

# Arquitetura auto-gerenciável e dirigida por intenções para implantação de serviços em redes 6G

Mario T. Lemes<sup>1,2</sup>, Cristiano B. Both<sup>3</sup>, Kleber V. Cardoso<sup>1</sup>, Antonio Oliveira-Jr<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás, UFG, GO, Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Goiás, IFG, Formosa, GO, Brasil.

<sup>3</sup>Applied Computing Graduate Program, UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil.

<sup>4</sup>Fraunhofer Portugal AICOS, Porto, Portugal.

mario.lemes@ifg.edu.br, cbboth@unisinoss.br, {kleber,antoniojr}@ufg.br

**Abstract.** *Human-based decision are not appropriate for managing and operating future networks. In this paper, we propose to investigate the use of Intent-Based Network (IBN) for intelligent and autonomous 6G networks service management and operation. The integration with Artificial Intelligence (AI) is fundamental block for defining self-organized architectures. A close-loop IBN AI-based architecture needs to be built to manage 6G applications with different requisites and to solve problems related to data collection, model training, algorithm selection, and the new design of network.*

**Resumo.** *Processos de decisão baseados no fator humano não são adequadas para operação e gerenciamento de redes futuras. Neste trabalho, propomos investigar o uso de intenções para gerenciamento de serviço e operação das redes 6G. A integração com Inteligência Artificial é um fator fundamental para a realização de plataformas auto-gerenciáveis. Arquiteturas baseadas em intenção e com forte agregação de inteligência, nos diversos níveis do bloco estrutural, devem ser construídas para gerenciamento das aplicações com diferentes requisitos e para solucionar problemas relacionados à coleta de dados, treinamento de modelos, seleção de algoritmos e o projeto da rede.*

## 1. Introdução

Operadores de redes e sistemas são profissionais responsáveis pelos ativos físicos e lógicos da rede e serviços de gerenciamento e manutenção. As atividades desempenhadas são relacionadas ao projeto da rede e os recursos que serão disponibilizados aos usuários, configuração dos dispositivos e na resolução de problemas. Apesar dos avanços com advento das Redes Definidas por *Software* (*Software-Defined Network* - SDN), as atividades de gerenciamento, e.g., provisionamento, implantação, monitoramento de serviços são consideradas tarefas que demandam tempo substancial dos operadores [Alsudais and Keller 2017]. Aliado ao alto custo operacional, conhecimentos prévios do operador são requeridos, devido o uso de linguagens específicas na configuração dos equipamentos. O gerenciamento e manutenção de redes móveis das gerações passadas foram executados de forma manual e dirigidos pelo fator humano [Moysen and Giupponi 2018]. Essa característica, amplamente utilizada nas redes móveis de primeira à quarta geração (1G-4G), é dependente do especialista e apresenta custo elevado.

A rede móvel celular de quinta geração (5G) introduziu tecnologias flexíveis, baseadas em *software*, adequadas para aplicações que demandam requisitos variáveis de recursos relacionados a largura de banda, número massivo de conexões e latência [Agiwal et al. 2016]. De maneira semelhante, as redes pós-5G ou de sexta-geração (6G) adicionam requisitos ainda mais restritos referentes ao desempenho (*Terabytes* por segundo (TB/s) de velocidade), integração ubíqua de espaços (redes espaço-ar-terra) e de cobertura (arquiteturas de ultra dimensão) [Hakeem et al. 2022]. A autonomia e inteligência no gerenciamento e operação são fundamentais não somente em redes 5G, mas especialmente em redes 6G. Considerando o ambiente dinâmico, as atividades operacionais realizadas manualmente, baseadas no fator humano, são consideradas inadequadas, devido a incapacidade de adaptação [Mehmood et al. 2023].

