

Implementação e avaliação de solução para o monitoramento dos planos de dados e controle 5G utilizando NWDAF

Tarcisio Chagas, Maria Barbosa, Kelvin Dias

Resumo— Com a chegada do 5G e a perspectiva do 6G, espera-se um grande aumento no número de dispositivos conectados. Nesse cenário, o monitoramento em tempo real torna-se essencial para suportar decisões que garantam esses requisitos. Este artigo propõe o uso de *Network Data Analytics Function* (NWDAF) para monitorar o plano de controle e o plano de dados do núcleo 5G através de APIs da camada de exposição, analisando o número de usuários conectados e volume de dados trafegados. A efetividade da solução de monitoramento com o NWDAF foi demonstrada em um ambiente OpenAirInterface.

Palavras-Chave— Analytics, Monitoramento, NWDAF, rede 5G, Núcleo 5G.

Abstract— With the advent of 5G and the prospect of 6G, a significant increase in the number of connected devices is expected. In this scenario, real-time monitoring becomes a crucial component in supporting the decision-making process to meet the requirements. This article proposes the use of the *Network Data Analytics Function* (NWDAF) to monitor both the control plane and the data plane of the 5G core through exposure layer APIs, analyzing the number of connected users and the volume of data traffic. The monitoring solution's effectiveness, powered by NWDAF, was validated within an OpenAirInterface-based environment.

Keywords— Analytics, Monitoring, NWDAF, 5G network, 5G Core.

I. INTRODUÇÃO

Com a implementação do 5G e a previsão da chegada do 6G até 2030, projeta-se um crescimento significativo no número de dispositivos conectados, incluindo uma grande quantidade de sensores e máquinas em redes de Internet das Coisas (IoT) [1], além de veículos, pedestres e semáforos nas redes veiculares (IoV) [2]. Paralelamente, cresce também a demanda por aplicações que exigem requisitos mais rigorosos de Qualidade de Serviço (QoS), como alta confiabilidade e baixa latência (URLLC), a exemplo de *cloud gaming*, realidade virtual e aumentada, e veículos autônomos [3].

Nesse contexto, o monitoramento em tempo real torna-se essencial para suportar decisões que garantam esses requisitos. Para isso, o *Network Data Analytics Function* (NWDAF) foi introduzido pelo *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) na *Release 15*, como parte da arquitetura do 5G Core, com

o objetivo de fornecer análises de dados para otimizar e automatizar a operação da rede. Entre os serviços oferecidos, destacam-se as análises de carga, desempenho da rede, número de usuários conectados e quantidade de Protocol Data Units (PDUs) estabelecidas [4]. Na *Release 17*, suas capacidades foram ampliadas, incorporando recursos avançados de inteligência artificial e aprendizado de máquina [5].

Na literatura, o NWDAF é utilizado para diversas aplicações. Por exemplo, em [6], ele é usado para prever *handovers*, enquanto em [9], é aplicado para detecção de tráfego anômalo e automação de mitigação via SMF. Em [7], os autores propõem um framework flexível para inclusão de algoritmos personalizados, como detecção de anomalias, e [8] implementam um LSTM Auto-encoder para identificar padrões de tráfego anormais. Contudo, até onde é do nosso conhecimento, não existem na literatura trabalhos que proponham o monitoramento do número de usuários conectados na rede, assim como o volume de dados trafegados e detecção de anomalias utilizando modelos mais avançados de predição.

Sendo assim, este trabalho propõe o uso do NWDAF para monitorar o núcleo 5G, mais especificamente, analisando o número de usuários conectados e PDUs estabelecidas, além do volume de dados trafegados tanto no *uplink* quanto no *downlink*. Para a realização desse monitoramento foram desenvolvidos módulos utilizando as APIs disponibilizadas pelo NWDAF, independentemente de soluções proprietárias.

As próximas seções foram estruturadas da seguinte forma: a Seção II apresenta os conceitos fundamentais utilizados neste artigo, assim como a solução proposta. A Seção III apresenta os resultados da avaliação de desempenho utilizando a solução proposta. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são apresentados na Seção IV.

