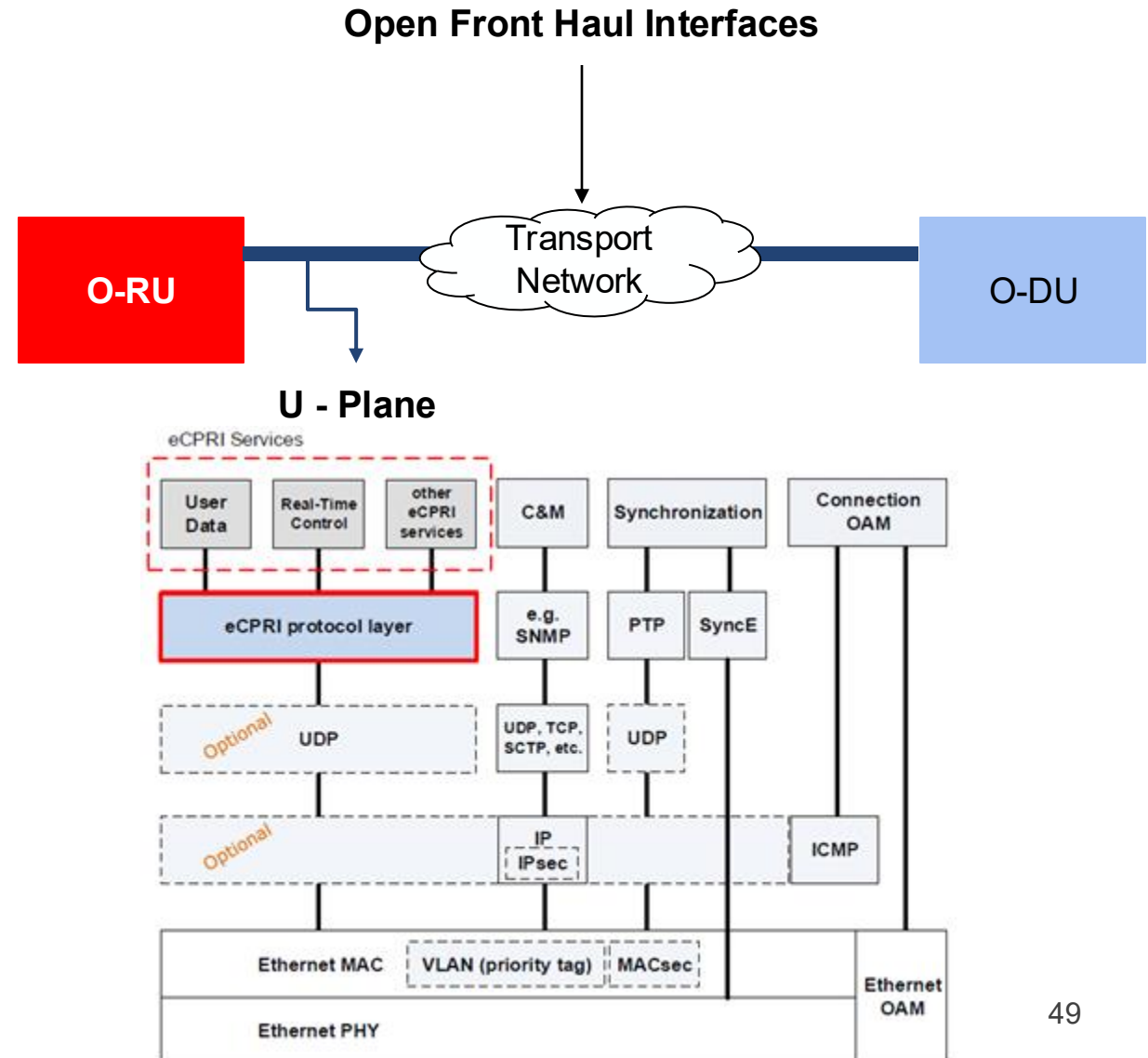
- responsável por gerenciar a unidade de rádio fornecendo uma variedade de funções de gerenciamento para O-RU definindo-as conforme exigido pelos planos de controle, usuário e sincronização.

FrontHaul O-RAN



- **User Plane (U-Plane)**

- Protocolos
 - **eCRPI**
 - Ethernet L1/L2
 - **UDP (Opcional)**
 - **IP (Opcional)**



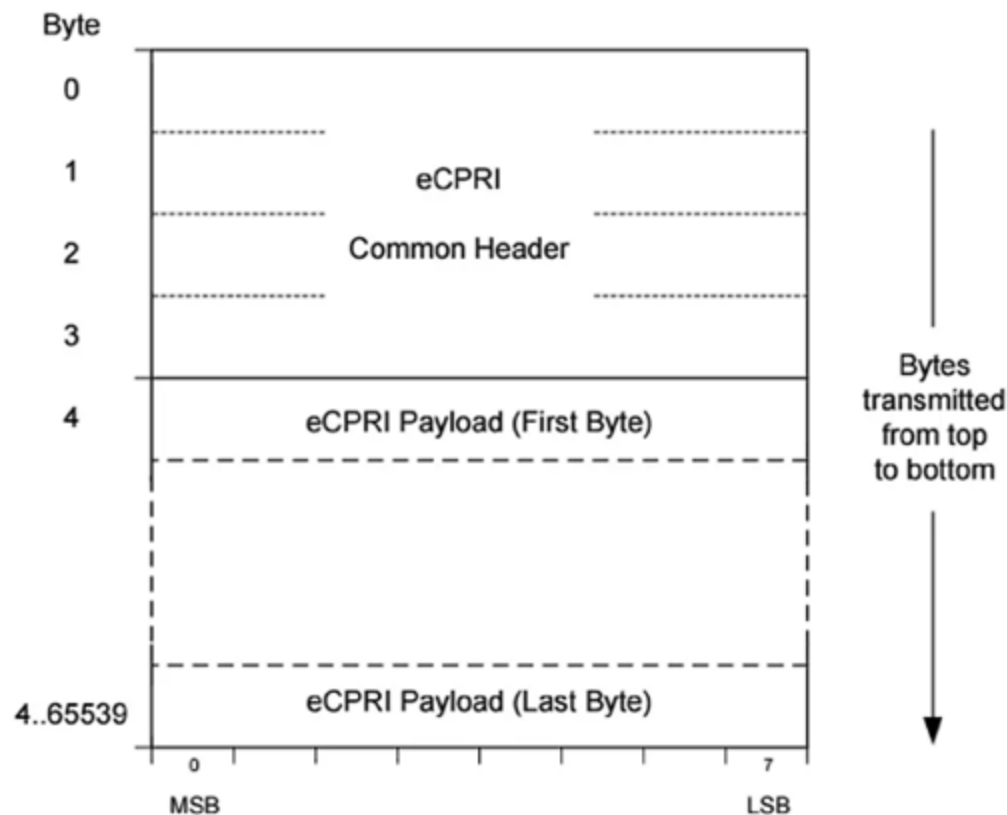
FrontHaul O-RAN



- **User Plane (U-Plane)**

- Protocolos

- **eCRPI**
 - Ethernet L1/L2
 - **UDP (Opcional)**
 - **IP (Opcional)**



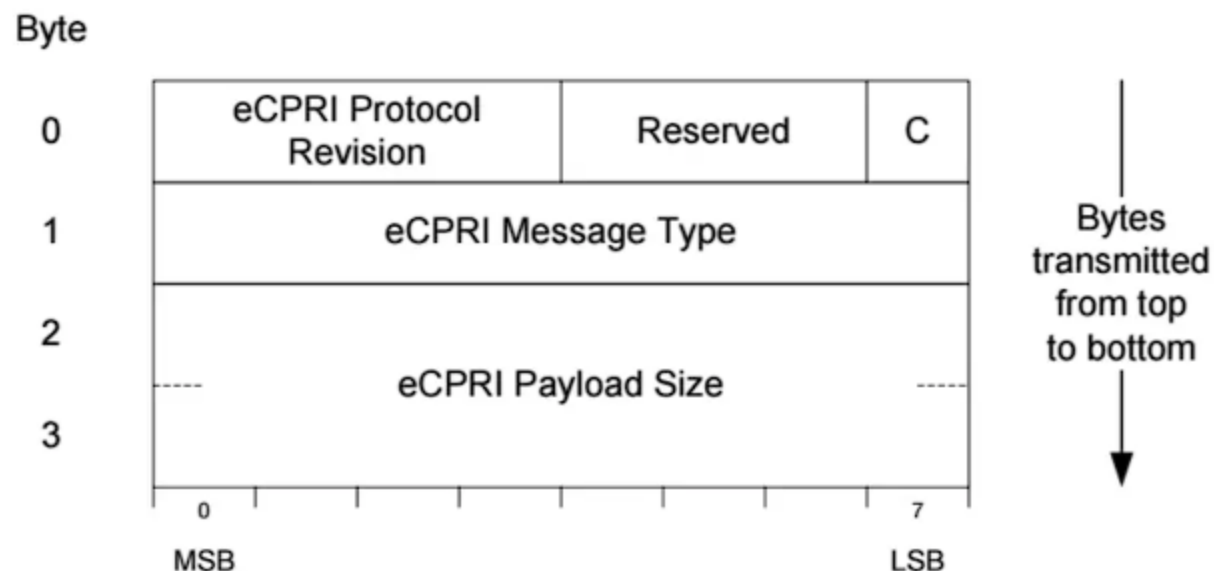
4 bytes para eCPRI Common Header
Tamanho variado para o eCPRI payload

FrontHaul O-RAN



• User Plane (U-Plane)

- Protocolos
 - eCRPI
 - Ethernet L1/L2
 - UDP (Opcional)
 - IP (Opcional)



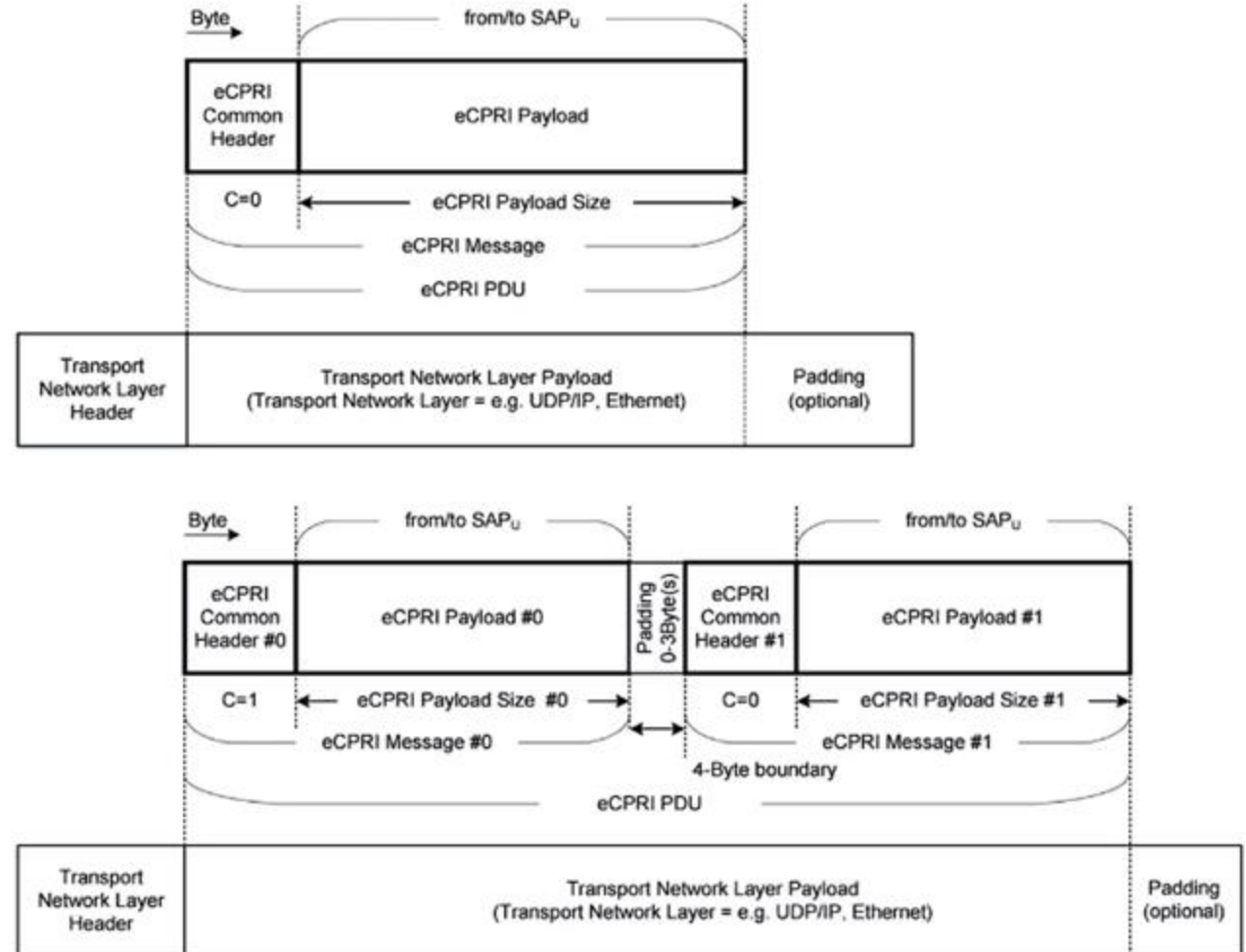
- “Protocol Revision”: Indica a versão do protocolo # (v1.0 -> 000b)
- “Message type”: indica o tipo de serviço que será usado
- “C” indicador de mensagem concatenada
- “Payload Size” dados a serem transmitido podendo variar de tamanho (limitado pelo MTU da rede de transporte)

FrontHaul O-RAN



- **User Plane (U-Plane)**

- Protocols
 - **eCRPI**
 - Ethernet L1/L2
 - **UDP (Opcional)**
 - **IP (Opcional)**



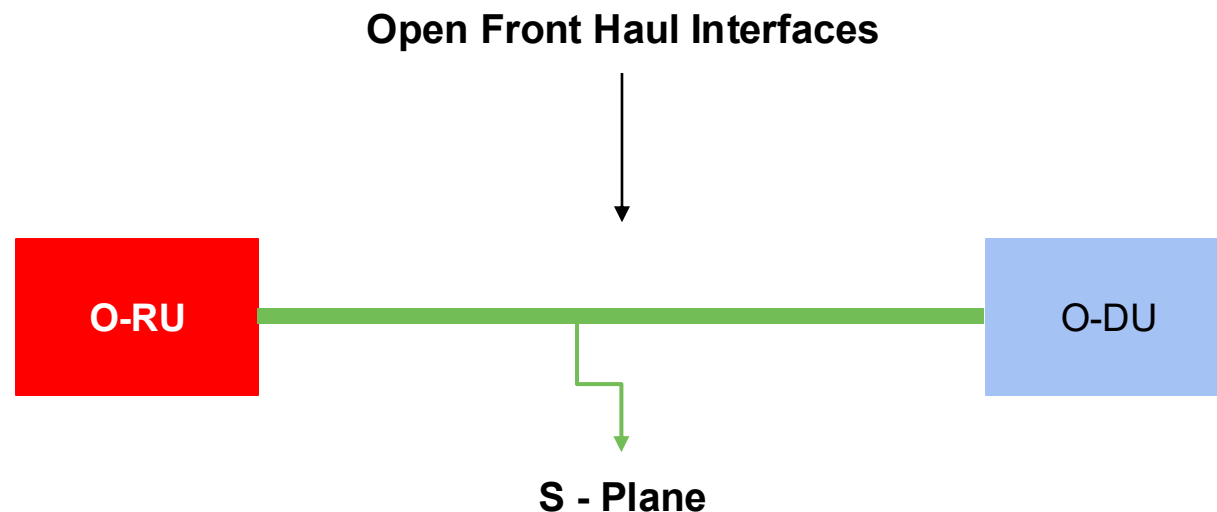
FrontHaul O-RAN



- **Synchronization Plane (S-Plane)**

- Protocolos

- **PTP (IEEE 1588)**



- O **protocolo IEEE 1588**, também conhecido como **Precision Time Protocol (PTP)**, é um **protocolo de rede** utilizado para **sincronização de tempo** de alta precisão entre dispositivos em redes de computadores.
- O **PTP** é frequentemente utilizado em sistemas de **controle de automação**, **redes de telecomunicações**, **aplicações de áudio e vídeo** profissionais e outros cenários em que a **sincronização de tempo** precisa é essencial para o funcionamento correto do sistema.

