

Integração do 5G com Tecnologias Habilitadoras nas Telecomunicações



Prof. Paulo Ditarso Maciel Jr.

30 de agosto de 2024

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE)

Aula Inaugural do PPGEE – Turma 2024.2

```
$ git clone https://github.com/pdmjr/PPGEE_20242.git
```

Atenção¹

- Esta apresentação não pretende aprofundar nenhum tópico!
- E qual é o objetivo desta apresentação?



Agenda

1. Introdução às Redes 5G
2. Tecnologias Habilitadoras do 5G
 - Redes Definidas por Software (SDN)
 - Virtualização das Funções de Rede (NFV)
 - *Network Slicing* (NS)
3. Casos de Uso
 - *Closed-Loop Control* no 5G
 - Indústria 4.0 e 5G
4. Exemplos de Pesquisas
5. Tópicos Quentes de Pesquisa
6. Conclusão

Introdução às Redes 5G

O que é o 5G?

- Quinta geração de redes móveis.
- Promete velocidades ultrarrápidas, latência ultrabaixa e conectividade massiva.
- Suporte a novas aplicações, como IoT, realidade aumentada/virtual, veículos autônomos.

Arquitetura do 5G

- **Rede de Acesso por Rádio (RAN):** Nova radiofrequência e técnicas avançadas de transmissão.
- **Rede Central (Core):** Baseada em software, mais flexível e ágil.
- **Suporte Multisserviço:** *Network slicing* para diferentes tipos de serviços.

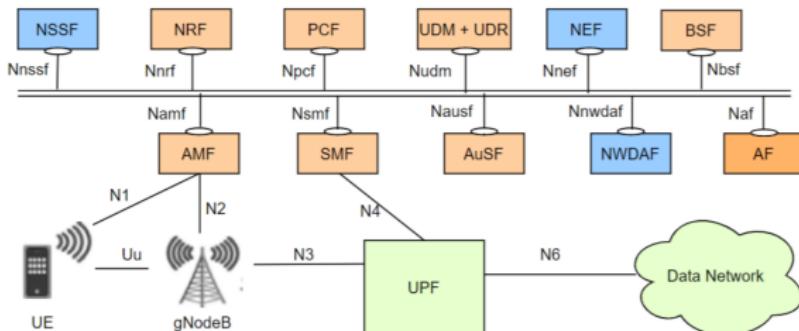


Figura 1: Arquitetura Geral do 5G²

Características Técnicas do 5G

- **Velocidade:** Até 20 Gbps.
- **Latência:** Menos de 1 ms.
- **Conectividade Massiva:** Suporte para até 1 milhão de dispositivos por km².
- **Eficiência Espectral:** Utilização otimizada do espectro.

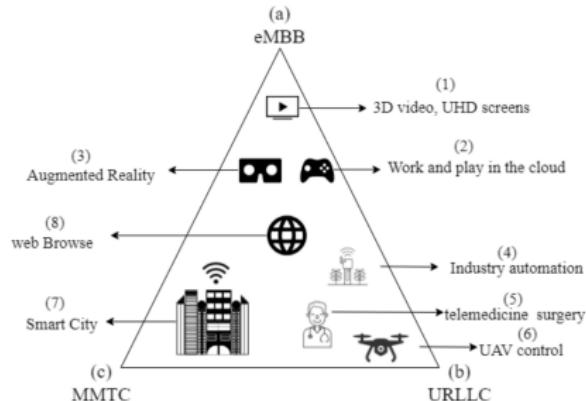
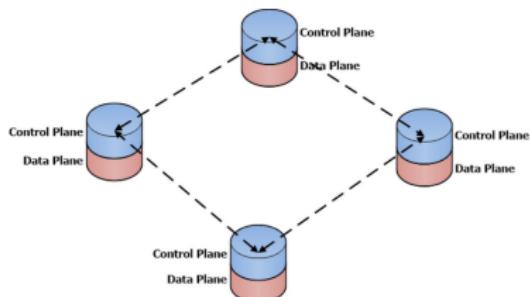


Figura 2: Requisitos para diferentes tipos de aplicações³

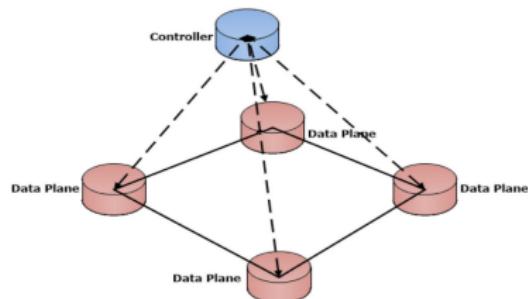
Tecnologias Habilitadoras do 5G

Introdução ao SDN

- **Definição:** Arquitetura de rede que separa o plano de controle do plano de dados.
- **Componentes Principais:** Aplicações de rede, controlador SDN, switches programáveis, interfaces.
- **Vantagens:** Flexibilidade, centralização do controle, automação.



