

Brasil 6G

Contribuições para a Arquitetura da Rede 6G: Visão Evolutiva e Disruptiva

Prof. Flávio de Oliveira Silva, Ph.D. – FACOM/UFU



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



Equipe

- CPQD
- INATEL
- UFG
- UFU

Perguntas Motivadoras

- Qual é o estado da arte em arquiteturas para o 6G?
- Quais os habilitadores tecnológicos?
- Quais são os casos de uso e os requisitos?
- Como contribuir com a arquitetura da rede 6G?

Análise do Estado da Arte

Visão Geral

- Análise ampla da literatura disponível
 - 123 artigos
 - 54 abordando visão arquitetural
 - 69 abordando outros aspectos
- Focos da análise
 - Tecnologias Habilitadores
 - Casos de Uso
 - Arquiteturas



Tecnologias Habilitadoras

- Fundamentos para a Rede 6G

Fundamento	Descrição
Energia	Oferta, gasto e transferência de energia que alimenta os sistemas.
Sensoriamento e Atuação	Sensoriamento do mundo físico. Programabilidade das coisas conectadas.
Comunicação	Conectividade entre componentes da arquitetura, incluindo aspectos de camada física, enlace, rede. Sistemas e redes digitais. Inclui novas tecnologias de comunicação.
Softwarização	Papel do software no 6G. Inclui aspectos relacionados a virtualização, servitização, representação (gêmeos digitais), fatiamento e fragmentação funcional. Inclui habilitadores relacionadas a novas realidades, virtuais ou aumentadas.
Imutabilidade	Cobre os fundamentos associados ao registro imutável de informações e a computação determinística descentralizada. Inclui as chamadas <i>Distributed Ledger Technologiess</i> (DLTs). Como consequência, cobre as questões relacionadas a micropagamentos, tokenização, <i>smart contracts</i> e criptoativos.
Inteligência	Suporte a tomada de decisão via técnicas de <i>Artificial Intelligence</i> (AI), <i>Machine Learning</i> (ML), <i>Self-Organizing Network</i> (SON), pilotos automáticos. Inclui o hardware de AI, como por exemplo computação neuromórfica.
Segurança	Cobre os pilares clássicos da segurança: sigilo, integridade, autenticação, disponibilidade, autorização, confiança, transparência, identidade, identificação, rastreabilidade, reputação.
Quantum	Tecnologia quânticas como computação, comunicações, segurança, aprendizado de máquina, etc.

FUNDAMENTOS	NÚMERO DE HABILITADORES
Energia	3
Sensoriamento e Atuação	2
Comunicação	27
Softwarização	16
Imutabilidade	10
Inteligência	6
Segurança	4
Tecnologia Quântica	4
TOTAL	72

Tecnologias Habilitadoras

- Energia

Energy Harvesting
Wireless Power Transferring
Green Technology

- Sensoriamento e Atuação

Ubiquitous Sensing
IoT-based Sensing .

- Softwarização

Software Defined Networking . . .
Temporospatial SDN
Network Function Virtualisation .
Multi-access Edge Computing . . .
Network Slicing
Open RAN
Digital Twins
Avatars
Data Orientation
Service Orientation
Compute First Networking
In-Network Computing
Network Caching
Intent-Based Networking
Augmented/Virtual Realities
Cloud Elasticity

- Comunicação

Unmanned Aerial Vehicle
THz Communications
Visible Light Communications
Ultra-Massive MIMO
Intelligent Reflecting Surface/Reconfigurable Intelligent Surface
Optical Wireless Communications
Space-Air-Terrestrial-Sea Integrated Networks
Device-to-Device
Non-Orthogonal Multiple Access
Fast Accurate Beamforming
Haptic Protocols
Ultra-Dense Networks
Internet Information Broadcast Storage
Coordinated Multi-Point
Intelligent OFDMA
High Altitude Plataforms
Disruptive Waveforms
Delay-awareness e Intermittent Connectivity
Communication, Computing, Control Convergence
Predictive Resource Allocation
Dynamic Spectrum Allocation
Cognitive Radio
Redes 3D
Elastic-RAN
Holographic Radio
Cell-Free Networking
Molecular Communications

Tecnologias Habilitadoras

- Inteligência

Inteligência Artificial . . .
Computação Neuromórfica
Zero-Touch Management .
Aprendizado de Máquina .
Self-Organizing Network .
Self-Evolving Network . .

- Segurança

Encriptação Homomórfica
Tecnologias de Privacidade
Tecnologias de Confiança/Reputação
Tecnologias de Identificação

- Tecnologia Quântica

Quantum Computing
Quantum-Assisted Communications e Quantum Internet
Quantum Machine Learning
Post-Quantum Security

Arquiteturas de Rede 6G

- Conceito de Arquitetura
 - Estrutura, ou estruturas de um sistema, que compreende os elementos, ou partes, deste sistema, suas propriedades e suas relações
 - É resultado de um conjunto de regras de negócio e de decisões técnicas
 - Deve fornecer respostas em nível suficiente para a implementação
 - Decisões arquiteturais são pelas tecnologias disponíveis
 - Importância de entender quais são os habilitadores