Como tecnologia habilitadora do processo de automatização, redes baseadas por intenção (*Intent-Based Networks* - IBNs) surgem como tecnologia fundamental para gerenciamento e provisionamento de serviços em redes 6G. Intenções abstratas, descritas em linguagem natural, são transformadas em comandos de configuração de dispositivos, operação e em estratégias de manutenção [Wei et al. 2020]. As intenções [Clemm et al. 2022], único ponto de entrada utilizada pelos *stakeholders*, e.g., usuários finais, operadores da rede, do centro de dados, da borda e/ou da nuvem, são definidas como políticas de alto nível que ditam o comportamento da rede, através de objetivos relacionados ao desempenho, qualidade de serviço e segurança. Técnicas de Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence* - AI) aparece como tecnologia complementar ao uso de intenções nos processos de operação autônoma e inteligente da rede.

A relevância de IBN e aplicação de técnicas de AI para implantação e gerenciamento de serviços já foi identificada como fator fundamental no projeto de redes de próxima geração. [Wei et al. 2020] mostram que esta combinação diminui custos operacionais e de manutenção, além de otimizar o aproveitamento de recursos. Para [Zhang et al. 2019], devido a ubiquidade e autonomia das redes 6G, é importante que o gerenciamento, configuração e implantação de serviços sejam efetuados com intervenção humana próximo a zero (*zero touch*). [Tataria et al. 2021] recomendam o uso de redes baseadas por intenção como princípio de projeto na definição de arquiteturas de redes 6G. Esta tendência indica o emprego de intenções no centro dos processos de tomada de decisão, ocasionando a verdadeira configuração autônoma da rede. A incorporação de AI viabiliza a criação de arquiteturas de rede auto-gerenciáveis, isto é, capazes de auto-configurar, auto-monitorar, auto-otimizar e auto-remediar.

O objetivo deste trabalho é explorar o uso de intenções e AI no gerenciamento e implantação de serviços em redes 6G. Para facilitar o processo de configuração da rede e dos serviços, definimos uma arquitetura modular auto-gerenciável para traduzir as intenções de negócio, inseridas pelo usuário e/ou operador da rede. O módulo de especificação e tradução garante a manutenção da fidelidade das instruções de configuração geradas a partir da transformação das intenções. As instruções de configuração são gerenciadas pelo módulo de orquestração de serviços e de gerenciamento com intuito de implantação nos equipamentos da infraestrutura física e virtual da rede 6G. O módulo de otimização e remediação realiza tarefas corretivas a partir da análise de dados, e.g., re-configurações como consequência do refinamento das intenções.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma. Na Seção 1, realizamos

a definição do problema, bem como apontamos as tecnologias requeridas por redes 6G para definição de arquiteturas auto-gerenciáveis e inteligentes. Na Seção 2, mostramos conceitos relacionados as redes definidas por *software*, virtualização de funções de rede e computação em nuvem. Além disso, apontamos trabalhos relacionados que usam intenção e AI para definição de arquiteturas para redes móveis celulares B5G/6G. Na Seção 3, expomos a visão do modelo arquitetural proposto neste trabalho. Finalmente, na Seção 4, fazemos considerações sobre esta pesquisa e apontamos a direção de trabalhos futuros.

## 2. Fundamentação teórica

SDN é um paradigma que permite a transformação da operação e gerenciamento através da separação dos planos de controle e dados, possibilitando programabilidade do comportamento da rede [Xia et al. 2014]. Como consequência, a rede se torna mais eficiente, com maior desempenho e alta flexibilidade para acomodação de aplicações. Aliado a programabilidade da rede, a virtualização das funções de rede permite a implementação em *software* de funcionalidades anteriormente embutidas em *hardware* proprietário. As funções de rede podem ser implantadas em máquinas virtuais ou contêineres, dentro de centros de dados ou ambientes de nuvem [Esmaily and Krlevska 2021].

A computação em nuvem é um paradigma que possibilita implantação de redes remotas em equipamentos compartilhados na *Internet*. As aplicações desenvolvidas podem ser (i) adaptadas ou (ii) nativas. No caso (i), aplicações legadas são transportadas para o ambiente em nuvem e disponibilizadas para os usuários finais, através de um navegador. No caso (ii), aplicações são projetadas segundo princípios que exploram as vantagens deste paradigma. O objetivo é maximizar a escalabilidade, e.g., ao usar técnicas de desenvolvimento modular de *software*, uso de micro-serviços e integração com APIs [Mell et al. 2011].