(a) Tradicional



(b) SDN

Figura 3: Redes tradicionais vs SDN⁴

Componentes SDN

- **Plano de Aplicação:** Controle dos recursos via programação.
- **Plano de Controle:** Gerência centralizada dos recursos de rede.
- **Plano de Dados:** Dispositivos de comutação físicos ou virtuais.
- **Interfaces:** Comunicação entre os planos, ao norte (REST), sul (OpenFlow, P4), leste, oeste (API dos controladores).

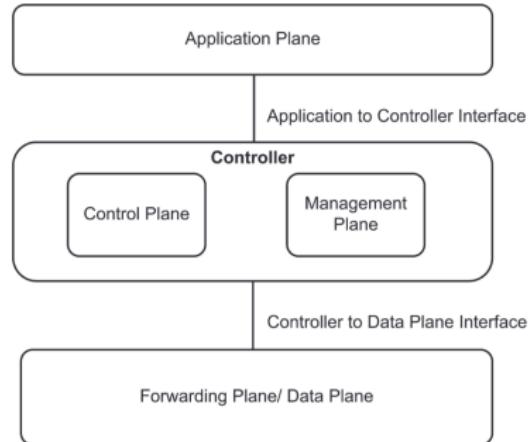


Figura 4: Arquitetura SDN^a

^aIEEE Std 1930.1-2022, “IEEE Recommended Practice for Software-Defined Networking (SDN) Based Middleware for Control and Management of Wireless Networks”.

- Automação de Redes: Gerência dinâmica do tráfego e recursos.
- Casos de Uso: Redes IoT, redes industriais, redes de campus.
- *Network Slicing*: Criação de fatias para diferentes serviços.

- **Definição:** Abstração das funções de rede do hardware proprietário, executando-as em servidores padrão.
- **Componentes Principais:** VNF (Funções de Rede Virtualizadas), NFVI (Infraestrutura de Virtualização).
- **Vantagens:** Redução de custos, flexibilidade, rapidez na introdução de serviços.

Integração NFV com 5G

- Virtualização do EPC (*Evolved Packet Core*): Gestão centralizada e flexível do core da rede.
- vRAN (*Virtualized Radio Access Network*): Otimização da rede de acesso rádio.
- *Edge Computing*: Suporte a aplicações de baixa latência e alta demanda.

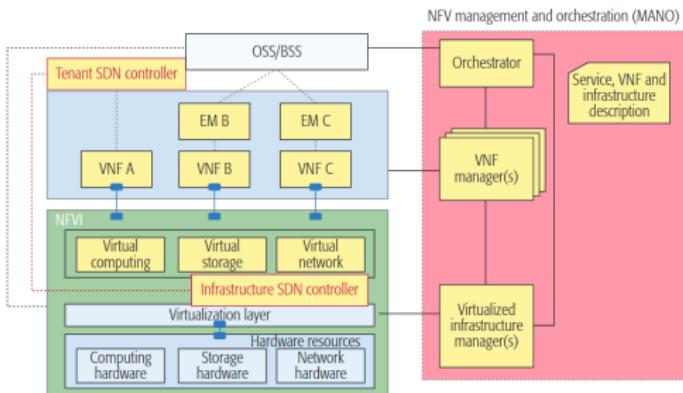


Figura 5: Arquitetura geral NFV

Introdução ao *Network Slicing*

- **Definição:** Técnica que permite a criação de múltiplas redes virtuais independentes sobre uma única infraestrutura física, otimizadas para atender diferentes requisitos de serviços e aplicações dentro de uma rede 5G.
- **Componentes Principais:** NFV e SDN.
- **Vantagens:** Garantir QoS, agilidade de implantação, personalizar e otimizar recursos de rede para diferentes serviços.