II. REDES DO FUTURO – NWDAF E POSSIBILIDADES DE ANALYTICS

O NWDAF é uma função introduzida pela arquitetura 5G do 3GPP com o objetivo de centralizar e padronizar a coleta, processamento e distribuição de dados analíticos em redes móveis. Ele opera de forma integrada com os demais componentes do núcleo 5G (como o *Access and Mobility Management Function* – AMF, *Session Management Function* – SMF, *Unified Data Management* – UDM e *Policy Control Function* – PCF), utilizando uma arquitetura orientada a serviços (SBA) e interfaces RESTful padronizadas. O NWDAF é composto por múltiplos módulos funcionais, incluindo os motores de análise

Tarcisio Chagas, Centro de Informática, UFPE, Recife-Pernambuco, e-mail: trcc@cin.ufpe.br; Maria Barbosa, Centro de Informática, UFPE, Recife-Pernambuco, e-mail: mkbs@cin.ufpe.br; Kelvin Dias, Centro de Informática, UFPE, Recife-Pernambuco, e-mail: kld@cin.ufpe.br; This work was partially supported by N° 26/23 FADE/UFPE/FINEP (01.23.0528.00 -FINEP) REF. 2849/22 - (CONVÊNIO N° 74/2023 - UFPE) 23076.100425/2023-24 and Processo: 313083/2023-1 (Bolsa de Produtividade em Pesquisa - CNPq)

(*Engine* e *Engine-ADS*), interfaces norte (NBI) para entrega de resultados, interface sul (SBI) para coleta de dados, e um banco de dados de suporte. A sua flexibilidade permite o uso tanto em arquiteturas centralizadas quanto distribuídas, com capacidade para operar em tempo real ou sob demanda.

As funcionalidades de análise oferecidas pelo NWDAF estão organizadas em dois grupos principais: *Analytics Info* e *Events Subscription*. O primeiro permite que entidades da rede solicitem análises sob demanda com base em critérios como mobilidade, desempenho ou comportamento do usuário. Já o segundo permite assinaturas contínuas para o monitoramento de eventos críticos, como flutuações na taxa de sucesso de sessão, variações de latência ou detecção de anomalias. Ambos os serviços seguem especificações do 3GPP e utilizam formatos JSON e HTTP/2 como base de comunicação.

Com o avanço da inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (ML), o NWDAF torna-se um ponto estratégico para o gerenciamento autônomo da rede. Ao incorporar modelos de ML no módulo *Engine-ADS*, é possível identificar padrões de comportamento que antecipam falhas, otimizam alocação de recursos ou adaptam políticas de QoS de forma proativa. Essa capacidade transforma o NWDAF em uma ponte entre a coleta bruta de dados e a tomada de decisão inteligente, habilitando mecanismos de auto-organização (SON) e redes adaptativas, pilares fundamentais para as chamadas redes 5G avançadas e 6G.

A Figura 1 apresenta a arquitetura da solução de análise baseada no NWDAF, destacando a divisão funcional entre o plano de controle, o plano de dados e o próprio NWDAF.

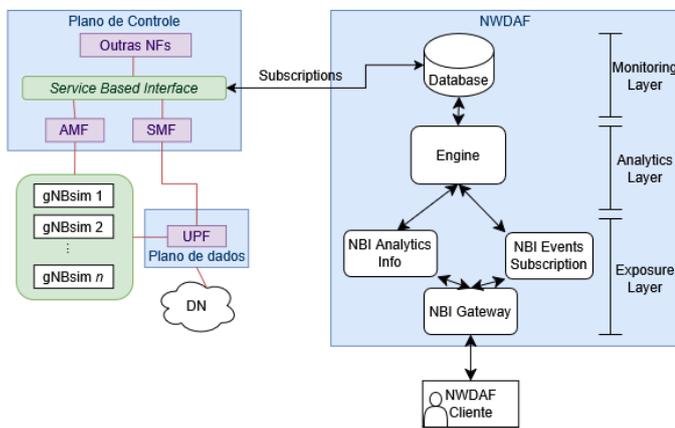


Fig. 1

ARQUITETURA NWDAF BASEADA EM MICROSERVIÇOS.