Classificação das Arquiteturas 6G

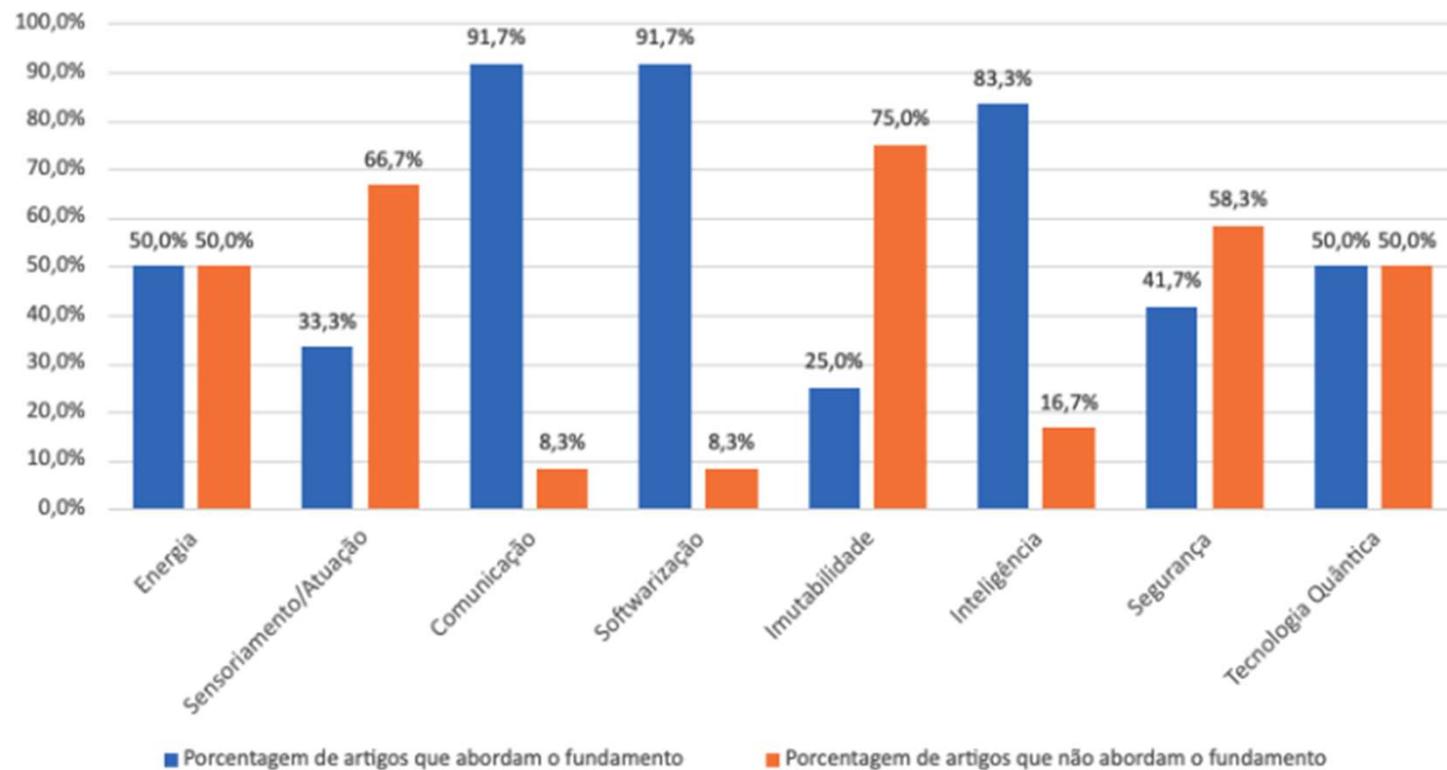
- Escopos

Tipo	Descrição
E1 Universal 12 artigos	Maior escopo possível no qual as prospecções para o 6G se aplicam. Foco em todas as infraestruturas físicas e virtuais para cobertura global e interplanetária. No geral as arquiteturas apresentam uma visão em largura da arquitetura, sem focar determinados aspectos. Apresentam ainda referências aos diversos casos de uso associados.
E2 Telecomunicações 9 artigos	Trata do escopo de sistemas e rede de telecomunicações para redes 6G. Ou seja, foco é nos aspectos relacionados a troca de informação entre terminais e nós. É o foco tradicional de redes, incluindo RAN e núcleo. Pode até abordar questões de computação, mas elas são apenas suporte. No geral estas arquiteturas possuem uma relação com arquiteturas existentes das redes móveis e apresentam componentes e conceitos já utilizados e vislumbram uma evolução da arquitetura atual.
E3 Computação 10 artigos	Trata do escopo de computação em data center, borda, distribuída, descentralizada na rede. Ou seja, o foco é em aspectos relacionados ao processamento de informação na realização de uma arquitetura para rede 6G. Os aspectos de rede aparecem, mas não são o foco.
E4 Especializada 23 artigos	Estas arquiteturas apresentam algum aspecto relacionado com 6G que pode influenciar a sua arquitetura. No geral este aspecto é apresentado ou utilizado em profundidade na descrição. Entre os exemplos destes aspectos estão, entre outros, a segurança e a gestão.
54 artigos	

