

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS — UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA
NÍVEL MESTRADO

ADRIANO ZAVAREZE RIGHI

PROJETO DE SOFTWARE: IMPLEMENTAÇÃO DE QUALITY ON DEMAND (QOD) EM
REDES 5G COM NEF, BASEADO NO FREE5GC

SÃO LEOPOLDO
2025

SUMÁRIO

1 DESCRIÇÃO DO PROJETO	5
1.1 Visão geral	5
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo geral	5
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.2.3 Requisitos funcionais	6
1.3 Escopo	6
2 DEFINIÇÕES E DECISÕES DE PROJETO	7
2.1 Arquitetura Proposta	7
2.1.1 Componentes	7
2.2 Interfaces e interação com o usuário	8
2.2.1 Endpoint criar sessão QoD - NEF	9
2.2.2 Comunicação NEF com PCF	9
2.3 Tecnologias e ferramentas	9
2.4 Decisões de projeto	10
3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	13
3.1 Critérios de desempenho	13
3.2 Plano de testes	13
3.2.1 Casos gerais	13
3.2.2 Casos específicos	14
3.2.3 Resultados esperados	14
4 CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO	15
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
5.1 Riscos e mitigações	17
5.2 Expectativas de futuras evoluções	17
REFERÊNCIAS	19

1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1 Visão geral

A quinta geração de redes móveis (5G) introduz uma arquitetura inovadora centrada em funções virtualizadas e interfaces padronizadas, conhecida como *Service-Based Architecture* (SBA) (3GPP, 2023a). Essa arquitetura estabelece um paradigma orientado a serviços que aprimora a interoperabilidade entre funções de rede e possibilita a integração de aplicações externas, constituindo base essencial para ambientes de computação ubíqua e aplicações sensíveis a contexto, como os sistemas de saúde digital (FOUKAS et al., 2017).

Um dos principais pilares dessa arquitetura é o controle granular da *Quality of Service* (QoS), que permite o gerenciamento e a priorização de fluxos de tráfego de acordo com o *5G QoS Identifier* (5QI). Cada *QoS Flow* é tratado individualmente pelo *5G Core* (5GC), garantindo parâmetros de desempenho como *Guaranteed Bit Rate* (GBR), latência e confiabilidade (3GPP, 2023b).

Entretanto, aplicações sensíveis a contexto, como as utilizadas em ambientes hospitalares e de telemedicina, exigem uma adaptação dinâmica dos níveis de QoS, de modo a responder às variações de criticidade das operações e às condições da rede. Nesse cenário, o conceito de *Quality on Demand* (QoD) surge como um mecanismo para permitir que aplicações externas solicitem, sob demanda, ajustes de QoS de acordo com suas necessidades instantâneas de desempenho.

Com base nessa premissa, esse trabalho propõe o desenvolvimento de uma *Network Exposure Function* (NEF) implementado em linguagem Go, capaz de intermediar requisições dinâmicas de QoS provenientes de aplicações externas. A função NEF integra-se ao módulo *Policy Control Function* (PCF) do projeto *free5GC*, utilizando a interface padronizada *Npcf_SMPolicyControl*, conforme as especificações 3GPP (3GPP, 2023c). Por meio dessa integração, o PCF coordena com o *Session Management Function* (SMF) a criação e aplicação de políticas de QoS no *User Plane Function* (UPF), assegurando a adaptação da rede às demandas específicas de desempenho e prioridade de cada fluxo de dados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo de software para implementação de *Quality on Demand* (QoD) em redes 5G Core baseadas no *free5GC*, utilizando o NEF como ponto de entrada para aplicações externas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Projetar e implementar um NEF em linguagem Go com suporte a APIs RESTful para recebimento de solicitações de QoD.
- Integrar o NEF ao PCF real do *free5GC*, utilizando a interface padronizada *Npcf_SMPolicyControl*.
- Validar a aplicação das políticas de QoS.
- Avaliar métricas de desempenho relevantes como latência e throughput.

