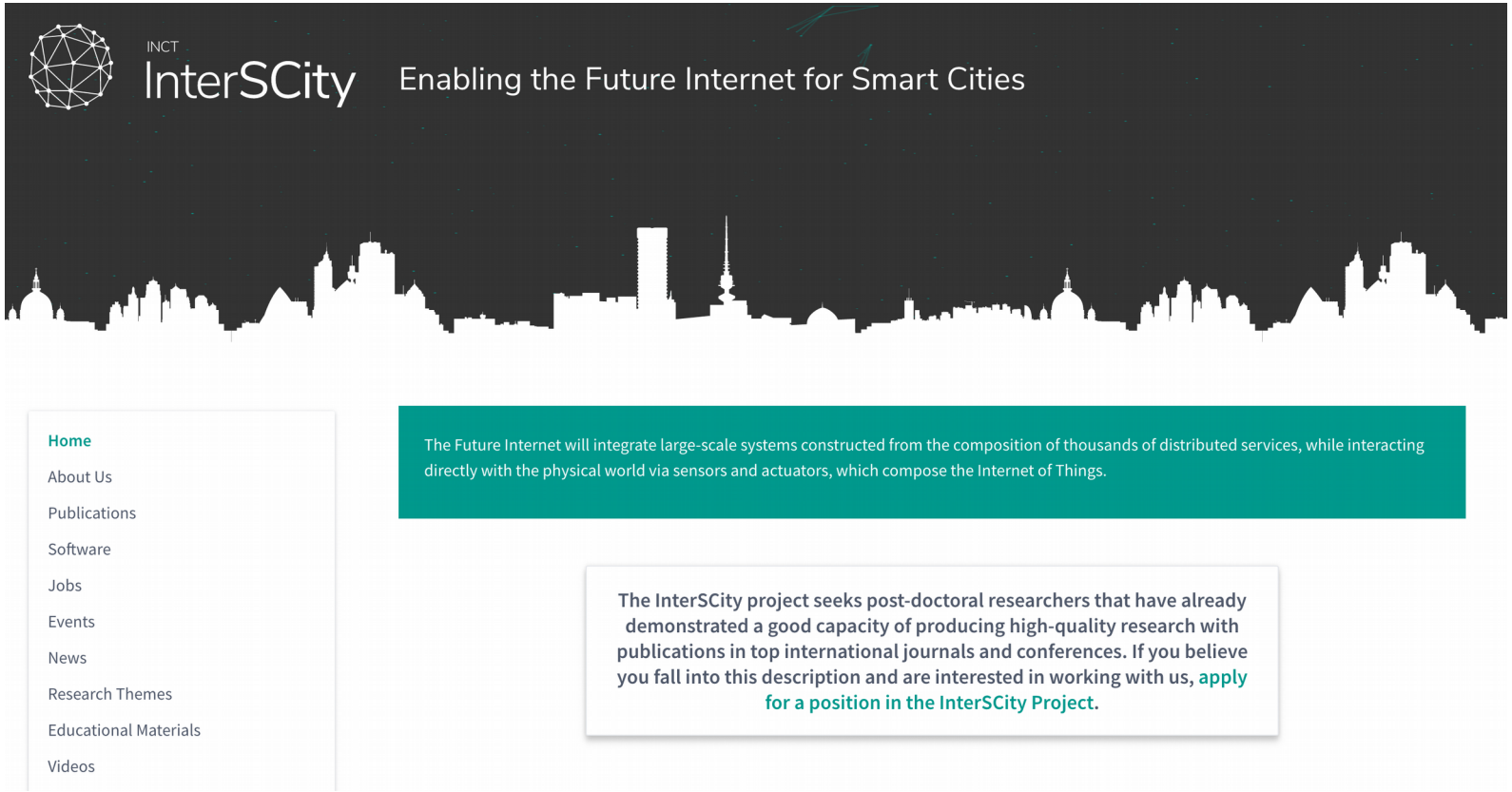
Redes de Computadores: Breve História e Avanços Recentes

Daniel Macêdo Batista
batista@ime.usp.br

Instituto de Matemática e Estatística da USP

https://www.ime.usp.br/

InterSCity – Enabling the Future Internet for Smart Cities http://interscity.org/