Habilitadores x Escopos

Escopo E1 - Universal

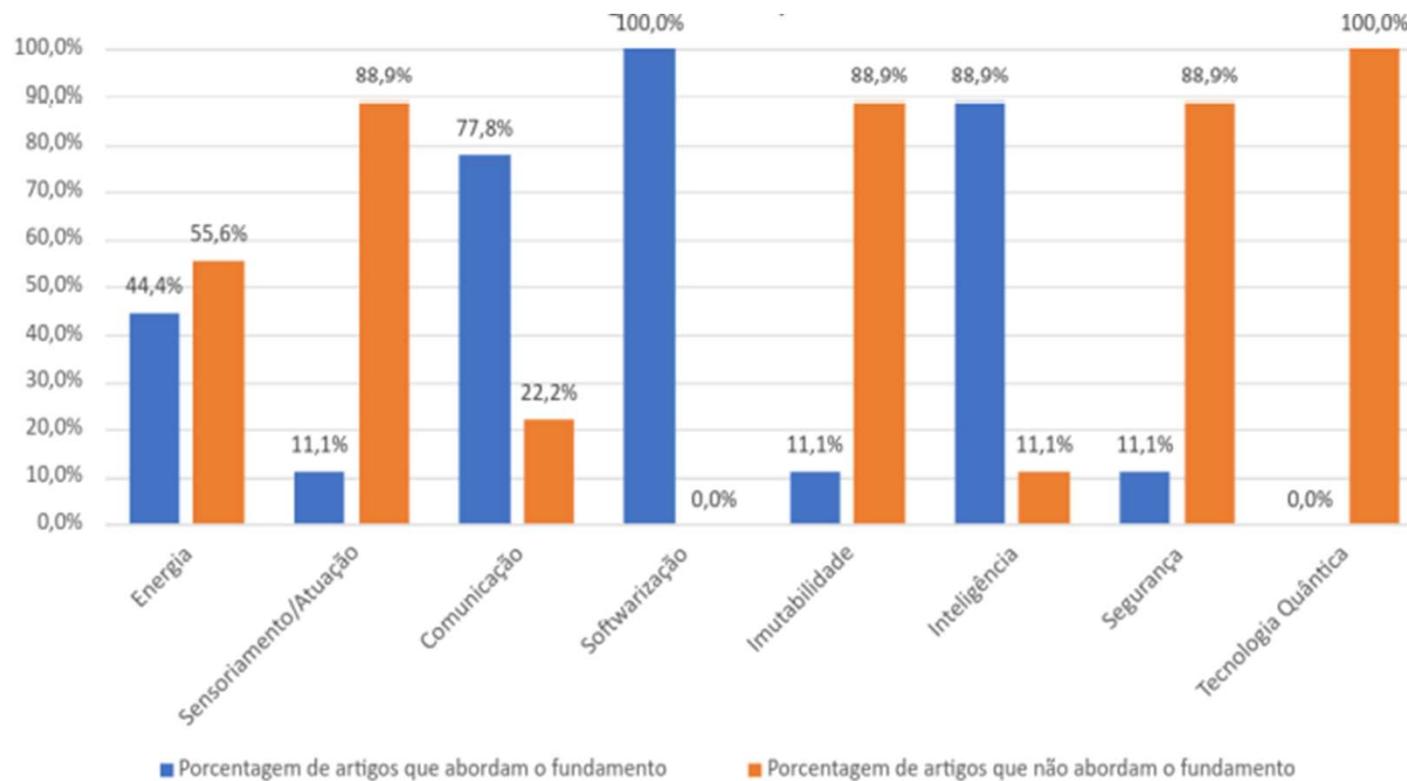
- 12 artigos



Habilitadores x Escopos

Escopo E2 - Telecomunicações

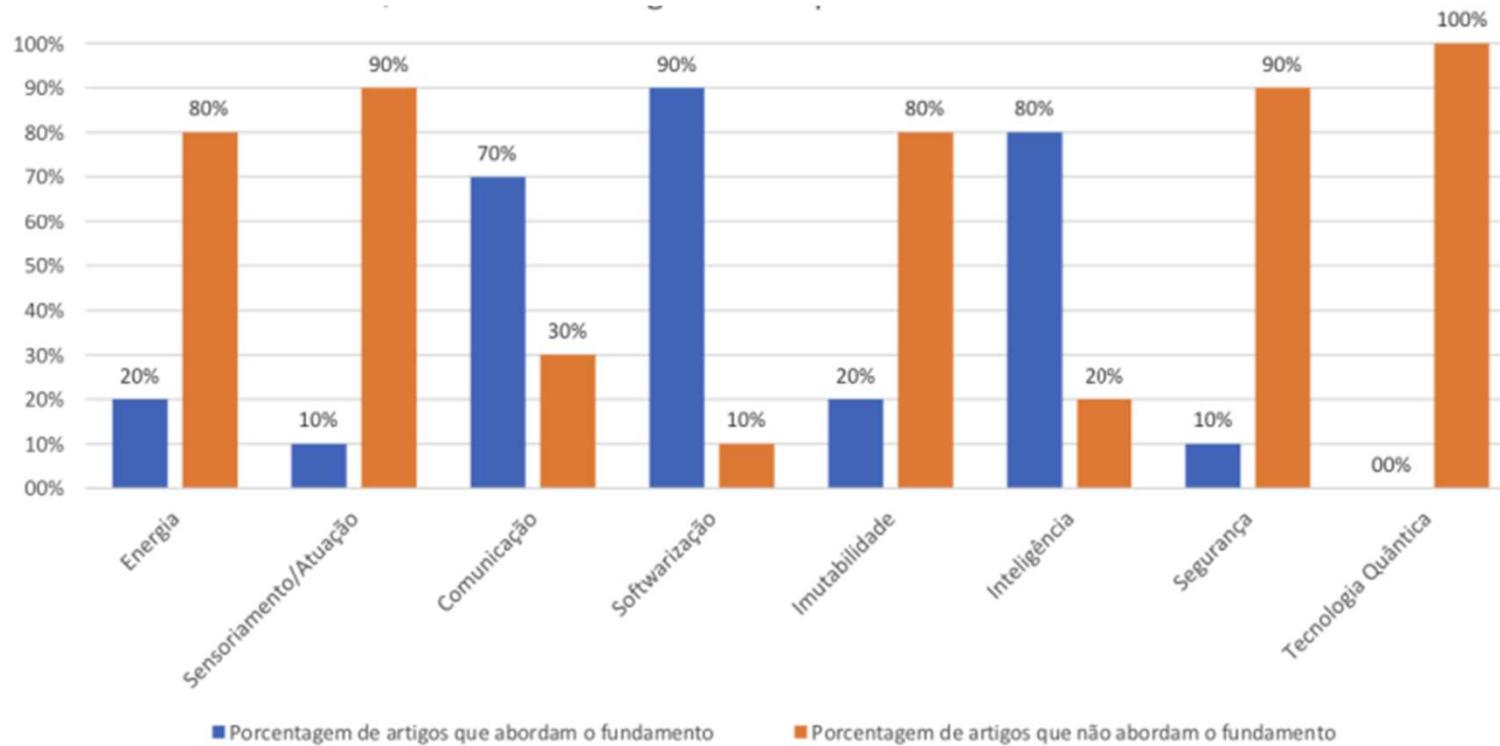
- 9 artigos



Habilitadores x Escopos

Escopo E3 - Computação

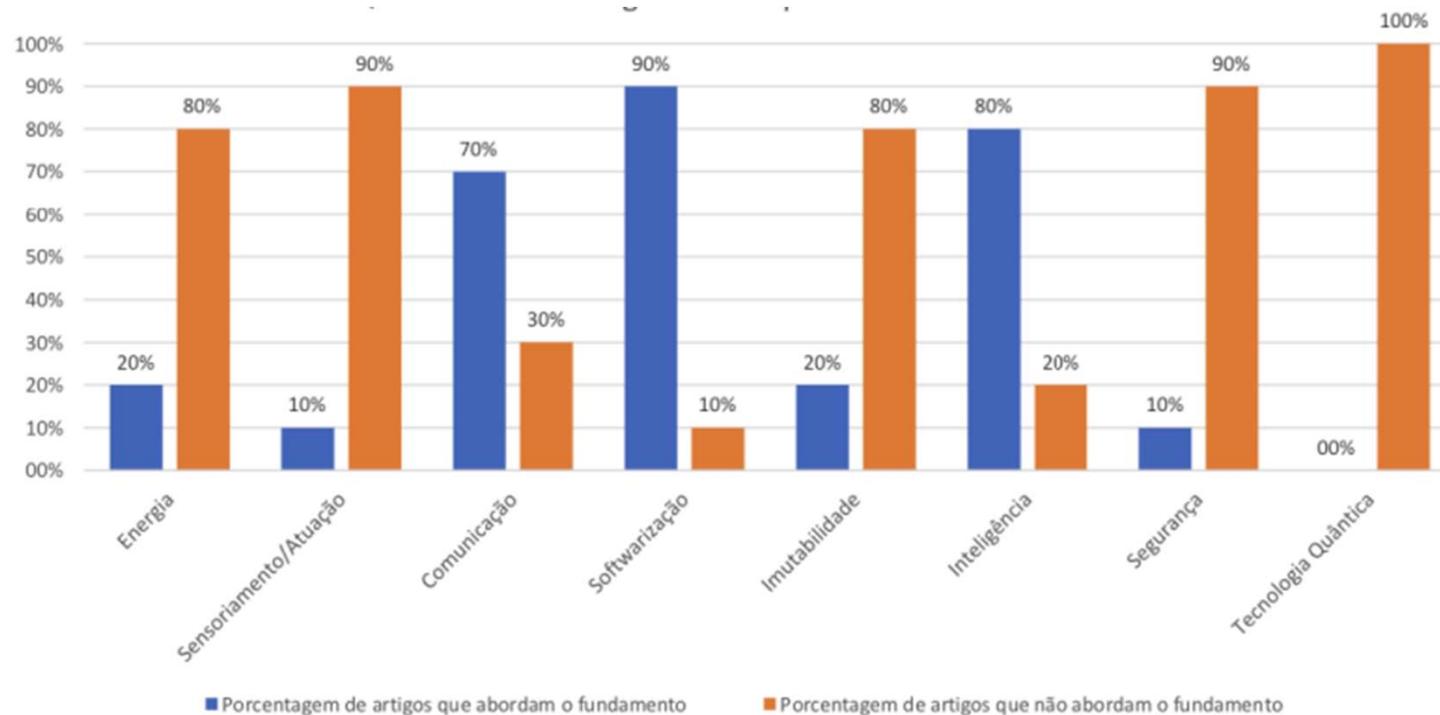
- 10 artigos



Habilitadores x Escopos

Escopo E4 – Especializado

- 23 artigos



Habilitadores x Escopos

Visão Geral

- Fundamentos x Escopos
 - E1 – Universal
 - E2 – Telecomunicações
 - E3 – Computação
 - E4 - Especializado

Fundamentos	Escopos			
	E1	E2	E3	E4
Energia	50%	44.44%	20%	21.7%
Sensoriamento	33.3%	11.1%	10%	17.4%
Comunicação	91.7%	77.8%	70%	78.3%
Softwarização	91.7%	100%	90%	78.3%
Imutabilidade	25%	11.1%	20%	69.6%
Inteligência	83.3%	88.9%	80%	65.2%
Segurança	41.7%	11.1%	10%	17.4%
Quântica	50%	0%	0%	21.7%

Requisitos x Famílias de Casos de Uso

• Famílias

- Cobertura Mundial Extrema
- Agricultura do Futuro
- Gêmos Digitais em Larga Escala
- Interações Remotas Avançadas
- Zonas Seguras Invisíveis
- Comunicação Espacial

Requisitos	Famílias de casos de uso					
	Cobertura mundial extrema	Agricultura do futuro	Gêmos digitais em larga escala	Interações remotas avançadas	Zonas seguras invisíveis	Comunicação espacial
Vazão/Usuário (Mbps)	10^{-1} à 10	10^{-1} à 10^2	10^{-1} à 10^3	10 à 10^6	10 à 10^2	10^2 à 10^3
Vazão de pico (Gbps)	> 1	> 1	> 100	> 10^4	> 100	> 10
Latência (ms)	< 20	< 1	< 1	< 1	< 20	< 10 / < 3.000 *
Cobertura por célula (km)	50 à 3000**	> 50	< 1	< 1	< 1	> 50
Confiabilidade	$1-10^{-5}$	$1-10^{-5}$	$1-10^{-9}$	$1-10^{-9}$	$1-10^{-7}$	$1-10^{-5}$ / $1-10^{-9}$ *
Eficiência energética	10x mMTC	10x mMTC	10x eMBB	10x eMBB	10x eMBB	100x eMBB
Eficiência espectral (em relação a Fifth Generation New Radio (5G NR))	1x	1x	10x	10x	10x	1x
Precisão espacial (cm)	< 100	< 10	< 1	< 1	< 10	< 0,1
Resolução RF/Imagem	Nominal	Crítica	Nominal	Nominal	Crítica	Crítica
Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR) sem filtro	Nominal	Crítico	Crítico	Nominal	Crítico	Nominal
Acesso ao espectro	Com e sem licença	Com e sem licença	Com e sem licença	Com licença	Com e sem licença	Com e sem licença
Segurança	Nominal	Nominal	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico
Privacidade	Nominal	Nominal	Crítico	Crítico	Crítico	Nominal
Densidade de terminais ($1/\text{km}^2$)	100	100	10^4	10^4	10	10
Velocidade (km/h)	< 250	< 250	< 80	< 80	< 80	< 30

