

Sistemas Distribuídos

Aula 7 – Cloud, Fog e Edge Computing

Prof. Ana Carolina Sokolonski

Bacharelado em Sistemas de Informação

Instituto Federal da Bahia – Campus Feira de Santana

2026



Visão Geral

Cloud Computing

Fog Computing

Edge Computing

Comparação

Referências

Cloud, Fog e Edge Computing

Três camadas de processamento distribuído

■ Computação em Nuvem (Cloud)

Processamento centralizado em **data centers remotos**. Alta capacidade, mas sujeito a latência de rede e falhas. Congestionamentos podem afetar toda a cadeia de serviço.

■ Computação em Névoa (Fog)

Camada intermediária: processa dados **próximo à borda**, antes de enviar à nuvem. Resposta rápida, baixa latência e menor consumo de largura de banda.

■ Computação de Borda (Edge)

Processamento **no dispositivo ou imediatamente ao lado**. Menor latência possível, menor pressão na rede, resposta em tempo real.

Camada 1

CLOUD / Data Centers Remotos

Camada 2

Fog Node

Fog Node

alta latência

Camada 3

Edge

Edge

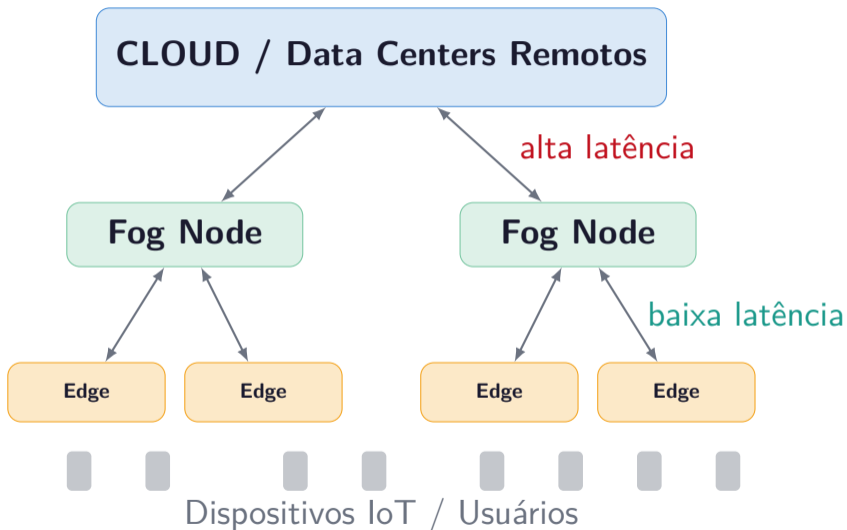
Edge

Edge

baixa latência



Dispositivos IoT / Usuários



Computação em Nuvem

Cloud Computing

▪ O que é Cloud Computing?

Entrega de serviços computacionais servidores, armazenamento, bancos de dados, rede, software e análises pela **internet** (“a nuvem”), com pagamento por uso (*pay-as-you-go*). Os recursos ficam em **data centers remotos** operados por provedores como AWS, Google Cloud e Azure.

▪ Modelos de serviço

- IaaS** Infraestrutura como serviço (VMs, redes, storage)
- PaaS** Plataforma como serviço (ambientes de desenvolvimento)
- SaaS** Software como serviço (Gmail, Office 365, Salesforce)

▪ Vantagens

- **Elasticidade** — escala conforme a demanda
- **Sem CAPEX** — sem investimento em hardware
- **Alta disponibilidade** — replicação global
- **Manutenção** a cargo do provedor

▪ Limitações

- **Latência** — dados viajam até data centers distantes
- **Dependência de rede** — sem conexão, sem serviço
- **Congestionamento** do servidor afeta todo o serviço
- **Privacidade** — dados fora das instalações do cliente
- **Vendor lock-in** — difícil trocar de provedor

▪ Nuvem Pública

Recursos compartilhados entre múltiplos clientes. Ex: AWS EC2, Google GCS, Azure VMs.

Custo baixo, alta escalabilidade.

▪ Nuvem Privada

Infraestrutura exclusiva para uma organização, operada internamente ou por terceiro.
Maior controle e segurança.

▪ Nuvem Híbrida

Combina nuvem pública e privada, permitindo que dados e aplicações sejam compartilhados entre elas.
Flexibilidade e otimização de custo.



Computação em Névoa

Fog Computing

▪ O que é Fog Computing?

Extensão da nuvem até a **borda da rede**. Nós fog são dispositivos intermediários (roteadores, gateways, switches) que processam, filtram e agregam dados **localmente** antes de enviá-los à nuvem.

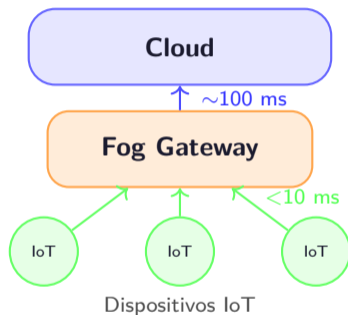
Termo cunhado pela **Cisco** em 2012. Também chamado de *Fogging* ou *Edge Cloud*.