SBSeg 2019 https://sbseg2019.ime.usp.br/

SBSeg 2019

XIX Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais

2 a 5 de Setembro – São Paulo, SP

https://sbseg2019.ime.usp.br/

Conceitos básicos

Internet: . Rede mundial de computadores
. Leonard Kleinrock, Robert Kahn, Vint Cerf - DARPA (EUA) - 1969
. Tim Berners Lee, CERN (Europa) - 1989

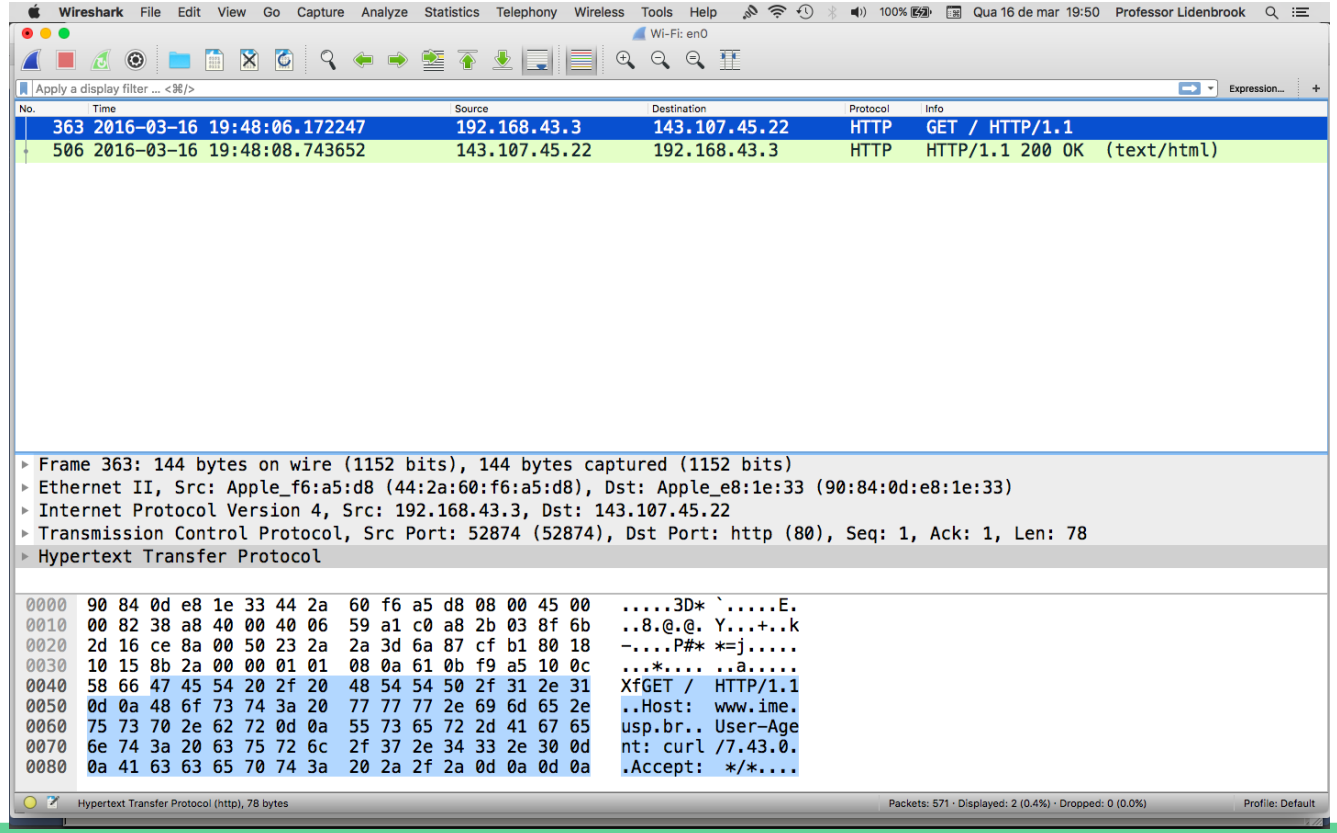
Conceitos básicos

Internet: . Rede mundial de computadores
. Leonard Kleinrock, Robert Kahn, Vint Cerf - DARPA (EUA) - 1969
. Tim Berners Lee, CERN (Europa) - 1989