### 2.1. Trabalhos relacionados

Diversos trabalhos [Wei et al. 2020] [Pang et al. 2020] realizam análise do uso de IBNs no gerenciamento de redes ao fornecer percepções sobre arquiteturas, metodologias, tecnologias habilitadoras, órgãos padronizadores, iniciativas da indústria e academia, desafios e direções de pesquisa. Entretanto, apresentam escassez de informações relacionadas aos detalhes intrínsecos das redes móveis celulares, e.g., relacionadas a transição do gerenciamento de serviços entre as redes B5G e 6G. Os autores também não fornecem detalhes da modelagem de parâmetros de interesse, e.g., indicadores de performance chave das aplicações de redes 6G.

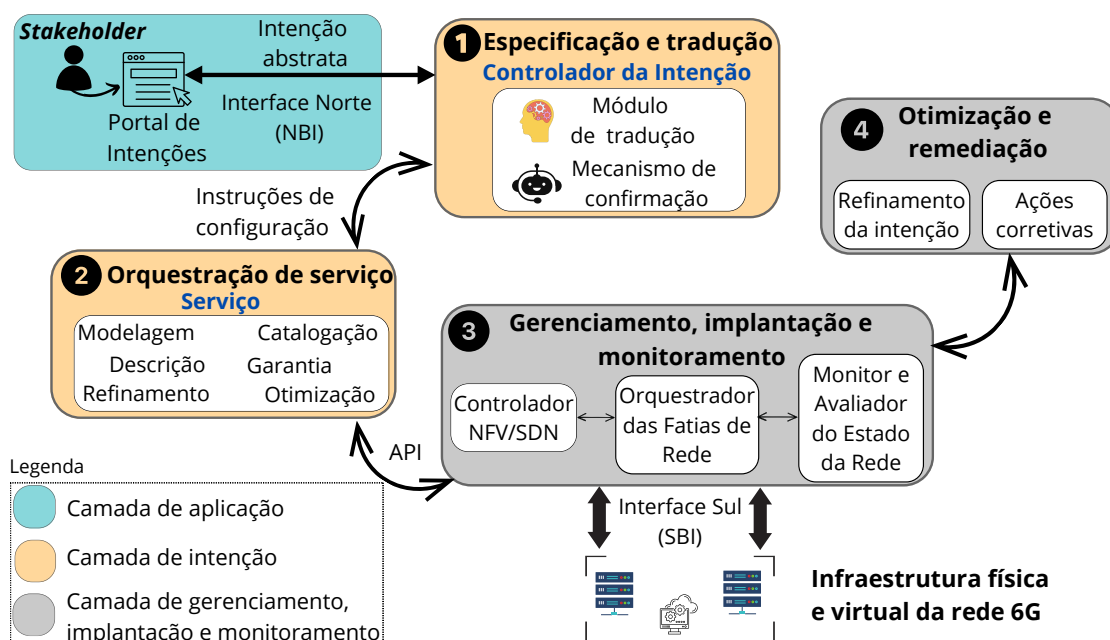
[Abbas et al. 2021] [Abbas et al. 2022] utilizam técnicas de AI em arquiteturas IBNs tradicionais para as redes 5G. De forma similar, [Lingga et al. 2022] propõe uma arquitetura baseada em intenções para gerenciamento em redes 6G e uso de *feedback* através da função de análise de dados de rede (*Network Data Analytics Function - NWDAF*). Os autores se limitam na apresentação da arquitetura e na definição das tecnologias. Acreditamos que o modelo é genérico e possui a desvantagem de ser baseado em arquiteturas baseadas em intenções tradicionais, não considerando os detalhes das redes B5G/6G. Nesse sentido, não são fornecidos detalhes de como os serviços serão modelados e as intenções serão processadas.