▪ Vantagens sobre Cloud pura

- **Baixa latência** — processamento próximo ao dado
- **Menor largura de banda** — só envia o necessário à nuvem
- **Operação offline** — continua sem internet
- **Privacidade** — dados sensíveis ficam locais

■ Casos de uso

- **IoT industrial** — fábricas, usinas
- **Saúde** — monitoramento de pacientes em tempo real
- **Veículos conectados** — V2X, veículos autônomos
- **Cidades inteligentes** — semáforos adaptativos
- **Jogos e AR/VR** — baixíssima latência



Computação de Borda

Edge Computing

▪ O que é Edge Computing?

Processamento de dados **diretamente no dispositivo** ou em servidores fisicamente adjacentes. Elimina a necessidade de enviar dados a um nó fog ou à nuvem para análises críticas. Ideal para aplicações com restrições de **latência em tempo real** (em milissegundos ou menos).

▪ Vantagens

- **Latência ultrabaixa** — <1 ms possível
- **Zero dependência** de rede WAN
- **Processamento eficiente** — menos dados trafegam
- **Privacidade total** — dados nunca saem do dispositivo

■ Aplicações críticas

- **Veículos autônomos** — decisões em $<10\text{ms}$
- **Robótica industrial** — controle em tempo real
- **Monitoramento de saúde** — ECG em dispositivo
- **Redes 5G MEC** — servidores na torre de celular
- **Câmeras inteligentes** — detecção local de objetos

■ Desafios

- Hardware limitado no dispositivo
- Gerenciamento de muitos nós dispersos
- Segurança física do dispositivo
- Atualizações de software em escala

Comparação entre Cloud, Fog e Edge

Trade-offs e escolha do modelo

Comparação Cloud vs. Fog vs. Edge

Critério	Cloud	Fog	Edge
Localização	Data center remoto	Borda da rede (gateway)	Dispositivo/local
Latência	Alta (100ms–1s)	Média (10–50ms)	Mínima (<10ms)
Largura de banda	Alta necessidade	Moderada	Mínima
Capacidade	Virtualmente ilimitada	Moderada	Limitada
Custo inicial	Baixo (OPEX)	Médio	Alto (hardware)
Disponibilidade	Depende de WAN	Parcial offline	Total offline
Segurança	Dados saem do cliente	Parcialmente local	Dados nunca saem
Escalabilidade	Altíssima	Média	Baixa por nó
Exemplos	AWS, Azure, GCP	IoT Gateway, MEC	Câmera, carro autônomo

▪ Na prática: as três camadas juntas

Sistemas modernos de IoT e aplicações críticas combinam as três camadas:

- **Edge:** captura, filtro e ação imediata
- **Fog:** agregação, análise local, cache
- **Cloud:** armazenamento histórico, ML global, BI

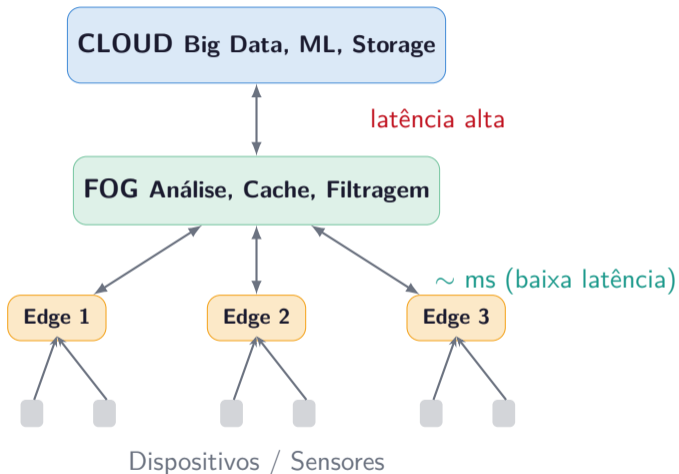
Cada camada processa o que é mais eficiente processar nela, reduzindo custo total e latência.

▪ Exemplo: carro autônomo

Edge: câmeras detectam obstáculos (<1ms)

Fog: servidor na garagem sincroniza mapas

Cloud: treina modelos com dados de toda a frota



■ Princípios de SD em Cloud/Fog/Edge





Transparência	Usuário não sabe onde processa
Replicação	Dados replicados entre nuvens e fog
Tolerância a Falhas	Failover entre camadas
Escalabilidade	Cloud escala horizontalmente
Consistência	Sincronização entre Edge e Cloud
CAP	Edge: AP; Cloud: configura C ou A

▪ Desafios de SD neste contexto

- **Orquestração** de milhões de nós edge dispersos
- **Sincronização** de dados entre camadas com latências diferentes
- **Descoberta de serviços** — onde está o recurso mais próximo?
- **Segurança** end-to-end em ambiente heterogêneo
- **Deployment** e atualização de software na borda

▪ Tecnologias relacionadas

Kubernetes (orquestração), **Kafka** (streaming), **5G MEC**, **WebAssembly** na borda, **TensorFlow Lite** para ML em edge.

-  TANENBAUM, A. S.; VAN STEEN, M. *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. 3. ed. Pearson, 2017.
-  CISCO. *Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are*. White Paper, 2015.
-  SHI, W. et al. Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 5, 2016.
-  BUYYA, R. et al. *Cloud Computing: Principles and Paradigms*. Wiley, 2011.