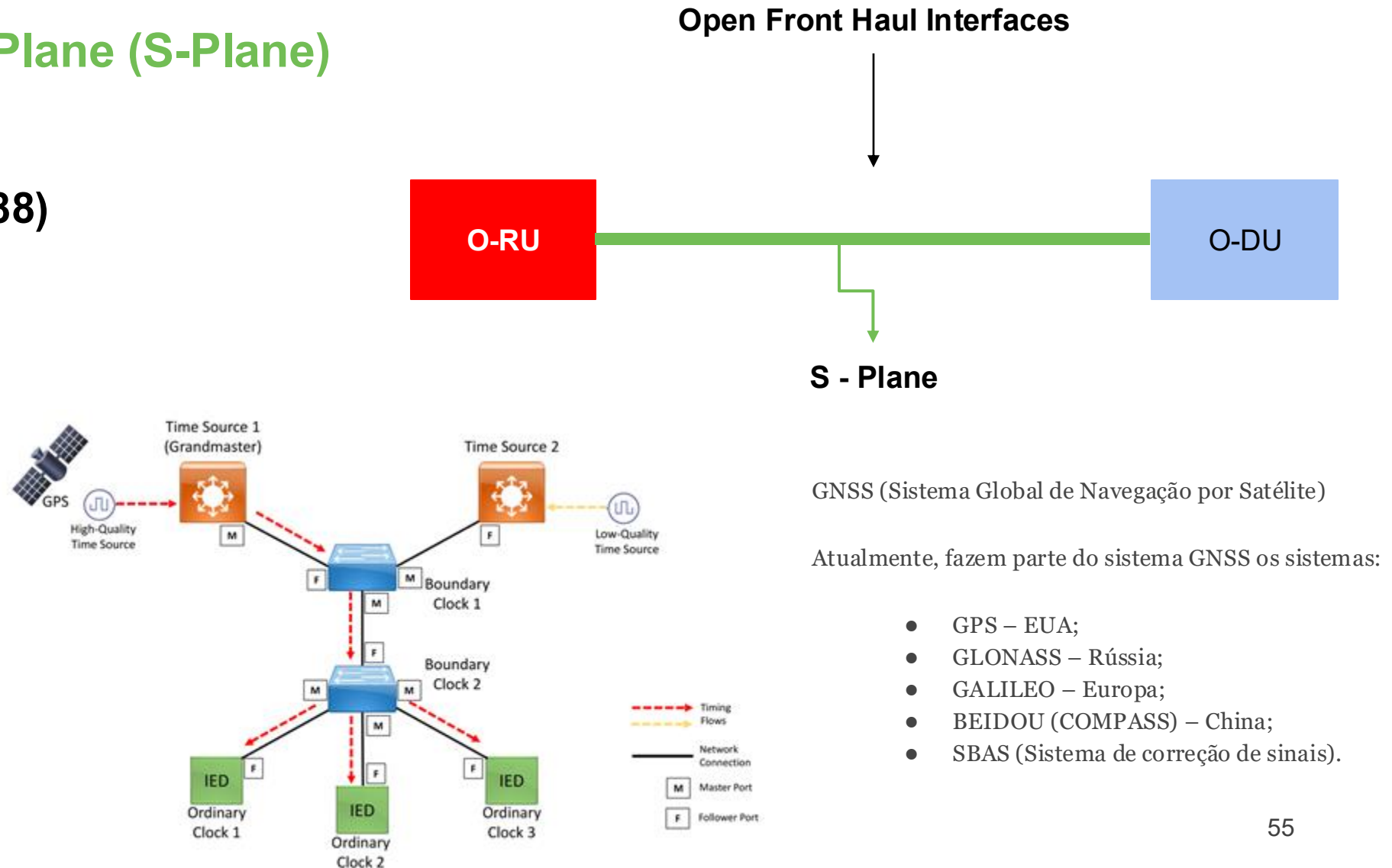
FrontHaul O-RAN



- **Synchronization Plane (S-Plane)**

- Protocolos

- **PTP (IEEE 1588)**





- **Synchronization Plane (S-Plane)**

- Protocolos

- **PTP (IEEE 1588)**

Vantagens:

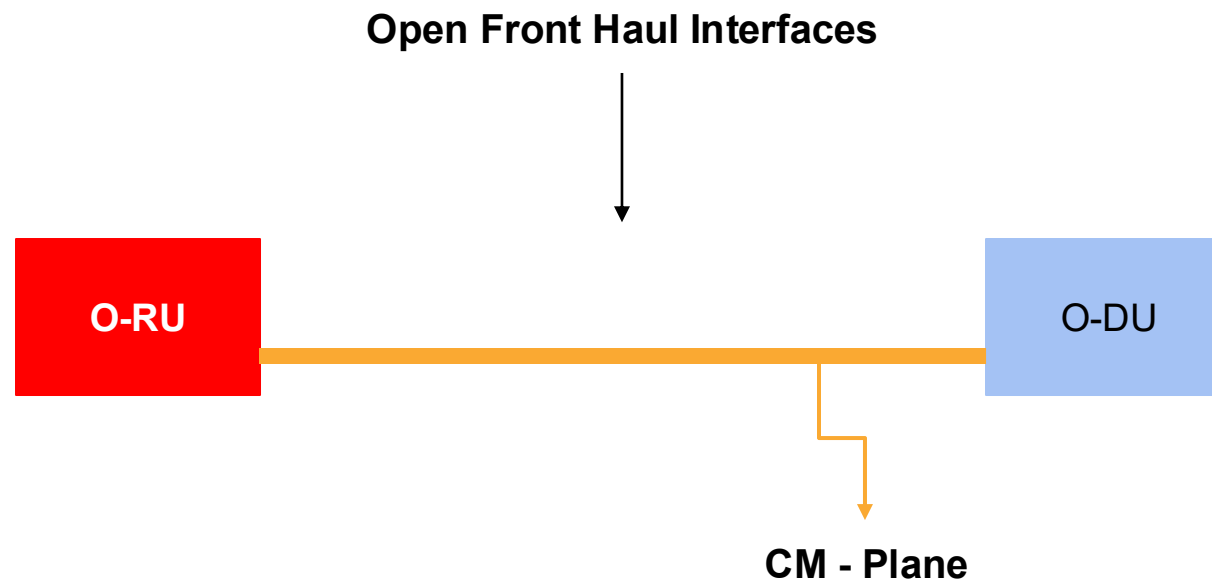
- **Precisão de sub-microssegundos:** O protocolo é capaz de alcançar sincronização de tempo de alta precisão, na escala de sub-microssegundos.
- **Mestre e Escravo:** O PTP opera em um modelo mestre/escravo, onde um dispositivo na rede é designado como mestre, responsável por fornecer o tempo de referência para os demais dispositivos escravos na rede.
- **Algoritmo de medição de atraso bidirecional (BMC):** O protocolo utiliza um algoritmo que mede o atraso de ida e volta entre o mestre e os escravos.
- **Grandes redes distribuídas:** O PTP é adequado para redes distribuídas em larga escala.
- **Suporte a Ethernet:** O protocolo é implementado em redes Ethernet

FrontHaul O-RAN



- **Control & Management Plane (M-Plane)**

- Protocolos
- **NETCONF**



- **NETCONF**, que significa **Network Configuration Protocol** (Protocolo de Configuração de Rede), é um protocolo de gerenciamento de rede padronizado pelo IETF (**Internet Engineering Task Force**). Ele foi projetado para permitir a configuração e o gerenciamento de dispositivos de rede de forma remota, independente do fabricante do dispositivo ou da plataforma.
- O NETCONF opera no modelo cliente/servidor, o protocolo utiliza uma sintaxe baseada em XML (**Extensible Markup Language**) para a troca de informações entre o cliente e o servidor.

FrontHaul O-RAN



- Control & Management Plane (M-Plane)

- Protocols
 - **NETCONF**



NETCONF/YANG for any UNIX/Linux application

NETCONF Request:

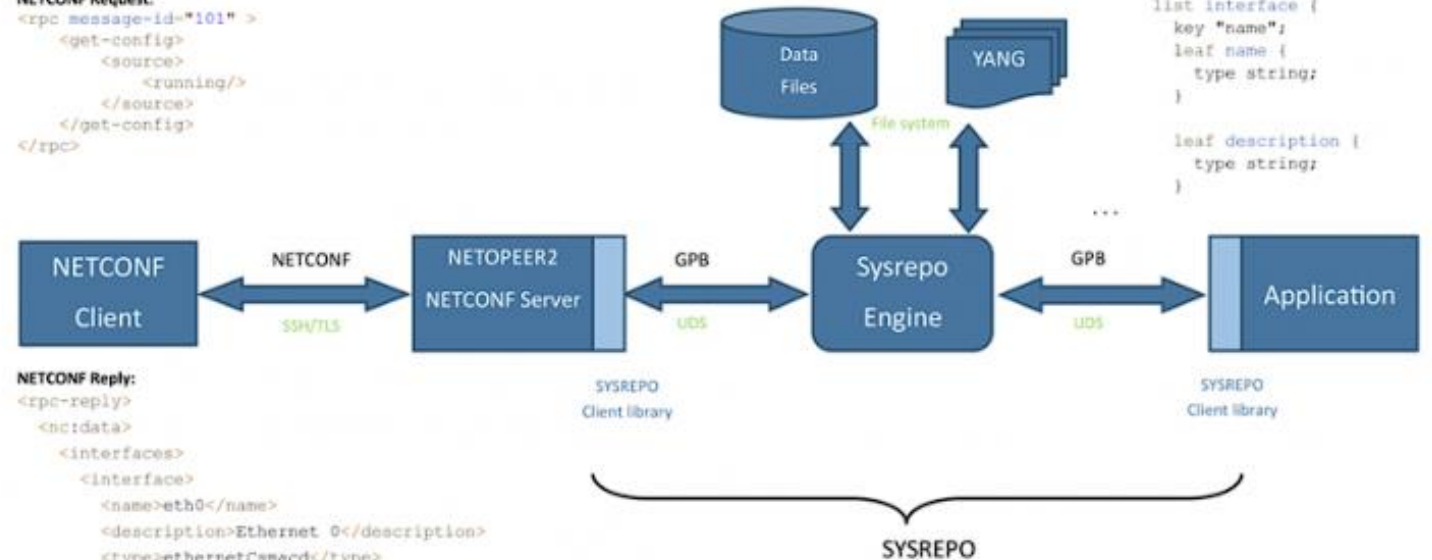
```
<rpc message-id="101" >
  <get-config>
    <source>
      <running/>
    </source>
  </get-config>
</rpc>
```

NETCONF Reply:

```
<rpc-reply>
  <nc:data>
    <interfaces>
      <interface>
        <name>eth0</name>
        <description>Ethernet 0</description>
        <type>ethernetCsmacd</type>
        <enabled>true</enabled>
      </interface>
    </interfaces>
  </nc:data>
</rpc-reply>
```

YANG model:

```
module ietf-interfaces {
  container interfaces {
    description "Interface configuration ";
    list interface {
      key "name";
      leaf name {
        type string;
      }
      leaf description {
        type string;
      }
    }
  }
}
```



FrontHaul O-RAN



- Control & Management Plane (M-Plane)

- Protocols

- **NETCONF**

RPC Operation	Description
get	receive config and statistics
get-config	receive entire or part of configuration
edit-config	change entire or part of configuration
copy-config	replace entire configuration
delete-config	delete configuration
commit	copy candidate configuration to running configuration
lock/unlock	lock/unlock the configuration
close-session	graceful termination of netconf session
kill-session	forced termination of netconf session

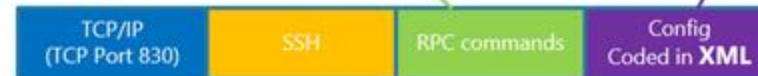
```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'>
<native xmlns="http://cisco.com/ns/yang/Cisco-IOS-XE-native">
  <router>
    <router-ospf xmlns="http://cisco.com/ns/yang/Cisco-IOS-XE-ospf">
      <process-id>
        <id>1</id>
        <network>
          <ip>192.168.1.0</ip>
          <wildcard>0.0.0.255</wildcard>
          <area>0</area>
        </network>
        <network>
          <ip>192.168.2.0</ip>
          <wildcard>0.0.0.255</wildcard>
          <area>0</area>
        </network>
        <network>
          <ip>192.168.3.0</ip>
          <wildcard>0.0.0.255</wildcard>
          <area>1</area>
        </network>
      </process-id>
    </router-ospf>
  </router>
</native>
```

NETCONF supported data Stores:

- running (mandatory)
- startup (optional)
- candidate (optional)



Network Device

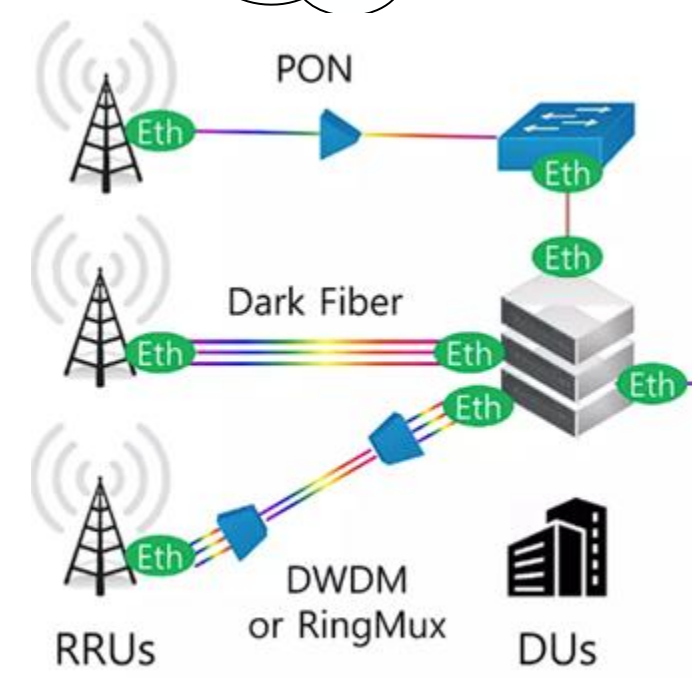


Automation Controller

- Supported YANG models
- NETCONF Server

NETCONF Client Support
Like **python ncclient** or
normir-netconf plugin

-



Principais Desafio no OpenRAN



- **Desafios**

- ***“Redes Privativas OpenRAN”***

- Redes celulares privadas estão emergindo rapidamente como um cenário chave de implantação de 5G OpenRAN
 - Suportar demandas de aplicações em automação industrial, armazéns, saúde, educação e entretenimento.
 - Diminuir os custos dos dispositivos, tais como: Servidores (CU e DU), Antenas O-RAN (O-RU) e Interfaces Aceleradas (FPGAs, eASICs e GPUs)
 - Redes privadas habilitadas para O-RAN apresenta desafios:
 - **Otimização específica de domínio dentro da arquitetura**
 - **Suporte para conectividade em ambientes restritos.**



Principais Desafio no OpenRAN



- **Desafios**

- ***“Compartilhamento de espectro baseadas em componentes Open RAN”***

- Controladores de rede e nós de RAN programáveis abertos provêm novas oportunidades para o desenvolvimento de sistemas de compartilhamento de espectro
 - As especificações O-RAN já incluem recursos para compartilhamento de espectro dinâmico 4G e/ou 5G
 - Mas o design de algoritmos para permitir isso ainda é um assunto em aberto, por exemplo:
 - **Habilitar de forma prática a detecção baseada em Open RAN**
 - **Soluções de adaptação de espectro reativa e proativa, considerando sistemas 3GPP e não 3GPP**
 - **Extensões relacionadas ao compartilhamento da arquitetura O-RAN**

Principais Desafio no OpenRAN



- **Desafios**

- ***“A deficiência de infraestrutura no Brasil e América Latina”***

- Isso pode inviabilizar a desagregação dos componentes da O-RAN ou a implementação em larga escala de recursos de *Mobile Edge Cloud* (MEC) devido à falta de infraestrutura de fibra óptica
 - Casos de uso específicos da região que não são abordados pelas diretrizes existentes, bem como um ambiente regulatório e de negócios diversificado.



Principais Desafio no OpenRAN



- **Desafios**

- ***“Uso de algoritmos de Inteligência Artificial (IA)”***

- Otimizações para lidar com a enorme quantidade de parâmetros e ações possíveis para controlar um sistema complexo, com múltiplos componentes, provedores e clientes.
 - Redução do consumo de energia de maneira inteligente das redes 5G
 - Algoritmos de inteligência artificial na gestão da rede fim-a-fim ou pela introdução de hardware especializado que acelere o processamento de algoritmos específicos enquanto diminui o consumo de energia



Principais Desafio no OpenRAN



- **Desafios**

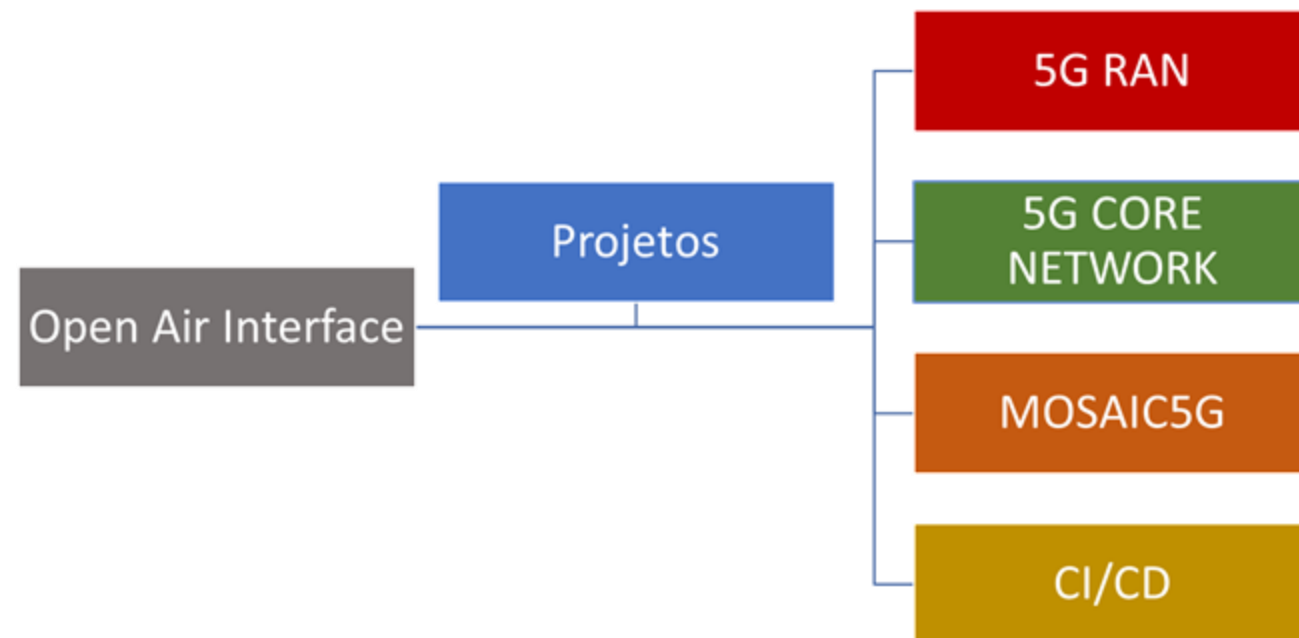
- ***“Eficiência energética e segurança das redes”***
- A virtualização e o controle em malha fechada oferecem ferramentas valiosas para a alocação dinâmica das funções de rede, contribuindo para a maximização da eficiência energética.
- É fundamental avançar nas pesquisas para criar rotinas de orquestração que incluam a eficiência energética como um objetivo de otimização, além do desenvolvimento de xApps e rApps.
- Quanto à segurança, a abertura da RAN amplia a superfície de ataque, mas também abre possibilidades para novas estratégias de proteção da rede.
- A maior visibilidade do desempenho da RAN, a telemetria e a capacidade de implementar plug-ins xApps e rApps para análise de segurança e identificação de ameaças possibilitam a exploração de abordagens inovadoras para proteger redes sem fio.

Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN

- **Open Air Interface (OAI)**
 - Contribuições de várias organizações
 - Vodafone
 - Nvidia
 - Nokia Bell Labs
 - outros



Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN



- Open Air Interface (OAI)
 - 5G RAN
 - O projeto OAI 5G RAN se concentra na criação de uma solução RAN personalizável e interoperável
 - 5G RAN se concentra na criação de uma solução RAN personalizável e interoperável.
 - Ela fornece uma implementação definida por software da pilha de protocolo 5G RAN que pode ser implantada em hardware de uso geral.



Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN



- Open Air Interface (OAI)
 - Principais recursos do projeto 5G RAN:
 - **Código aberto:** O projeto fornece acesso ao código-fonte completo, permitindo que os usuários entendam e modifiquem a implementação
 - **Implantação flexível:** O projeto pode ser implantado em hardware comercial pronto para uso de prateleira (i.e. Commercial Off-The-Shelf - COTS), permitindo soluções econômicas, facilitando o acesso e incentivando a inovação.
 - **Pilha de protocolos:** O projeto abrange vários aspectos da pilha de protocolos 5G RAN, incluindo camada física, MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control), PDCCP (Packet Data Convergence Protocol), RRC (Radio Resource Control), entre outros.

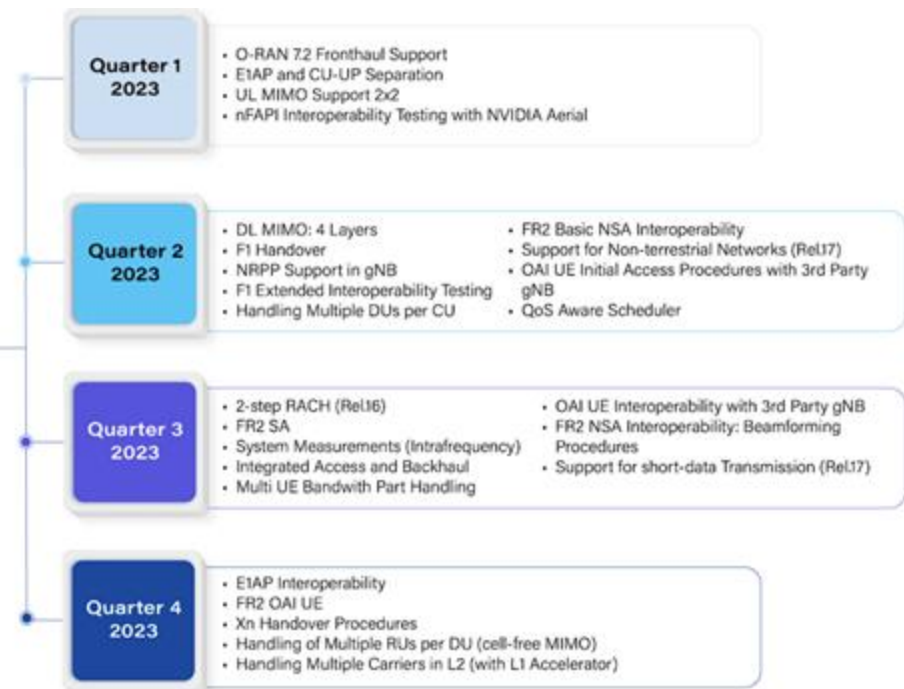
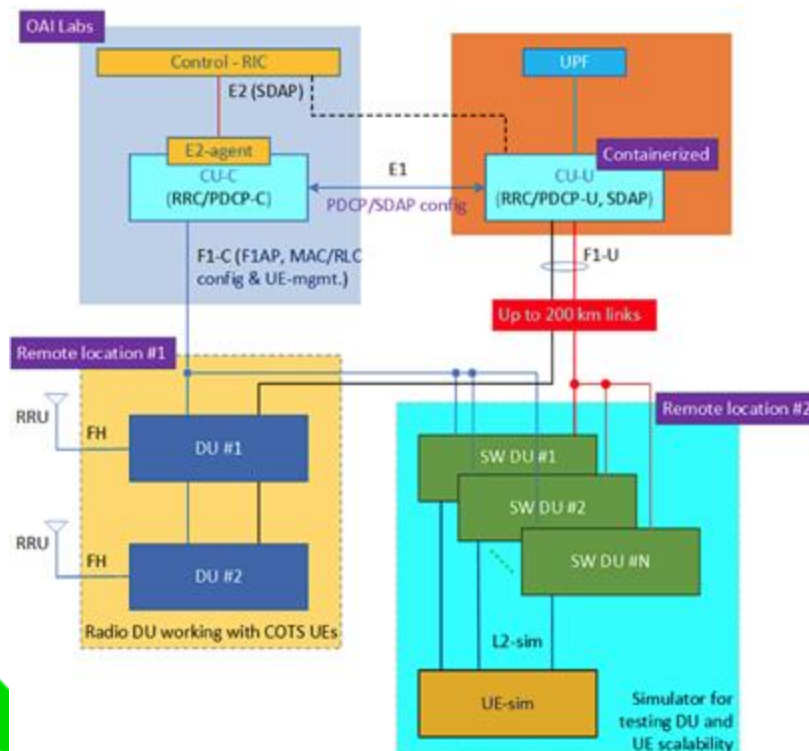


Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN

- Open Air Interface (OAI)
 - 5G RAN



Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN



- Open Air Interface (OAI)
 - Contribuições alinhadas com a filosofia Open RAN que surgiram através das parcerias citadas anteriormente:
 - **Integração do split 7.2 O-RAN:**
 - **Interoperabilidade com L1 NVIDIA Aerial SDK**
 - **Interoperabilidade com L1 INTEL/FLEXRAN**
 - **Implementação do split 2 (interface F1):**
 - **Implementação da interface E2:**



Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN

- ORAN Alliance



Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN



- ORAN Alliance



Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN

- **Telecom Infra Project (TIP)**

- TIP opera como uma entidade sem fins lucrativos que se dedica a avançar a conectividade global.
- O TIP se dedica a entender as necessidades de seus membros prestadores de serviços e outros membros do ecossistema e identificar lacunas na indústria que se alinham com a missão do TIP.
- Ele é composto por vários elementos interligados, começando pelos grupos de projetos, que abrangem todas as áreas da rede de telecomunicações, desde o acesso até o núcleo e os serviços.



Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN

- **Open Networking Foundation (ONF)**

- Uma organização sem fins lucrativos cujo objetivo é acelerar a adoção de soluções de rede abertas e desagregadas
- ONF tem uma estrutura única na qual combina as forças de projetos de código aberto tradicionais, operadores de rede, fornecedores e pesquisa acadêmica
- Organização tem várias áreas de trabalho, referidas como "projetos", cada uma focando em um aspecto específico de rede. Estes incluem Aether, ONOS (Open Network Operating System), CORD (Central Office Re-architected as a Datacenter), Stratum e outros.

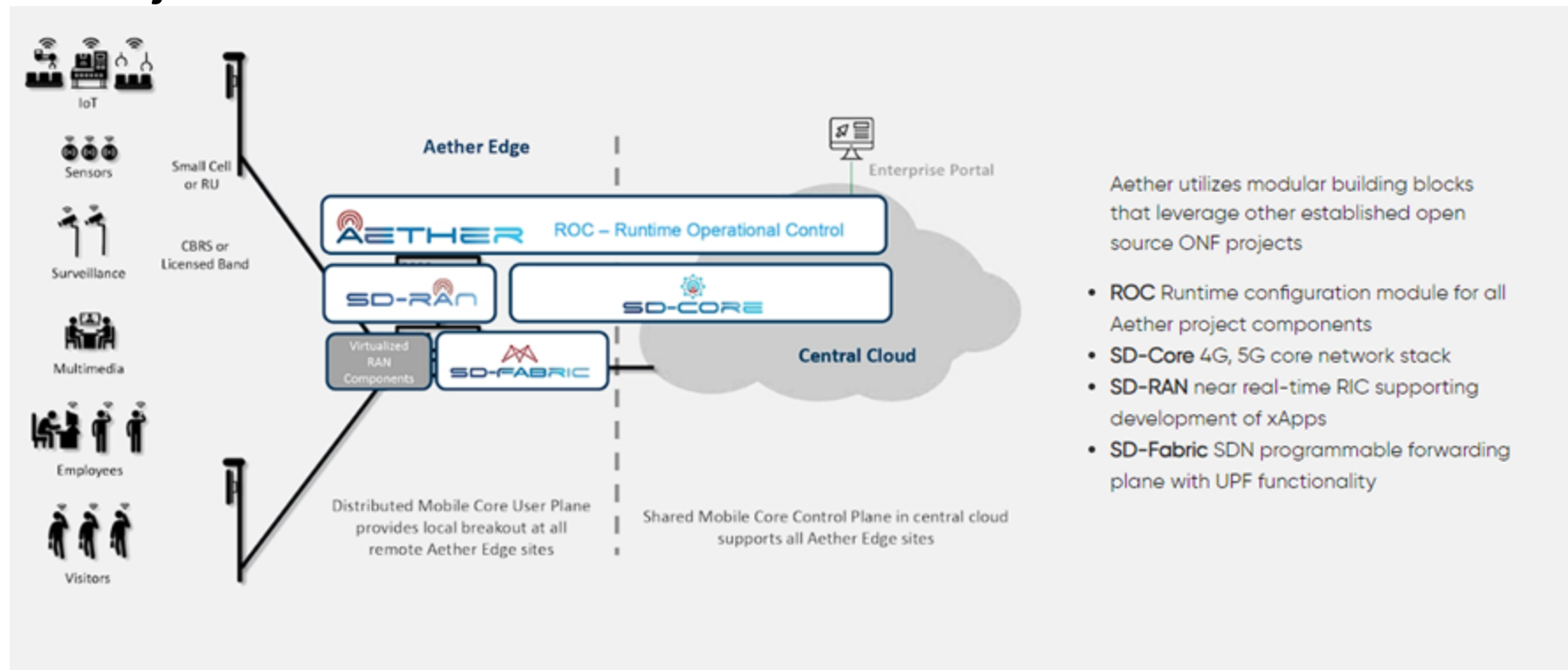


Iniciativas OpenRAN pelo Mundo



Iniciativas OpenRAN

- Open Networking Foundation (ONF)
 - Projeto Aether





Programa OpenRAN@Brasil





Motivação [1]

- A Internet está se tornando cada vez mais um serviço essencial
 - Pandemia de COVID-19 evidenciou o papel crucial que a Internet exerce na sociedade (economia, academia, entretenimento)
- Investimento em infraestrutura para conectividade passou a ser uma prioridade em diversos países
 - É um cenário desafiador para diversos países (Brasil incluso): dependência de fornecedores, soluções caras

Organizações como TIP, O-RAN Alliance e ONF fomentam o desenvolvimento de soluções abertas e desagregadas



Motivação [2]

- A desagregação e adoção da abertura do hardware/software trazem:
 - Novos fornecedores de hardware/software
 - Redução de custos nos equipamentos
 - Estímulo à inovação

Programa OpenRAN@Brasil



O que é?

- Programa do MCTI, executado em conjunto pela RNP e pelo CPQD.

Objetivo

- Busca acelerar o desenvolvimento do ecossistema de redes abertas, desagregadas e programáveis a partir da pesquisa, desenvolvimento, inovação e capacitação em tecnologias e aplicações, em 5G e além.



Pilares do Programa

- Pesquisar, desenvolver, implantar e validar soluções inovadoras de gerenciamento e controle inteligente de redes abertas e desagregadas em diferentes domínios tecnológicos
- Construir e disponibilizar infraestruturas de experimentação em diferentes domínios tecnológicos que adotam abertura e desagregação
- Capacitar profissionais e engajar academia/indústria

Programa OpenRAN@Brasil

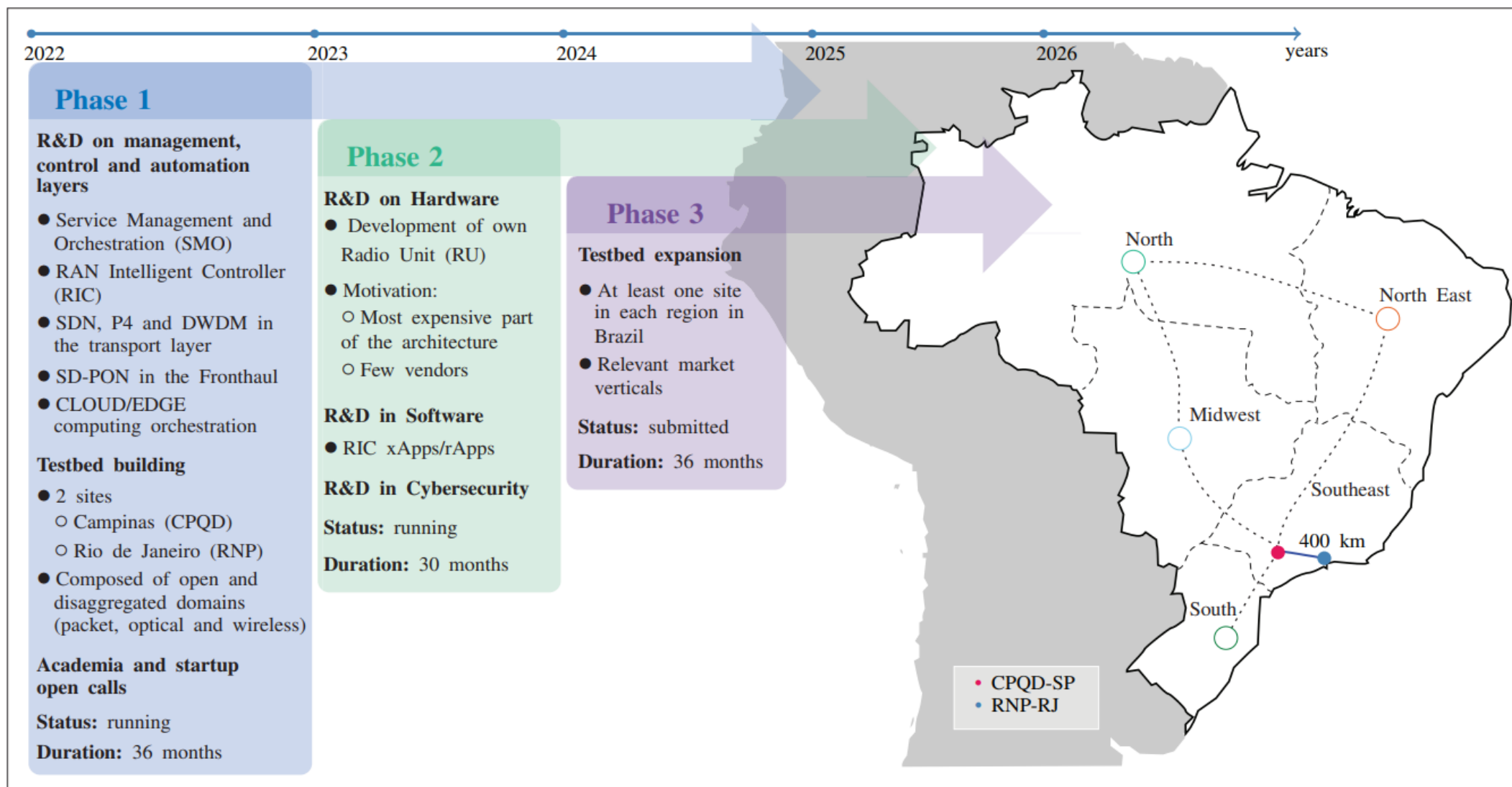


FIGURE 1 OpenRAN@Brasil Phases timeline and testbed sites of planned Phase 3

Testbed OpenRAN@Brasil



- Uma **plataforma** para pesquisar, desenvolver e testar novas tecnologias e casos de uso
 - ex. aplicações sobre a rede 5G
- **Exposição** de tecnologias
 - ex. open RAN, SD-x
- Ambiente de **aprendizagem**
 - ex. Como operacionalizar os novos paradigmas de nuvem e automação no mundo telecom
- **Laboratório** para validar novas tecnologias
 - ex. *open source 5G Core*
- Espaço de **incubação** para promover o desenvolvimento de soluções 5G locais por meio de intercâmbios industriais e integração de cenários de aplicações 5G
- **Sandbox regulatório**
- ...