* Comunicação na superfície lunar / Comunicação Terra-Lua

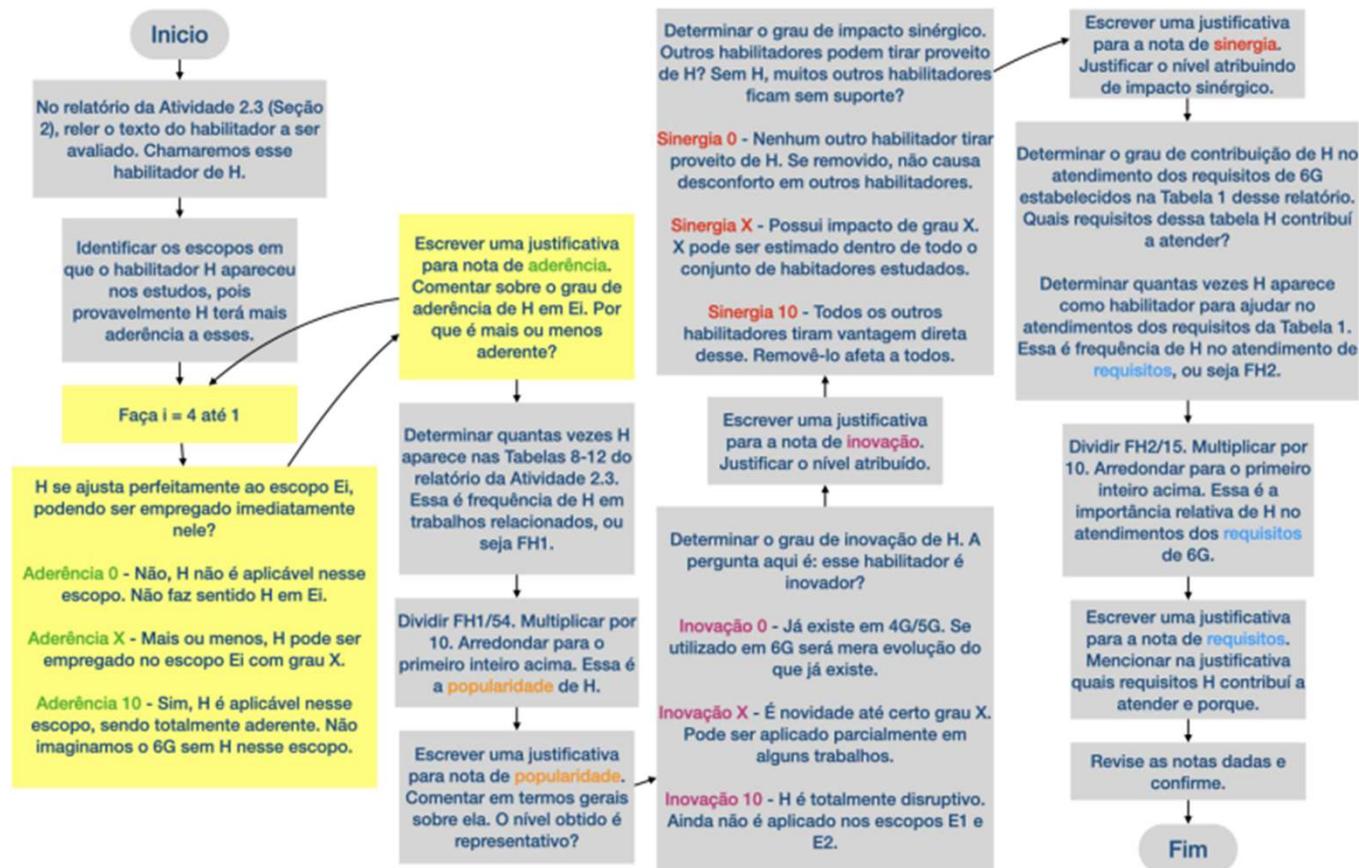
** Considerando cobertura por satélite

Quais são os habilitadores mais relevantes para o 6G?

- Método de Análise
 - Aderência
 - Popularidade
 - Revisão Bibliográfica
 - Inovação
 - Já existente versus disruptivo
 - Sinergia
 - Capacidade de interagir com outros habilitadores
 - Requisitos
 - O quanto o habilitador contribui para atender os requisitos do 6G?

Quais são os habilitadores mais relevantes para o 6G?

Visão Geral do Método de Análise



Quais são os habilitadores mais relevantes para o 6G?

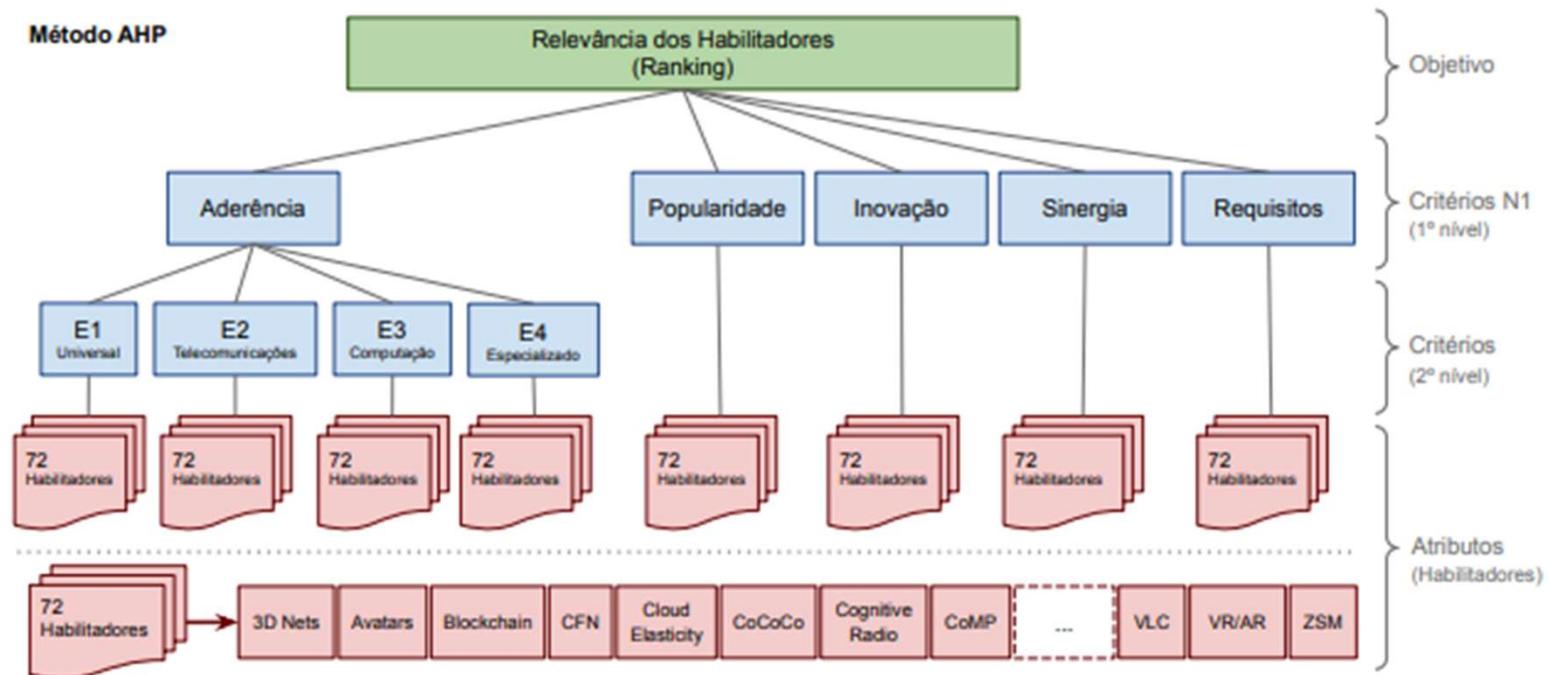
- Média Aritmética
- Analytic Hierarchy Process (AHP)