No plano de controle, estão presentes as funções de rede AMF, SMF e outras NFs. O AMF e o SMF são responsáveis por reportar métricas como o número de usuários conectados à rede e a quantidade de sessões PDU estabelecidas, respectivamente. Já no plano de dados, a *User Plane Function* (UPF) conecta os usuários à rede de dados (*Data Network* - DN) e é responsável por fornecer informações relacionadas ao volume de dados trafegados na rede.

Do outro lado, a arquitetura do NWDAF é estruturada em três camadas principais, cada uma com funções específicas:

- **Camada de Monitoramento (*Monitoring Layer*):** responsável pelo armazenamento dos dados recebidos em uma base centralizada, garantindo persistência e histórico.
- **Camada de Análise (*Analytics Layer*):** atua como elo entre o banco de dados e os mecanismos de análise, permitindo o processamento das informações recebidas e a geração de resultados analíticos.
- **Camada de Exposição (*Exposure Layer*):** permite que os clientes do NWDAF — como outras funções de rede ou sistemas externos — acessem os dados analíticos por meio de interfaces padronizadas, como o *NBI Gateway*.

Essa organização modular permite que o NWDAF atue de forma flexível e escalável na coleta, análise e disponibilização de dados, otimizando o funcionamento da rede 5G com base em informações contextuais em tempo real.

Nesse artigo, os clientes NWDAF nesse artigo foram divididos em dois: um monitor do plano de controle e um para o plano de dados, que serão detalhados a seguir:

O **cliente do plano de controle** é responsável por consumir os dados analíticos oriundos das funções AMF e SMF, focando na monitoração de métricas como o número de usuários conectados à rede e o número de sessões PDU estabelecidas ao longo do tempo. Esse cliente atua como uma interface de análise voltada para o acompanhamento do comportamento da sinalização e da ocupação da rede, sendo essencial para avaliar a escalabilidade e eficiência das funções de controle.

Já o **cliente do plano de dados** consome informações provenientes da UPF, com foco nos volumes de tráfego de dados (*uplink* e *downlink*). Esse cliente tem como objetivo monitorar o uso da infraestrutura de rede por parte dos usuários finais, possibilitando a detecção de padrões de consumo, gargalos referentes à vazão e variações no perfil de utilização dos serviços.

Ambos os clientes se comunicam com o NWDAF por meio da camada de exposição (*Exposure Layer*), utilizando interfaces padronizadas baseadas em HTTP/2 e formatos JSON, conforme definido pelo 3GPP. Essa separação funcional entre os consumidores de dados permite modularizar a análise conforme os domínios da rede (controle e dados), viabilizando uma abordagem mais granular e eficaz no monitoramento da operação da rede 5G.

A. Monitor do Plano de Controle

Esta seção apresenta o monitor implementado para realizar o monitoramento periódico da quantidade de usuários conectados (UEs) e do número de sessões de dados (PDUs) ativos em uma rede. O Algoritmo 1 apresenta a lógica de funcionamento para a captura das métricas do plano de controle.

O Algoritmo 1 recebe como entrada dois tipos de filtros do *event-id Network Performance: NUM_OF_UE*, que retorna os usuários devidamente registrados no AMF, e *SESS_SUCC_RATIO*, que retorna o número de PDUs devidamente estabelecidas pelo SMF. Com isso, é iniciado o ciclo de monitoramento. A cada ciclo, são solicitadas as informações dos dois filtros através de uma requisição HTTP GET, para o NWDAF *Engine-ADS*, que retorna os valores solicitados. Após receber esses dados, os mesmos são armazenados em

Algorithm 1: Monitoramento do plano de controle

Data: Filtros dos Eventos: *NUM_OF_UE* e *SESS_SUCC_RATIO*
Result: Arquivo CSV com os valores de *absoluteNum* para cada métrica