Integração NS com 5G

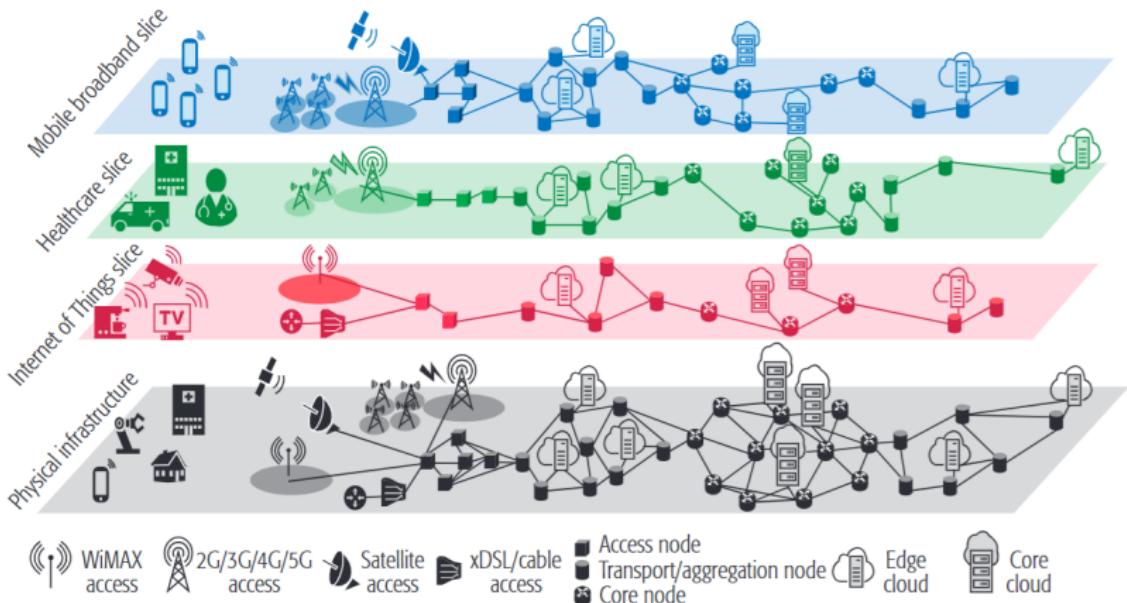


Figura 6: Fatiamento de redes⁵

⁵Ordonez-Lucena et al., “Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges”.

Casos de Uso

Closed-Loop Control (CLC)

- **Definição:** Sistema de automação que ajusta parâmetros da rede em tempo real com base em feedback contínuo.
- **Componentes:** Monitoramento, análise, decisão e execução.
- **Benefícios:** Otimização contínua da rede, melhoria na Qualidade de Serviço (QoS), resposta rápida a falhas.

- ***Self-Organizing Networks (SON)***: Redes que se auto-configuram, otimizam e recuperam.
- **Gerenciamento de Tráfego**: Ajustes automáticos para otimizar o fluxo de dados.
- **Manutenção Preditiva**: Prevenção de falhas com base em análise contínua de dados.

Introdução à Indústria 4.0

- **Definição:** Fusão de tecnologias digitais, físicas e biológicas, impulsionada pela conectividade e automação.
- **Componentes:** IoT, robótica avançada, *big data*, IA, e computação em nuvem.
- **Objetivo:** Produção mais inteligente, eficiente e flexível.

O Papel do 5G na Indústria 4.0

- **Conectividade Onipresente:** Conexão confiável para um grande número de dispositivos e sensores.
- **Baixa Latência:** Comunicação quase em tempo real, essencial para automação.
- **Customização e Flexibilidade:** Produção adaptável às demandas do mercado.

Casos de Uso do 5G na Indústria 4.0

- **Automação e Robótica:** Robôs conectados em tempo real.
- **Manutenção Preditiva:** Monitoramento contínuo de equipamentos para prever falhas.
- **Supply Chain Inteligente:** Integração e otimização em tempo real de toda a cadeia de suprimentos.

