

Redes 4G/5G Comunitárias no Brasil

Raphael Vicente Rosa, David Moura, Christian Esteve Rothenberg

Introdução

Escopo

Este relatório técnico é resultado do projeto “Redes LTE Comunitárias no Brasil: Modelamento, Implantação e Manutenção Sustentáveis com base em Novos Paradigmas de Redes”, financiado pelo Auxílio à Pesquisa Regular da FAPESP (Processo: 18/23101-0).

Mesmo que a proposição do projeto defina o padrão Long Term Evolution (LTE) consolidado para utilização em redes do padrão móvel 4G, este relatório explora também a utilização deste mesmo padrão em redes móveis com o padrão 5G. Tal motivo é explicado na descrição dos aspectos teóricos de redes 4G e 5G na seção Modelamento. Portanto, ao longo do trabalho é comumente utilizada a terminologia 4G/5G quando abordando a construção de redes comunitárias com padrões de redes móveis.

Definição de Rede Comunitária

Segundo a declaração feita pelo Encontro de Redes Comunitárias da América Latina, realizado em 2018, a seguinte definição é estabelecida:

“As redes comunitárias são redes de propriedade coletiva e gerenciadas pela comunidade sem fins lucrativos e para propósitos comunitários. São constituídos por coletivos, comunidades indígenas ou organizações sem fins lucrativos, organizações da sociedade civil que exercem seu direito de comunicar, sob os princípios da democracia, participação de seus membros, justiça, igualdade de gênero, diversidade e pluralidade.”

Em uma perspectiva semelhante, o grupo DC3 (Dynamic Coalition on Community Connectivity) do Fórum Mundial de Governança da Internet (IGF) [7] propõe que redes comunitárias “são estruturadas para serem abertas, gratuitas e respeitar a neutralidade da rede. Essas redes contam com a participação ativa das comunidades locais no projeto, desenvolvimento, implantação e gerenciamento de infraestrutura compartilhada como um recurso comum, de propriedade da comunidade e operado de forma democrática”.

Este relatório contempla redes comunitárias sob tais definições.

Redes comunitárias existentes no Brasil

O Anexo I contém o material produzido no levantamento de 08 (oito) redes comunitárias no Brasil. É importante salientar que existem diversas outras redes comunitárias em operação no Brasil, porém não documentadas.

A maior importância da definição deste catálogo, mesmo que breve, diz respeito ao entendimento das principais dificuldades dos projetos realizados, tais como a forma de financiamento do projeto, a busca por um enlace de acesso a Internet, ou até mesmo a montagem da infraestrutura da rede.

Os dados obtidos mostram que:

- Todas as redes comunitárias utilizam a tecnologia WiFi, nos modos malha e ponto de acesso;
- A conexão à Internet das redes comunitárias catalogadas ocorre por diversas formas, como enlaces via rádio e fibra óptica;
- Não existe um padrão de equipamentos utilizados nas redes analisadas, isto é a configuração dos roteadores wifi se dá de diversas formas;
- Cada uma das redes propõe seu próprio modelo de sustentabilidade, ora por união de moradores de uma região ora por manutenção de um portal de acesso;
- As comunidades em sua maioria se localizam em ambientes rurais.

Pontos importantes a serem levantados com detalhes sobre tais redes comunitárias seriam: (i) para quais propósitos as redes foram construídas e como elas estão sendo utilizadas (e.g., uma análise sobre o perfil de tráfego); (ii) qual a capacitação dos membros de tais comunidades a respeito de conhecimentos sobre a Internet e a Web; (iii) quais os principais problemas técnicos enfrentados pela comunidade e suas respectivas soluções.

Perspectivas sobre redes 4G/5G comunitárias no Brasil

Pontos importantes levantados sobre as redes comunitárias no Brasil fortalecem as prerrogativas para a proposição de redes comunitárias que utilizem tecnologias de conectividade móvel, como 4G e 5G, aqui reiterados:

- Cerca de 34% dos brasileiros não possuem acesso à Internet;
- No Brasil, a grande parte das classes D/E se conectam à Internet exclusivamente por acesso móvel, tanto em áreas urbanas quanto rurais;
- O acesso à Internet auxilia fortemente a promover o desenvolvimento social, econômico e tecnológico;
- Redes comunitárias permitem modelos sustentáveis de conexão acessível à Internet;
- Diversas organizações e fóruns, como Internet Society e IGF DC3, promovem o desenvolvimento e implantação de redes comunitárias;
- O padrão LTE, modelado em redes 4G e projetado para redes 5G, começou a ser estudado e implantado em redes comunitárias;

- Novos paradigmas de rede, como SDN e NFV, permitem modelos eficientes e inteligentes de controle e gerência de operações;
- O padrão LTE foi pouco estudado e explorado no sentido de propostas de evolução, baseadas em conceitos inovadores de SDN e NFV, para fins de redes comunitárias.

No entanto, existem considerações importantes quanto à implantação de redes 4G/5G comunitárias no Brasil, elaboradas nos tópicos a seguir.

- **Licença de Espectro:** o padrão WiFi e suas redes operam em faixas de espectros de frequência não licenciados (e.g., 2.4GHz e 5GHz), isto é, livres para utilização em redes privadas. No que diz respeito a outras faixas de frequência licenciadas utilizadas por redes móveis 4G/5G, a ANATEL emitiu uma resolução que elimina os requisitos de licenciamento para provedores com menos de 5.000 usuários, i.e., os provedores qualificados de “Serviços Privados Limitados” devem notificar o governo de sua intenção de fornecer serviços e cumprir certas regras de autorização de equipamentos. No entanto, eles não são obrigados a obter uma licença de serviço conforme Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017 [10].
- **Viabilidade técnica:** ainda que existam requisitos legais para implantação de redes comunitárias utilizando padrões de redes móveis 4G e/ou 5G, diferente de redes Wifi comumente utilizadas em todo o mundo, um importante desafio relacionado a redes móveis diz respeito à sua complexidade técnica para usuários comuns. Considerações a respeito de treinamento de conceitos teóricos mínimos, entendimento sobre os requisitos funcionais e operacionais de redes móveis 4G/5G são aspectos fundamentais na implantação de redes comunitárias com tais padrões.

Modelamento

Fundamentos de Redes Móveis 4G/5G

Tecnologias associadas a redes móveis vêm sendo desenvolvidas há mais de 40 anos. O principal órgão de desenvolvimento de padrões relacionados a essas tecnologias, 3GPP (3rd Generation Partnership Project), já publicou padrões relacionados a redes 3G (redes de acesso suportando capacidades de transmissão de dados na ordem de centenas de Kilobits por segundo), 4G (redes que expandiram o acesso à transmissão de dados na ordem de Megabits por segundo), e por último 5G (redes que propõem comunicação de dados na ordem de Gigabits por segundo).

Existe uma ampla literatura (e.g., [8] e [9]) relacionada a explicação de redes móveis. Isso posto, esta seção busca apenas expor os fundamentos e principais características de tais redes sem rigorosidade acadêmica, de forma que tal entendimento adicionado às referências seja suficiente para compreender o restante deste relatório.

Conforme mostrado na Figura 1, uma rede de acesso móvel (ou celular, como comumente é conhecida) é constituída por:

- **Rede de acesso de rádio:** composta por uma rede de conexão denominada *backhaul*, estações rádio base (comumente denominadas por eNodeB em 4G e gNodeB em 5G), e equipamentos de usuários (User Equipments - UEs), conforme descritos abaixo:
 - **Rede de conexão backhaul:** consiste no conjunto de cabeamento e equipamentos de comutação (switches e roteadores) que interligam uma ou mais estações rádio base ao núcleo da rede móvel.
 - **Estação rádio base:** componente responsável por realizar a transmissão e recepção de sinais (ondas eletromagnéticas) com equipamentos de usuário via canais na rede sem fio móvel, bem como a conversão de dados provenientes da rede backhaul em ondas eletromagnéticas, e vice-versa. A definição dos padrões 4G e 5G especificam como tais conversões são realizadas. Dessa forma uma estação rádio base faz toda a intermediação entre o meio sem fio e o meio cabeado de uma rede de acesso móvel, encaminhando os devidos meios de controle (e.g., autenticação) do equipamento de usuário ao núcleo da rede assim como os dados de tal usuário.
- **Núcleo de rede:** responsável por realizar toda a parte de controle da rede de acesso móvel, por exemplo como equipamentos de usuários se autenticam para que possam realizar a transmissão de dados em uma determinada rede de acesso móvel. Ou seja, além do controle da rede de acesso móvel, o núcleo de rede também define como os equipamentos de usuário se comunicam com a Internet. O núcleo de rede possui uma miríade de funcionalidades definidas nos padrões 4G e 5G, dentre as quais suas principais serão detalhadas a seguir.
- **Link de interconexão com a Internet:** define o meio de interconexão da rede de acesso móvel com a Internet, por onde todo o tráfego de equipamentos de usuários conectados a tais redes irá ser transmitido.