Premissas do testbed

- Uso de equipamentos aberto
- Uso de sistemas abertos
 - Desenvolvidos por comunidades/fóruns/consórcios internacionais
- As soluções adotadas pelo testbed seguem os novos paradigmas de:
 - Softwarização, Virtualização e Desagregação
- Orquestração/Controle de múltiplos domínios tecnológicos:
 - Pacotes, óptico e sem fio



Testbed oferecerá:

- 5G Open RAN
- Redes de acesso óptico via PON
- Redes de transporte de pacotes
- Redes ópticas
- Computação em nuvem/borda para suportar softwares de controle, orquestração e aplicação
- Computação para processamento dos dados das antenas 5G ORAN
 - RIC, CU e DU

Testbed OpenRAN@Brasil



Sites do testbed

- RNP/PoP-RJ
- CPQD
- Enlace de 10Gbps para conectando os ambientes





Configuração padrão dos sites [1]:

- Segue a arquitetura split 7.2X da O-RAN Alliance
 - O-RU desagregada da O-DU
- Computação:
 - Entre 6 e 7 servidores
- Antenas O-RAN:
 - 3 antenas indoor 5G Open RAN

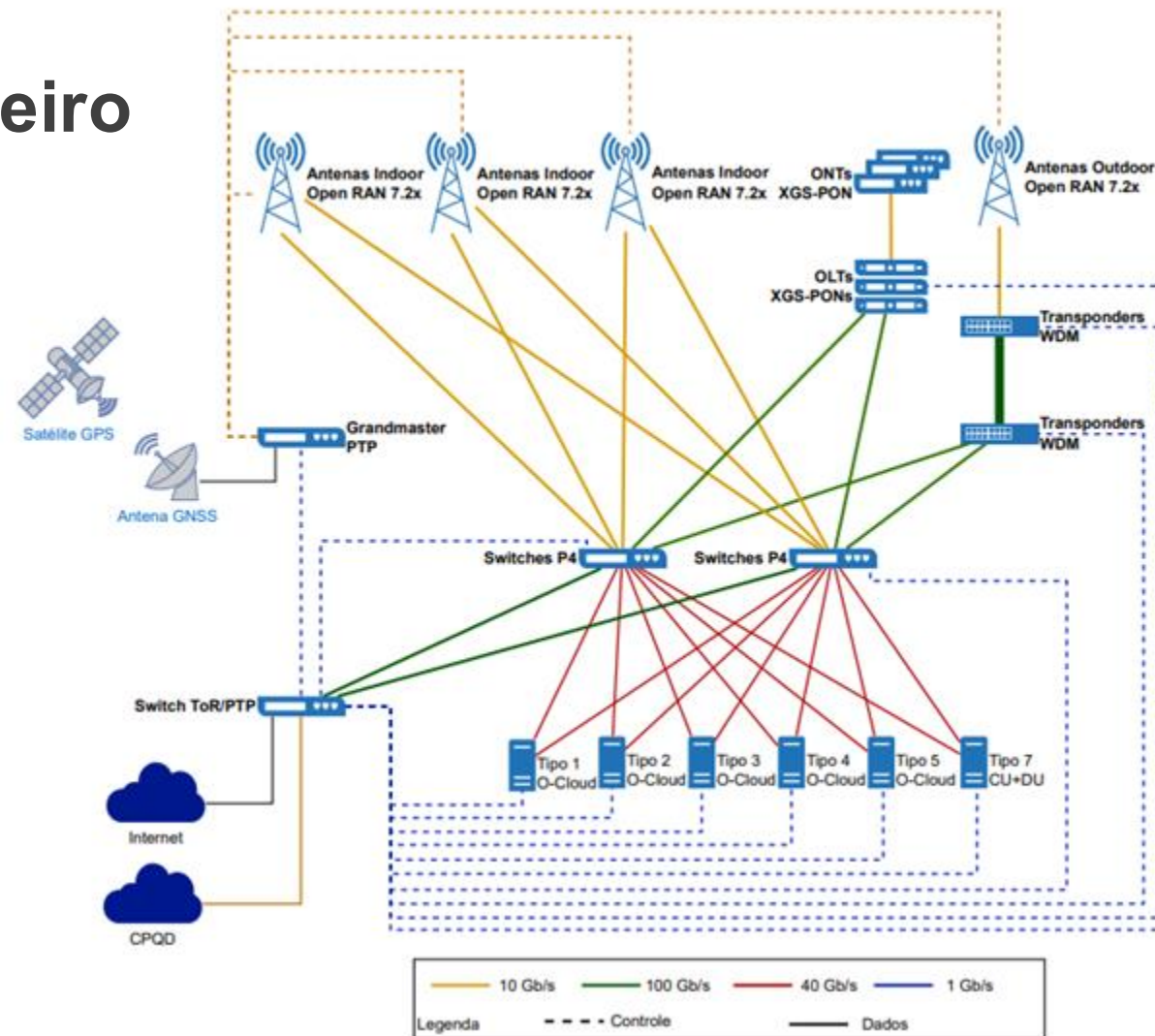




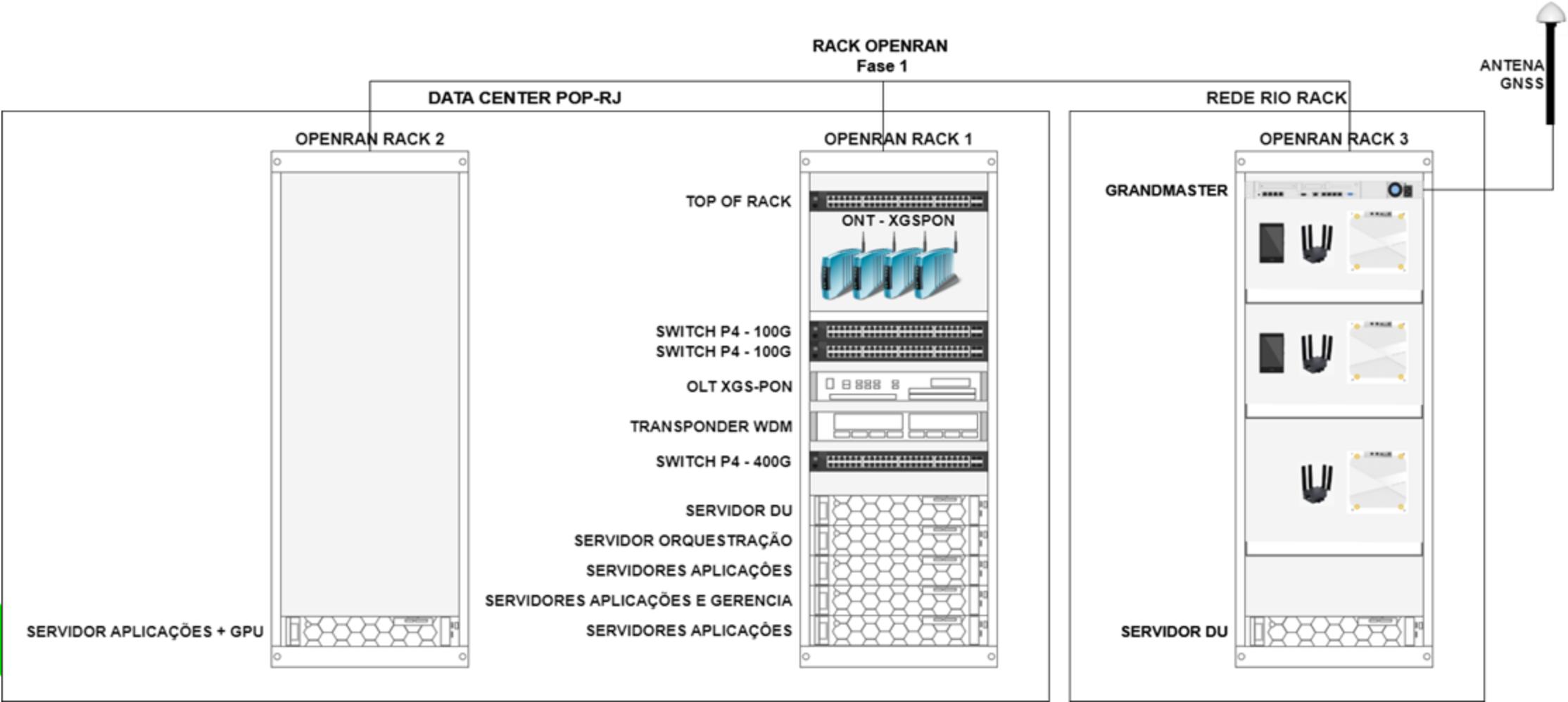
Configuração padrão dos sites [2]:

- Domínio de pacotes
 - Topologia leaf-spine
 - Composta por switches P4
- Domínio óptico
 - PON (XGS-PON e GPON)
 - WDM

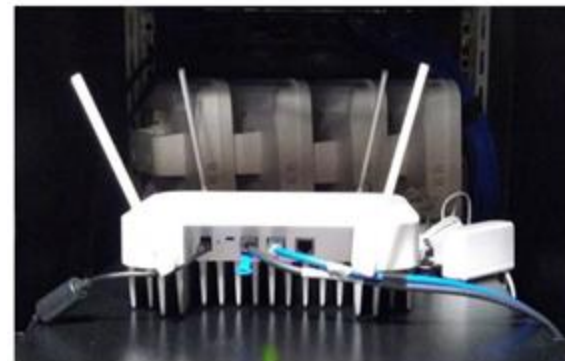




Site RNP



RNP Site

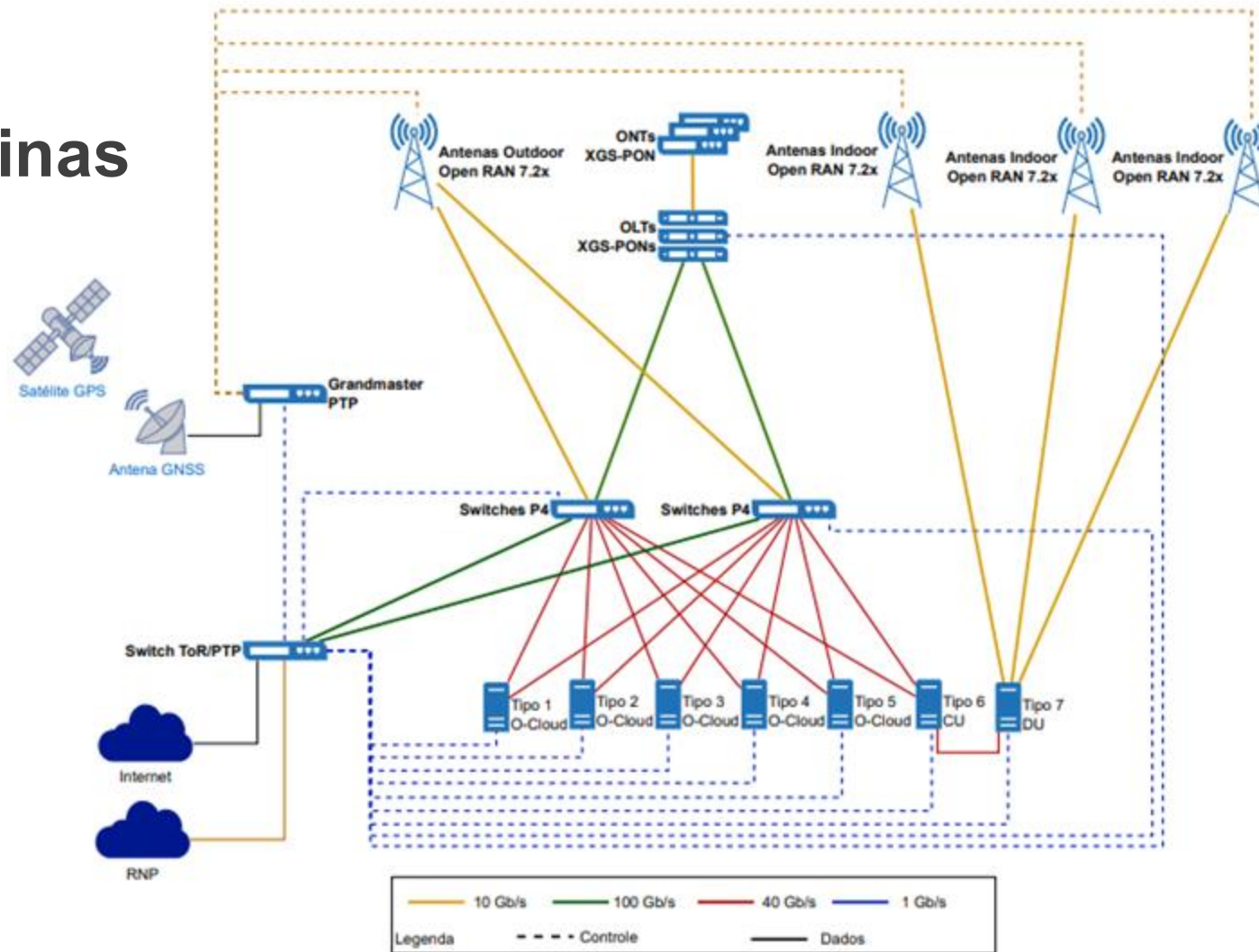


- All equipment is in a rack in the data center
- While the OpenRAN RU and Synchronization components are in a different laboratory.

Testbed OpenRAN@Brasil



CPQD/Campinas



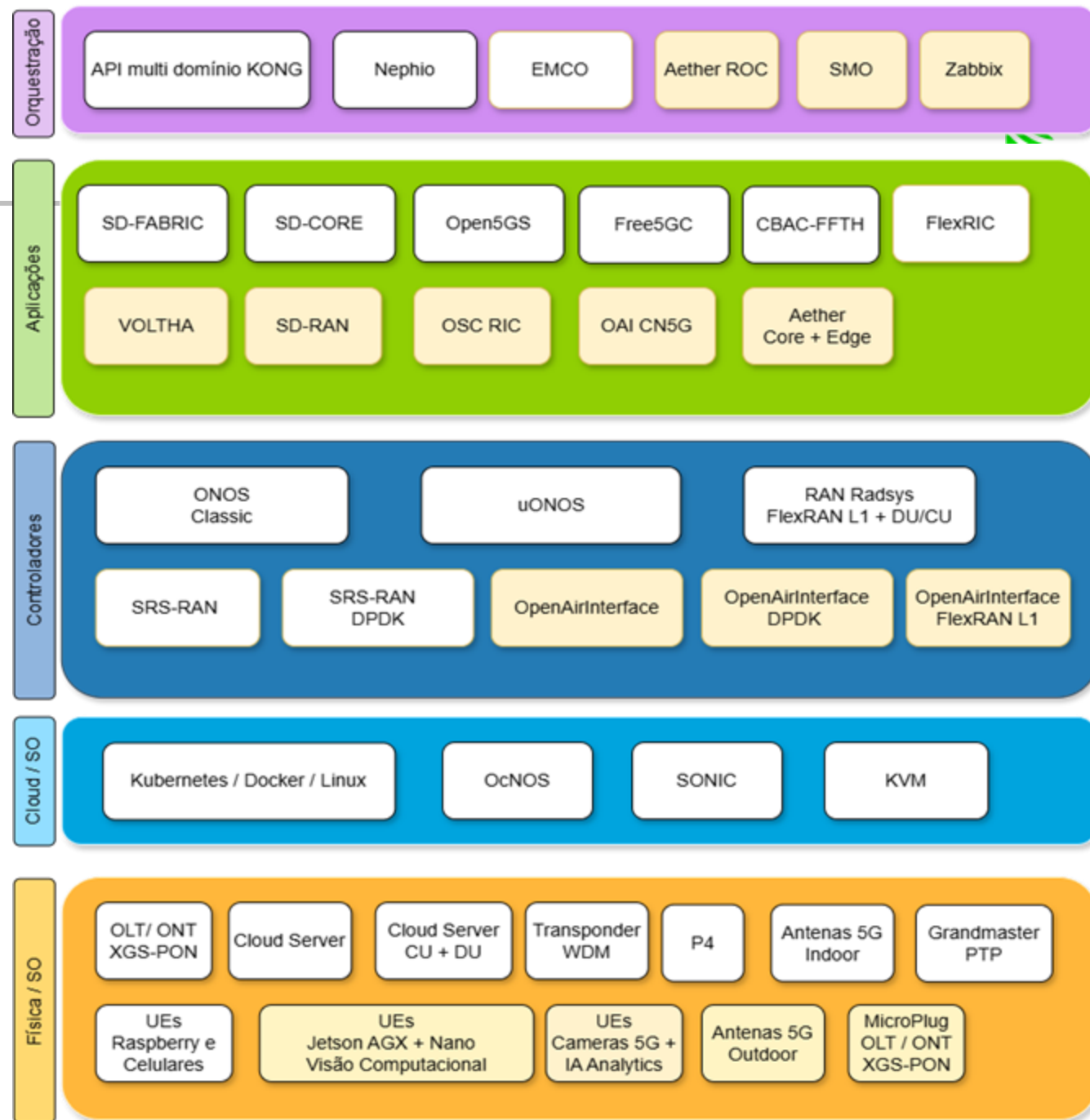


Licenciamento de Espectro 5G:

- Obtivemos a autorização para conduzir experimentos práticos, testes de viabilidade e pesquisas científicas no espectro 5G
 - Melhor compreensão das capacidades/desempenho do 5G em diferentes cenários
 - Desenvolvimento de atividades em ambiente controlado e em conformidade com a Anatel
 - Evitar interferências prejudiciais
- Impulsioneamento da pesquisa e desenvolvimento de tecnologias avançadas no brasil

RNP Testbed

- Ecossistema de Software disponíveis no TestBed, em teste e homologados.