1.2.3 Requisitos funcionais

- Receber requisição QoD com o objeto *device* que é o identificador permanente do UE, parâmetros QoS (5QI, GBR/MBR) e *duration*.
- Traduzir requisição em *payload* de *SM Policy* e enviar ao PCF.
- Gerenciar ciclo de vida da QoD *session* sendo eles criar, renovar e encerrar.

1.3 Escopo

A seguir estão detalhados os itens que entrarão no escopo desse projeto.

- NEF em linguagem Go com endpoint */qod/v1/sessions*.
- Integração NEF com PCF real do *free5GC*.
- Configuração e deploy local (Docker Compose) com *free5GC*, UERANSIM (gNodeB e UE) e NEF.
- Testes automatizados: scripts que criam QoD, geram tráfego e coletam métricas.

O escopo desse projeto está limitado em concentrar esforços na implementação do mecanismo de *Quality on Demand* (QoD). Dessa forma, não serão incluídas camadas adicionais de segurança, autorização ou armazenamento de consentimento, conforme definido no escopo simplificado da proposta. Além disso, o foco do desenvolvimento não contempla aspectos relacionados a ambientes produtivos ou de alta disponibilidade, restringindo-se a um contexto experimental e de validação funcional.

2 DEFINIÇÕES E DECISÕES DE PROJETO

2.1 Arquitetura Proposta

A arquitetura proposta baseia-se no modelo Service-Based Architecture (SBA) apresentado na Figura 1, conforme definido pela especificação 3GPP TS 23.501 (3GPP, 2023a), e segue os princípios do projeto CAMARA, desenvolvido de forma colaborativa entre a Linux Foundation e a GSMA Open Gateway. Essa iniciativa busca padronizar APIs abertas que possibilitam o controle e a exposição de capacidades de rede por meio de interfaces interoperáveis, promovendo abstrações seguras e uniformes para desenvolvedores e provedores de serviços (CAMARA Project, 2025).

Uma das principais inovações apresentadas pela GSMA, conforme descrito na especificação NG.147 – Quality of Experience (GSMA, 2025a), é o suporte nativo ao fluxo bidirecional de Quality of Service (QoS). Esse modelo permite que as aplicações solicitem, de forma programática e contextual, a priorização de tráfego tanto no sentido *uplink* (da aplicação para o core da rede) quanto no *downlink* (do core para a aplicação), assegurando desempenho equilibrado e previsível em ambos os caminhos de comunicação (GSMA, 2025b).

O fluxo de QoS é implementado no contexto da arquitetura 5G por meio de interfaces RESTful padronizadas, com base em serviços interoperáveis. O processo principal, mostrado na Figura 2, inicia-se na aplicação cliente, que emite uma requisição de Quality on Demand (QoD) para o componente Network Exposure Function (NEF). Este, por sua vez, atua como intermediário lógico entre o domínio da aplicação e o núcleo 5G, sendo responsável por mediar a comunicação com os módulos de controle e gestão da rede — como o Policy Control Function (PCF) e o Session Management Function (SMF).

A interface NEF/PCF, desenvolvida em conformidade com as diretrizes da GSMA Open Gateway e do CAMARA Project e com o padrão *Npcf_SMPolicyControl* definido na 3GPP TS 29.512 (3GPP, 2023c), permite o gerenciamento dinâmico de políticas de QoS para múltiplas direções de tráfego. Dessa forma, o sistema suporta tanto configurações simétricas quanto assimétricas de QoS, o que o torna adequado para diferentes casos de uso como telemedicina, controle de veículos autônomos, aplicações industriais e transmissão de vídeo em tempo real (GSMA, 2025b; CAMARA Project, 2025). Abordagens semelhantes de orquestração de QoS via NEF foram exploradas em Liu e Herranz (2023) e Phung et al. (2023), destacando o papel central do NEF como elemento de exposição segura de capacidades de rede.

2.1.1 Componentes

Nessa seção são listados os componentes necessários para a implementação da solução, bem como suas responsabilidades.

- NEF (Go): recebe requisições de QoD, valida parâmetros e as encaminha ao PCF.