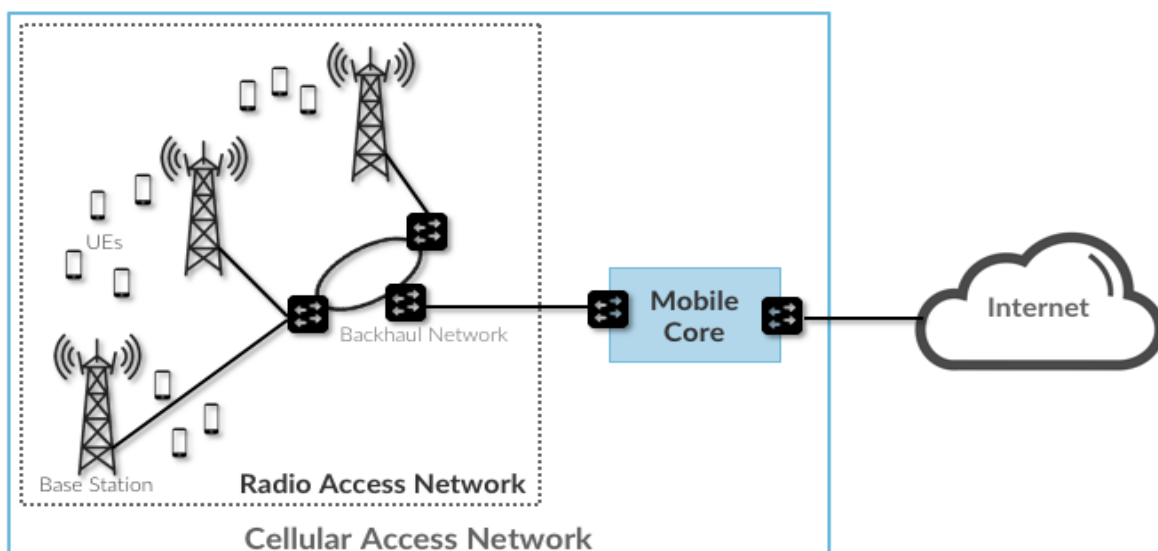


Figura 1 - Arquitetura de redes móveis 4G/5G.
(Extraída de <https://5g.systemsapproach.org/>)

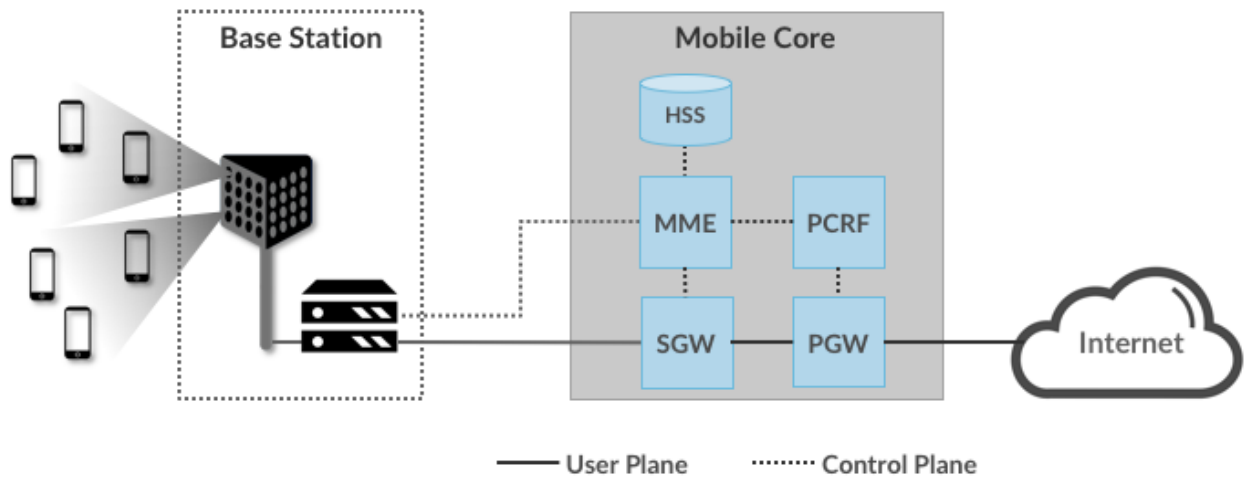


Figura 2 - Detalhes do núcleo de rede 4G em uma rede móvel.
(Extraída de <https://5g.systemsapproach.org/>)

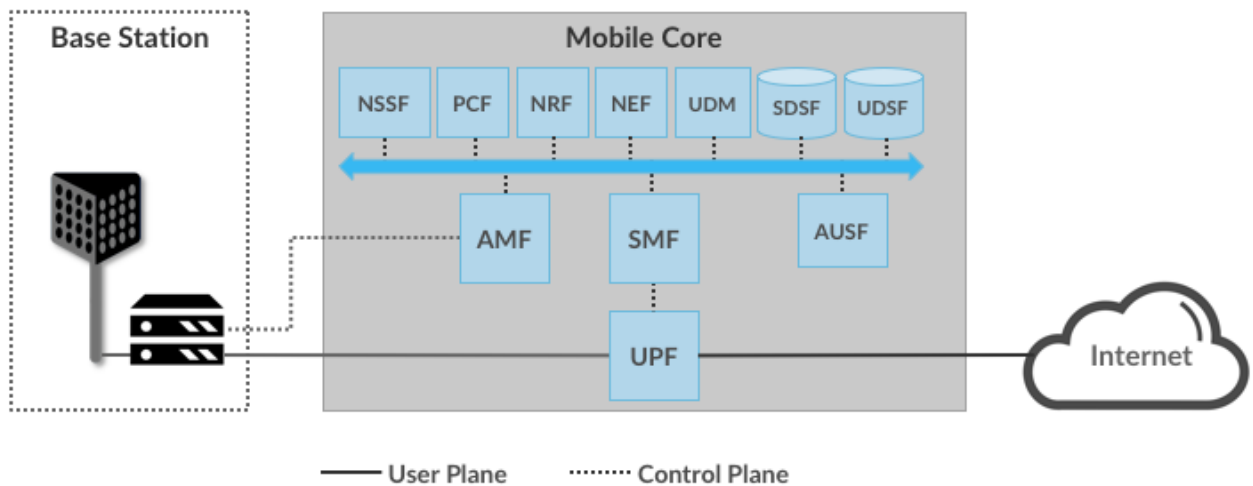


Figura 3 - Detalhes do núcleo de rede 5G em uma rede móvel.
(Extraída de <https://5g.systemsapproach.org/>)

Nas Figuras 2 e 3 acima estão apresentados em detalhes os componentes do núcleo de rede 4G e 5G. Em ambas as figuras, é ressaltada a diferença entre o plano de dados (ou também comumente conhecido como plano de usuário) e o plano de controle. Neste caso, um plano é definido como um conjunto de funcionalidades. Ou seja, na rede 4G as funcionalidades relacionadas a transmissão de dados dos usuários (plano de dados) são definidas pelos componentes SGW e PGW enquanto na rede 5G tais funcionalidades (plano de dados) são definidas pelo componente UPF. Já as funcionalidades do plano de controle (relacionadas aos mecanismos de identificação, autenticação, políticas de acesso, entre outros) são definidas por arquiteturas contendo diferentes componentes quando se comparam as redes 4G e 5G.

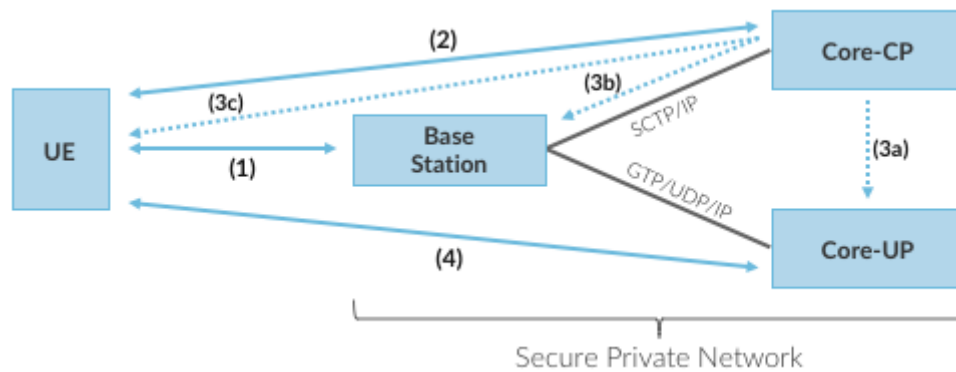


Figura 4 - Sequência de passos de conexão de usuário a rede de acesso móvel.