Análise dos Habilitadores para 6G – Notas de 0 a 10
Fundamento de Softwarização

#	Habilitador Nome	Aderência				Popularidade	Inovação	Sinergia	Requisitos	Relevância	
		E1	E2	E3	E4					Média ¹	AHP ²
4.1	Software Defined Networking	7	7	6	6	6	1	9	5	5,875	0,072
4.2	Temporospatial SDN	9	9	2	2	1	9	2	4	4,750	0,042
4.3	Network Function Virtualisation	7	8	7	5	6	2	9	6	6,250	0,076
4.4	Multi-access Edge Computing	5	6	9	4	6	6	7	9	6,500	0,073
4.5	Network Slicing	6	7	6	6	6	5	8	5	6,125	0,070
4.6	Open RAN	8	8	8	10	3	8	8	6	7,375	0,074
4.7	Digital Twins	3	3	8	8	1	6	8	5	5,250	0,065
4.8	Avatars	2	8	8	8	1	10	5	7	6,125	0,062
4.9	Data Orientation	2	10	8	8	5	0	3	0	4,500	0,039
4.10	Service Orientation	8	4	10	8	6	3	9	7	6,500	0,075
4.11	Compute First Networking	1	4	10	4	2	7	4	5	4,625	0,049
4.12	In-Network Computing	1	4	10	4	2	7	4	5	4,625	0,049
4.13	Network Caching	4	7	10	7	4	4	7	7	6,250	0,069
4.14	Intent-Based Networking	8	6	6	9	0	2	2	2	4,375	0,033
4.15	Augmented Virtual Realities	7	3	10	8	2	8	7	8	6,606	0,068
4.16	Cloud elasticity	8	6	9	7	9	6	9	9	7,875	0,084

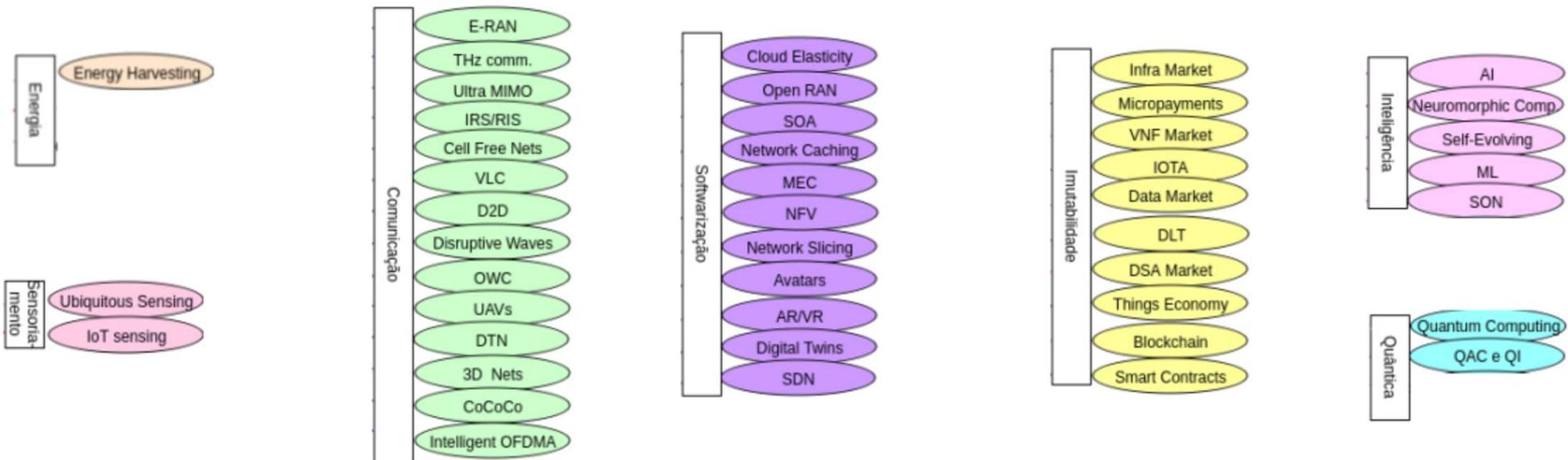
Análise utilizado o AHP

- Visão Geral do Método



Quais são os habilitadores mais relevantes para o 6G?

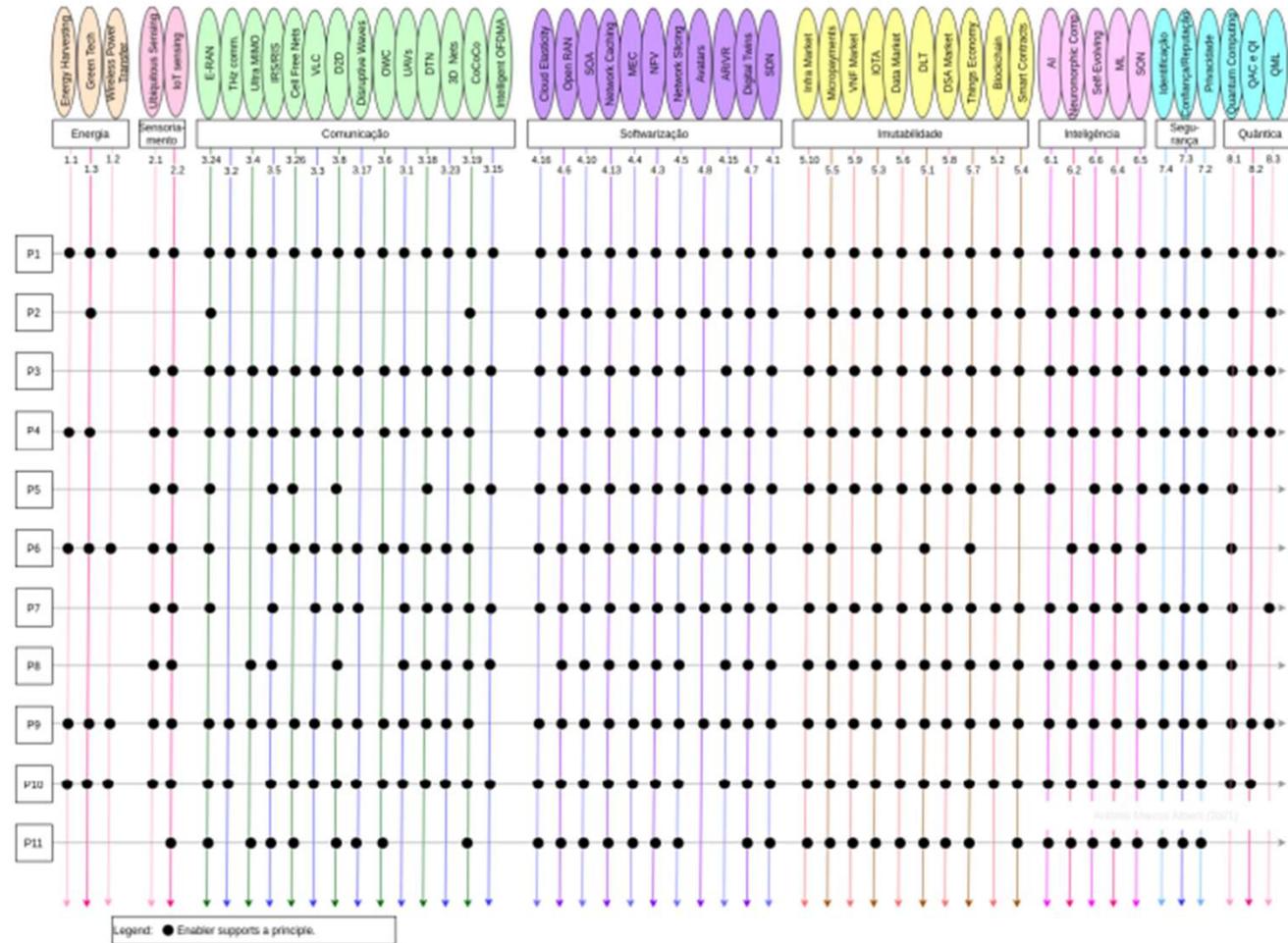
- Média Aritmética
- Analytic Hierarchy Process (AHP)



Princípios de Projeto

- Princípio 1: Integrar Habilitadores de Forma Coesa, Desacoplada e Sinérgica
- Princípio 2: Virtualizar Sempre que Possível
- Princípio 3: Flexibilizar a Interface com os Recursos de Infraestrutura
- Princípio 4: Gerir Componentes e Recursos de Rede de Maneira Autônoma
- Princípio 5: Utilizar uma Abstração de Serviços para Integrações e Configurações
- Princípio 6: Priorizar uma Solução Sustentável
- Princípio 7: Oferecer Segurança Intrínseca
- Princípio 8: Garantir Ciência sobre o Estado da Rede e dos Sistemas Interconectados
- Princípio 9: Favorecer a Inovação e Criação de Novos Modelos de Negócio
- Princípio 10: Ter a Capacidade de Satisfazer os Diferentes Requisitos das Aplicações Atuais e Futuras
- Princípio 11: Focar em simplicidade e levar em conta a escalabilidade