[Mehmood et al. 2023] identificam a evolução dos sistemas de comunicação e os desafios relacionados a comunicação sensível ao tempo e ultra confiável. Para os autores,

diferentes níveis de acordos de níveis de serviço e requisitos de qualidade de serviço oriundos de diferentes *stakeholders* devem ser considerados na modelagem das intenções dos usuários.

### 3. Proposta de solução

Este trabalho se propõe a construir um modelo arquitetural auto-gerenciável dirigido por intenções para redes de próxima geração, como é ilustrado na Figura 1. O modelo será composto por quatro módulos que tratam as intenções, desde a entrada realizada pelo usuário e/ou operador da rede até a implantação na infraestrutura física e virtual da rede 6G. Na camada de aplicação, *stakeholders* realizam a entrada da intenção usando objetivos de negócio associados aos acordos de níveis de serviço (*Service Level Agreement - SLAs*). O módulo de tratamento de intenções, por meio de um controlador de intenções, realiza especificação e tradução através do uso de técnicas de processamento de linguagem natural (*Natural Language Processing - NLP*).



**Figura 1. Arquitetura auto-gerenciável para implantação de serviços em 6G.**

A entrada do módulo (1), mostrado na Figura 1, é a intenção com alto grau de abstração, essencial para uso e operação de usuários não especialistas. No entanto, a saída são instruções de configuração. Para garantir o cumprimento das intenções, um mecanismo de confirmação, similar a um *chatbot*, será utilizado para garantir que intenções traduzidas sejam equivalentes às intenções originais. Após o processamento da intenção, o operador da rede será consultado para fornecer *feedback* da intenção gerada pelo mecanismo de inteligência. O uso de confirmação, anterior ao processo de implantação, evita que intenções traduzidas erroneamente sejam utilizadas para configuração dos equipamentos e da infraestrutura física e virtual. Assim, colaboramos nas atividades de gerenciamento e manutenção, devido a não necessidade de conhecimento em linguagens específicas para configuração dos equipamentos. A previsão de inteligência nas camadas de aplicação e intenção do bloco estrutural da arquitetura proposta é fundamentada pelo uso de técnicas de AI/NLP para tratamento das intenções.

O módulo de orquestração de serviço recebe como entrada as instruções de configuração geradas pelo módulo de especificação e tradução. O módulo (2) da Figura 1 é necessário para descrição, modelagem, catalogação, refinamento e otimização das intenções traduzidas. Através de uma API, as instruções de configuração tornam-se entrada para o módulo de gerenciamento, implantação e monitoramento. Neste ponto, a intenção traduzida é implantada nos recursos de *hardware* e *software* disponíveis na infraestrutura que compõe a rede 6G. Neste ponto, múltiplos domínios devem ser considerados nos processos de implantação. Os recursos físicos e lógicos podem estar em centro de dados, borda ou na nuvem. Adicionalmente, um monitor para coleta e avaliação do estado da rede armazena informações que serão utilizadas nas atividades de otimização e remediação.

O módulo de otimização e remediação adiciona possibilidade de *feedback* de satisfação das intenções ao modelo arquitetural, ao usar e analisar dados (através de algoritmos de Aprendizagem de Máquina - Machine Learning - ML) coletados pelo módulo de gerência, implantação e monitoramento. O módulo (4) da arquitetura possibilita a implementação de tarefas corretivas, re-configurações ou, em último caso, a notificação de usuários da impossibilidade de cumprimento da intenção. Os módulos (1) especificação e tradução da intenção, (2) orquestração de serviço, (3) gerenciamento, implantação e monitoramento e (4) otimização e remediação atuam como um mecanismo de *loop* fechado e inteligente para auto-gerenciamento dos serviços das redes futuras.