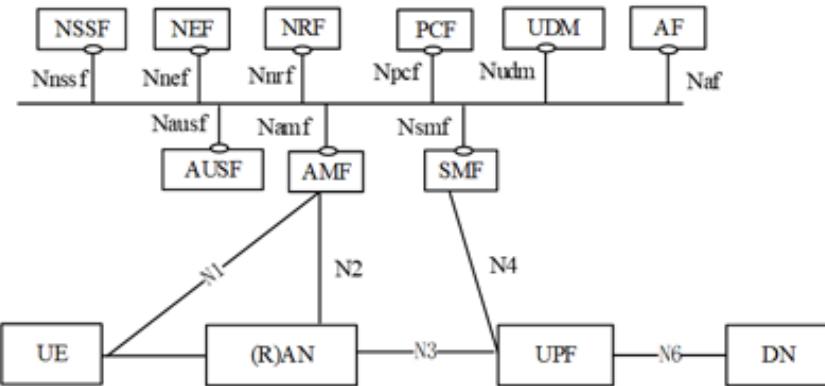


Figura 1: Arquitetura para o sistema 5G. (3GPP, 2023a)

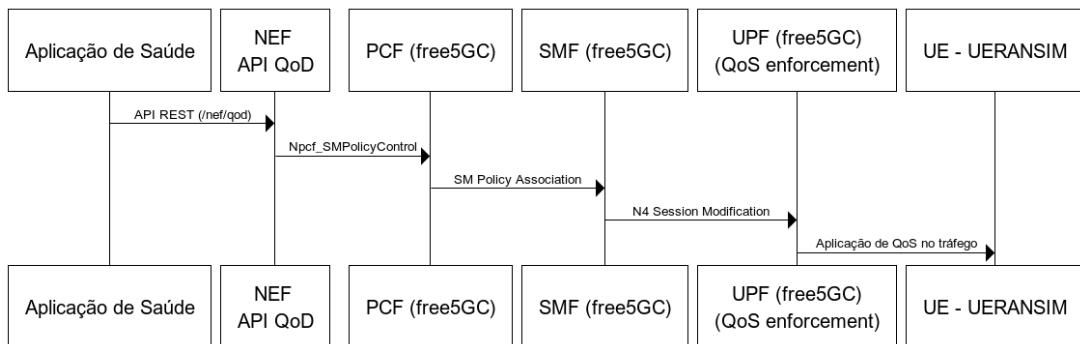


Figura 2: Diagrama de fluxo da requisição QoS.

- PCF (free5GC): interpreta políticas externas e coordena com o SMF.
- SMF: gera regras de QoS (QER/PDR) e instala no UPF.
- UPF: aplica regras de QoS no tráfego (policing/shaping).
- UERANSIM: simula UE e gNodeB, permitindo tráfego controlado.

2.2 Interfaces e interação com o usuário

O projeto utilizará como interface APIs, que poderão receber requisições de qualquer tipo de aplicativo de saúde, solicitando priorização na comunicação. A criação da interface de comunicação HTTP REST para o serviço de Quality on Demand (QoD) foi fundamentada nas especificações publicadas pela iniciativa CAMARA Project, que define APIs padronizadas para garantir o desempenho de rede sob demanda em diferentes cenários de uso, além das demais definições de padrões. Segundo o CAMARA Project (2025), a API QoD é projetada para aplicações que exigem estabilidade, baixa latência e alta confiabilidade, podendo ser aplicada em contextos como IoT industrial, saúde e telemedicina, transmissão de vídeo ao vivo, veículos autônomos e comunicações. Essa referência serviu como base técnica para o desenvolvimento e integração da solução proposta neste projeto.

2.2.1 Endpoint criar sessão QoD - NEF

O endpoint NEF que receberá a informação para ativação de QoS, ficará no caminho `/qod/v1/sessions`, utilizando como verbo HTTP POST. Na Figura 3 a seguir está um exemplo do objeto JSON que deve ser submetido na requisição. Na Figura 4 está representado um modelo de resposta JSON esperado, caso a requisição ocorra com sucesso.