Princípios x Habilitadores

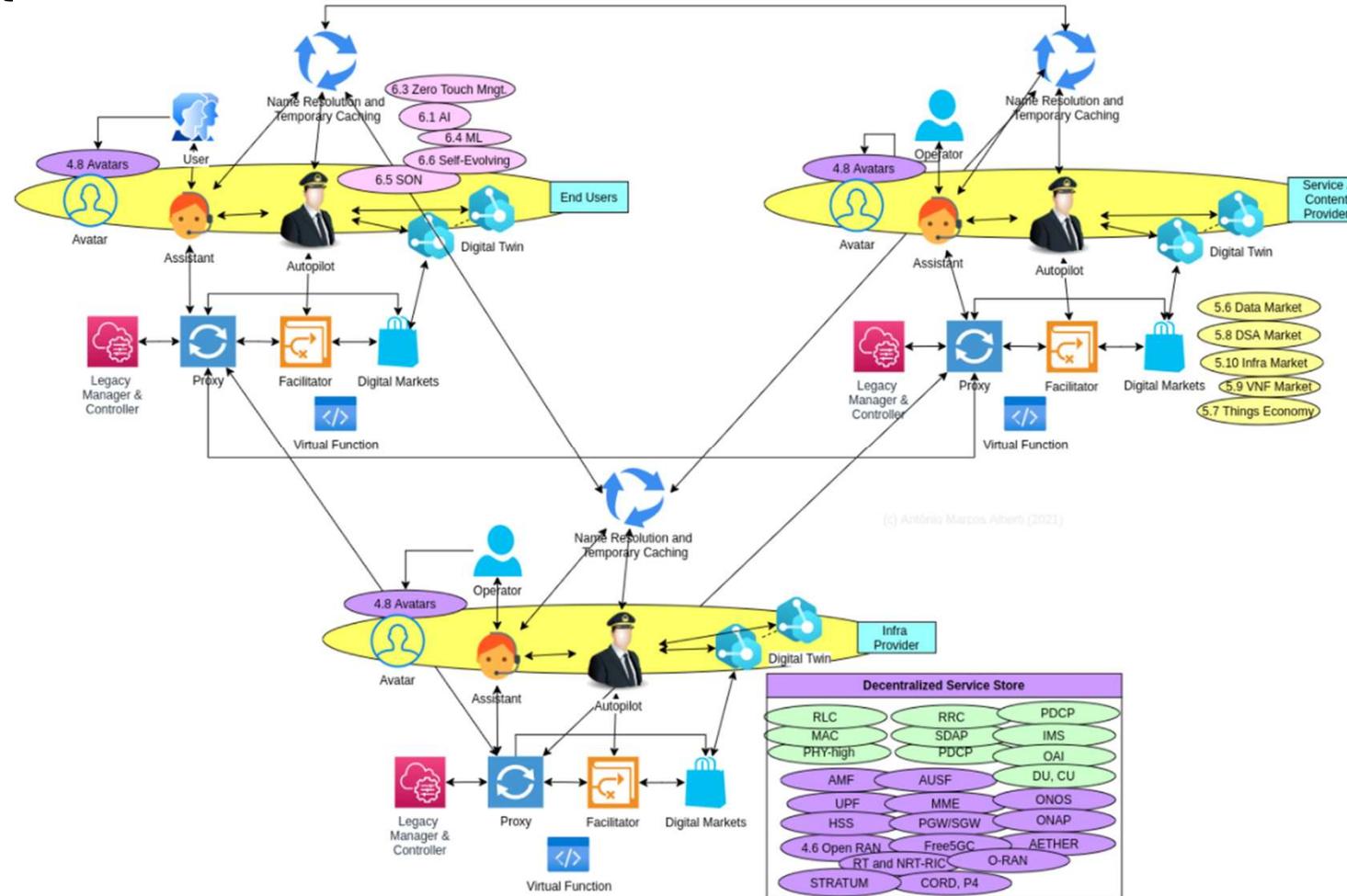


Visão da Arquitetura para o 6G

- Habilitadores Seleccionados
- Princípios
- Requisitos e Casos de Uso
- Abordagens
 - Evolucionária
 - Especificação dentro do processo do 3GPP
 - Release atuais e futuros do 5G como base
 - Serviços fim-a-fim com diferentes domínios administrativos
 - Disruptiva
 - Não preocupação com a compatibilidade com atuais gerações
 - Maior participação de habilitadores disruptivos (Exemplo: Digital Twins)

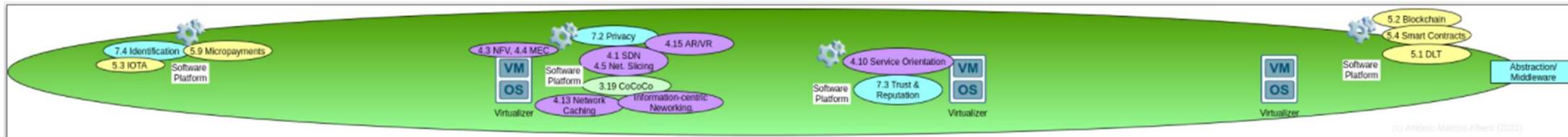
Arquitetura Disruptiva Estrato de Serviços

- Diferentes Serviços
 - Funções Virtuais (Virtual Functions)
 - Resolução de Nomes e Armazenamento Temporário (Name Resolution and Network Caching)
 - Gêmeos Digitais (DTs)
 - Pilotos Automáticos (Autopilots)
 - Assistentes (Assistants)
 - Representantes (Proxies)
- Uso de Smart Contracts
- Diferentes papéis com a mesma estrutura
 - Usuário (User)
 - Operador/provedor de Infraestrutura (Infra Provider)
 - Provedor de Serviços/Conteúdos (service/content provider)



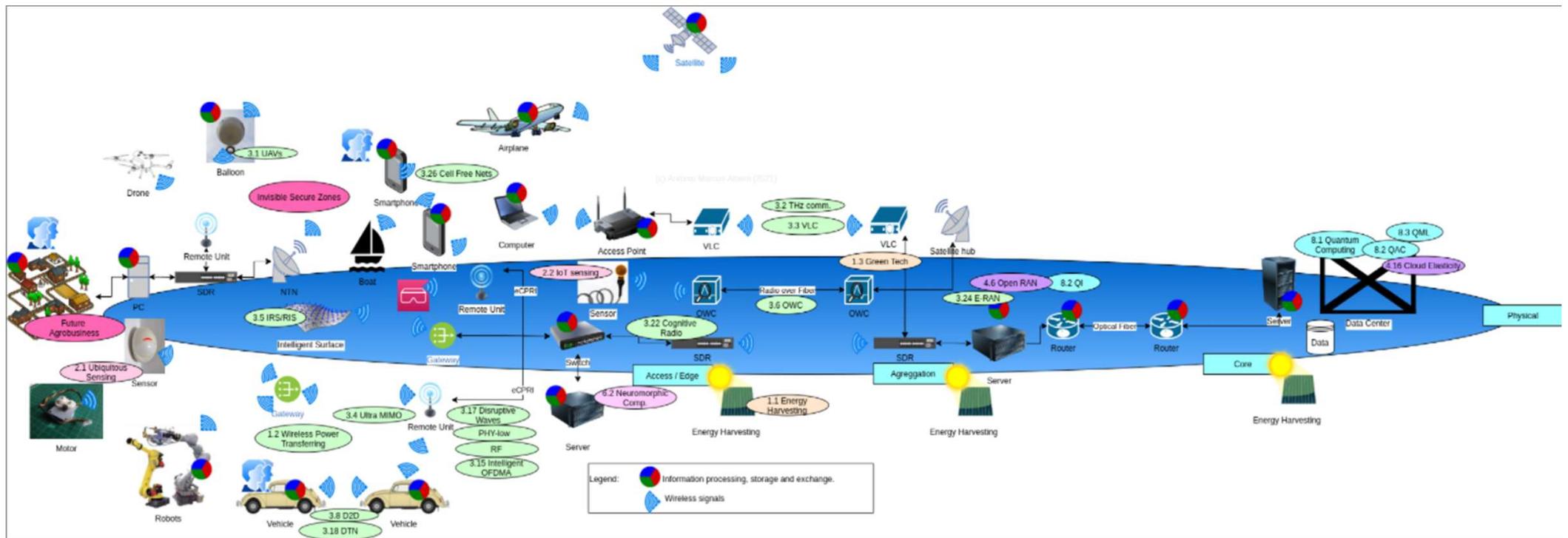
Arquitetura Disruptiva Estrato Middleware