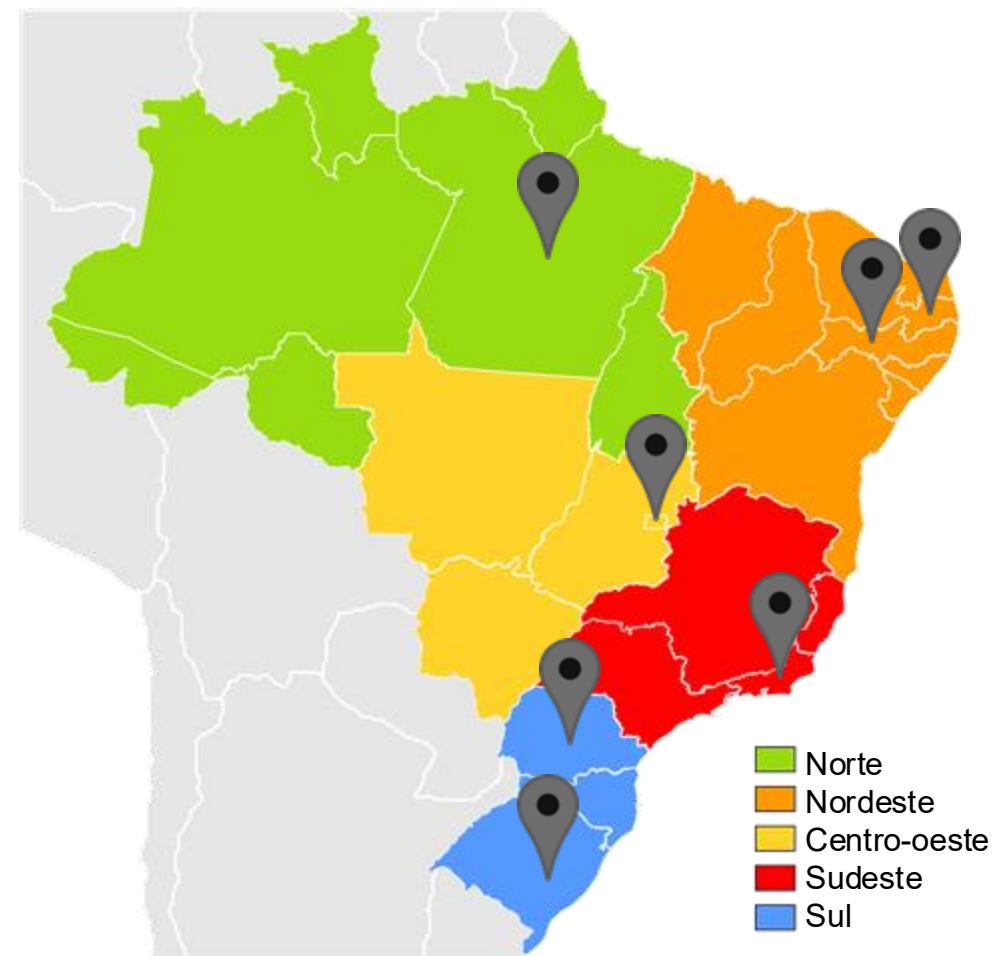
Casos de Uso



Chamada para a Academia



Nome	Tópico
GT ORAN-QoS	QoS for open RAN
Plateou	Slicing orchestration
OIRAN	High availability, low power orchestration
GT-FAIR-5G	5G security
GT-AGIR	Intent-based management for open RAN
IQoS	Smart Management for QoS



GT AGIR - Gerenciando a Open RAN com comandos em linguagem natural



AGIR - Agilidade no Gerenciamento baseado em Intenções para Refinamento de Níveis de Serviço

Gerenciamento de Redes O-RAN via chatbot

- Intenções expressas em linguagem natural
- Aplicação de técnicas de NLP e Deep Learning
- Detecção e mitigação de conflitos entre intenções

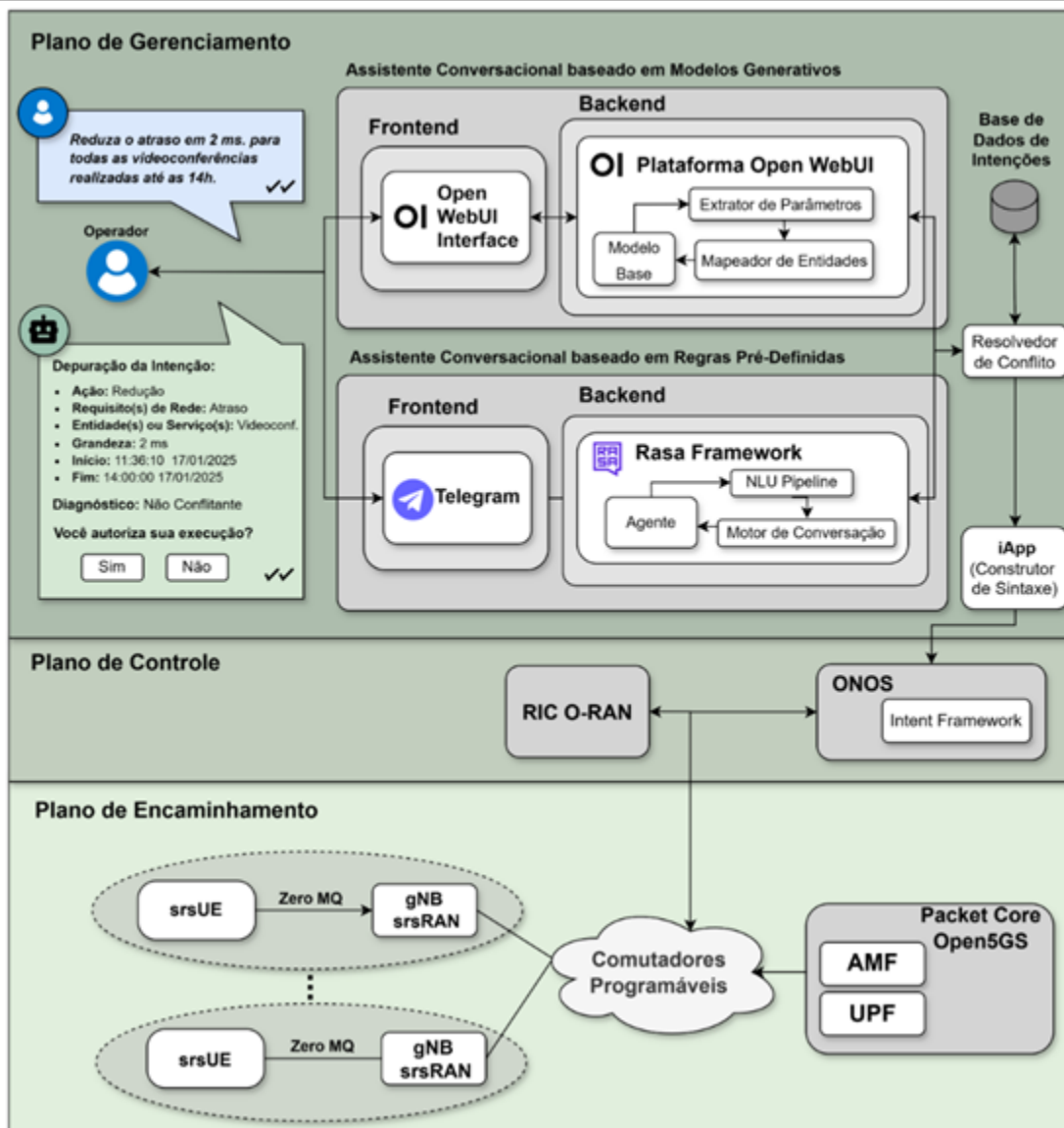
COORDENADORA ACADÊMICA:
Dianne S. V. Medeiros (UFF)
E-mail: diannescherly@id.uff.br

COORDENADOR ASSISTENTE:
Diogo M. F. Mattos (UFF)
E-mail: diogo_mattos@id.uff.br

GT AGIR - Gerenciando a Open RAN com comandos em linguagem natural



GT AGIR - Gerenciando a Open RAN com comandos em linguagem natural



GT AGIR - Gerenciando a Open RAN com comandos em linguagem natural



Trabalhos publicados:

- Towards Intent-Based Management for Open Radio Access Networks: An Agile Framework for Detecting Service Level Agreement Conflicts
- Reinforcement Learning for Radio Resource Management in O-RAN (Cloudnet 2024)
- Intent-Based Management for Open RAN: Intelligent Network Configuration Automation via Chatbot (Cloudnet 2024)
- Gerenciamento Baseado em Intenção para a Open RAN: Automação Inteligente de Configuração de Redes via Chatbot (WGRS 2024)
- An Agile Conflict-Solving Framework for Intent-Based Management of Service Level Agreement (6GNET 2024)
- Quantization Effects on Large Language Models for Intent-Based Network Management (NTMS 2025)
- Incorporação de Modelos de Linguagem em Larga Escala em Dispositivos Móveis: Otimização, Personalização e Desafios (JAI CSBC 2025)

Arquitetura de Gerenciamento Baseado em Intenções para Open RAN com Controle Dinâmico de Largura de Banda (SBRC 2025)

GT FAIR-5G: Ferramenta para avaliação de incidentes de segurança em redes 5G



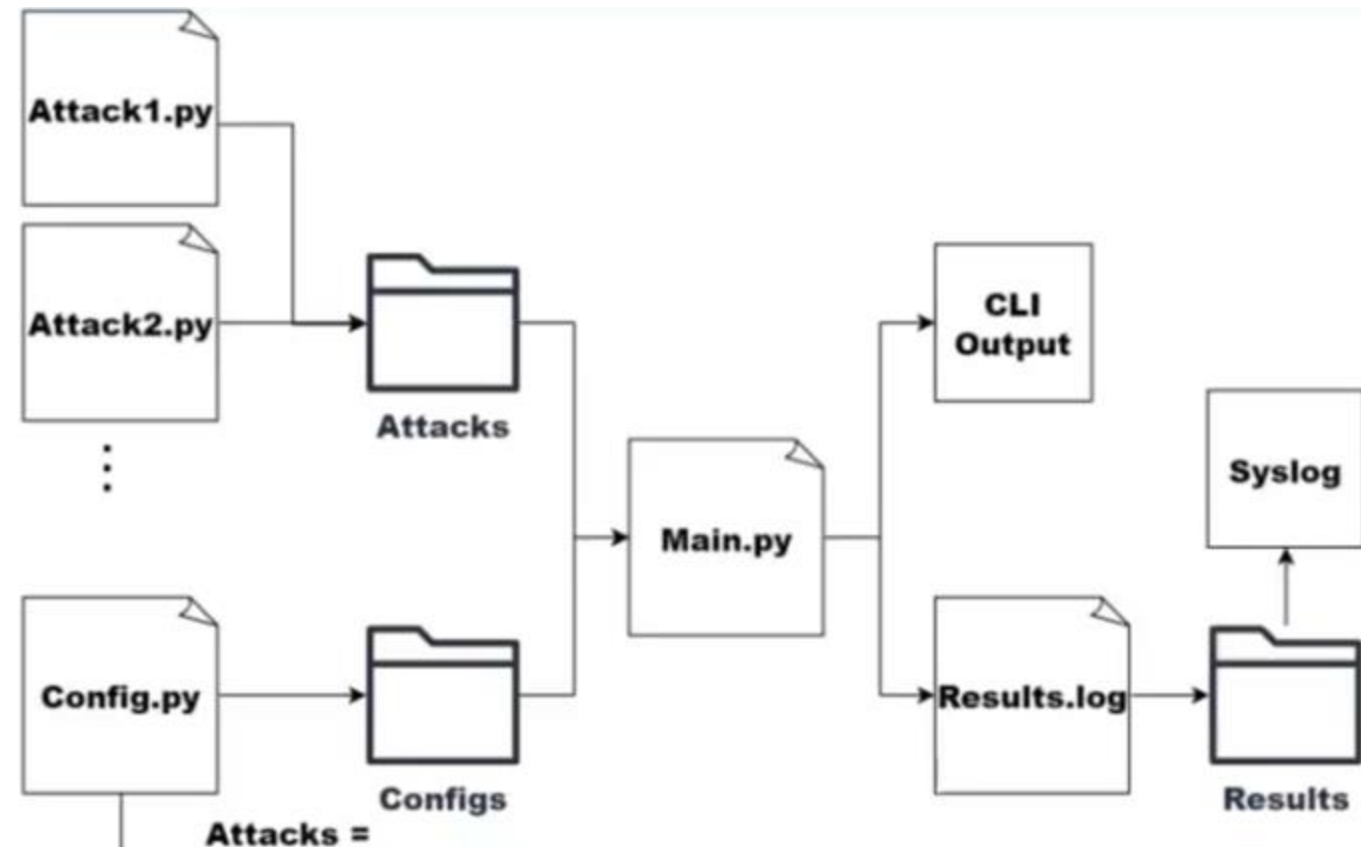
Objetivo: Desenvolvimento de uma ferramenta para realização de testes e práticas de segurança contra possíveis vulnerabilidades.

- Módulos
 - Ataque - Repositório de Ataques
 - Configuração - Parâmetros dos Testes
 - Principal - Execução e controle
 - Saída - Logs
- Scripts de Ataque
 - Inundação ao Controlador e Serviços



COORDENADOR ACADÊMICO:
Iguatemi E. Fonseca (UFPB)
E-mail: iguatemi@ci.ufpb.br

GT FAIR-5G: Ferramenta para avaliação de incidentes de segurança em redes 5G



GT FAIR-5G: Ferramenta para avaliação de incidentes de segurança em redes 5G



- Ataques realizados ao controlador SDN
 - Inundação de endereços MAC
 - Inundação TCP
 - Inundação UDP
 - Inundação ICMP
 - Inundação às portas de serviços ONOS
 - 6653 - OpenFlow
 - 8181 - Serviços Web
- Ataques realizados a Fatias de Redes
 - SlowSaturation

GT FAIR-5G: Ferramenta para avaliação de incidentes de segurança em redes 5G



- Testes de vulnerabilidades em API
 - API.1:2023 Autorização em nível de objeto quebrado;
 - API.2:2023 Autenticação quebrada;
 - API.3:2023 Autorização de nível de propriedade de objeto quebrado;
 - API.4:2023 Consumo irrestrito de recursos;
 - API.5:2023 Autorização de nível de função quebrada;
 - API.6:2023 Acesso irrestrito a fluxos de negócios sensíveis;
 - API.7:2023 Falsificação de solicitação no servidor Falsificação de solicitação no servidor (SSRF);
 - API.8:2023 Configuração incorreta de segurança;
 - API.9:2023 Gerenciamento de estoque inadequado;
 - API.10:2023 Consumo inseguro de APIs.

GT FAIR-5G: Ferramenta para avaliação de incidentes de segurança em redes 5G



Trabalhos publicados:

- Automação e Cibersegurança: Criando uma Ferramenta de Testes para Redes SDN (SBSeg 2024)
- Estudo de Vulnerabilidades em API e APP de Controladores SDN ONOS (SBrT 2024)
- Uma Ferramenta para Automação de Testes de Cibersegurança em Redes SDN (SBrT 2024)

Análise de vulnerabilidades em aplicações que usam API REST (SBrT 2025)

GT IQoS: xApps para gerenciamento e aprimoramento de QoS em redes Open RAN



Objetivo: xApp para gerenciar a Qualidade de Serviço (QoS) dos usuários por meio de alocação dinâmica de Equipamentos de Usuário (UEs) em fatias de rede.



UFPA

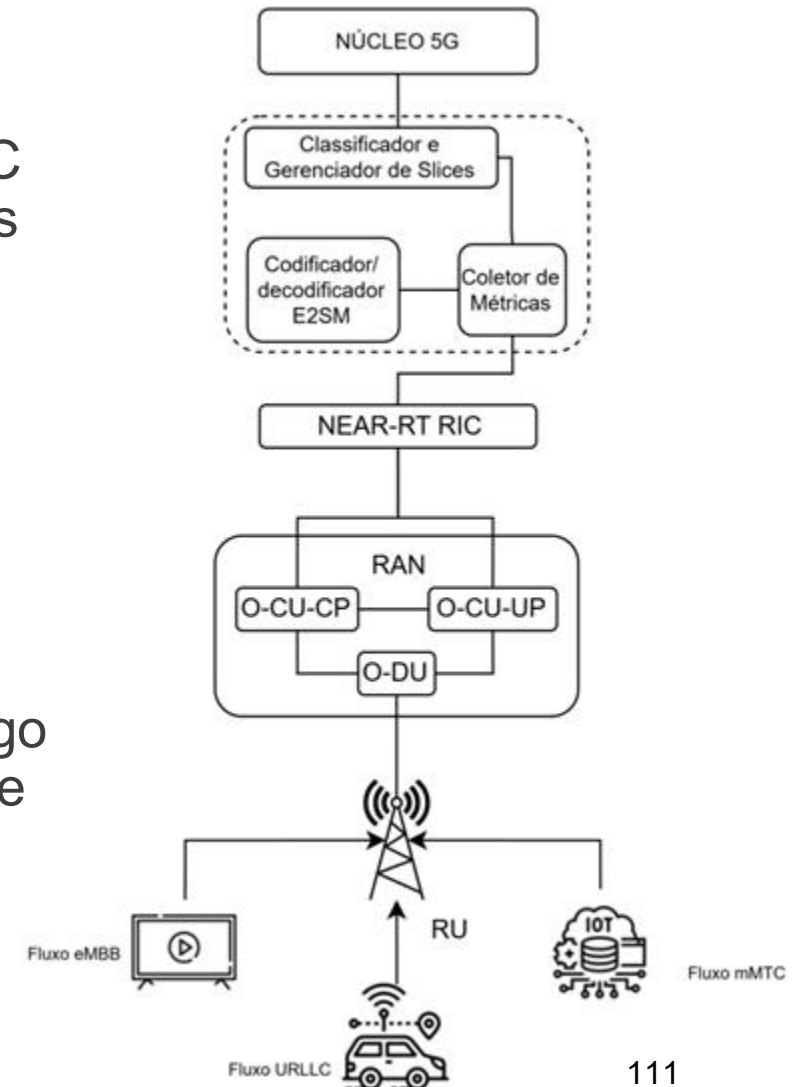
- Características:
 - Aproveita as interfaces abertas disponibilizadas pelo Controlador Inteligente de RAN (RIC).
 - Baseada em predições de modelos de aprendizado de máquina (AM).
 - Aloca o usuário de forma autônoma para a slice mais adequada ao tipo de serviço que ele está consumindo através da análise do fluxo de dados do UE.