2.2.2 Comunicação NEF com PCF

Para que o QoD seja ativado, o serviço NEF deverá enviar para o PCF uma requisição ativando QoS para o dispositivo solicitante. O PCF espera uma requisição com o verbo POST, no caminho `/npcf-smpolicycontrol/v1/sm-policies` com o exemplo simplificado de conteúdo representado na Figura 5.

```
{
  "device": {
    "networkAccessIdentifier": "123456789@domain.com"
  },
  "applicationServer": {
    "ipv4Address": "192.168.0.1/24",
    "ipv6Address": "2001:db8:85a3:8d3:1319:8a2e:370:73"
  },
  "devicePorts": {
    "ranges": [
      {
        "from": 0,
        "to": 6000
      }
    ],
    "duration": 86400,
    "qosProfile": "QCI_1_voice"
  }
}
```

Figura 3: Pseudo-código JSON usado para envio das informações para criação do QoS

2.3 Tecnologias e ferramentas

As tecnologias e ferramentas escolhidas e listadas abaixo estão alinhadas com a facilidade de integração ao projeto *free5gc core* bem como com a reproduzibilidade em ambiente acadêmico.

- Linguagem Go: compatibilidade com ecossistema *free5GC*, desempenho, paralelismo e deploy conveniente.
- Framework HTTP Gin: já utilizando no projeto, leve e com recursos necessários e suficientes para implementação.
- Core *free5GC*: implementação 5G de referência.

```
{
  "device": {
    "phoneNumber": "123456789",
    "networkAccessIdentifier": "123456789@domain.com",
    "ipv6Address": "2001:db8:85a3:8d3:1319:8a2e:370:7344"
  },
  "applicationServer": {
    "ipV4Address": "192.168.0.1/24",
    "ipV6Address": "2001:db8:85a3:8d3:1319:8a2e:370:7344"
  },
  "devicePorts": {...},
  "qosProfile": "QCI_1_voice",
  "webhook": {...},
  "sessionId": "3fa85f64-5717-4562-b3fc-2c963f66afa6",
  "duration": 86400,
  "startedAt": 1639479600,
  "expiresAt": 1639566000,
  "qosStatus": "REQUESTED",
  "messages": [...]
}
```

Figura 4: Pseudo-código JSON representando a resposta da criação do QoS

```
{
  "supi": "imsi-2089300000000001",
  "accessType": "3GPP_ACCESS",
  "policyDecision": {
    "qos": {
      "5qi": 2,
      "gbrDl": 5000000,
      "gbrUl": 1000000
    },
    "flowDescription": "permit out ip from any to any tcp dport 5001"
  },
  "validityTime": 600
}
```

Figura 5: Pseudo-código JSON representando a requisição enviada para o PCF

- Emulador RAN/UE UERANSIM: amplia cobertura para testes end-to-end.
- Docker Compose: simples e eficiente para execução da aplicação em ambiente local e acadêmico.

2.4 Decisões de projeto

- NEF atua apenas como orquestrador: traduz requisição e invoca PCF (não faz alterações diretas no UPF).
- Uso do PCF real do *free5GC*: mantém-se conformidade com fluxo 3GPP.
- PoC simplificado: enforcement no UPF usando mecanismos simples de host para validar GBR/MBR.
- Registros de log e observabilidade com console e arquivos para rastrear criação e remoção

de QoD *sessions*.

3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A partir das diretrizes apresentadas no modelo arquitetural e decisões de projeto, será construído um ambiente em formato de protótipo para a realização de uma simulação, utilizando como base o projeto *free5GC* na versão 4.1.0 (*free5gc project*, 2024). Desse ambiente, serão coletadas as métricas com base na metodologia descrita nessa seção.

A metodologia de avaliação quantifica o desempenho do mecanismo de QoD por meio das métricas de *throughput*, latência e *jitter*, seguindo as diretrizes da 3GPP e da ITU-T. Ferramentas como *iperf3* e *tshark* são utilizadas para mensurar a correlação entre a taxa garantida configurada (GBR) e o desempenho real percebido pelo usuário.