- 1 Inicialize o arquivo CSV com cabeçalhos;
- 2 **for** *ciclo* = 1 to *K* **do**
- 3 Defina *results[numUe]* ← None,
 results[numPdu] ← None;
- 4 **foreach** *filtro* em {*NUM_OF_UE* e *SESS_SUCC_RATIO*} **do**
- 5 Construa os parâmetros da requisição HTTP a partir do filtro;
- 6 Envie uma requisição GET ao endpoint de analytics;
- 7 **if** a resposta contém o campo *nwPerfs* **then**
- 8 Extraia o valor *absoluteNum*;
- 9 Armazene o valor em *results* com base no tipo de métrica (UE ou PDU);
- 10 **else**
- 11 Registre que o campo *nwPerfs* está vazio;
- 12 Aguarde 0,5 segundos;
- 13 Escreva os valores de *results* no arquivo CSV;
- 14 Aguarde 10 segundos antes de iniciar o próximo ciclo;

um arquivo csv. Esse processo permite coletar periodicamente dados relevantes sobre o desempenho da rede, facilitando a análise histórica da quantidade de dispositivos conectados e sessões ativas. Com a informação disponível para análise do operador da rede, poder-se-á viabilizar a utilização desses dados para a geração de modelos de aprendizagem de máquina, para a previsão do número de usuários e PDUs estabelecidas. Dessa forma, esta previsão poderia auxiliar na adaptação da rede para o melhor atendimento de requisitos dos usuários, por exemplo, por meio do balanceamento de carga com base nas inferências realizadas pelo modelo.

B. Monitor do Plano de Dados

Esta seção apresenta o módulo implementado para realizar o monitoramento periódico de dados de tráfego relacionados à comunicação de usuários (UEs) em uma rede. A lógica de funcionamento é descrita no Algoritmo 2.

O Algoritmo utiliza o Event-Id *UE_COMMUNICATION*, o qual acessa informações reportadas pelo UPF para o SMF. Esse Event-Id, é adicionado e enviado em requisições HTTP a um servidor de analytics, que para o cenário proposto nesse artigo é o Engine-ADS. A cada ciclo de monitoramento, o algoritmo envia uma requisição ao *endpoint* especificado. Em seguida, ele processa a resposta obtida, verificando se há informações disponíveis no campo *ueComms*. Caso haja, são extraídas quatro métricas principais: o volume de dados enviados (*ulVol*), a variação do uplink (*ulVolVariance*), o volume de dados recebidos (*dlVol*) e a variação do *downlink* (*dlVolVariance*). Esses dados são então registrados em um

Algorithm 2: Monitoramento do plano de dados

Data: Eventos-id: *UE_COMMUNICATION*
Result: Arquivo CSV contendo os valores de *ulVol*, *ulVolVariance*, *dlVol*, *dlVolVariance*

- 1 Inicialize o arquivo CSV com cabeçalhos;
- 2 **for** *ciclo* = 1 to 20 **do**
- 3 Construa os parâmetros da requisição HTTP usando o Event-id;
- 4 Envie uma requisição GET ao endpoint de analytics;
- 5 Inicialize *traffic_results* com 'NA' para todos os campos;
- 6 **if** a resposta contém o campo *ueComms* **then**
- 7 Extraia o primeiro elemento de *ueComms*;
- 8 Extraia os campos: *ulVol*, *ulVolVariance*, *dlVol*, *dlVolVariance*;
- 9 Armazene os valores em *traffic_results*;
- 10 **else**
- 11 Imprima aviso de que *ueComms* está vazio ou ausente;
- 12 Escreva os valores de *traffic_results* no arquivo CSV;
- 13 Aguarde 10 segundos antes do próximo ciclo;

arquivo CSV para posterior análise. O ciclo é repetido 20 vezes, com um intervalo de 10 segundos entre cada execução do monitoramento, permitindo o monitoramento contínuo da atividade de tráfego dos usuários ao longo do tempo.

Assim como no monitoramento do plano de controle, com essas informações disponíveis é possível gerar modelos de aprendizado de máquina para realizar previsões de picos de cargas, detectar anomalias e até mesmo, auxiliar o escalonamento do plano de dados.

III. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos durante a execução dos módulos de monitoramento em uma rede 5G, utilizando as funcionalidades do NWDAF para analisar tanto o plano de controle quanto o plano de dados.