COORDENADOR ACADÊMICO:
André Riker (UFPA)
E-mail: ariker@ufpa.br

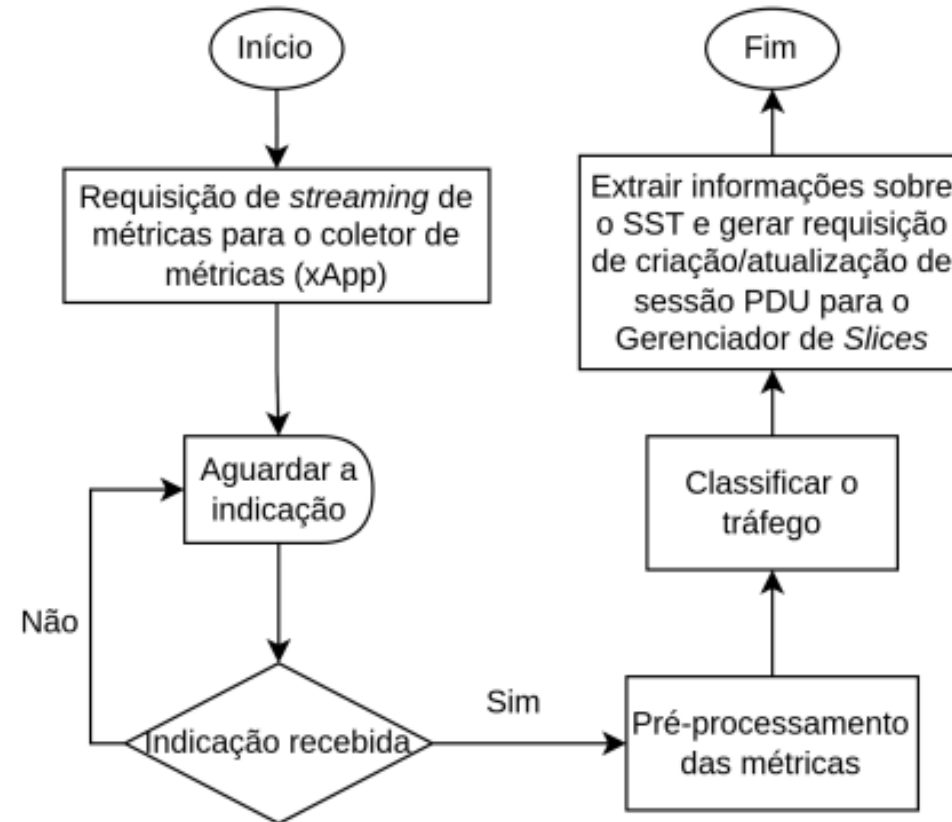
GT IQoS: xApps para gerenciamento e aprimoramento de QoS em redes Open RAN



- **Coletor de Métricas:** xApp que se integra ao Near-RT RIC para coletar métricas de desempenho dos UEs conectados à rede;
- **Codificador/Decodificador de Mensagens E2SM:** responsável por codificar e decodificar as mensagens trocadas entre o Near-RT RIC e os nós E2.
- **Classificador e Gerenciador de Slices:** classifica o tráfego dos UEs e gerenciar a alocação dos UEs em slices de rede no núcleo 5G.
 - Utiliza rede neural LSTM (Long Short-Term Memory) para realizar a classificação do tráfego



GT IQoS: xApps para gerenciamento e aprimoramento de QoS em redes Open RAN



Lógica do Processo de Classificação.

GT IQoS: xApps para gerenciamento e aprimoramento de QoS em redes Open RAN



Trabalhos publicados:

- Um Framework de Coleta de Indicadores-Chave de Desempenho para Redes 5G O-RAN (SBrT 2024)
- Mitigação Inteligente de Ataques DDoS em Redes O-RAN Utilizando Aprendizado de Máquina (WPEIF 2024)
- Automatizando a Alocação de Usuários em Slices 5G em Arquiteturas Open RAN (WGRS 2025)

GT-OIRAN: Orquestrador com garantias de alta disponibilidade e baixo consumo de energia



Objetivo: Aumentar a confiabilidade da RAN, oferecendo um menor risco de falhas e um menor consumo de energia.



UFPE



UFPA

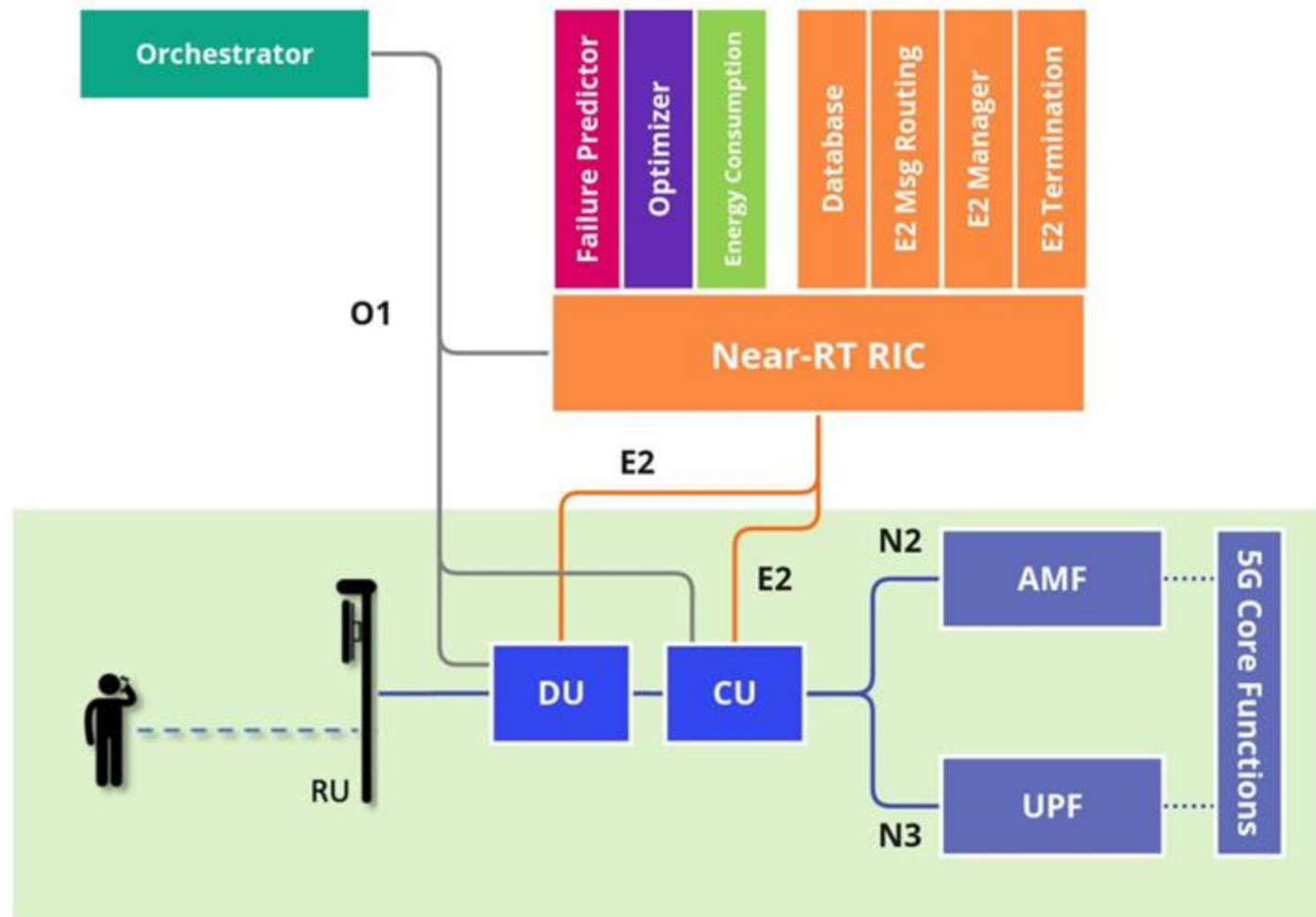


- Predizer o risco de falha dos componentes DU e CU e orquestra-los
 - Identificar padrões de comportamento da rede que possam indicar degradação ou falhas.
 - Análises baseadas em indicadores de desempenho da rede, como o consumo de energia e predição da intensidade de tráfego.
- Otimização da alocação de recursos
 - Maximizar a disponibilidade do serviço;
 - Minimizar o consumo de energia.

COORDENADOR ACADÊMICO:
Djamel Fawzi Hadj Sadok (UFPE)
E-mail: jamel@cin.ufpe.br

COORDENADOR ASSISTENTE:
Diego de Freitas Bezerra (UFPE)
E-mail: dfb3@cin.ufpe.br

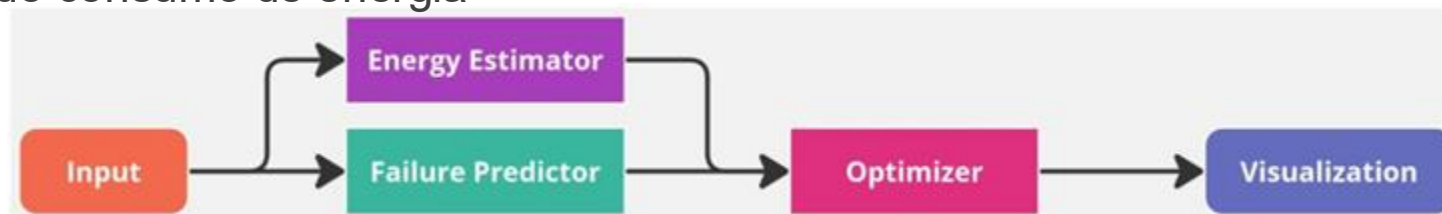
GT-OIRAN: Orquestrador com garantias de alta disponibilidade e baixo consumo de energia



GT-OIRAN: Orquestrador com garantias de alta disponibilidade e baixo consumo de energia



- **Módulo de Previsão de Falhas:** xApp que utiliza técnicas de aprendizado de máquina para monitorar e antecipar potenciais falhas baseando-se em padrões de tráfego e uso de recursos computacionais.
 - Modulation and Coding Scheme (MCS)
 - Bitrate (UL e DL)
 - Uso de CPU da gNB
- **Módulo de Energia:** estimar o consumo de potência em um servidor que hospeda a DU e CU para que o orquestrador da RAN possa considerar o impacto energético ao alocar/desalocar as NFs.
- **Módulo de Otimização:** responsável por sugerir o posicionamento mais adequado das NFs na infraestrutura de rede
 - Maximização da disponibilidade
 - Minimização do consumo de energia



GT-OIRAN: Orquestrador com garantias de alta disponibilidade e baixo consumo de energia



Trabalhos publicados:

- A Mixture of Experts for Estimating Cellular Networks Failure Duration (IEEE NFV-SDN 2024)
- Machine Learning Models for Virtual Base Station Power Consumption Estimation (SBrT 2025)
- An Experimental O-RAN Environment for Evaluating AI-Driven RAN Control (SBrT 2025)

GT ORAN-QoS: Open RAN para QoS



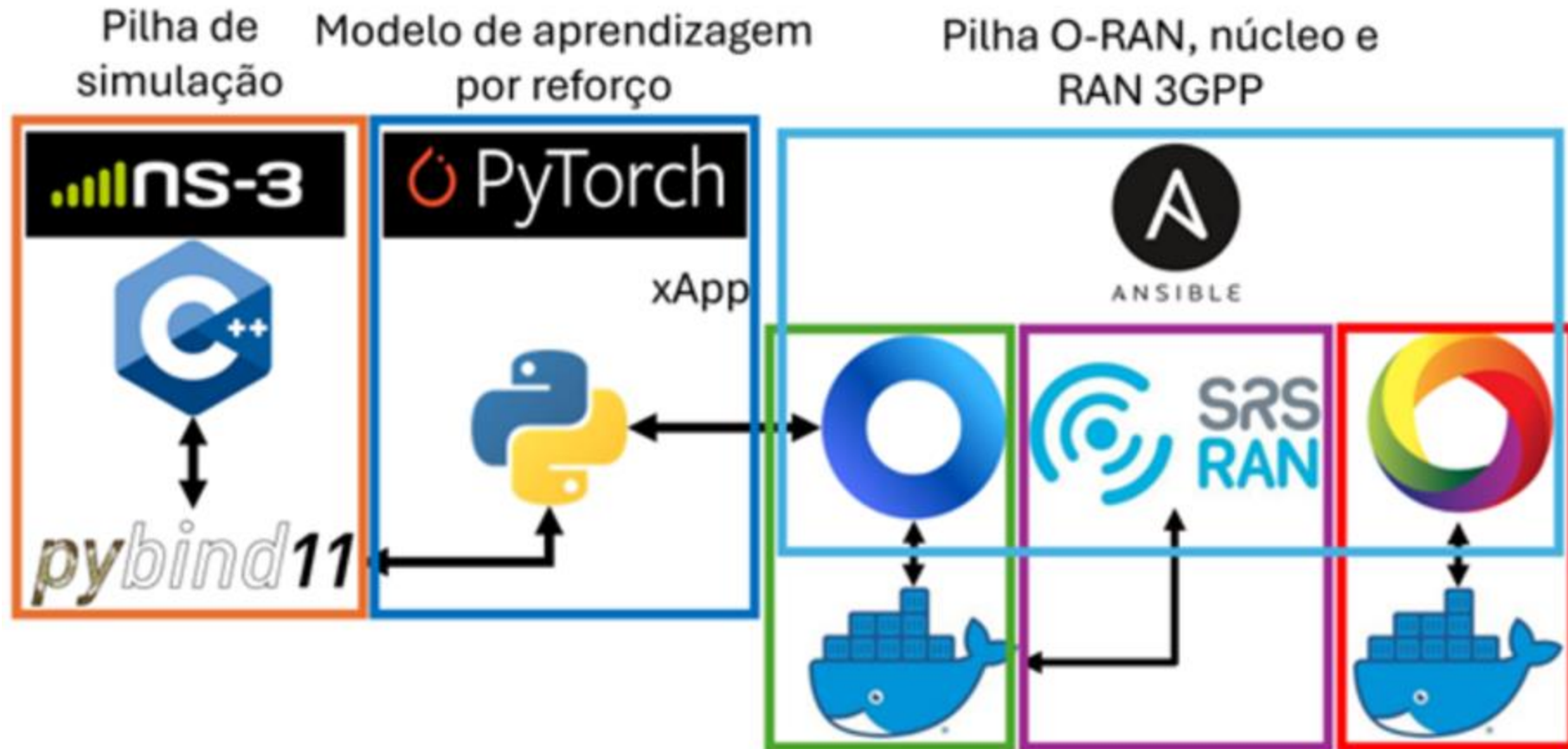
Objetivo: Desenvolvimento de um xApp que implementa uma nova estratégia de handover com aprendizagem de máquina.

- Características:
 - Aprendizagem por reforço
 - Deep Q-Learning (DQL) + Memória de Longo e Curto Prazo (LSTM) = Deep Recurrent Q-Networks (DRQN)
 - Função de perda Huber Loss
 - Erro quadrático médio (MSE): erros pequenos
 - Erro médio absoluto (MAE): erros grandes
 - Menos sensível a outliers



COORDENADORA ACADÊMICA:
Priscila Solís Barreto (UNB)
E-mail: pris@unb.br

GT ORAN-QoS: Open RAN para QoS



GT ORAN-QoS: Open RAN para QoS



ANSIBLE

Automação de
configuração e
implantação



Gerenciamento do ciclo
de vida de modelos de
ML



Pilha O-RAN
da O-RAN SC



Pilha 3GPP
do SRS-RAN



Rádios SDR
USRP

Sistema operacional Ubuntu e
orquestração Kubernetes
MicroK8s



MicroK8s

Plataforma baseada em
processadores ARM e INTEL



UnB

GT Plateau – Fatiamiento de redes Open RAN como serviço



Objetivo: Desenvolver uma plataforma para orquestrar o fatiamento fim-a-fim de redes O-RAN e proporcionar a gerência flexível de fatias de rede como serviço (Network Slice as a Service - NSaaS).

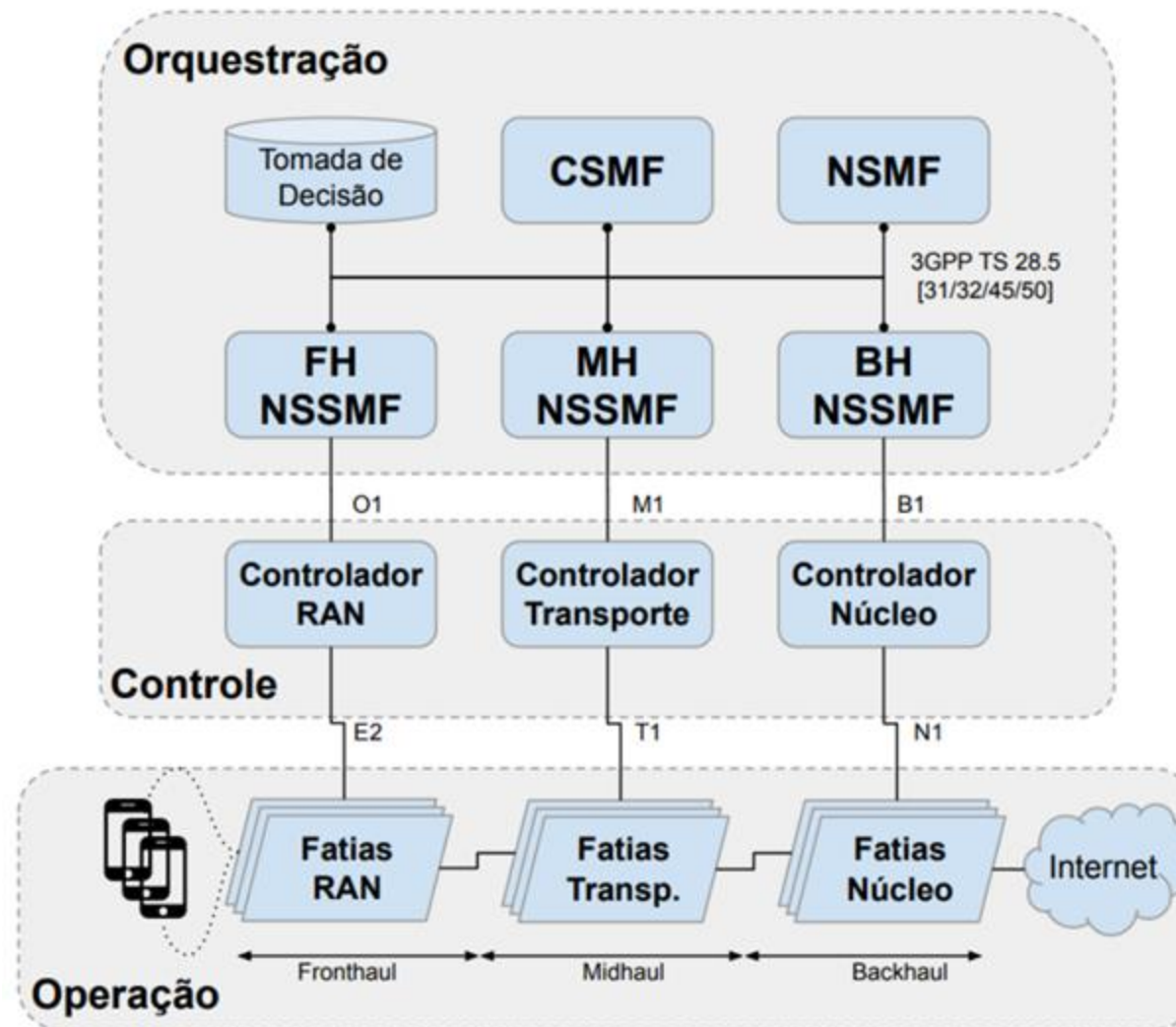
- Funcionalidades principais:
 - Tradução de modelos de negócios para definir subfatiamento de redes instanciadas;
 - Utilização de uma hierarquia de responsabilidades para implantação de fatias de rede no Crosshaul;
 - Definição de interfaces de comunicação entre as funções gerenciais e os controles de domínios tecnológicos para Fronthaul, Midhaul e Backhaul;
 - Aplicação do conceito de integração contínua e entrega contínua (Continuous Integration/Continuous Delivery - CI/CD) e estratégias de infraestrutura como código para integração entre gerenciamento e instâncias físicas
 - Fluxo de telemetria e observabilidade ao longo de todo Crosshaul