(Extraída de <https://5g.systemsapproach.org/>)

Por sua vez, a Figura 4 detalha os passos básicos para estabelecimento de conexão entre um equipamento de usuário e os planos de controle e dados do núcleo de rede, como listado a seguir:

1. O equipamento de usuário realiza o reconhecimento do espectro de frequência no qual a estação rádio base opera, e realiza a sinalização via canal sem fio para que o mesmo seja estabelecido. A estação rádio base realiza a alocação dos recursos de rádio para o equipamento de usuário. Nesta fase, é importante observar que ambos os equipamentos, usuário e estação rádio base, devem apresentar suporte à operação na mesma faixa de frequência.
2. O equipamento de usuário realiza sua identificação e autenticação com o plano de controle do núcleo de rede. A partir deste passo, todo o tráfego entre o equipamento de usuário e o núcleo de rede passa a ser encriptado. A autenticação é realizada por meio de informações programadas no cartão SIM do equipamento de usuário, assim como informações registradas no núcleo de rede que detém associação com os dados contidos no cartão SIM do equipamento de usuário.
3. Após a identificação e autenticação do equipamento de usuário serem realizadas pelo núcleo de rede, este realiza a sinalização com o plano de dados para alocar os recursos a serem dedicados a transmitir o tráfego do equipamento de usuário (passo 3a); sinaliza a estação rádio base a dedicar os recursos de tráfego ao equipamento de usuário (passo 3b); e também sinalizando ao equipamento de usuário os mecanismos para iniciar a transmitir tráfego encriptado (passo 3c).
4. A partir de então o equipamento de usuário realiza, com as devidas alocações de recursos na estação rádio base e no plano de dados do núcleo de rede, a transmissão de tráfego, de modo a permitir a comunicação com a Internet.

Faz-se mister destacar que existe uma pluralidade de detalhes na realização dos passos acima listados. No entanto, a especificação supra foi adotada com o fito de permitir um entendimento básico sobre a forma como um equipamento de usuário realiza a comunicação com a Internet por meio de uma rede de acesso móvel como 4G e 5G.

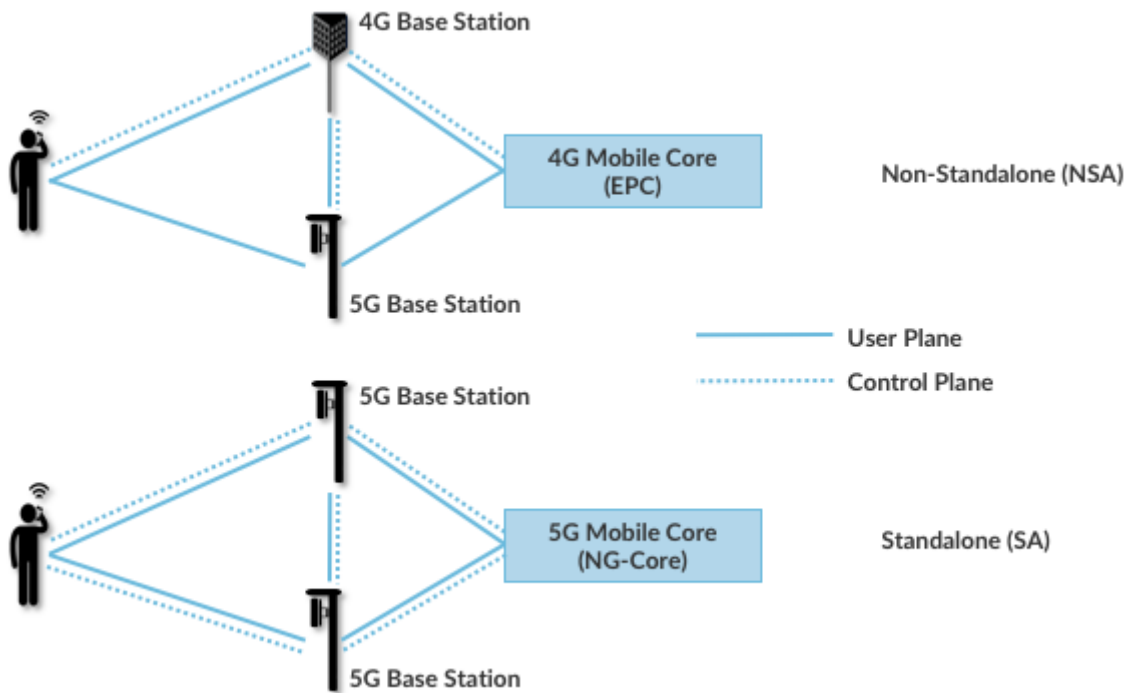


Figura 5 - Modelos de operacionalização de redes móveis 4G e 5G.
(Extraída de <https://5g.systemsapproach.org/>)

A padronização das redes de acesso móvel 4G e 5G permitem a implantação de tais redes de diferentes formas no que diz respeito a associação de núcleo de rede e estação rádio base de tais padrões, como apresentado na Figura 5, e detalhado abaixo:

- 4G Standalone: núcleo de rede e estação rádio base operando no padrão 4G;
- 5G Standalone: núcleo de rede e estação rádio base operando no padrão 5G;
- 5G Non-Standalone: núcleo de rede operando no padrão 4G e estação rádio base operando no padrão 5G.

Esse modelo 5G Non-Standalone permite que a transição entre os padrões 4G e 5G seja gradual, e que ambos modelos da rede de acesso via rádio sejam interoperáveis.

Tecnologias Habilitadoras

As principais tecnologias habilitadoras definidas no escopo deste relatório são aquelas que se valem de código livre, i.e., abertas para utilização em redes comunitárias.

As tecnologias habilitadoras se distinguem em dois grupos:

- Estação rádio base: srsRAN (eNodeB/gNodeB), OAI (eNodeB/gNodeB)
- Núcleo de rede: Open5GS (4G/5G), SD-CORE (4G/5G)

As tecnologias acima estão detalhadas no Anexo 2 deste relatório. Uma abordagem comparativa elucida as principais características das tecnologias. Os principais aspectos a serem observados são: facilidade de entendimento das funcionalidades e meios de depuração de problemas por uma documentação completa e uma comunidade de membros ativos; o suporte bem detalhado dos requisitos mínimos operacionais de instalação (hardware e software), e verificação de funcionamento dos componentes da tecnologia,

para que sejam providos meios eficazes de análise de métricas de desempenho, seja por logs ou ferramentas oferecidas pela tecnologia; e configurabilidade e/ou parametrização dos componentes mais importantes de funcionamento da tecnologia, no caso da estação rádio base seria por exemplo a banda de frequência, e no caso do núcleo de rede seriam os dados dos equipamentos de usuário.

Tomando por base tais aspectos, em se tratando da estação rádio base a tecnologia srsRAN apresenta melhores indicadores, principalmente no que diz respeito a ampla e compreensível documentação, integração com diferentes componentes de hardware, facilidade de gerenciamento e depuração de rede, além de exemplos e tutoriais bem elaborados.

Em relação ao núcleo de rede, ambos projetos Open5GS e SD-CORE apresentam facilidade de configuração, comunidade ativa, documentação detalhada e exemplos de implementação e integração com componentes de hardware, no entanto a tecnologia Open5GS se destaca por permitir que seus componentes sejam executados como serviços em ambiente de sistema operacional, e não necessariamente em um ambiente de virtualização como no caso do SD-CORE.

O fato de todas as tecnologias proverem suporte às redes 4G e 5G facilita a oportunidade de escolha de uma delas ser dependente dos requisitos de hardware e software a serem oferecidos numa implantação de tais redes.

Implantação

Análise de Requisitos

Acesso à Internet

A comunidade deve determinar se a rede comunitária irá estabelecer comunicação com a Internet, ou somente será utilizada para a comunicação entre os usuários da mesma. Isso irá determinar como será realizado o enlace de acesso a Internet, e influenciar no posicionamento dos equipamentos da rede comunitária 4G/5G. I.e., o local de instalação dos equipamentos deve ser protegido de eventos naturais e ter acesso a energia elétrica.

Dimensionamento e Análise de Custos

O dimensionamento de uma rede deve ser a parte mais importante da rede comunitária 4G/5G, vide exemplo em [5]. Dimensionar a rede significa determinar os requisitos operacionais da mesma, e logo quais os equipamentos e configurações necessários para atender tais requisitos.