A. Metodologia de Avaliação

A avaliação de desempenho foi conduzida utilizando a plataforma OpenAirInterface (OAI), uma implementação *open source* amplamente adotada em pesquisas de redes 5G. A versão utilizada foi a v2.0.0, tanto para o núcleo da rede quanto para os módulos do NWDAF. Toda a infraestrutura foi executada em contêineres Docker, com orquestração realizada via *docker-compose*.

Estrutura do Ambiente: O ambiente foi composto por três pilares principais: o núcleo da rede 5G, o sistema NWDAF e o simulador de tráfego *gnbssim*.

- **Núcleo 5G (5G Core Network - 5GC):** Para implantação do 5GC foi utilizada a configuração dada pelo

arquivo `docker-compose-basic-vpp-nrf.yaml` disponibilizado no `oai-cn5g-fed`¹. Esse núcleo integra os principais componentes definidos pelo 3GPP, como AMF, SMF, Network Repository Function – NRF, User Plane Function – UPF, UDM, Authentication Server Function – AUSF e Unified Data Repository – UDR. Cada um desses elementos desempenha funções específicas no controle de sessões, autenticação de usuários e roteamento de pacotes. Em especial, o UPF é baseado no *Vector Packet Processing* – VPP, o que permite uma diminuição da latência, melhorando assim o desempenho rede.

- **NWDAF:** Implantado com todos os módulos previstos no repositório oficial da OAI, incluindo as interfaces de *analytics* e *eventos* (NBI), os motores de análise (Engine e Engine-ADS), além do banco de dados MongoDB.
- **Gerador de tráfego (gnbSim):** Utilizado para simular múltiplas UEs se conectando a um gNB, estabelecendo sessões Protocol Data Unit – PDU e trocando pacotes de dados. Foi instanciado com base no arquivo `docker-compose-gnbsim.yaml`.

Todos os serviços foram configurados para se comunicarem por meio do protocolo HTTP/2, compatível com a *Service-Based Architecture* (SBA) especificada pelo 3GPP. A consistência da configuração foi validada por meio de testes de conectividade, assinatura de eventos e requisições de análises realizadas via interface de linha de comando (CLI) do NWDAF.

B. Avaliação de Desempenho

A avaliação do sistema focou na capacidade do NWDAF de registrar e analisar eventos em tempo real, com base nos dados gerados pelo tráfego simulado de UEs. Foram coletadas quatro classes principais de métricas: **quantidade de usuários** e **sessões ativas**, e **volume de tráfego no UL e no DL**.

C. Evolução da quantidade de UEs e Sessões PDU

A Figura 2 ilustra a evolução cumulativa no número de Equipamentos de Usuário (UEs) conectados à rede 5G e suas respectivas sessões PDU estabelecidas ao longo do tempo. Cada ponto no gráfico representa um ciclo de monitoramento em que o sistema registrou novas conexões.

Para gerar essas métricas, foi utilizada uma simulação controlada com o `gnbsim`, responsável por gerar múltiplas tentativas de registro de UEs na rede 5G. A cada ciclo, novas UEs foram adicionadas e, para cada uma, uma sessão PDU foi estabelecida com o núcleo da rede. Esses dados foram então coletados automaticamente via chamadas à API REST do NWDAF, utilizando o evento `NETWORK_PERFORMANCE` com os parâmetros `NUM_OF_UE` e `NUM_OF_PDU_SESSIONS`.

A linearidade observada no gráfico demonstra um comportamento esperado de crescimento incremental nas conexões simuladas. Para garantir a confiabilidade dos dados visualizados, foram realizadas consultas diretas ao banco de dados MongoDB interno do NWDAF, verificando que os valores retornados pela API refletiam fielmente os registros persistidos.