- Virtualização
- Plataforma de Softwares
- Controladores legados
 - SDN, O-RAN, 5G Core
- Resolução de Nomes e Armazenamento Temporário (Name Resolution and Network Caching)



Arquitetura Disruptiva Estrato Físico

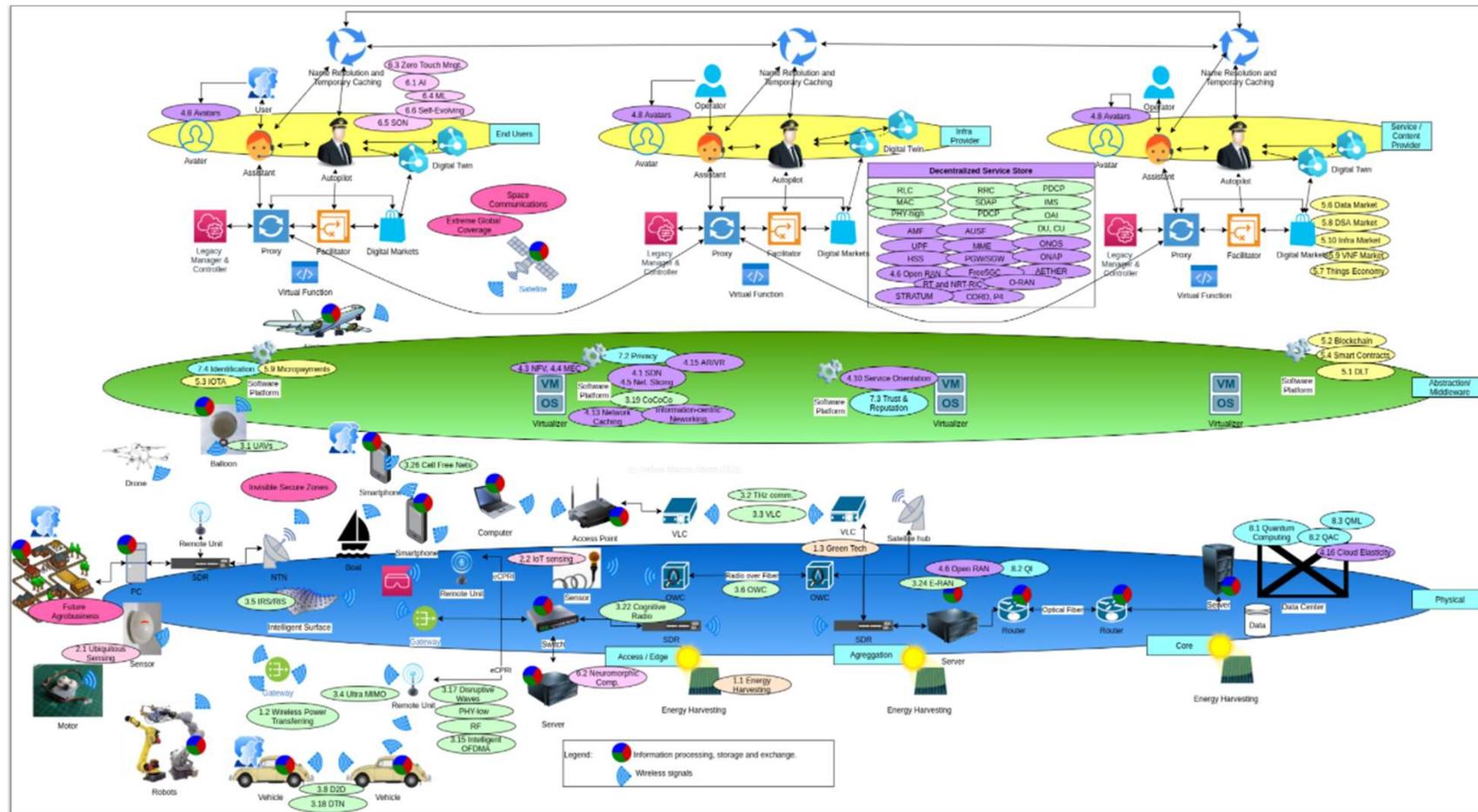
- Diferentes acessos sem fio integrados
- Redes terrestres e não terrestres



Arquitetura Disruptiva

Visão Geral

- Três estratos da arquitetura
- Contratação dinâmica de recursos físicos
- Novos modelos de monetização



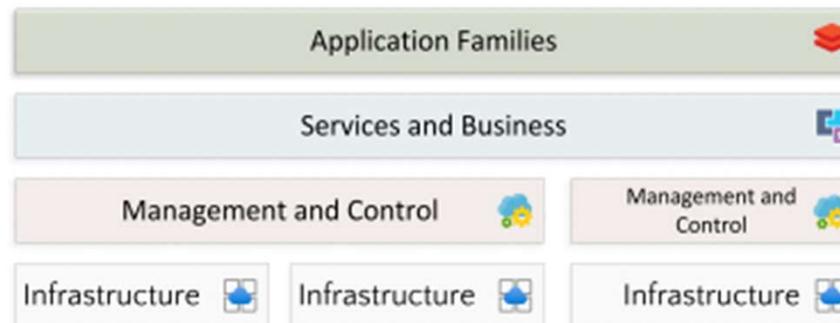
Arquitetura Evolucionária

Visão Geral das Camadas

- Camada de Família de Aplicações (Application Families)
- Camada de Serviços e Negócios (Service and Business)
 - Provedor de Serviço de Comunicação (Communication Service Provider (CSP))
- Camada de Gerenciamento e Controle (Management and Control)
- Camada de Infraestrutura (Infrastructure)
 - Provedor de Infraestrutura de Rede (Network Infrastructure Provider (NIP))



(a) Um único domínio.



(b) Diferentes Domínios.

Arquitetura Evolucionária

Visão Geral das Camadas

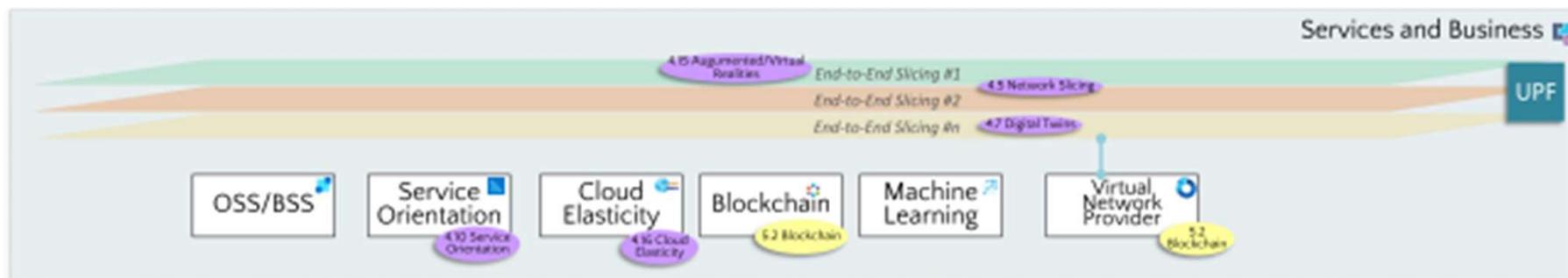
- Diferentes famílias de aplicação
 - Serviços característicos do 6G que serão disponibilizados com o suporte das camadas