Exemplos de Pesquisas

Disseminação de Eventos Críticos por VANETS⁶

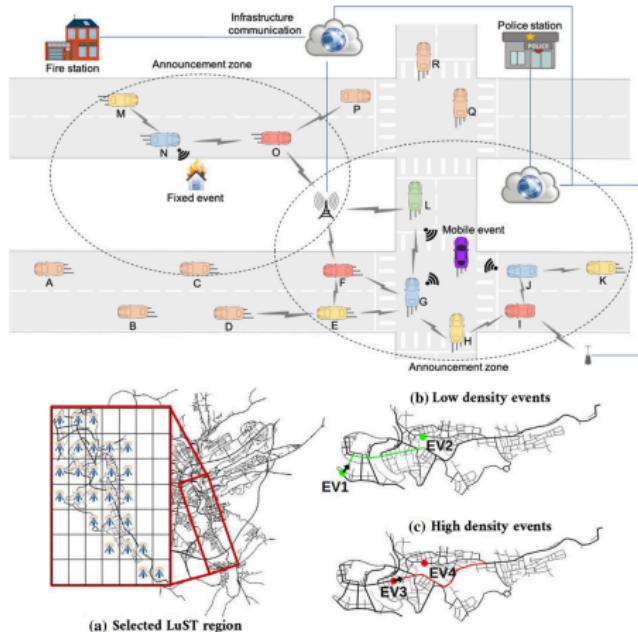


Figura 7: Topologia e cenário

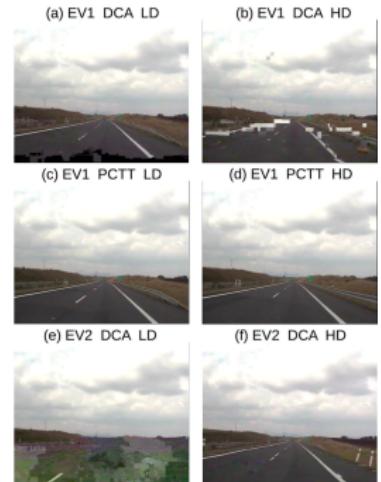


Figura 8: Resultados

Orquestração e Gerência de Cloud-Network Slices⁷

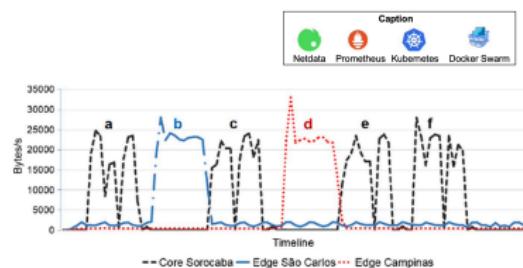
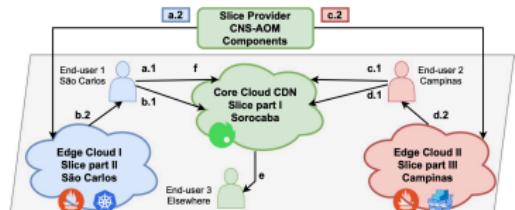


Figura 9: PoC VoD

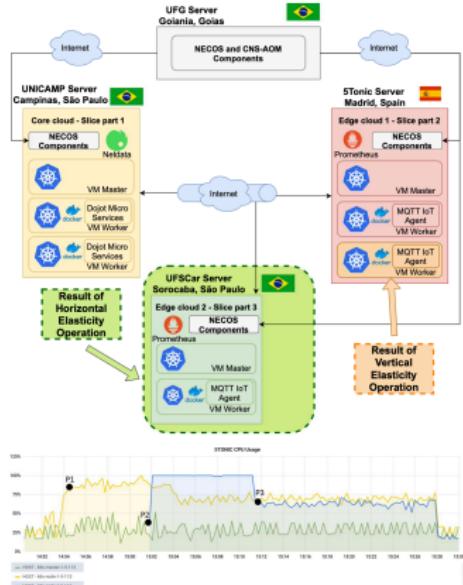
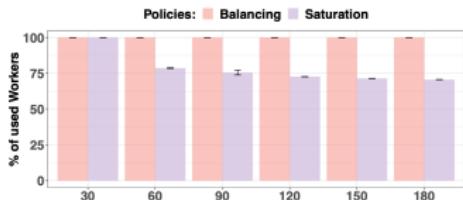
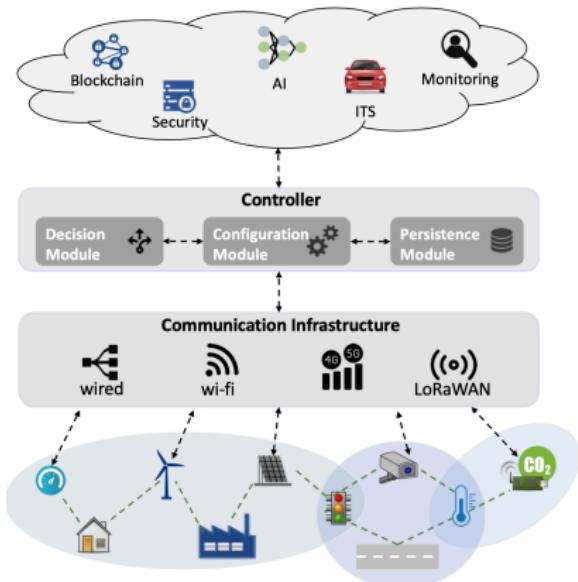