Nesse caso, o principal ponto de dimensionamento de uma rede comunitária é determinar a cobertura esperada do sinal (raio de alcance) e o número de usuários conectados à rede. Com tais parâmetros determinados, as tecnologias habilitadoras determinam os componentes de hardware necessários para habilitar o desempenho esperado (cobertura de sinal e número de usuários) conforme os parâmetros disponíveis para realizar tal configuração da rede.

Esses parâmetros irão determinar a altitude da torre onde a antena será instalada, os comprimentos dos cabos, e as características de hardware que serão utilizadas em um ou mais computadores que irão executar os softwares que realizam as funções de estação rádio base e núcleo de rede.

Por fim, é importante ressaltar que o dimensionamento de uma rede 4G/5G depende de uma grande variedade de fatores, tais como: a altura da antena, o modelo de propagação de sinal, o tipo de terreno onde a antena é instalada, a quantidade esperada de usuários conectados à rede, a mobilidade dos usuários na rede, a frequência de modulação do sinal, a largura de banda utilizada.

O anexo 4 fornece um exemplo de dimensionamento de uma rede móvel 4G/5G.

Espectro

As características de dimensionamento da rede comunitária 4G/5G devem ter como principal requisito operacional o espectro, i.e., a faixa de frequência que a rede irá utilizar. No Brasil, tal espectro deve ser requisitado para ser licenciado para uma rede móvel 4G/5G pela obtenção de Serviço Limitado Privado (SLP) junto à ANATEL. Como resolução da ANATEL, uma rede comunitária 4G/5G se encaixa em tal modelo de provimento de serviço desde que atenda a menos de 5 mil usuários. A depender da localidade da rede, a ANATEL irá determinar qual a faixa de frequência a ser utilizada pela mesma, e qual a potência do sinal a ser empregada em tal rede.

Capacitação

O ponto fundamental na implantação de uma rede comunitária diz respeito à própria capacitação da comunidade para construir a rede e mantê-la operacional.

Uma rede comunitária 4G/5G detém particularidades na sua arquitetura, a qual adiciona diversas complexidades quando comparada a uma rede com a tecnologia WiFi.

A introdução teórica apresentada na seção Modelamento, Fundamentos de redes 4G/5G, propõe abordar o início de tal capacitação, propondo uma breve introdução teórica ao assunto.

Após abordados tais fundamentos, o principal ponto de capacitação a ser realizado diz respeito a familiarização com as tecnologias habilitadoras a serem utilizadas na implantação da rede comunitária.

Os pontos fundamentais de aprendizado são:

- **Instalação/desinstalação:** entender os principais requisitos de hardware e software da tecnologia habilitadora;
- **Configuração:** entender os parâmetros de configuração da estação rádio base e do núcleo de rede, os quais irão determinar as capacidades operacionais da rede, tal como a banda de frequência autorizada para a rede operar, entre outros parâmetros que podem determinar o desempenho da rede;

- **Verificação:** entender quando a tecnologia habilitadora apresenta (ou não) o comportamento esperado operacional, por meio de leitura de eventos que a mesma oferece, tais como logs e métricas. Dessa forma deve ser possível determinar aspectos fundamentais de operação da rede, tais como o número de usuários conectados a rede, a quantidade de tráfego transmitida pelos componentes da rede, e erros operacionais comuns;
- **Manutenção:** entender como depurar os erros operacionais comuns, as principais maneiras de alteração das configurações para adicionar e/ou remover usuários a rede, reconfigurar uma estação rádio base, e calibrar os parâmetros operacionais conforme a demanda de tráfego.

Instalação

Nesta seção são analisadas as formas de instalação de tecnologias habilitadoras para o núcleo da rede e a estação rádio base. As tecnologias escolhidas são: srsRAN e Open5Gs. Os motivos da escolha se devem à extensa documentação, facilidade de configuração e execução, além de amplo suporte da comunidade de desenvolvedores e integração com diversos outros componentes de código livre e comerciais.

Recomenda-se a instalação em um servidor com as seguintes configurações mínimas:

- Processador i5-8500
- Memória 16GB
- HD 120 GB
- Placa de rede com interface Ethernet 1Gbps
- Sistema Operacional Ubuntu 20.04

Os guias de instalação e configuração das tecnologias habilitadoras para uma rede móvel 4G estão definidos no Anexo 3. As definições dos parâmetros de configuração das tecnologias devem ser feitas na fase de modelamento da rede (e.g., MCC, MCC, TAC, canal de frequência de operação, etc).

Manutenção

Operações e Gerenciamento

Os principais aspectos técnicos relacionados à operação e gerência de uma rede comunitária 4G/5G se associam à:

- **Adição/Remoção de membros/usuários:** os mecanismos de configuração das tecnologias habilitadoras do núcleo de rede fornecem meios de adicionar e remover usuários da rede. Para que novos usuários sejam adicionados, deve ser realizada a gravação de um novo cartão SIM o qual deve ser adicionado ao equipamento do usuário. As configurações do cartão SIM podem ser adicionadas por equipamentos de hardware e software comerciais (i.e., SIM card writer). Além disso, os operadores da rede devem adquirir cartões SIM graváveis. Para a remoção de usuário é necessário que somente o registro do usuário seja removido dos registros do núcleo de rede.
- **Manutenção dos equipamentos de hardware:** conforme a rede necessite escalar para dar maior capacidade ao número de usuários e/ou capacidade de tráfego, caso

a tecnologia habilitadora ofereça métricas de desempenho proporcionais a disponibilidade de recursos de hardware (e.g., CPU e memória), o operador de rede deve monitorar periodicamente a utilização dos recursos de hardware pelas tecnologias habilitadoras em operação.

- **Manutenção de software:** os recursos de software definidos como requisitos das tecnologias habilitadoras (e.g., sistema operacional, módulos de kernel, pacotes de programas) devem ser verificados e continuamente atualizados para dar suporte a possíveis atualizações que as tecnologias habilitadoras possam necessitar. O operador da rede deve ter capacidade de entender os requisitos, realizar atualizações de software continuamente e planejar as mesmas para que não sejam disruptivas para a operação da rede comunitária.
- **Recuperação de falhas:** ao longo da utilização de recursos de software e hardware diferentes tipos de falhas podem acontecer (e.g., falhas de disco). As manutenções preventivas de hardware e software são importantes para evitar tais falhas. No entanto, mesmo que tais falhas ocorram, o operador de rede deve ter um plano de resposta de incidentes para a rede, tornando a mesma habilitada para receber manutenções que faça o restabelecimento do estado de operação. Nesse aspecto, o ponto mais importante é a realização de backups de configurações do sistema e scripts de instalação, para o caso de eventuais falhas graves que componentes hardwares e softwares sejam restabelecidos rapidamente em suas devidas funções.

Aspectos Não Técnicos

Os principais aspectos não técnicos relacionados à operação e gerência de uma rede comunitária 4G/5G se associam à:

- **Manutenção da licença de utilização de espectro:** em geral o operador responsável pelo licenciamento do espectro junto a agência reguladora, deve manter atualizado tal registro para que a mesma não seja operada ilegalmente.
- **Acesso à Internet e energia elétrica:** mecanismos contínuos de manutenção dos provedores de acesso à Internet e à energia elétrica devem ser implementados para a manutenção da rede comunitária, de modo que sejam estabelecidos protocolos com as devidas documentações das formalidades necessárias a serem realizadas junto aos órgãos provedores de tais acessos, i.e., empresa fornecedora de enlace de acesso à Internet e empresa prestadora de fornecimento de energia elétrica (quando não utilizados meios independentes de acesso à energia elétrica, tal como energia proveniente de painéis solares).
- **Proteção física de equipamentos:** o operador da rede deve prezar pela manutenção dos equipamentos em bom estado de funcionamento, habilitando os mesmos à proteção por eventos naturais (e.g., descargas elétricas, inundações, poeira) e ao seu respectivo patrimônio.

Discussão

Esta seção tem por objetivo levantar pontos fundamentais relacionados não somente aos aspectos técnicos deste relatório, bem como relacionados aos aspectos sócio-político-culturais relacionados a tais redes no Brasil.

Panorama de redes comunitárias no Brasil

Embora redes comunitárias sejam difundidas e implementadas continuamente por todo o mundo, como proposto em [1], ainda no Brasil a cultura de construção de tais redes merece maior difusão tanto técnica quanto cultural. Existem coletivos e organizações não governamentais que são de suma importância em realizar este papel atualmente no Brasil. Este relatório pode servir como um guia inicial à construção de redes comunitárias 4G/5G para o desenvolvimento de oficinas. Uma vez que redes comunitárias 4G e 5G possam ser instaladas no Brasil as mesmas se alinham aos critérios levantados inicialmente na proposta de atividades deste relatório. Isto é, a maior parte da população brasileira das classes C e D se conectam a internet por meio de acesso móvel, sendo tal desigualdade maior em áreas rurais, as quais têm maior carência de acesso a internet [4]. Portanto, redes comunitárias 4G/5G podem ser uma boa opção para auxiliar o aumento do acesso à Internet no Brasil. Uma rede comunitária 4G/5G demanda maiores investimentos para implementação (quando comparada a uma rede WiFi), no entanto dependendo de seu modo de implementação seus benefícios podem ser maiores (e.g., ampla possibilidade de alcance de áreas remotas rurais, comunicação via celular, facilidade de controle e gerência de usuários/tráfego).