Cliente/Servidor

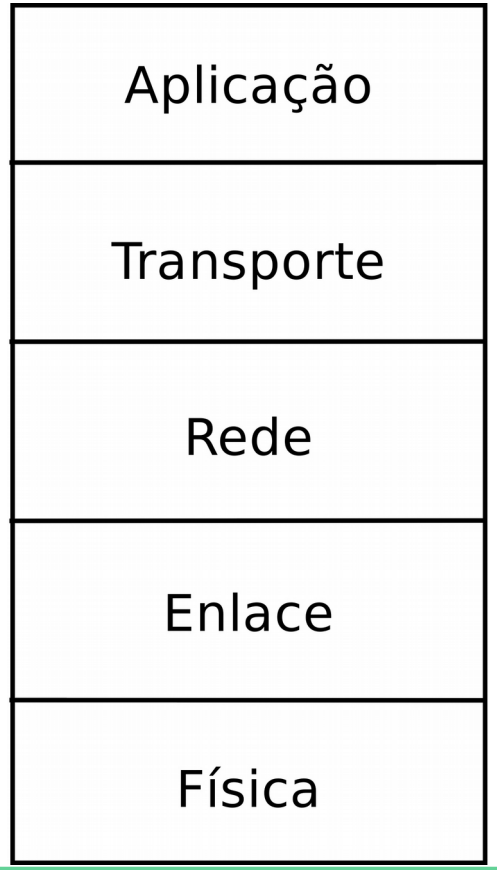
Conceitos básicos

Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP



Conceitos básicos

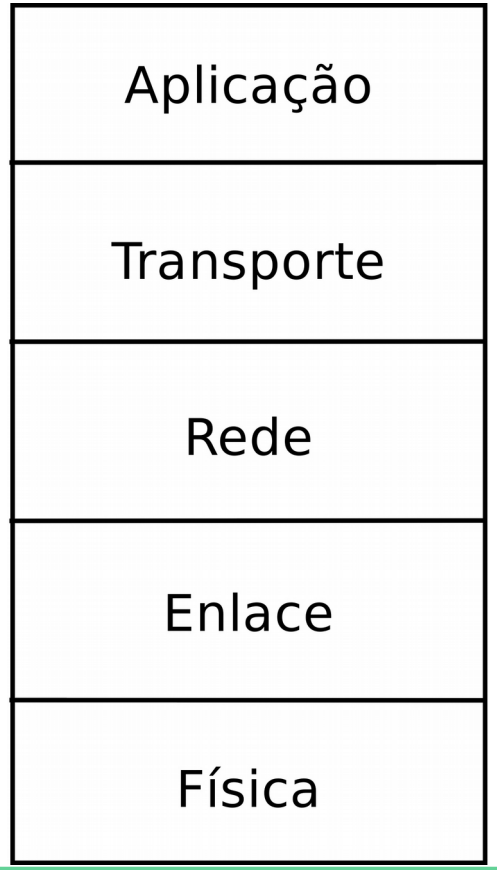
Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP



Conceitos básicos

Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP

HTTP, DNS, SSH, XMPP.....

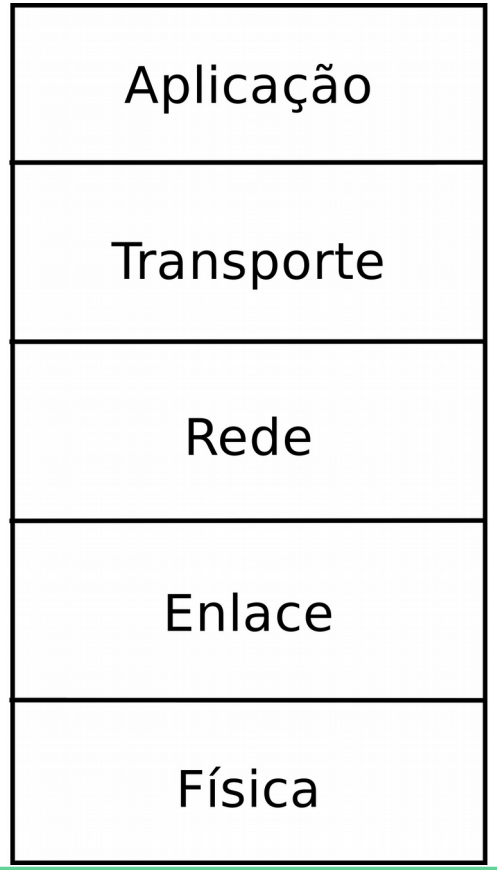


Conceitos básicos

Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP

HTTP, DNS, SSH, XMPP.....