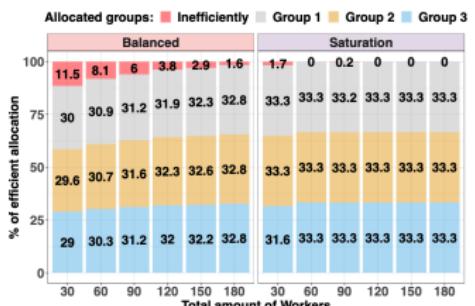
Figura 10: PoC IoT

⁷Rocha, Cesila, Maciel et al., “CNS-AOM: Design, Implementation and Integration of an Architecture for Orchestration and Management of Cloud-Network Slices”.

Alocação de Recursos em Redes IoT Multifuncionais⁸



(a) Percentage of used *Workers* (Eq. 1).



(b) Percentage of efficient allocation (Eq. 2).

Figura 11: Políticas de gerenciamento em redes IoT multifuncionais

⁸Silva et al., “**POSITRON: Efficient Allocation of Smart City Multifunctional IoT Devices Aware of Computing Resources**”.

Transmissão de Vídeo em Tempo Real via Rede 5G Privada

- Implementar ambiente de *testbed* que possibilite experimentação da aplicação de vídeo
- Investigar influência da rede de transporte no desempenho das aplicações
- Avaliar estratégias para aumento de desempenho na transmissão de vídeo em redes 5G privadas

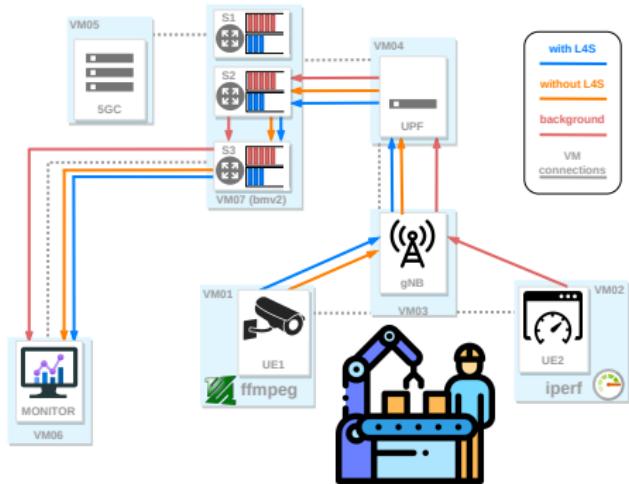


Figura 12: Testbed de software com implementação *open source* da rede 5G (autoria própria)

Tópicos Quentes de Pesquisa

- **6G e Além:** Exploração de tecnologias para a próxima geração de redes móveis⁹
- **Inteligência Artificial Integrada:** Aplicação de AI/ML para otimização e automação de redes 5G¹⁰
- **Segurança e Privacidade:** Desafios na proteção de dados e na prevenção de ataques cibernéticos em ambientes 5G¹¹
- **Edge Computing Avançado:** Expansão da capacidade de processamento na borda da rede para suportar aplicações em tempo real¹²
- **Network Slicing Dinâmico:** Desenvolvimento de métodos para alocação e gerenciamento dinâmico de fatias de rede¹³

Tópicos Quentes de Pesquisa ii

- **Integração com IoT Massivo:** Soluções para lidar com a conectividade de bilhões de dispositivos IoT¹⁴
- **Ambientes Virtuais e Realidade Aumentada/Virtual:** Potencial do 5G para suportar experiências imersivas de alta qualidade¹⁵

⁹ Salahdine, Han e Zhang, “5G, 6G, and Beyond: Recent advances and future challenges”.

¹⁰ Zhang et al., “Artificial intelligence for 5G and beyond 5G: Implementations, algorithms, and optimizations”.

¹¹ Salahdine, Han e Zhang, “Security in 5G and beyond recent advances and future challenges”.