Uma análise comparativa ao WiFi

Comparadas às redes WiFi, redes 4G/5G tem uma grande diversidade de componentes e parâmetros que aderem muita complexidade a seu modelamento, implementação e manutenção. Em geral, redes comunitárias WiFi já possuem um enorme suporte de desenvolvedores de componentes de software e hardware, como o LibreMesh. Isso propicia a tais redes uma enorme facilidade para que usuários leigos em tecnologias consigam construir e operar uma rede WiFi de maneira simples. Em geral, redes móveis (3G, 4G, 5G, etc) foram desenvolvidas para operar em larga escala seguindo padrões rígidos de operação de grandes provedores de serviços comerciais (i.e., operadoras de telecomunicação). A utilização de redes móveis para implementações em empresas somente veio a ser assunto discutido para redes 5G. Portanto, apesar da diversidade de tecnologias de código livre, bem documentadas e testadas, ainda não existem conhecimento e cultura comuns que sejam direcionadas a usuários leigos de forma a tornar factível o conhecimento de redes móveis 4G e 5G, para sua implantação de forma similar a uma rede WiFi, vide exemplo em [6]. Neste sentido, este relatório se aproxima de tal abordagem, iniciando um caminho para a democratização de tais redes, principalmente para os fins de implantação de redes comunitárias.

Políticas Públicas

Um importante aspecto, e talvez o mais fundamental de todos, das redes móveis diz respeito à utilização de espectro licenciado para operação. Em alguns países, como EUA e Alemanha, algumas iniciativas já tomaram forma para propiciar o acesso ao espectro para redes móveis como um serviço nacional. Tais iniciativas se alinham a democratização do acesso ao espectro como um bem comum a população, realizando tal façanha por meio de compartilhamento do mesmo, como no caso do CBRS nos EUA. No Brasil a ANATEL ainda não possui uma resolução clara que determine meios fáceis para que usuários comuns possam realizar alocações de espectros licenciados como um serviço a fim de habilitar a construção de redes privadas móveis. Principalmente em áreas remotas, tal abordagem

seria de excelente valia para casos de uso específicos (e.g., compartilhamento de conteúdos para escolas, coletas de dados de sensores em áreas rurais, e segurança pública). O Fundo de Universalização dos Serviços de Telecomunicações (FUST) é destinado, entre outros fatores, à democratização do acesso a Internet no Brasil, e juntamente a uma política não proibitiva (visando o compartilhamento acessível nos princípios de [3]) de acesso ao espectro de redes móveis seria possível habilitar iniciativas que levem a implementação de redes comunitárias 4G/5G no Brasil.

Conclusão

Este relatório apresenta uma abordagem baseada em redes móveis 4G/5G para a realização de redes comunitárias. O relatório é estabelecido em três partes: modelamento busca definir os conceitos básicos de redes 4G/5G e uma caracterização das tecnologias habilitadoras de código livre para tais redes; implantação define como uma rede 4G/5G comunitária pode ser planejada e implantada; e manutenção estabelece uma discussão sobre os principais fatores a serem considerados para manter a rede comunitária 4G/5G operacional. Uma breve discussão argumenta os fatores técnicos e sócio-político-culturais atrelados a redes comunitárias 4G/5G no Brasil. Por fim, fatores importantes a serem destacados neste relatório seguem elencados abaixo:

- **Investigação e detalhamento das redes comunitárias existentes no Brasil:** é importante salientar que trabalhos de implementação de redes comunitárias no Brasil têm sido feitos de forma pontual em trabalhos excelentes realizados por coletivos e organizações não governamentais e/ou sem fins lucrativos. O mapeamento de tais redes, seguindo modelos como [2], em seus devidos detalhes sob uma ótica de levantamento de requisitos operacionais (e.g., principais falhas, métodos de manutenção, desempenhos obtido e almejado) podem tornar o trabalho de implementação de novas redes comunitárias possivelmente melhor planejado e realizado.
- **Desafios de capacitação técnica:** redes móveis 4G/5G detém diversos empecilhos operacionais, dentre eles a capacitação de operadores das mesmas. Parte fundamental de realizar a manutenção de uma rede móvel envolve o conhecimento das tecnologias envolvidas, protocolos e mecanismos de operação e depuração de problemas. Comparadas a redes WiFi, redes móveis possuem uma enorme complexidade operacional o que dificulta sua ampla utilização para os fins de redes comunitárias. Logo, para que as mesmas possam ser realizadas, um amplo trabalho de democratização do conhecimento sobre os fundamentos e tecnologias de redes móveis deve ser realizado. Este relatório almeja ser o ponto de partida de tal fundamentação.
- **Políticas públicas:** Ao que se define em termos legais no Brasil uma rede comunitária se encaixa em um perfil de Serviço Limitado Privado segundo resoluções da ANATEL. Ainda que não seja necessária a realização de uma devida formalização de documentação de provedor de serviço para os fins de implementação de uma rede comunitária, incentivos podem ser definidos pela ANATEL em novas resoluções as quais podem facilitar a alocação compartilhada de espectro (e.g., como CBRS nos EUA) e acesso aos recursos do FUST para implementação de redes comunitárias 4G/5G.

- **Necessidade de investigações com vistas à simplificação da operacionalização:** o ponto mais importante deste relatório visa concluir que existem diversas oportunidades para a realização de pesquisas que demonstrem e implementem melhorias em redes móveis 4G/5G de forma a torná-las palpáveis a operacionalização por usuários leigos. Como sugestão, os pontos mais importantes que tais pesquisas podem abordar são: desenvolvimento de modelos que facilitem e habilitem facilidade e diversidade à mecanismos de dimensionamento de redes móveis, desde a modelagem teórica até medições em ambientes reais; simplificação de mecanismos de configuração de redes móveis, principalmente na realização de definição de parâmetros associados a camada física de tais redes, tais como frequência, largura de banda, entre outros; e por fim modelos dinâmicos e automatizados de tolerância a falhas para tais redes.

Referências

- [1] Declaration on Community Connectivity [Online] . Available:
["https://www.intgovforum.org/multilingual/index.php?q=filedepot_download/4391/1316"](https://www.intgovforum.org/multilingual/index.php?q=filedepot_download/4391/1316) .
- [2] A Questionnaire based Examination of Community Networks. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7450> Zenodo, Oct. 2013.
- [3] Alliance for Affordable Internet (A4AI), "2018 affordability
<https://a4ai.org/affordability-report/report/2018/> " .
- [4] Cetic.br - NIC.br - CGI.br, "Banda larga no brasil: um estudo sobre a evolução do acesso e da qualidade das conexões à internet," Cadernos NIC.br - Estudos Setoriais". Available:
<https://www.nic.br/publicacao/banda-larga-no-brasil-um-estudo-sobre-a-evolucao-do-acesso-e-da-qualidade-das-conexoes-a-internet/>
- [5] K. Farkas, C. Szabó, and Z. Horváth, "Planning of wireless community networks," 2009. Available:
Available: http://www.hit.bme.hu/farkask/publications/IGI_book_chapter.pdf
- [6] Internet Society - Matt Johnson and Spencer Sevilla, "Building a community lte network in bokondini, indonesia," Available:
<https://www.internetsociety.org/blog/2018/09/building-a-community-lte-network-in-bokondini-indonesia/> .
- [7] UN IGF Dynamic Coalition on Community Connectivity, "Community networks: the internet by the people, for the people – official outcome of the un igf dynamic coalition on community connectivity,"
http://www.intgovforum.org/multilingual/index.php?q=filedepot_download/4391/1132 " .
- [8] LTE Handbook [Online]. Available: https://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE.html
- [9] 5G Handbook [Online]. Available:
https://www.sharetechnote.com/html/5G/Handbook_5G_Index.html
- [10] Anatel, Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017 Available:
<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>

Anexo 1 - Panorama de redes comunitárias no Brasil

A metodologia desenvolvida e utilizada se deu pela definição de um modelo de descrição de uma rede comunitária, o qual foi utilizado para catalogar as principais redes comunitárias do Brasil. O modelo de catalogação de uma rede comunitária é descrito abaixo.