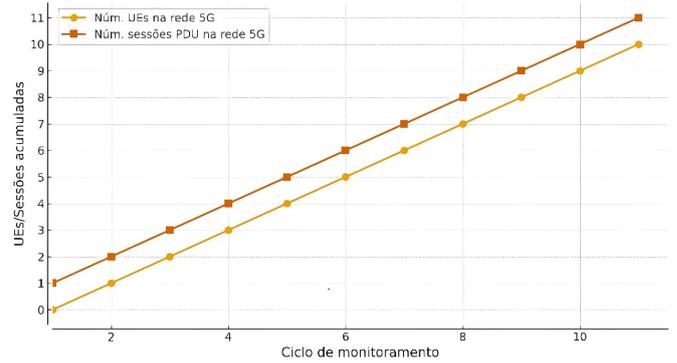


Fig. 2

EVOLUÇÃO DE UEs E SESSÕES PDU AO LONGO DOS CICLOS DE MONITORAMENTO.

D. Volume de Tráfego UL/DL

Após a finalização da entrada dos usuários na rede foi inicializado o ciclo de monitoramento do tráfego de dados. A Figura 3 apresenta a evolução do volume de tráfego em bytes transmitido nas direções *uplink* (UL) e *downlink* (DL) ao longo de sucessivos ciclos de simulação.

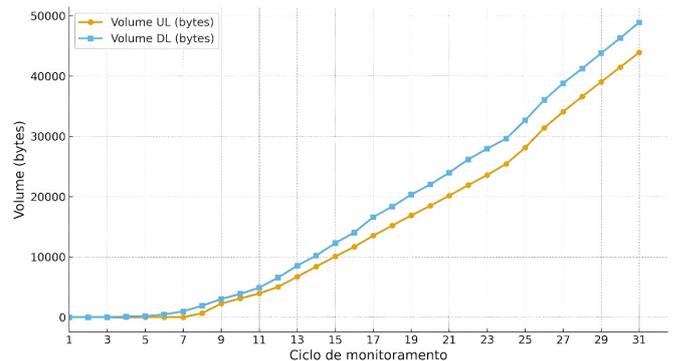


Fig. 3

VOLUME DE TRÁFEGO UL E DL AO LONGO DOS CICLOS DE MONITORAMENTO.

Este gráfico foi construído a partir da coleta de dados do evento `UE_COMMUNICATION`, que fornece estatísticas sobre o tráfego gerado por cada UE ativa. O NWDAF, através de assinaturas previamente configuradas via API REST, agregou os volumes de tráfego acumulados em UL e DL para cada ciclo de observação.

A tendência crescente das curvas demonstra que o pipeline de monitoramento de tráfego — incluindo captura, armazenamento e exposição analítica — está operando corretamente. A diferença entre os volumes de tráfego em UL e DL deve-se à configuração da simulação, que intencionalmente utilizou tamanhos distintos de pacotes nas duas direções, permitindo testar a capacidade do NWDAF em diferenciar e contabilizar fluxos bidirecionais.

Esse processo evidencia a robustez do NWDAF na geração de insights analíticos de desempenho da rede com base em dados reais de operação e sua correta exposição via interfaces RESTful.

¹<https://gitlab.eurecom.fr/oai/cn5g/oai-cn5g-fed>

TABELA I
COMPONENTES E VERSÕES UTILIZADOS NO AMBIENTE DE AVALIAÇÃO

Componente	Versão	Descrição
AMF, SMF, NRF, UPF, UDM	v2.0.0	Componentes principais do núcleo 5G da OAI, responsáveis por sinalização, sessões e dados de usuário.
NWDAF Engine	latest	Módulo principal de análise que processa dados de eventos recebidos.
NWDAF Engine-ADS	latest	Suporte à análise baseada em detecção de anomalias com algoritmos de aprendizado de máquina.
NWDAF SBI	latest	Interface que comunica o NWDAF com o núcleo 5G (REST/HTTP2).
NWDAF NBI Analytics	latest	Provedor da API REST para análises históricas e sob demanda.
NWDAF NBI Events	latest	Gerencia a interface de assinatura de eventos da rede.
MongoDB	~5.0	Banco de dados utilizado para persistência dos dados do NWDAF.
gNBsim	rohankharade/gnbsim:latest	Ferramenta de simulação de gNB + UEs para geração de tráfego e testes.
Docker Compose	1.29+	Ferramenta para orquestração dos serviços em contêineres.