¹² Sarah, Nencioni e Khan, “Resource allocation in multi-access edge computing for 5G-and-beyond networks”.

¹³ Abdellatif et al., “Dynamic network slicing and resource allocation for 5G-and-beyond networks”.

¹⁴ Guo et al., “Enabling massive IoT toward 6G: A comprehensive survey”.

¹⁵ Krogfoss et al., “Quantifying the value of 5G and edge cloud on QoE for AR/VR”.

Conclusão

Conclusão

- A integração SDN/NVF/5G é a base da transformação digital
- Flexibilidade e agilidade
 - SDN: Controle centralizado e programável da rede.
 - NFV: Virtualização de funções de rede para rápida implantação e escalabilidade.
- Redução de Custos Operacionais
 - Menor dependência de hardware proprietário, redução de OPEX e CAPEX.
- Automação e Controle em Tempo Real
 - SDN: Automação e otimização do tráfego em tempo real.
 - NFV: Implantação rápida e ajuste de serviços conforme as condições de rede.
- Dicas valiosas a seguir...

Dicas Valiosas

- Aprenda a desenvolver software

"We reject: kings, presidents, and voting.
We believe in: rough consensus and
running code." David Clark, 1992.



Figura 13: Vida de programador #169

Dicas Valiosas

- Identificar tópicos quentes de pesquisa

CFPs, acompanhar grupos de pesquisa, trabalhos futuros de teses e dissertações etc.

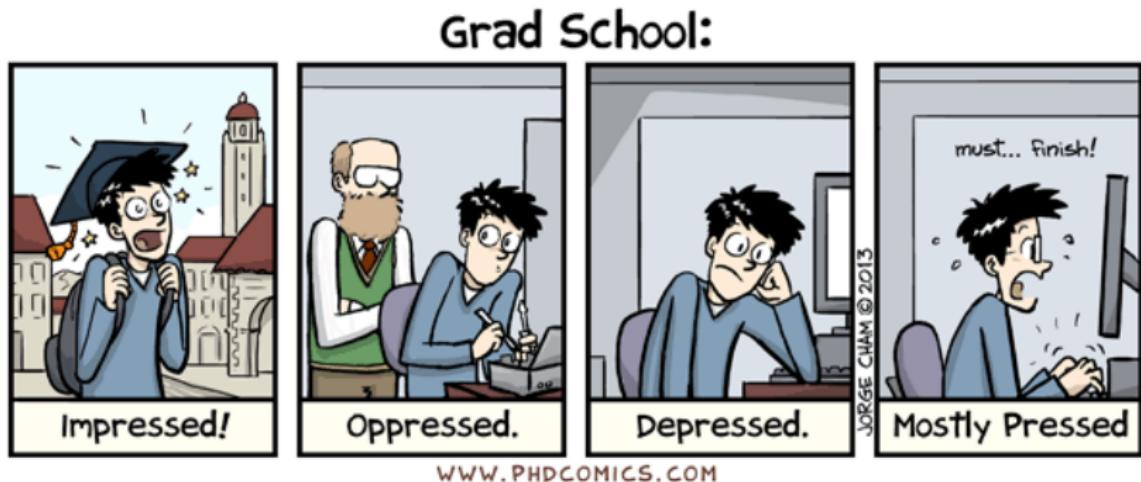


Figura 14: PhD Comics: “Professed?”

Dicas Valiosas

- Publicar é muito importante (*publish or perish!!*)



Figura 15: Explain xkcd

Dicas Valiosas

- Não brigue com seu orientador
(Apesar de não ser um Jedi, respeite a opnião dele e dos mais experientes)



Figura 16: Screen Rant

Dicas Valiosas

- Registre tudo (escrita), não deixe pra depois
(Principalmente os resultados e as revisões de trabalhos relacionados!!)
- Faça reuniões constantes



Figura 17: Deviant Art

Dicas Valiosas

- A caminhada é muitas vezes mais rica do que o final da trilha
- O processo de formação do profissional é talvez mais importante do que o documento final



Figura 18: Thy Mind O Man

Referências

-  Abdellatif, Alaa Awad et al. “**Dynamic network slicing and resource allocation for 5G-and-beyond networks**”. Em: *2022 IEEE wireless communications and networking conference (WCNC)*. IEEE. 2022, pp. 262–267.
-  Andrade, E., A. Santos, P. D. Maciel et al. “**Analyzing cooperative monitoring and dissemination of critical mobile events by VANETs**”. Em: *Wireless Networks* 27.6 (2021), pp. 1981–1997. DOI: [10.1007/s11276-021-02551-z](https://doi.org/10.1007/s11276-021-02551-z). URL: <https://doi.org/10.1007/s11276-021-02551-z>.
-  Andrade, Everaldo et al. “**Quality Assessment of VANETs-Supported Video Dissemination of Critical Urban Events**”. Em: *IEEE INFOCOM 2021 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*. 2021, pp. 1–6. DOI: [10.1109/INFOCOMWKSHPS51825.2021.9484551](https://doi.org/10.1109/INFOCOMWKSHPS51825.2021.9484551).