COORDENADOR ACADÊMICO:
Cristiano Bonato Both (UNISINOS)
E-mail: cbboth@unisinos.br

COORDENADOR ASSISTENTE:
Alexandre Huff (UTFPR)
E-mail: alexandrehuff@utfpr.edu.br

GT Plateau – Fatiamento de redes Open RAN como serviço

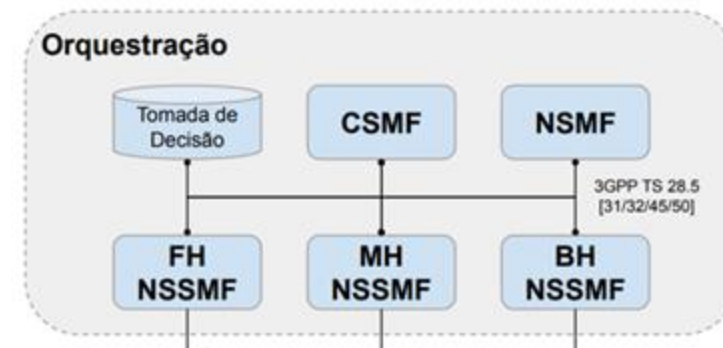


GT Plateau – Fatiamento de redes Open RAN como serviço



Camada de Orquestração é responsável por gerenciar e tomar decisões relacionadas às fatias de rede

- Tomada de Decisão: avalia requisitos de negócio e qualidade de serviço
- Communication Service Management Function (CSMF): gerencia os serviços de comunicação, traduzindo solicitações dos inquilinos em requisitos técnicos e garantindo SLAs
- Network Slice Management Function (NSMF): coordena a alocação de recursos, à instância de fatias e a comunicação com os NSSMFs
- Network Slice Subnet Management Functions (NSSMFs): gerencia as sub-redes de fatia para Fronthaul, Midhaul e Backhaul, conectando-se com a Tomada de Decisão

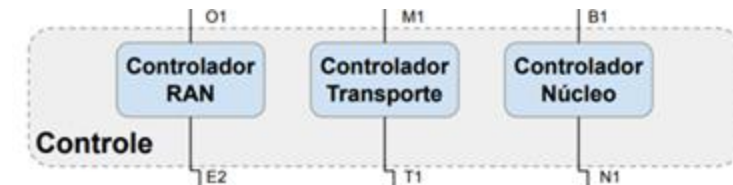


GT Plateau – Fatiamento de redes Open RAN como serviço



Camada de Controle: administra os recursos de cada domínio da rede, implementando políticas e decisões da Orquestração.

- Interage com os NSSMFs para alocação de recursos e adaptação dinâmica às variações de demanda da rede
- O Controlador RAN gerencia o acesso via rádio (Fronthaul)

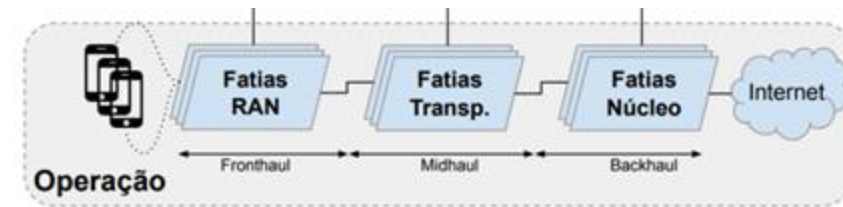


GT Plateau – Fatiamento de redes Open RAN como serviço

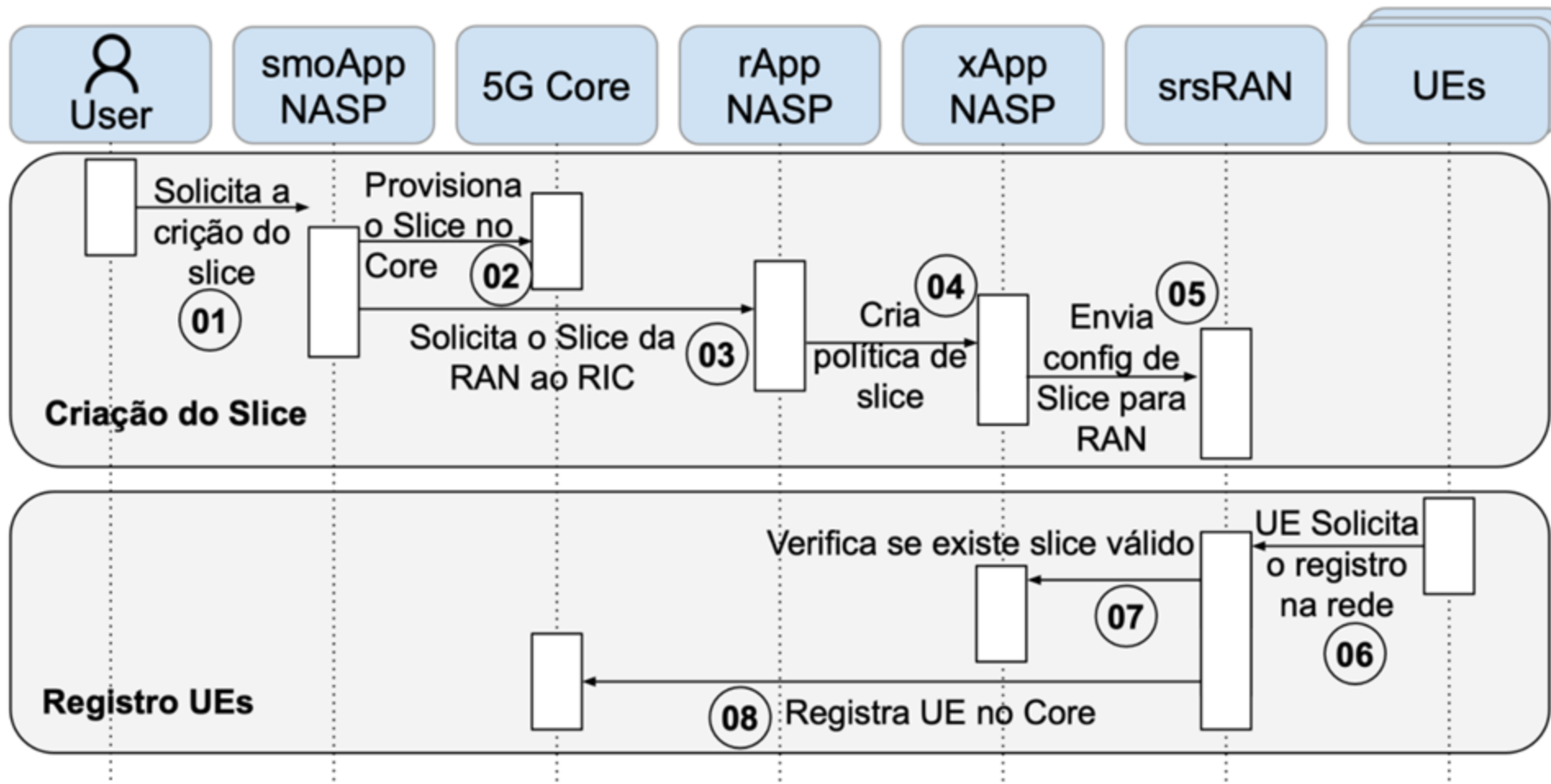


Camada de Operação: implantação efetiva das fatias nos respectivos domínios.

- Fatias RAN: englobam os recursos de Fronthaul, viabilizando a comunicação dos dispositivos na rede de acesso via rádio.
- Fatias de Transporte (Midhaul): responsáveis pelo encaminhamento de dados entre o acesso e o núcleo.
- Fatias de Núcleo (Backhaul): conectam o Midhaul aos serviços centrais da rede
 - Gerenciamento de mobilidade, segurança e processamento de dados são ajustadas aos requisitos de cada fatia.



GT Plateau – Fatiamento de redes Open RAN como serviço



GT Plateou – Fatiamento de redes Open RAN como serviço



Trabalhos publicados:

- RIC-O: Efficient placement of a disaggregated and distributed RAN Intelligent Controller with dynamic clustering of radio nodes (JSAC 2024)
- FramCo: Frame corrupted detection for the Open RAN intelligent controller to assist UAV-based mission-critical operations (JISA 2024)
- Towards Energy- and QoS-aware Load Balancing for B5G: Leveraging O-RAN to Achieve Sustainable and Energy-Efficient (TNSM 2025)
- Plateou: An End-to-End Orchestration Platform for O-RAN Network Slicing as a Service (TNSM 2025)
- Optimizing Energy Consumption for vRAN Placement in O-RAN Systems With Flexible Transport Networks (OJCOMS 2025)
- Managing O-RAN Networks: xApp Development from Zero to Hero (IEEE Communications Surveys & Tutorials 2025)
- **Adaptive** Network Management in 6G O-RAN: A Framework for Dynamic User Demands (CTD-SBRC 2025)

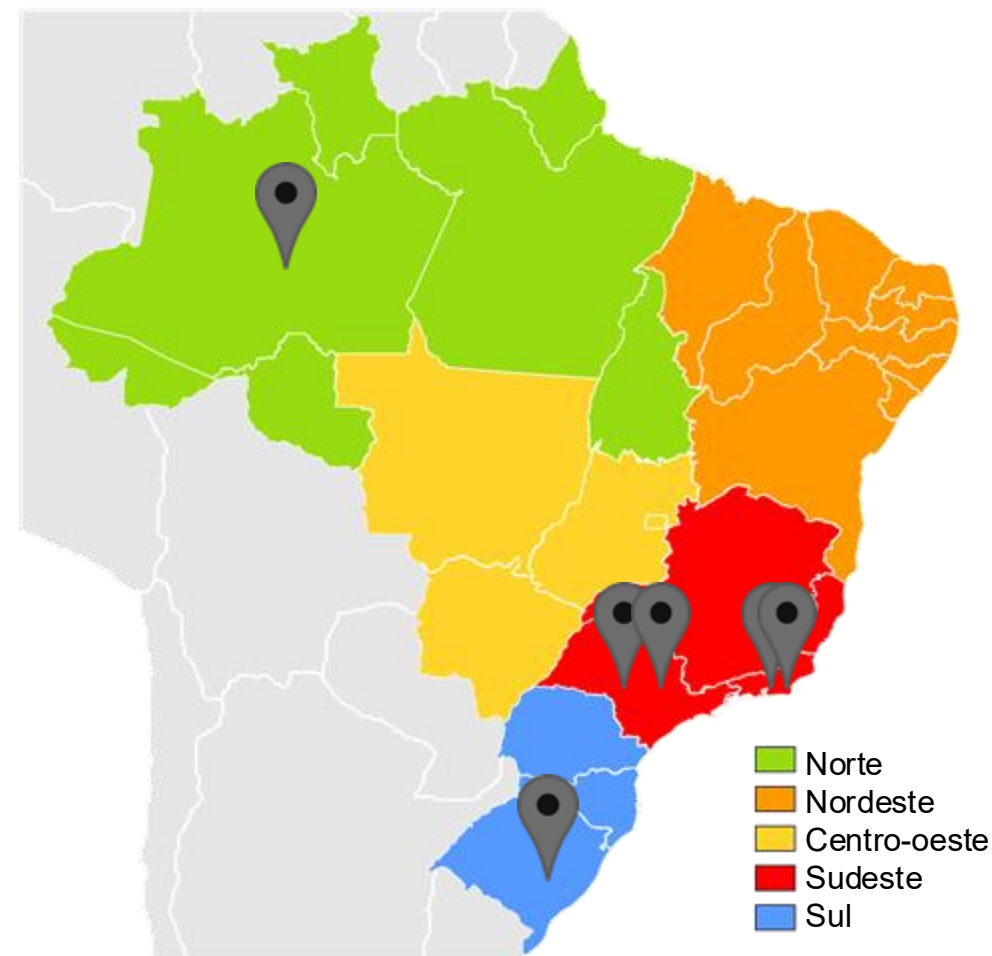


- **AGIR:** Desenvolve um sistema que aplica técnicas de processamento de linguagem natural para traduzir intenções de rede de alto nível em ações aplicáveis, como a configuração e otimização de instruções para entidades de rede
- **FAIR 5G:** Propõe uma ferramenta para avaliar incidentes de segurança em redes 5G, focando em testar vulnerabilidades que possam atingir a estrutura de orquestração e controle da rede Open RAN.
- **IQoS:** Desenvolve uma solução para gerenciar e otimizar a Qualidade de Serviço (QoS) em redes Open RAN, evitando sobrecargas ou desperdícios de recursos.
- **OIRAN:** Um grupo de pesquisa que visa otimizar a orquestração das funções O-RAN para minimizar o risco de falha do serviço e o consumo de energia.
- **ORAN-QoS:** Grupo de Trabalho que propõe o desenvolvimento de um xApp para implementar uma nova estratégia de handover, com o objetivo de melhorar a Qualidade de Serviço (QoS) em redes Open RAN.
- **Plateou:** Grupo de trabalho que propõe uma plataforma para orquestrar o fatiamento de Redes Open RAN como Serviço, através de três experimentos envolvendo diferentes segmentos de rede.

Chamada para Startups



Startup	Estado	Tema
Acta Robotics	Amazonas	Indústria 4.0
Anlix	Rio de Janeiro	Telecomunicações
Quickium	São Paulo	Indústria 4.0
Ring-0 Networks	Rio de Janeiro	Cibersegurança
Cromai	São Paulo	Agritech
Pix Force	Rio Grande do Sul	Indústria 4.0



Objetivo: integrar a conectividade 5G ao Kappabot, seu robô móvel autônomo (AMR), para aprimorar seu desempenho em operações remotas.

- Viabilizar o controle remoto do robô por meio de uma página web, possibilitando a visualização das imagens capturadas por sua câmera frontal e o envio de comandos de velocidade.
- Características do 5G
 - Alta velocidade de transmissão
 - Baixa latência



Acta Robotics



Objetivo: aprimorar sua ferramenta, o Flashman, para o gerenciamento remoto de roteadores residenciais compatíveis com redes 5G.

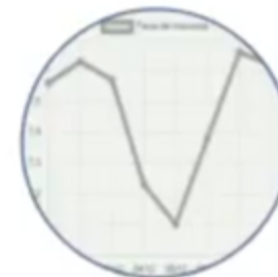
- Adaptar a ferramenta para operar em ambientes de Fixed Wireless Access (FWA), onde roteadores utilizam interfaces móveis 5G para conexão com a internet.
- Desenvolvimento de xApp para redes Open RAN, capaz de extrair métricas diretamente da rede Open RAN, eliminando a dependência do protocolo TR-069.





Objetivo: validar a integração de conectividade 5G em sua solução Cromai Sentinel, que monitora impurezas vegetais na cultura da cana-de-açúcar.

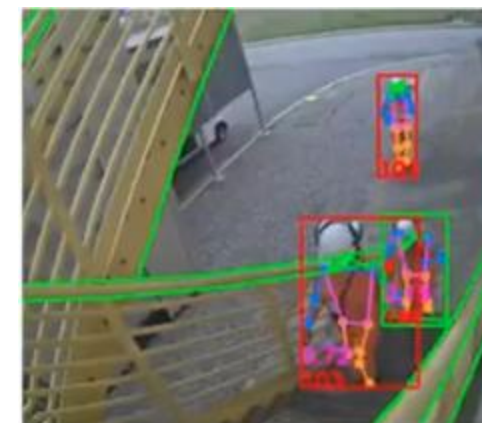
- Uso de Raspberry Pi equipado com um adaptador 5G, para transmitir dados de forma eficiente e estável para a nuvem.
- Características do 5G
 - Latência
 - Vazão
 - Consumo energético
 - Estabilidade da rede





Objetivo: testar a viabilidade do Pix Safety, sua solução de monitoramento de segurança no trabalho, exclusivamente em redes 5G

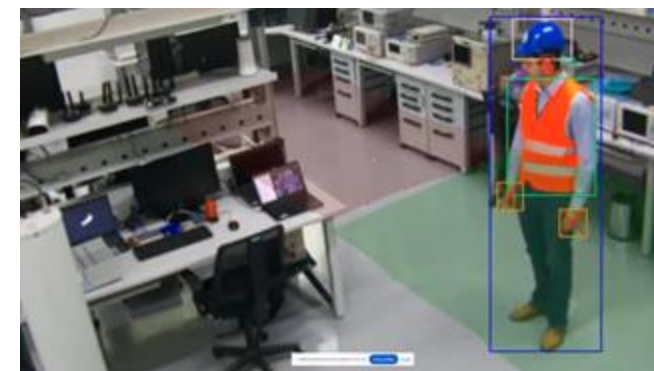
- Características do 5G
 - Alta velocidade de transmissão
 - Baixa latência do 5G para o processamento de vídeo em tempo real.