IV. CONCLUSÃO

Este artigo propôs uma arquitetura baseada na *Network Data Analytics Function* (NWDAF) para o monitoramento da rede 5G, com foco na análise de métricas em tempo real tanto no plano de controle quanto no plano de dados. A arquitetura desenvolvida foi composta por módulos específicos para coleta, análise e exposição de dados, seguindo as especificações do 3GPP e integrando-se de forma transparente aos demais componentes do núcleo da rede. A proposta contemplou o desenvolvimento de monitores dedicados, capazes de interagir com o NWDAF por meio de APIs REST padronizadas, fornecendo dados analíticos essenciais para o acompanhamento da operação da rede.

Os resultados obtidos indicam que a solução proposta foi eficiente na captura e registro das métricas monitoradas. No plano de controle, foi possível obter, de forma contínua, informações sobre o número de UEs conectados e o total de sessões PDU estabelecidas. Já no plano de dados, o sistema conseguiu registrar volumes de tráfego uplink e downlink, bem como suas respectivas variações ao longo do tempo. Esses dados foram armazenados com sucesso em arquivos estruturados, permitindo uma análise posterior e validação da consistência por meio de consultas ao banco de dados do NWDAF.

Como trabalhos futuros, pretende-se utilizar os dados coletados para treinar modelos de aprendizado de máquina capazes de prever a carga da rede e o número de usuários conectados, antecipando comportamentos críticos e viabilizando a adaptação dinâmica da infraestrutura. Adicionalmente, a arquitetura poderá ser expandida para incluir novos eventos e métricas definidas nas releases mais recentes do 3GPP, fortalecendo o papel do NWDAF como ferramenta central no gerenciamento inteligente de redes móveis.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo projeto Nº 26/23 FADE/UFPE/FINEP (01.23.0528.00 -FINEP) REF. 2849/22 - (CONVÊNIO Nº 74/2023 - UFPE) 23076.100425/2023-24, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo nº 313083/2023-1) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE) (Processo nº IBPG-0130-1.03/23).

REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Innovation at Work, "How Advanced 5G and Beyond Networks Can Unlock the IoT Revolution," Jun. 14, 2022. [Online]. Available: <https://innovate.ieee.org/how-advanced-5g-and-beyond-networks-can-unlock-the-iot-revolution/>
- [2] M. V. R. K. Prasad, "How Germany Is Getting Cars to Talk to Each Other (And Traffic Lights)," WIRED, Oct. 2012. [Online]. Available: <https://www.wired.com/2012/10/v2v-germany/>
- [3] S. Zhao et al., "Virtual Reality Gaming on the Cloud: A Reality Check," arXiv preprint arXiv:2109.10114, Sep. 2021.
- [4] 3GPP TS 23.288, "Architecture enhancements for 5G system (5GS) to support network data analytics services," V17.9.0, June 2023.
- [5] X. Lin, "Artificial Intelligence in 3GPP 5G-Advanced: A Survey," IEEE Communications Technology News, vol. 2023, no. 8, pp. 1–5, Sep. 2023.
- [6] Enhanced Open-Source NWDAF for Event-Driven Analytics in 5G Networks H. Khasay, O. Alhussein, J. Liang, C. Li, E. Damiani to appear in IFIP Networking Workshops.
- [7] OLIVEIRA, Júnia Maísa; ALMEIDA, Jônatan; MACEDO, Daniel Fernandes; NOGUEIRA, José Marcos. Um framework NWDAF para algoritmos de análise de dados de rede 5G e além. WORKSHOP DE REDES 6G (W6G), 2024, Niterói/RJ. p. 9-14. DOI: <https://doi.org/10.5753/w6g.2024.3326>.
- [8] A. Mekrache, K. Boutiba and A. Ksentini, "Combining Network Data Analytics Function and Machine Learning for Abnormal Traffic Detection in Beyond 5G," GLOBECOM 2023 - 2023 IEEE Global Communications Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 2023, pp. 1204-1209, doi: 10.1109/GLOBECOM54140.2023.10436766.
- [9] F. S. Ardestani, N. Saha, N. Limam, e R. Boutaba, "Towards NWDAF-enabled Analytics and Closed-Loop Automation in 5G Networks," arXiv preprint arXiv:2505.06789, 11 de maio de 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2505.06789>