Arquitetura Evolucionária

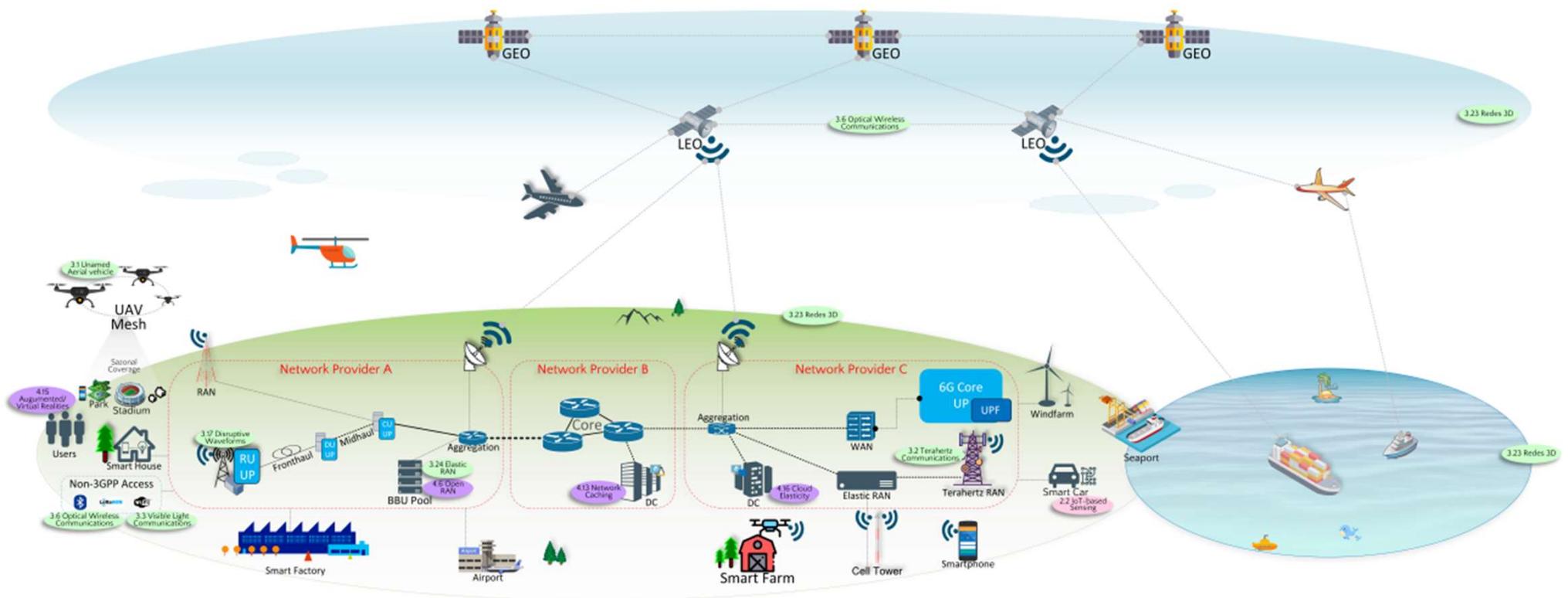
Camada de Serviços e Negócios

- Intermediação e gerenciamento dos serviços
- Envolve um ou mais domínios administrativos
- Fatias de rede (Network Slices) “fim-a-fim” envolvendo diversos domínios administrativos
- Serviços oferecidos para camada superior
- Virtual Network Provider pode utilizar diferentes provedores de rede



Arquitetura Evolucionária Camada de Infraestrutura

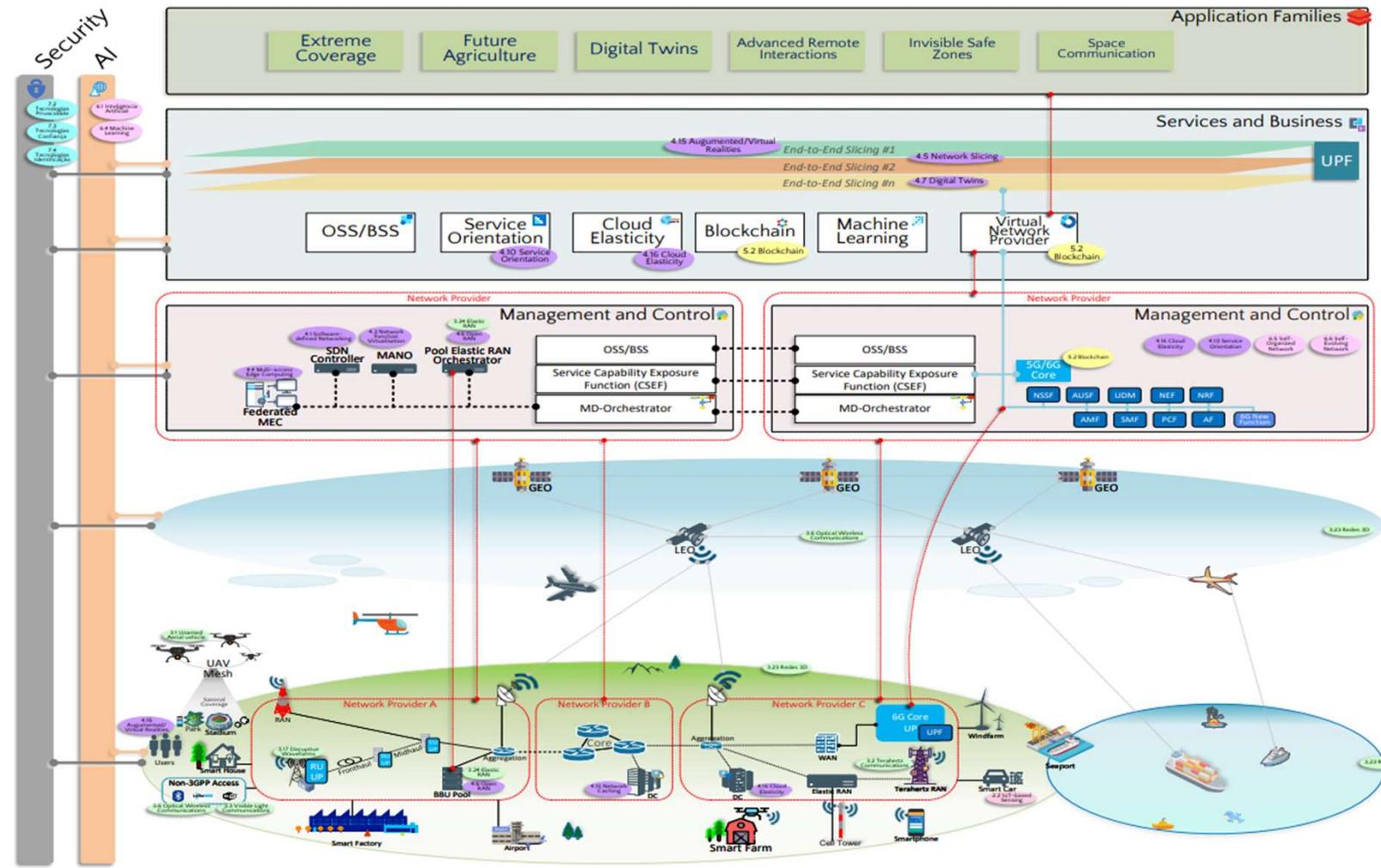
- Diferentes acessos sem fio integrados
 - UAV, THz Communications, Redes 3D, Acessos aéreos e marítimos



Arquitetura Evolucionária

Visão Geral

- Segurança e IA em todas as camadas



Considerações Finais

- Trabalho amplo de revisão da literatura
- Contribuições para a Arquitetura 6G
 - Disruptiva
 - Evolutiva
- Resultados
 - Dois relatórios
 - Arquiteturas para a Rede 6G
 - Contribuições para a Arquitetura da Rede 6G: Visões Evolucionária e a Disruptiva
- Próximos passos
 - Aprofundar nas arquiteturas propostas
 - Levar em conta resultados dos outros grupos
 - Projeto de um Núcleo de rede com a visão de um Core inicial
 - Implementação de alguns aspectos e testes

Brasil 6G

Obrigado!

Prof. Flávio de Oliveira Silva, Ph.D – FACOM/UFU
(flavio@ufu.br)



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