- Projeto: Nome do projeto da rede comunitária.
- Local: Cidade e Estado onde a rede comunitária se localiza.
- Detalhes do local: Observações importantes sobre a região onde a rede comunitária se localiza.
- Descrição do local: Observações sobre os aspectos técnicos relacionados à localização da rede comunitária, como o acesso a energia elétrica e viabilidade de criação da rede comunitária.
- Dificuldades: Problemas técnicos ou não encontrados na implementação da rede comunitária.
- Infraestrutura: Descrição da infraestrutura construída para a rede comunitária.
- Sustentabilidade: Modelo de manutenção da rede comunitária.
- Financiamento: Fonte de financiamento do serviço e infraestrutura da rede comunitária.
- Fonte: sítio web onde o material sobre a rede comunitária foi encontrado.

Abaixo segue uma lista das descrições das redes comunitárias encontradas, conforme cada uma das instituições pesquisadas.

Instituição: NUPEF

Projeto Penalva

- Local: Penalva (MA)
- Detalhes do local: comunidade quilombola do Bairro Novo, na cidade de Penalva, estado do Maranhão.
- Descrição do local: ausente de conexão, área com muitos conflitos e disputas entre fazendeiros e comunidades indígenas e quilombolas.
- Dificuldades: estão a falta de disponibilidade do serviço de acesso à internet e o preço alto, a falta de infraestrutura física para receber o link e o alto custo de torres e antenas.
- Infraestrutura: não descrita
- Sustentabilidade: não descrita
- Financiamento: Nupef
- Fonte: <https://nupef.org.br/rede-comunit%C3%A1ria-MA>

Instituição: COOLAB

Projeto Rede comunitária em Aldeia Velha

- Local: Silva Jardim (RJ)
- Detalhes do local: Associação de Moradores de Aldeia Velha (AMAVE), município de Silva Jardim, interior do Rio de Janeiro.
- Descrição do local: único provedor de Internet local opera via rádio, cobra caro e é alvo de constantes reclamações por parte dos moradores.
- Dificuldades: instalar um link de longa distância; encontrar pessoas para serem responsáveis pela operação da infraestrutura; existência de um provedor
- Infraestrutura: 6 nós em malha wifi, acesso a internet feito por provedor de rádio existente
- Sustentabilidade: grupo de moradoras mantém iniciativa local e Coolab presta apoio remoto
- Financiamento: Coolab
- Fonte: <https://www.coolab.org/2018/12/rede-comunitaria-em-aldeia-velha/>

Projeto Aldeia Jaexa Porã

- Local: Ubatuba, SP
- Detalhes do local: não descrita
- Descrição do local: não descrita
- Dificuldades: não descrita
- Infraestrutura: 200 usuários; 10 nós; conexão via satélite
- Sustentabilidade: não descrita
- Financiamento: não descrita
- Fonte: <https://www.coolab.org/2018/12/aldeia-jaexa-pora/>

Projeto Quilombo do Camburi

- Local: Ubatuba/SP
- Detalhes do local: extremo norte do litoral paulista, próximo à divisa com o estado do Rio de Janeiro
- Descrição do local: Quilombo Camburi próximo a cidade histórica de Paraty
- Dificuldades: alta vegetação dificultou interligação sem fio de roteadores
- Infraestrutura: 40 usuários, 8 pontos de acesso por portal captivo; Equipamento TP-Link CPE 210 Versão 1, TP-Link 740n; Software: LibreMesh; conexão via satélite
- Sustentabilidade: vender acesso temporário para os visitantes a praia por meio de portal captivo; comunidade local envolvida na solução do problema, planejando e executando
- Financiamento: Fundação Rosa Luxemburgo, Coolab, Actantes
- Fonte: <https://www.coolab.org/2018/12/quilombo-do-camburi/>

Projeto Fumaça

- Local: Resende/RJ
- Detalhes do local: rede comunitária da Fumaça
- Descrição do local: projeto da Nuvem Estação Rural de Arte e Tecnologia,
- Dificuldades: não descrita
- Infraestrutura: 200 usuários; 10 pontos de acesso; Equipamento: 10x WDR 3500, Rocket M5, NuraM Litecell; Software: Libremesh; Conexão: Ponto de wifi público
- Sustentabilidade: não descrita
- Financiamento: bolsa Commotion
- Fonte: <https://www.coolab.org/2018/12/fumaca/>

Projeto Bairro do Souza

- Local: Monteiro Lobato/SP
- Detalhes do local: associação Portal Sem Porteiras, sediada no Bairro dos Souza
- Descrição do local: grupo de moradores criou a associação Portal Sem Porteiras
- Dificuldades: não descrita
- Infraestrutura: torre para acomodar uma das antenas e alimentada por um sistema fotovoltaico na Pedra do Om, a montanha mais alta do bairro; 200 usuários; 12 pontos de acesso; Equipamento: ROCKETM5, CPE210, CPE510, WDR3500; Software: Libremesh; Conexão: Via ISP
- Sustentabilidade: A associação conta com dois grupos de trabalho que se organizam para planejar ações (Conselho de conteúdo) e conduzir estudos técnicos (Conselho técnico) em uma educação para as mídias.
- Financiamento: Coolab
- Fonte: <https://www.coolab.org/2018/12/bairro-do-souza/>

Projeto Rio Largo

- Local: Rio Largo (AL)
- Detalhes do local: Rio Largo, município pequeno ao lado de Maceió-Alagoas.
- Descrição do local:
- Dificuldades: logística de organização e montagem da rede
- Infraestrutura: provedor local, com fornecimento de link via fibra full duplex (R\$ 8,00 por mega mensais); Redes com LibreMesh em Rádios TPLink; redes wifi ponto-multiponto como bridges, redes mesh e também o uso de cabeamento a partir dos roteadores e switches instalados nos usuários;
- Sustentabilidade: processo de instalação e configuração foi feito pelas equipes de moradores; técnicos comunitários se candidataram; 3 lideranças comunitárias; ideias uso do portal comunitário como meio de comunicação e divulgação institucional de comércios locais no apoio a sustentabilidade da rede e também a criação de uma rádio/TV web via streaming, usando a plataforma do VLC.
- Financiamento: suporte da ONG IADH, que atua na região junto as políticas do Minha Casa, Minha Vida; Coolab (empréstimo)
- Fonte: <https://www.coolab.org/2019/01/ignicao-da-rede-comunitaria-de-rio-largo/>

Projeto Juruti Velho

- Local: Juruti Velho (PA)
- Detalhes do local: Juruti Velho, povoado fundado pelos índios Munduruku, na fronteira entre os estados do Pará e Amazonas
- Descrição do local: território alvo de conflitos por mineradora e impactos ao meio-ambiente
- Dificuldades: região remota; contratação da conexão muito cara para ser mantida pela comunidade
- Infraestrutura: rede nunca foi feita acesso a Internet
- Sustentabilidade: apoio da secretaria de educação, de professor da Universidade Federal do Oeste do Pará; comunidade local unida/motivada
- Financiamento: Coolab (empréstimo - resultado do prêmio da Mozilla Foundation)
- Fonte: <https://www.coolab.org/2019/09/instalacao-em-juruti-velho-pa/>

Anexo 2 - Tecnologias Habilitadoras de Código Livre

Nas próximas subseções são analisadas cada uma das tecnologias listadas acima, os principais critérios de comparação são:

- Características e capacidades: principais funcionalidades oferecidas pela tecnologia habilitadora.
- Configurabilidade: mecanismos de configuração da tecnologia e suas respectivas facilidades.
- Gerenciamento: forma de gerenciamento da tecnologia e seus componentes no que diz respeito à instalação, execução e manutenção dos componentes da tecnologia.
- Requisitos técnicos: requisitos mínimos de recursos de hardware para operação da tecnologia e seus componentes.
- Documentação: facilidade e compreensão de tutoriais, manuais de instalação, referências para tratamento de erros, explicação sobre arquitetura e erros comuns.
- Comunidade: verificação de atividade da comunidade de desenvolvedores e mantenedores do(s) projeto(s) relacionado(s) à tecnologia em relação ao provimento de suporte para rastreamento de *bugs* e auxílio em tarefas de desenvolvimento, testes e implantação.
- Licença: tipo de licença código livre.

srsRAN (eNodeB/gNodeB) - <https://www.srslte.com/>

- Características e capacidades: opera como estação rádio base para redes 4G (eNodeB) e 5G (gNodeB - NSA/SA); possui implementação de emulador de equipamento de usuário para testes;
- Configurabilidade: habilita configuração de componentes via arquivos de configuração, os quais são carregados na inicialização dos componentes.
- Gerenciamento: possui mecanismos para habilitação de logs, e rastreamento (trace) de métricas.
- Requisitos técnicos: pode ser executada em diferentes ambientes de hardware, dependente de requisitos operacionais (ver comparativo em https://docs.srsran.com/en/latest/app_notes/source/hw_packs/source/index.html)
- Documentação: possui ampla e compreensível definição de tutoriais, manuais de instalação, referências para tratamento de erros, explicação sobre arquitetura e erros comuns.
- Comunidade: possui comunidade ativa, com constante desenvolvimento de novas funcionalidades.
- Licença: GNU GPL v3.