-  Guo, Fengxian et al. "Enabling massive IoT toward 6G: A comprehensive survey". Em: *IEEE Internet of Things Journal* 8.15 (2021), pp. 11891–11915.
-  IEEE Std 1930.1-2022. "IEEE Recommended Practice for Software-Defined Networking (SDN) Based Middleware for Control and Management of Wireless Networks". Em: *IEEE Std 1930.1-2022* (2022), pp. 1–119. DOI: [10.1109/IEEESTD.2022.9873864](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2022.9873864).
-  Kazmi, Syed Hasan Ahmed, Faizan Qamar, Rizwan Hassan et al. "Survey on Joint Paradigm of 5G and SDN Emerging Mobile Technologies: Architecture, Security, Challenges and Research Directions". Em: *Wireless Personal Communications* 130 (2023), pp. 2753–2800. DOI: [10.1007/s11277-023-10402-7](https://doi.org/10.1007/s11277-023-10402-7).
-  Krogfoss, Bill et al. "Quantifying the value of 5G and edge cloud on QoE for AR/VR". Em: *2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. IEEE. 2020, pp. 1–4.
-  Nisar, Kashif et al. "A survey on the architecture, application, and security of software defined networking: Challenges and open issues". Em: *Internet of Things* 12 (2020), p. 100289. ISSN: 2542-6605. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100289>.

-  Ordóñez-Lucena, Jose et al. "Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges". Em: *IEEE Communications Magazine* 55.5 (2017), pp. 80–87. DOI: [10.1109/MCOM.2017.1600935](https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935).
-  Rocha, A. L. B., C. H. Cesila, P. D. Maciel et al. "CNS-AOM: Design, Implementation and Integration of an Architecture for Orchestration and Management of Cloud-Network Slices". Em: *Journal of Network and Systems Management* 30.1 (2022), p. 34. DOI: [10.1007/s10922-022-09641-z](https://doi.org/10.1007/s10922-022-09641-z). URL: <https://doi.org/10.1007/s10922-022-09641-z>.
-  Salahdine, Farid, Tian Han e Ning Zhang. "5G, 6G, and Beyond: Recent advances and future challenges". Em: *Annals of Telecommunications* 78.5-6 (2023), pp. 525–549. DOI: [10.1007/s12243-022-00938-3](https://doi.org/10.1007/s12243-022-00938-3). URL: <https://doi.org/10.1007/s12243-022-00938-3>.
-  Salahdine, Fatima, Tao Han e Ning Zhang. "Security in 5G and beyond recent advances and future challenges". Em: *Security and Privacy* 6.1 (2023), e271.

-  Sarah, Annisa, Gianfranco Nencioni e Md Muhidul I Khan. “Resource allocation in multi-access edge computing for 5G-and-beyond networks”. Em: *Computer Networks* 227 (2023), p. 109720.
-  Silva, Leandro H. B. da et al. “**POSITRON: Efficient Allocation of Smart City Multifunctional IoT Devices Aware of Computing Resources**”. Em: *Journal of Internet Services and Applications* 15.1 (2024), pp. 112–124. DOI: [10.5753/jisa.2024.3833](https://doi.org/10.5753/jisa.2024.3833). URL: <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/jisa/article/view/3833>.
-  Vittal, Shwetha et al. “A Zero Touch Emulation Framework for Network Slicing Management in a 5G Core Testbed”. Em: *2021 17th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*. 2021, pp. 521–523. DOI: [10.23919/CNSM52442.2021.9615531](https://doi.org/10.23919/CNSM52442.2021.9615531).
-  Zhang, Chuan et al. “Artificial intelligence for 5G and beyond 5G: Implementations, algorithms, and optimizations”. Em: *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems* 10.2 (2020), pp. 149–163.

Sejam bem-vindos!!