#### **4. Conclusão**

A combinação entre IBN e AI aparece como fator chave no gerenciamento autônomo e implantação de serviços. Neste trabalho, realizamos a proposição de uma arquitetura auto-gerenciável, baseada em intenções e uso de técnicas de AI/ML, para implantação e orquestração de serviços em redes 6G. Diferentemente de outras redes, 6G requer módulos de inteligência em diferentes níveis do bloco estrutural para realização de redes auto-gerenciáveis. A investigação de soluções para o endereçamento do problema de gerenciamento autônomo, em sua plenitude, necessita avançar com desenvolvimento de técnicas que tratam intenções conforme necessidades das aplicações das redes 6G. O estado da arte sobre o uso de intenções, 6G e AI se limita na definição de arquiteturas tradicionais, genéricas, e em alguns casos, aplicadas ainda em redes 5G.

É fundamental o amadurecimento relacionado ao processamento de intenções, modelos de coleta, avaliação, treinamento e seleção de algoritmos. Como trabalhos futuros, pretendemos explorar as camadas de aplicação, intenção e gerenciamento da arquitetura com objetivo de construir uma prova de conceito de uma plataforma auto-gerenciável, dirigida por intenções e com forte agregação de inteligência para as redes 6G. Primeiro, a definição da arquitetura e a proposta de construção dos módulos serão voltados para aplicações típicas dessas redes. Segundo, a adoção de técnicas de AI/ML como princípio de projeto em cada camada da solução, assegura a definição de uma arquitetura que especifica, traduz e realiza ações operacionais com requisitos de autonomia e inteligência requeridos pelas redes móveis B5G/6G.

#### **Referências**

Abbas, K., Khan, T. A., Afaq, M., and Song, W. C. (2021). Network slice lifecycle management for 5G mobile networks: An intent-based networking approach. *IEEE*

*Access*, 9:80128–80146.

- Abbas, K., Khan, T. A., Afaq, M., and Song, W.-C. (2022). Ensemble learning-based network data analytics for network slice orchestration and management: An intent-based networking mechanism. In *NOMS 2022-2022 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pages 1–5.
- Agiwal, M., Roy, A., and Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3):1617–1655.
- Alsudais, A. and Keller, E. (2017). Hey network, can you understand me? In *2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pages 193–198. IEEE.
- Clemm, A., Ciavaglia, L., Granville, L., and Tantsura, J. (2022). RFC9315 intent-based networking-concepts and definitions. *RFC Editor*.
- Esmaily, A. and Krlevska, K. (2021). Small-scale 5G testbeds for network slicing deployment: A systematic review. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021:1–26.
- Hakeem, S. A. A., Hussein, H. H., and Kim, H. (2022). Vision and research directions of 6G technologies and applications. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- Lingga, P., Kim, J. J., and Jeong, J. P. (2022). Intent-based network management in 6G core networks. In *2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pages 760–762.
- Mehmood, K., Krlevska, K., and Palma, D. (2023). Intent-driven autonomous network and service management in future cellular networks: A structured literature review. *Computer Networks*, 220:109477.
- Mell, P., Grance, T., et al. (2011). The NIST definition of cloud computing. *Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National*.
- Moysen, J. and Giupponi, L. (2018). From 4G to 5G: Self-organized network management meets machine learning. *Computer Communications*, 129:248–268.
- Pang, L., Yang, C., Chen, D., Song, Y., and Guizani, M. (2020). A survey on intent-driven networks. *IEEE Access*, 8:22862–22873.
- Tataria, H., Shafi, M., Molisch, A. F., Dohler, M., Sjöland, H., and Tufvesson, F. (2021). 6G wireless systems: Vision, requirements, challenges, insights, and opportunities. *Proceedings of the IEEE*, 109(7):1166–1199.
- Wei, Y., Peng, M., and Liu, Y. (2020). Intent-based networks for 6G: Insights and challenges. *Digital Communications and Networks*, 6(3):270–280.
- Xia, W., Wen, Y., Foh, C. H., Niyato, D., and Xie, H. (2014). A survey on software-defined networking. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1):27–51.
- Zhang, Z., Xiao, Y., Ma, Z., Xiao, M., Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G. K., and Fan, P. (2019). 6G wireless networks: Vision, requirements, architecture, and key technologies. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14(3):28–41.