A análise será conduzida com base em múltiplas execuções controladas, considerando médias e variações de desempenho sob diferentes condições de tráfego. Os resultados serão comparados com o comportamento padrão do *free5GC* sem QoD, demonstrando o impacto da configuração dinâmica de QoS.

3.1 Critérios de desempenho

- Throughput (GBR vs real): verificar se a taxa garantida (GBR) se aproxima do valor configurado (aceitável $\pm 10\%$ sob carga controlada).
- Latência (RTT) e jitter para fluxos sensíveis.
- Tempo de provisão: tempo entre o POST /qod/v1/sessions e a efetiva aplicação do QoS no UPF (tempo de ida até o SMF/UPF).
- Estabilidade/persistência: duração correta da sessão QoD (expiração automática).
- Comportamento sob mobilidade: manutenção da política após handover.

3.2 Plano de testes

3.2.1 Casos gerais

- Unitários: NEF handlers (validations, payload translation).
- Integração: NEF, PCF (real) testes usando free5GC no Docker Compose.
- Sistema (E2E): UERANSIM, free5GC, NEF e iperf3 para criar QoD, gerar tráfego e coletar métricas.

3.2.2 Casos específicos

- Provisionamento abaixo: solicitar GBR 50 Mbps; gerar 250 Mbps; verificar que tráfego é limitado/permitido corretamente.
- Provisionamento igual: solicitar GBR 250 Mbps; gerar 250 Mbps; verificar que tráfego é limitado/permitido corretamente.

3.2.3 Resultados esperados

- Demonstração de que uma aplicação pode dinamicamente requisitar QoS via NEF.
- Integração completa NEF, PCF (free5GC), SMF, UPF, em conformidade com especificações 3GPP.
- Validação de políticas de GBR e MBR com tráfego de teste.
- Relato de métricas de desempenho e discussão sobre aplicabilidade em computação ubíqua em saúde, onde demandas emergenciais podem exigir banda garantida e baixa latência sob demanda.

4 CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

Nessa seção será apresentado o cronograma de desenvolvimento, dividido por fases do projeto, bem como a apresentação dos marcos e entregas importantes ao longo do andamento. O cronograma está dividido nas fases de estudos, implementação, testes e análise por um período de 9 semanas.

Tabela 1: Cronograma de desenvolvimento do projeto QoD usando free5GC

Fase	Atividade	Duração
1	Levantamento bibliográfico, revisão das especificações 3GPP e preparação do ambiente com <i>free5GC</i> e <i>UERANSIM</i> .	3 semanas
2	Implementação inicial do <i>Network Exposure Function (NEF)</i> em Go, criação do endpoint <code>/qod/v1/sessions</code> e testes unitários locais.	1 semana
3	Integração do NEF com o módulo <i>Policy Control Function (PCF)</i> real do <i>free5GC</i> utilizando a interface <code>Npcf_SMPolicyControl</code> .	1 semana
4	Execução dos testes de tráfego utilizando <i>UERANSIM</i> , <i>iperf3</i> e <i>tshark</i> ; coleta e análise das métricas de QoS (throughput, latência, jitter).	1 semana
5	Análise dos resultados, discussão das limitações e escrita do relatório técnico e apresentação.	3 semanas

A partir do cronograma de desenvolvimento do projeto, são definidos os entregáveis de cada fase, conforme segue abaixo:

- Fase 1: documentação do projeto de software.
- Fase 2: código do serviço NEF em Go.
- Fase 3: projeto *free5GC* com serviço NEF integrado ao PCF.
- Fase 4: scripts e resultados dos testes.
- Fase 5: relatório técnico analisando os resultados obtidos e apresentação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto demonstra a viabilidade da configuração dinâmica de QoS em redes 5G, evidenciando a integração entre NEF e PCF conforme os padrões 3GPP e *Camara Project*. A abordagem contribui para o avanço de mecanismos adaptativos de controle de QoS, particularmente relevantes para sistemas críticos de saúde e aplicações ubíquas.