OAI (eNodeB/gNodeB)

- Características e capacidades: opera como estação rádio base para redes 4G (eNodeB) e 5G (gNodeB - NSA/SA); possui implementação de emulador de equipamento de usuário para testes;
- Configurabilidade: habilita configuração de componentes via arquivos de configuração, os quais são carregados na inicialização dos componentes.

- Gerenciamento: possui habilitação de logs, porém não habilita muita facilidade em leitura e compreensão dos mesmos, requisita usuário com conhecimentos amplos na área de redes móveis.
- Requisitos técnicos: configuração recomendada de ambiente de execução com 6 núcleos de cpu (3GHz) e 16GB de memória RAM.
- Documentação: possui ampla documentação porém não bem organizada e de fácil entendimento, muitos documentos são desatualizados.
- Comunidade: possui muita atividade em listas de e-mail.
- Licença: OAI Public License v1.0.

SD-CORE (4G/5G)

- Características e capacidades: opera como núcleo de rede 4G e 5G (NSA/SA); possui implementação de emulador de estação rádio base e equipamento de usuário para testes; componentes são implementados como micro serviços executando em cluster com virtualização de contêineres (i.e., Kubernetes).
- Configurabilidade: habilita configuração de componentes via arquivos de configuração, os quais são carregados na inicialização dos componentes.
- Gerenciamento: possui habilitação de logs e extração de métricas de diferentes componentes.
- Requisitos técnicos: configuração recomendada de ambiente de execução com 6 núcleos de CPU e 16GB de memória RAM, além de funcionalidades de virtualização e SR-IOV na placa de rede para execução de função de plano de dados.
- Documentação: possui boa documentação para instalação e gerenciamento, porém não possui ampla documentação para tratamento de problemas e erros.
- Comunidade: possui atividade em canal slack #sdcore-dev na comunidade ONF.
- Licença: Apache v2.0.

Open5GS (4G/5G)

- Características e capacidades: opera como núcleo de rede 4G e 5G (NSA/SA); possui implementação de emulador de estação rádio base e equipamento de usuário para testes; componentes podem ser executados em diferentes sistemas operacionais Linux.
- Configurabilidade: habilita configuração de componentes via arquivos de configuração, os quais são carregados na inicialização dos componentes.
- Gerenciamento: possui habilitação de logs e extração de métricas de forma modular.
- Requisitos técnicos: configuração recomendada de ambiente de execução com 4-8 núcleos de CPU e 16GB de memória RAM.
- Documentação: possui boa documentação simples e de fácil compreensão, explicações sobre componentes e mecanismos de depuração de erros.
- Comunidade: possui desenvolvimento ativo, painel de discussões no github e canal na plataforma discord.
- Integração: realizada com diferentes estações rádio base (eNodeB e gNodeB) comerciais (<https://open5gs.org/open5gs/docs/hardware/01-genodebs/>)
- Licença: GNU AGPL-3.0.

Anexo 3 - Guias de Instalação e Configuração

srsRAN (eNodeB/gNodeB) - <https://www.srslte.com/>

Executar os seguintes comandos no terminal linux.

Instalação de pré-requisitos

```
$ sudo add-apt-repository ppa:ettusresearch/uhd
$ sudo apt update
$ sudo apt install libuhd-dev libuhd003 uhd-host
$ sudo /usr/lib/uhd/uhd_images_downloader.py
$ sudo apt install cmake libfftw3-dev libmbedtls-dev libboost-program-options-dev
libconfig++-dev libsctp-dev
```

Instalação de srsRAN

```
$ git clone https://github.com/srsRAN/srsRAN.git
$ cd srsRAN
$ git checkout release_21_10
$ git rev-parse HEAD
5275f33360f1b3f1ee8d1c4d9ae951ac7c4ecd4e
$ mkdir build
$ cd build
$ cmake ../
$ make
$ make test
```

Configuração de srsRAN

```
$ cp srsenb/enb.conf.example srsenb/enb.conf
$ cp srsenb/rr.conf.example srsenb/rr.conf
$ cp srsenb/drb.conf.example srsenb/drb.conf
$ cp srsenb/sib.conf.example srsenb/sib.conf
$ cp srsenb/sib.conf.mbsfn.example srsenb/sib.conf.mbsfn
```

Editar o arquivo srsenb/enb.conf com as definições de MCC e MNC, além de modificar o endereço do parâmetro mme_addr para o valor “127.0.1.2”. (Este é o endereço da interface S1 do componente MME da tecnologia Open5GS).

Neste mesmo arquivos as seguintes linhas devem ter seus sinais de comentário removidos (#):

```
device_name = auto
```

```

device_args
fail_on_disconnect=true,tx_port=tcp://*:2000,rx_port=tcp://localhost:2001,id=enb,base_srate
=23.04e6

```

O arquivo `srsenb/rr.conf` deve ser modificado com a definição dos parâmetros TAC e EARFCN (definição de canal de frequência, o qual depende das definições de largura de banda escolhidas para a rede), exemplos abaixo:

```

tac = 0x0002;
dl_earfcn = 1600;

```

Para inicialização dos componentes da tecnologia srsRAN o seguinte comando pode ser executado:

```

$ cd srsenb/
$ sudo UHD_IMAGES_DIR=/usr/share/uhd/images ../build/srsenb/src/srsenb ./enb.conf

```

Este comando considera que uma placa de rádio definido por software (USRP) esteja conectada via USB à máquina onde srsRAN está instalado.

A execução do componente srsRAN deve ser feita após a instalação, configuração e execução do núcleo de rede.

Open5GS (4G/5G)

Executar os seguintes comandos no terminal linux.

Pré Instalação de componentes

```

$ sudo apt install python3 python3-pip python3-setuptools python3-wheel ninja-build
$ pip3 install --user meson
$ sudo sh -c "cat << EOF > /etc/systemd/network/99-open5gs.netdev
[NetDev]
Name=ogstun
Kind=tun
EOF"

```

Configurar a interface de rede (nome sugerido `ogstun`).

```

$ sudo systemctl enable systemd-networkd
$ sudo systemctl restart systemd-networkd
$ sudo apt install net-tools
$ ifconfig ogstun
$ sudo sh -c "echo 'net.ipv6.conf.ogstun.disable_ipv6=0' > /etc/sysctl.d/30-open5gs.conf"
$ sudo sysctl -p /etc/sysctl.d/30-open5gs.conf
$ sudo sh -c "cat << EOF > /etc/systemd/network/99-open5gs.network
[Match]
Name=ogstun
[Network]

```

```
Address=10.45.0.1/16
Address=2001:db8:cafe::1/48
EOF"
$ sudo systemctl restart systemd-networkd
```

Instalação de pré-requisitos

```
$ sudo apt install wget
$
https://download.opensuse.org/repositories/home:/acetcom:/open5gs:/latest/xUbuntu_20.04/
Release.key
$ sudo apt-key add Release.key
```

Instalação de Open5GS

```
$ sudo sh -c "echo 'deb
https://download.opensuse.org/repositories/home:/acetcom:/open5gs:/latest/xUbuntu_20.04/
.' > /etc/apt/sources.list.d/open5gs.list"
$ sudo apt update
$ sudo apt install open5gs
$ curl -fsSL https://deb.nodesource.com/setup_14.x | sudo -E bash -
$ sudo apt install nodejs
$ curl -fsSL https://open5gs.org/open5gs/assets/webui/install | sudo -E bash -
```

Configuração de Open5GS

Para adicionar registros de equipamentos de usuários a rede deve se realizar os seguintes procedimentos.

Acessar a interface web to sistema Open5GS via endereço <http://localhost:3000> (usuário admin, senha 1423).

Clicar em +subscriber e adicionar as informações configuradas em SIM card, como no exemplo abaixo:

```
MCC/MNC : 310/789
IMSI : 310789012345301
K : 82E9053A1882085FF2C020359938DAE9
OPc : BFD5771AAAF4F6728E9BC6EF2C2533BDB
```

Para as configurações dos parâmetros MCC, MNC e TAI deve se modificar o arquivo `/etc/open5gs/mme.yaml`

Além disso, neste mesmo arquivo deve-se modificar o endereço do parâmetro `s1ap` para o valor "127.0.1.2".

No arquivo `/etc/open5gs/sgwu.yaml` deve-se modificar o endereço do parâmetro `gtpu` para o valor "127.0.0.6".