TCP, UDP.....



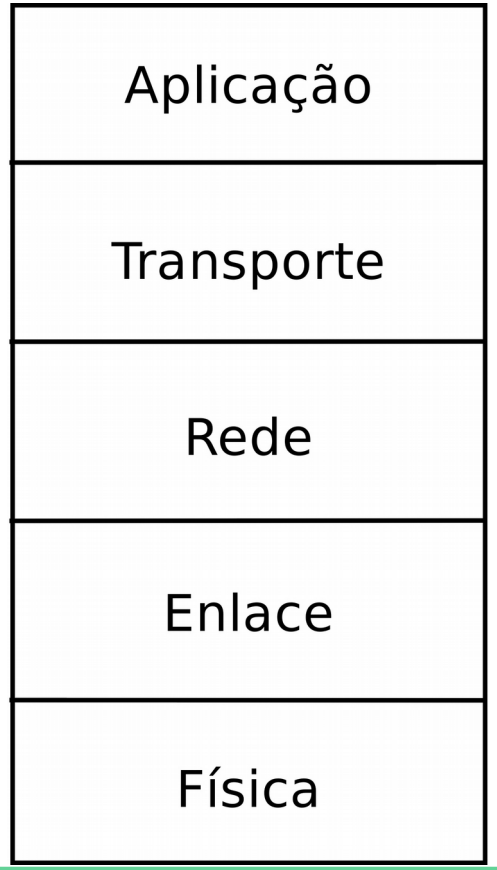
Conceitos básicos

Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP

HTTP, DNS, SSH, XMPP.....

TCP, UDP.....

IPv4, IPv6.....



Conceitos básicos

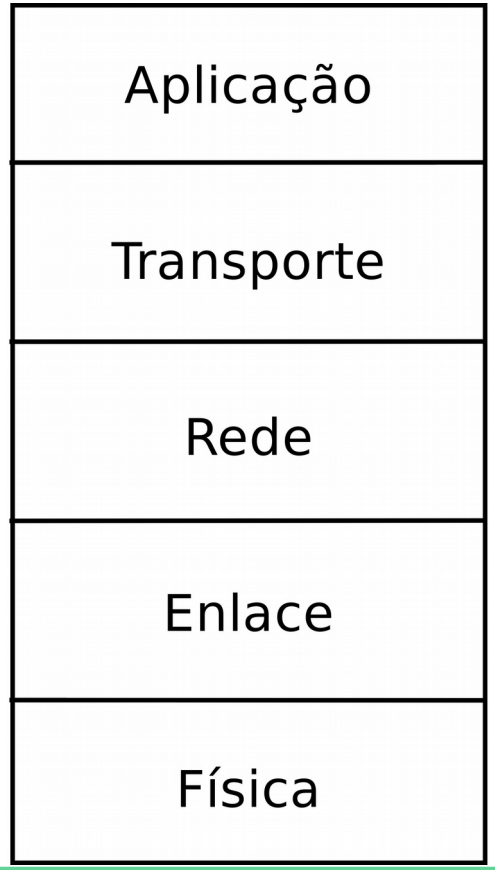
Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP

HTTP, DNS, SSH, XMPP.....

TCP, UDP.....

IPv4, IPv6.....

802.11(WiFi), 802.3(Ethernet)..