5.1 Riscos e mitigações

Durante o desenvolvimento do projeto, alguns riscos técnicos foram identificados e suas respectivas estratégias de mitigação definidas.

O primeiro risco refere-se à possibilidade de o *PCF/SMF* do *free5GC* não aplicar automaticamente as regras de QoS. Como mitigação, serão analisados os logs do *SMF* e da interface N4; caso necessário, será utilizado um mecanismo de *proof of concept* (PoC) no *UPF host* para forçar o *enforcement*.

Outro risco está na limitação de ferramentas para marcação de *QoS Flow Identifier* (QFI). Para contornar, serão utilizados contadores e medições de *throughput* como proxy de verificação.

A interoperabilidade entre o *UERANSIM* e o *free5GC* também representa um risco. A mitigação envolve o uso de versões compatíveis e *scripts* de inicialização para padronizar o ambiente.

Adicionalmente, o tempo de provisão elevado na cadeia *PCF, SMF, UPF* poderá aumentar a latência. A mitigação prevê medições de desempenho e ajustes de mensagens, com possível co-localização dos contêineres.

5.2 Expectativas de futuras evoluções

Entre as perspectivas de evolução deste trabalho, destaca-se a incorporação de mecanismos de autenticação e autorização baseados em *mutual TLS* (*mTLS*) e *OAuth 2.0*, bem como a inclusão de um módulo de *consent management* para uso em aplicações do domínio da saúde.

É possível também implementar um método inteligente responsável por antecipar e orquestrar as políticas de QoS dinamicamente baseado em comportamentos e históricos de consumo. Por fim, há a possibilidade de expandir as funcionalidades do *Network Exposure Function* (NEF) para suportar políticas de QoS mais avançadas, incluindo perfis dinâmicos ao longo do tempo (*time-varying*) e reservas programadas (*scheduled reservations*), ampliando a flexibilidade e a adaptabilidade do controle de QoS em aplicações críticas.

REFERÊNCIAS

- 3GPP. **3GPP TS 23.501 - System Architecture for the 5G System (5GS)**. Disponível em: <https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123500_123599/123501/16.06.00_60/ts123501v160600p.pdf>. Acesso em: 1 outubro 2025.
- 3GPP. **3GPP TS 23.503 - Policy and Charging Control Framework for the 5G System**. Disponível em: <https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123500_123599/123503/17.05.00_60/ts123503v170500p.pdf>. Acesso em: 1 outubro 2025.
- 3GPP. **3GPP TS 29.512 - Session Management Policy Control Service**. Disponível em: <https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/129500_129599/129512/17.06.00_60/ts129512v170600p.pdf>. Acesso em: 1 outubro 2025.
- CAMARA Project. **Quality on Demand (QoD)**. Disponível em: <<https://camaraproject.org/quality-on-demand/>>. Acesso em: 2 outubro 2025.
- FOUKAS, X.; PATOUNAS, G.; ELMOKASHFI, A.; MARINA, M. K. Network slicing in 5G: survey and challenges. **IEEE communications magazine**, [S.l.], v. 55, n. 5, p. 94–100, 2017.
- free5gc project. **free5gc: 5g core network**. Disponível em: <<https://github.com/free5gc/free5gc>>. Acesso em: 1 outubro 2025.
- GSMA. **NG.147 – Quality of Experience**. Londres: GSM Association, 2025. Acesso em: 11 out. 2025.
- GSMA. **Open Gateway API Descriptions**. Acesso em: 11 out. 2025.
- LIU, Y.; HERRANZ, A. H. Enabling 5G QoS configuration capabilities for IoT applications on container orchestration platform. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUD COMPUTING TECHNOLOGY AND SCIENCE (CLOUDCOM), 2023., 2023. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2023. p. 63–68.
- PHUNG, K.-H.; DUNG, L. V.; THAI, Q. T.; KO, N. User plane management function: a solution for automatic deployment of upf on cloud-native 5g core network architecture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY CONVERGENCE (ICTC), 2023., 2023. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2023. p. 773–778.