Após essas modificações em tais arquivos deve-se reiniciar os seguinte processos via comandos:

```
$ sudo systemctl restart open5gs-mmed.service
```

```
$ sudo systemctl restart open5gs-sgwud.service
```

Por fim, para que o tráfego de rede dos equipamentos de usuários possa ser direcionado ao link da interface ogstun (enlace de conexão com a Internet), os seguintes comandos devem ser executados (habilitar encaminhamento de tráfego entre subredes e realizar NAT):

```
$ sudo sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1
```

```
$ sudo sysctl -w net.ipv6.conf.all.forwarding=1
```

```
$ sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.45.0.0/16 ! -o ogstun -j MASQUERADE
```

```
$ sudo ip6tables -t nat -A POSTROUTING -s 2001:db8:cafe::/48 ! -o ogstun -j MASQUERADE
```

Anexo 4 - Exemplo de Dimensionamento de Rede

O processo de dimensionamento de uma rede móvel/celular 4G/5G envolve as seguintes etapas:

- Planejamento de cobertura: determina o alcance da rede de acesso via rádio, i.e., a distância ou raio de cobertura de uma ou mais antenas.
- Planejamento de capacidade: determina a quantidade de usuários a estarem conectados a rede de forma contínua e sazonal (i.e., qual a mobilidade esperada dos usuários na rede), e o volume esperado de tráfego (uplink e downlink) de tais usuários.
- Planejamento de parâmetros: definição dos parâmetros de configuração relacionados a interface de rádio, tais como número e tipo de antenas, ganho esperado das antenas, potência de sinal, etc.

Tal processo de dimensionamento ocorre não somente na fase do planejamento de uma rede, como também periodicamente para analisar o comportamento da rede conforme a evolução do ambiente onde ela está instalada.

O processo que pode ser realizado para tais planejamentos pode ser iniciado com a definição de um orçamento técnico da rede móvel, nas seguintes etapas:

1. Definição do enlace da rede móvel: potência do sinal, frequência de operação, largura de banda, e configuração da antena são os principais parâmetros a serem definidos, em geral tais definições são provenientes da licença de espectro de operação da rede móvel. Ao final desta etapa é possível ter uma definição de tais parâmetros e sua utilização para o cálculo da perda máxima de caminho a ser permitida.
2. Estimativa de cobertura: busca a definição do modelo de propagação do sinal da antena ao equipamento de usuário, além da definição dos parâmetros físicos do ambiente onde a rede será estabelecida, os quais influenciam a propagação do sinal e sua cobertura. Tendo os parâmetros da primeira etapa junto a segunda etapa é possível ter uma estimativa do alcance máximo do sinal da rede para uma antena.
3. Estimativa de capacidade: tendo como referência o número de usuários na rede, e o perfil de consumo de tráfego dos usuários é possível ter uma definição se uma ou mais antenas devem ser utilizadas, assim como o número de células que tais antenas podem definir.

Exemplos de parâmetros da etapa 1 são:

Frequência de uplink/downlink (UL/DL); Largura de banda de operação; Modo de transmissão; Potência de transmissão Parâmetros de qualidade de serviço (QoS); Distribuição e densidade populacional; Tipo de ambiente externo (urbano, rural, pequeno escritório, residencial, etc.); Mapas e detalhes de desordem para a área; Tipo de modelo de desvanecimento do sinal (modelo de veículo estendido A [EVA], modelo urbano típico estendido [ETU], Modelo Pedestre A Estendido [EPA], etc.); Tipo de tráfego previsto e sua distribuição.

Como parte do processo de planejamento, a relação sinal-interferência-mais-ruído (SINR) vs. mapeamento de taxa de transferência é realizado para diferentes modelos de

propagação (ou seja, EVA, ETU, EPA, etc.) e para diferentes modos de transmissão (espacial multiplexação, diversidade de transmissão, etc.).

Logo, o principal referencial para o cálculo da capacidade da rede com estes parâmetros é definida abaixo:

$$PL = \text{Tx Power} + \text{Tx Gain} + \text{Rx Gain} - \text{Tx Loss} - \text{Rx Loss}$$

PL: Perda de caminho (decibéis), Tx Power é a potência de transmissão do sinal da antena (decibéis milliWatts), Tx Gain e Rx Gain são respectivamente os ganhos das antenas de transmissão e recepção (decibéis), Tx Loss é o parâmetro de perda de transmissão do sinal (decibéis), e Rx Loss a perda do sinal na recepção (decibéis).

A perda de caminho é um parâmetro estimado por equações teóricas que são definidas conforme o ambiente de implementação da rede. Um modelo de exemplo se chama Okumura-Hata, definido pela seguinte fórmula:

$$L = A + B \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + [C - 6.55 \log_{10} h_b] \cdot \log d$$

onde L é a perda de caminho em decibéis, h_B é a altura da antena (antena do eNodeB) em metros, h_m é a altura de a antena do equipamento de usuário em metros, f é a frequência da portadora em megahertz, d é a distância entre o UE e o eNodeB em quilômetros, e A, B e C são constantes.

Logo, substituindo a variável L na variável PL da equação anterior, e tendo todos os outros parâmetros estimados, é possível determinar a distância máxima de cobertura do sinal da rede, i.e., o parâmetro d.

Nesse sentido, o ponto principal é determinar quais como os parâmetros podem ser modificados para atingir um valor da variável d, segundo algum modelo de propagação como Okumura-Hata.

Tendo tais definições é possível serem concluídas as etapas 1 e 2 do modelo de dimensionamento. A terceira etapa, estimativa de capacidade, vai depender da estimativa do ambiente onde a rede se insere, i.e., quantidade de usuários e perfil de tráfego, juntamente a largura de banda do sinal de operação.

Anexo 5 - Definições

MNC (Mobile Network Code): é um número único de dois ou três dígitos usado para identificar uma Rede Móvel Terrestre Pública (PLMN) doméstica para. A MNC é alocada pelo regulador nacional. Um MNC é usado em combinação com o código de país móvel para derivar a Identidade de Rede Doméstica (HNI). O HNI combinado com o Número de Identificação do Assinante Móvel (MSIN) fornece a Identidade Integrada do Assinante Móvel (IMSI). A MNC juntamente com outros códigos funcionais é importante para identificar corretamente um assinante, a rede à qual o assinante está conectado e apontar a área geográfica em que o assinante está domiciliado.

MCC (Mobile Country Code):: é definido pelo ITU-T como padrão E.212. MCC é um código móvel composto por três dígitos usado para identificar regiões associadas a redes móveis, em geral países (e.g., Brasil 55). O MCC também é usado junto com a Identidade Internacional do Assinante Móvel (IMSI) para identificar a região da qual o assinante móvel pertence.

PLMN (Public Land Mobile Network): é identificado por um código PLMN globalmente exclusivo, que consiste em um MCC (Mobile Country Code) e um MNC (Mobile Network Code). Portanto, é um número de cinco a seis dígitos que identifica um país e uma operadora de rede móvel nesse país.

TAC (Tracking Area Code): o Código de Área de Localização é um identificador da área de localização dentro da rede de uma rede de operadora móvel. Esta parte do código pode ser representada usando valores hexadecimais com um comprimento de dois octetos. A área servida de uma rede de rádio celular é geralmente dividida em áreas de localização. As áreas de localização são compostas por uma ou várias células de rádio. Cada área de localização recebe um número exclusivo dentro da rede, o Código de Área de Localização (LAC). Este código é usado como uma referência única para a localização de um assinante móvel. Este código é necessário para endereçar o assinante no caso de uma chamada recebida.

IMSI (International Mobile Subscriber Identity): Uma identidade de assinante móvel internacional é um número único, geralmente de quinze dígitos, associado aos usuários de telefonia móvel da rede Global System for Mobile Communications (GSM) e Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). O IMSI é um número único que identifica um assinante. O primeiro conjunto de dígitos é o Mobile Country Code (MCC), que define o país em que um assinante opera principalmente. Isso é sempre dois ou três dígitos. O segundo conjunto de dígitos é o Mobile Network Code (MNC), que identifica a operadora de rede móvel específica ao qual um assinante está associado. Isso é entre um e três dígitos. O conjunto final de dígitos é o Número de Identificação da Assinatura Móvel, que é exclusivo para o assinante, tipicamente nove ou dez dígitos.

SIM: Um cartão SIM, também chamado de módulo de identificação do assinante ou módulo de identificação do assinante, é um pequeno cartão de memória que contém informações exclusivas que o identificam para uma rede móvel específica. Este cartão permite que os assinantes usem seus dispositivos móveis para receber chamadas, enviar mensagens SMS ou conectar-se a serviços de internet móvel.