Objetivo: validar a solução SafeWatch, um sistema de monitoramento automatizado de segurança em ambientes industriais

- Capacidade de transmissão de vídeo em alta resolução, o processamento de dados em tempo real e a comunicação eficiente entre dispositivos por meio de uma rede 5G



Ring-0 Networks



Objetivo: validar seu produto, o ring-0 Dome, um Gateway de Web Seguro (SWG), em um ambiente RAN.

- Filtrar tráfego HTTP(S), conteúdo e definir políticas de acesso em tempo real sem impactar na rede.
- Proteção contra phishing, malware, ransomware, etc
- Capacidade de filtrar tráfego e proteger dispositivos conectados à rede 5G



Utilize o testbed!



- Submeta sua proposta para experimentação no testbed
 - Elegíveis quaisquer propostas com fins de pesquisa, educação e inovação
 - **Formulário de submissão disponível em** <https://openranbrasil.org.br/form-uso-de-testbed/>





Hands-on



Hands-on



- Para o hands-on do Minicurso, nós executaremos a blueprint disponibilizada no projeto OpenRAN@Brasil, e realizaremos as seguintes atividades:
 - Instanciação de um E2 node;
 - Interação com as APIs do Near-RT RIC;
 - Execução de uma xApp de monitoramento;
 - Análise de dados da xApp no InfluxDB;
- Link para o hands-on:
<https://bookstack.testbeds.rnp.br/books/openran-at-brasil/page/roteiro-minicurso>





- user: openran
- password: OpenRAN@Brasil2025

```
1 ssh openran@openran.rj.testbeds.rnp.br -p 1XX22
```

Ir para o Diretório do Minicurso

```
1 cd minicurso-sbrt-2025
```



Verificar Execução do Near-RT RIC

Primeiramente, vamos listar os pods do RIC ativos no namespace ricplt:

```
1 kubectl get pods -n ricplt
```

A saída deve ser o seguinte:

NAME	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
deployment-ricplt-a1mediator-947c4694d-x5lmf	1/1	Running	0	4m58s
deployment-ricplt-appmgr-7555695995-sc4cj	1/1	Running	0	4m58s
deployment-ricplt-e2mgr-796587549c-h9jf9	1/1	Running	0	4m58s
deployment-ricplt-e2term-alpha-5cfcf4b68d-q469d	1/1	Running	1 (3m16s ago)	4m58s
deployment-ricplt-rtmgr-65b79479d5-555cp	1/1	Running	0	4m58s
deployment-ricplt-submgr-789d8cd845-4trw2	1/1	Running	0	4m58s
deployment-ricplt-xapp-onboarder-7864799499-6tsgb	2/2	Running	0	4m58s
ricplt-influxdb-0	1/1	Running	0	4m58s
statefulset-ricplt-dbaas-server-0	1/1	Running	0	4m58s

fig. 1: PODs do OSC Near-RT RIC em execução no Kubernetes.



Vericar nós E2 conectados

Após os serviços do RIC estarem em execução, podemos fazer uma verificação através de sua API para verificar se há nós E2 conectados. O seguinte comando deve ser executado:

```
1 curl -s -X GET http://127.0.0.1/e2mgr/v1/nodeb/states | jq
```

Como não conectamos nenhum nó E2 ao RIC, então a saída deve ser uma lista vazia: `[]`



Executar E2 node com Suporte ao E2SM-KPM

Para instanciar um nó E2 e conectá-lo ao RIC, podemos usar o NORI que simula um gNB e um UE, com tráfego UDP e métricas E2SM-KPM habilitadas. Para isso, execute o seguinte comando:

```
1 make deploy-nori-v2
```

Este comando irá executar um container do NORI que já encontra-se dentro da VM. Este container irá executar um E2 Node que se conectará ao RIC. Utilize o seguinte comando para verificar se a conexão foi realizada com êxito:

```
1 make logs-nori-v2
```



Obtendo Informações do E2 node no Near-RT RIC

Agora, é possível consultar novamente a API do Near-RT RIC para verificar se o nó E2 está registrado corretamente. O seguinte comando pode ser utilizado:

```
1 curl -s -X GET http://127.0.0.1/e2mgr/v1/nodeb/states | jq
```

Se o nó E2 estiver conectado corretamente, você deverá ver informações sobre o estado do nó na saída:

```
1 // Saída do comando: curl -s -X GET http://127.0.0.1/e2mgr/v1/nodeb/states | jq
2 [
3   {
4     "inventoryName": "gnb_131_313_03100268",
5     "globalNbId": {
6       "plmnId": "313131",
7       "nbId": "0011000100000000001001101000"
8     },
9     "connectionStatus": "CONNECTED"
10  }
11 ]
```



É possível também verificar os detalhes da mensagem E2AP de registro, enviada pelo nó E2 ao Near-RT RIC, utilizando o seguinte comando:

```
1 curl -s -X GET http://127.0.0.1/e2mgr/v1/nodeb/<inventoryName> | jq
```

“ **Nota:** Substituir `<nbId>` ou `<inventoryName>` pelo respectivo valor obtido via API do Near-RT RIC.



Executando a xApp

Após o nó E2 estar conectado ao Near-RT RIC, podemos iniciar uma xApp que irá se comunicar com o nó E2 e coletar métricas utilizando o modelo de serviço E2SM-KPM. Para isso, vamos utilizar a xApp `kpm_simple`, que envia uma requisição de subscrição para o nó E2 e recebe relatórios periódicos com as métricas disponíveis, armazenando-as no influxdb.

Para instalar a xApp `kpm_simple`, execute o seguinte comando:

```
1 make deploy-xapp
```

Após a instalação, podemos verificar se a xApp está em execução no namespace `ricxapp` com o seguinte comando:

```
1 kubectl get pods -n ricxapp
```

É possível também verificar os logs da xApp para garantir que ela está funcionando corretamente:

Hands-on



É possível também verificar os logs da xApp para garantir que ela está funcionando corretamente:

```
1 make logs-xapp
```

Nos logs será possível ver o nós E2 que estão conectados ao Near-RT RIC, conforme mostrado na imagem abaixo:

gNB: gnb_131_313_031002fb	
Field	Value
PLMN ID	313131
NodeB ID	0011000100000000001011111011
Connection status	1
Health Check Recv	0

Hands-on



Após a xApp estar em execução, precisamos enviar uma requisição de subscrição para o nó E2. Isso pode ser feito com o seguinte comando:

```
1 make xapp-subscribe
```

Após enviar a requisição de subscrição, podemos verificar os logs do nó E2 para ver se a subscrição foi recebida corretamente:

```
1 make logs-nori-v2
```

Se tudo estiver funcionando corretamente, você verá as mensagens indicando que a subscrição foi recebida e que os relatórios de métricas estão sendo enviados, conforme mostrado na imagem abaixo:

```
[INFO ] [E2AP] Received RIC-SUBSCRIPTION-REQUEST
[INFO ] %%we are getting the subscription callback for func id 200
[INFO ] Send data to client_fd 3
imsi: 1 -> 1.88423e+08 kbps
[INFO ] Send data to client_fd 3
[INFO ] Send data to client_fd 3
[INFO ] Send data to client_fd 3
```



Verificando as Métricas Coletadas

A xApp `kpm_simple` armazena as métricas coletadas em um banco de dados InfluxDB. Podemos acessar o InfluxDB para verificar se as métricas estão sendo armazenadas corretamente. Para isso, primeiramente vamos verificar se o serviço do InfluxDB está em execução no namespace `influxdb` no Kubernetes:

```
1 kubectl get pods -n influxdb
```

Caso o InfluxDB esteja em execução, ele pode ser acessado através do endereço `https://openranXX.rj.testbeds.rnp.br/` no navegador web, utilizando as seguintes credenciais:

- Username: `openranbr`
- Password: `openranbr`

“ **Nota:** Substituir `XX` pelo número do seu usuário fornecido no minicurso.

Hands-on



Ao logar no InfluxDB, você poderá ver as métricas coletadas pela xApp. Para isso, navegue até a seção "Data Explorer", conforme mostrado na imagem abaixo:

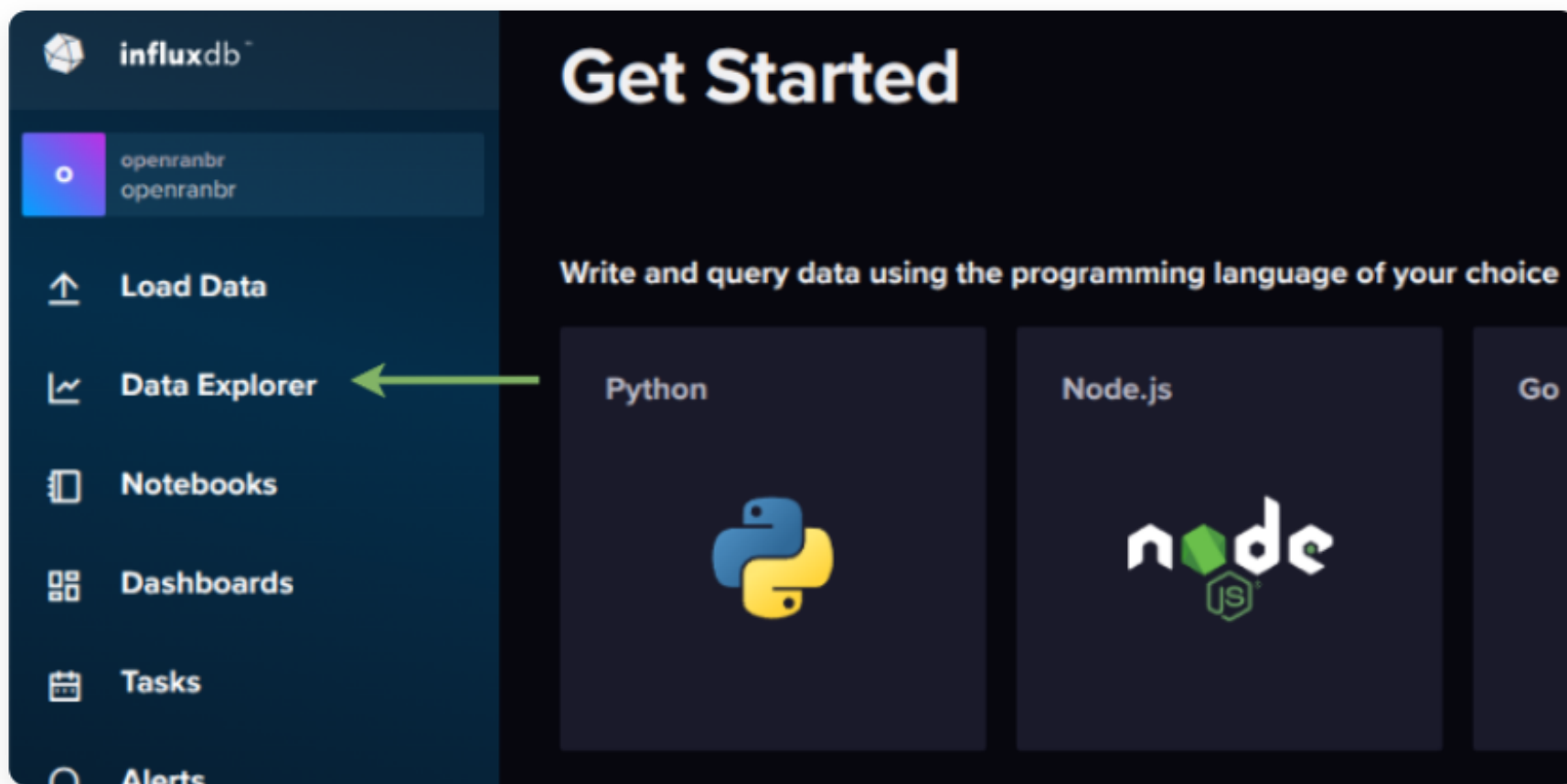


fig. 5: Home do InfluxDB.

Hands-on

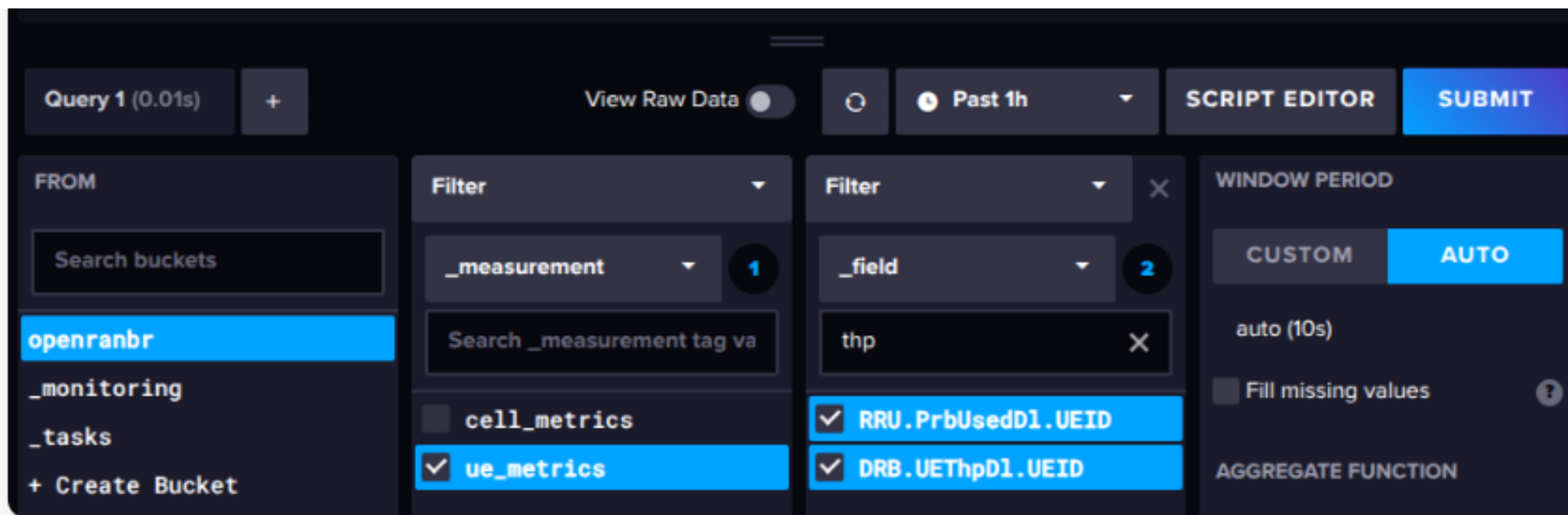


fig. 6: Filtrando e visualizando as métricas no InfluxDB.



Considerações Finais



Considerações Finais



- **Open RAN promete revolucionar como as redes são projetadas, implantadas e gerenciadas.**
- Com base nas informações fornecidas pela ONF, Linux Foundation e a plataforma OAI (OpenAirInterface), destacamos as seguintes conclusões





Desenvolvimento de uma infraestrutura de comunicação moderna e flexível

- O projeto OpenRAN@Brasil tem o potencial de desenvolver uma infraestrutura de comunicação moderna e flexível, capaz de se adaptar rapidamente às demandas em constante evolução
- Assim, o país poderá aproveitar as novas oportunidades proporcionadas pelas tecnologias emergentes





Estímulo à concorrência e redução de custos

- Adoção do open RAN pode abrir espaço para entrada de novos fornecedores de hardware/software, aumentando a concorrência no mercado de telecom.
- Redução de custos para as operadoras.
- Interoperabilidade entre diferentes componentes permite a escolha de soluções mais adequadas para determinados cenários.
- Serviços mais acessíveis e de melhor qualidade.
Redução da dependência de apenas um único fornecedor.



Fortalecimento da indústria nacional de tecnologia

- OpenRAN@Brasil pode impulsionar o desenvolvimento da indústria nacional de tecnologia, incentivando a colaboração entre empresas, universidades e institutos de pesquisa
- A plataforma aberta do Programa permite o desenvolvimento de soluções personalizadas
- Fortalecimento da capacidade de inovação do país
- Criação de oportunidades de negócio, exportação de tecnologia e criação de empregos qualificados



Expansão de conectividade em áreas remotas e rurais

- Potencial de levar conectividade de alta qualidade para áreas remotas e rurais, onde a infraestrutura é limitada
- Inclusão digital nessas regiões
- Redução na desigualdade social através do acesso igualitário a serviços de comunicação e internet





Colaboração global e intercâmbio de conhecimentos

- O programa OpenRAN@Brasil se beneficia da colaboração global com organizações internacionais
 - ONF, Linux Foundation e OAI.
- Promove o intercâmbio de conhecimentos, melhores práticas
- Troca de experiências com outros países que estão desenvolvendo tecnologias similares
- Amplia o alcance do projeto, aumentando a sua relevância internacional
- Atrair investimentos e apoio técnico de organizações internacionais

Considerações Finais



Open RAN tem o potencial de impulsionar uma série de avanços e aplicações inovadoras nas redes de comunicação

- É esperado que através da flexibilidade e interoperabilidade oferecida pelo Open RAN, surjam novos serviços e modelos de negócios
 - Expansão da gama de aplicativos: cidades inteligentes, automação industrial, saúde digital
- Impulscionamento da transformação digital em diversos setores

Considerações Finais



O Programa OpenRAN@Brasil tem o potencial de revolucionar as redes de comunicação nos país.

- Estimulando a inovação
- Reduzindo os custos
- Fortalecendo a indústria nacional
- Expandindo a conectividade
- Promovendo a colaboração global



Considerações Finais



O Open RAN oferece uma visão promissora de um futuro mais aberto, inclusivo e eficiente em termos de custos para as telecomunicações brasileiras



Obrigado!

Maiores Informações

<http://openranbrasil.org.br>
contato@openranbrasil.org.br



Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - 2025



Do Conceito à Prática: Softwarização e Orquestração de Redes Open RAN no Testbed OpenRAN@Brasil

Fernando N. N. Farias, Lucas Borges e Murilo Silva