Conceitos básicos

Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP

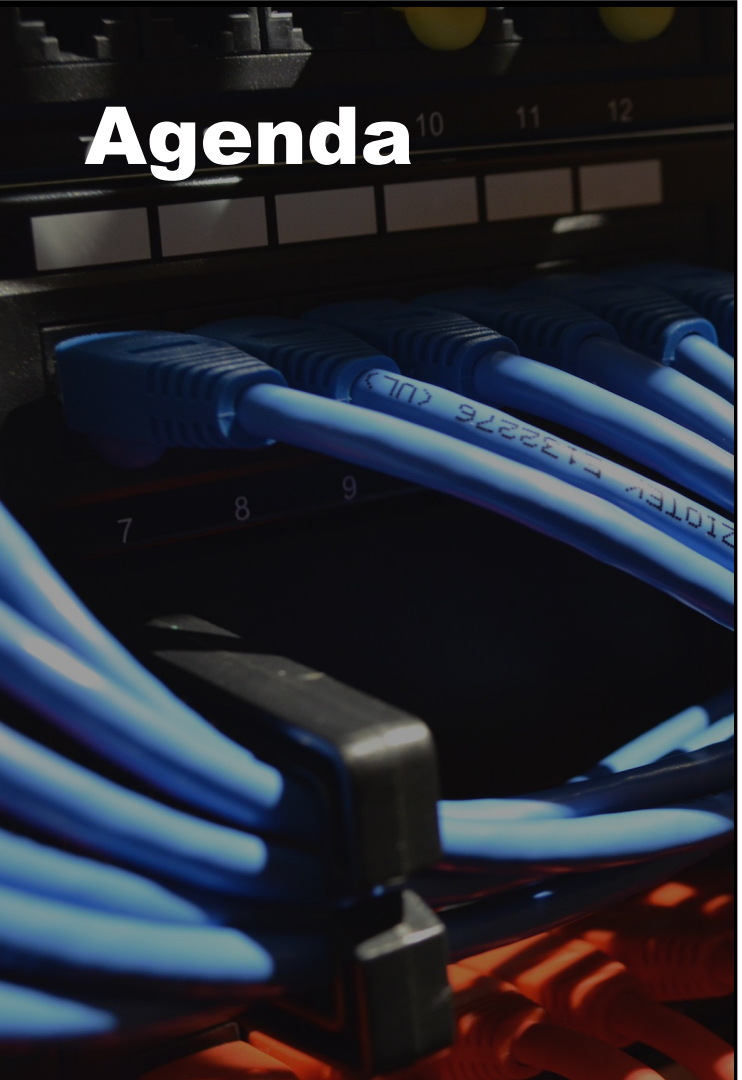
HTTP, DNS, SSH, XMPP.....	Aplicação
TCP, UDP.....	Transporte
IPv4, IPv6.....	Rede
802.11(WiFi), 802.3(Ethernet)..	Enlace
Fibra óptica, rádio.....	Física

Conceitos básicos

Arquitetura Internet ou Arquitetura TCP/IP

www.faqs.org

HTTP, DNS, SSH, XMPP.....	Aplicação
TCP, UDP.....	Transporte
IPv4, IPv6.....	Rede
802.11(WiFi), 802.3(Ethernet)..	Enlace
Fibra óptica, rádio.....	Física



Agenda

i. Ossificação da Internet

ii. Redes definidas por software

iii. Virtualização de funções de rede

iv. Redes 5G

Ossificação da Internet

Como evoluir a Internet?

- Novos protocolos (ex.: QUIC)
  - Camada de aplicação (modificar apenas os computadores na "borda" da rede – **Fácil**)
- Novas versões de protocolos (ex.: IPv6)
  - Camada de rede (modificar computadores na "borda" da rede e no núcleo da rede – **Dificílimo!**)

- A Internet era uma rede por comutação de pacotes experimental

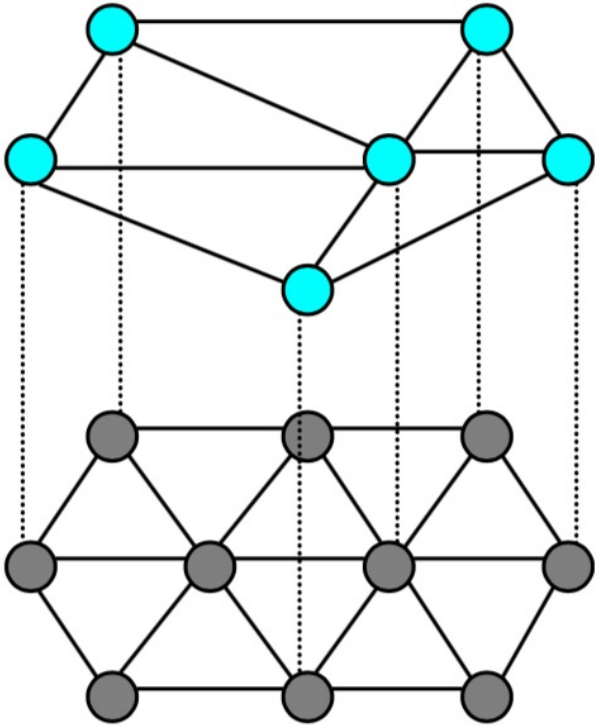
- Refazer o que já está funcionando no núcleo não é uma opção (*greenfield* X *brownfield*)

- **A evolução tem que ser feita na camada de aplicação**

A Internet está "ossificada"

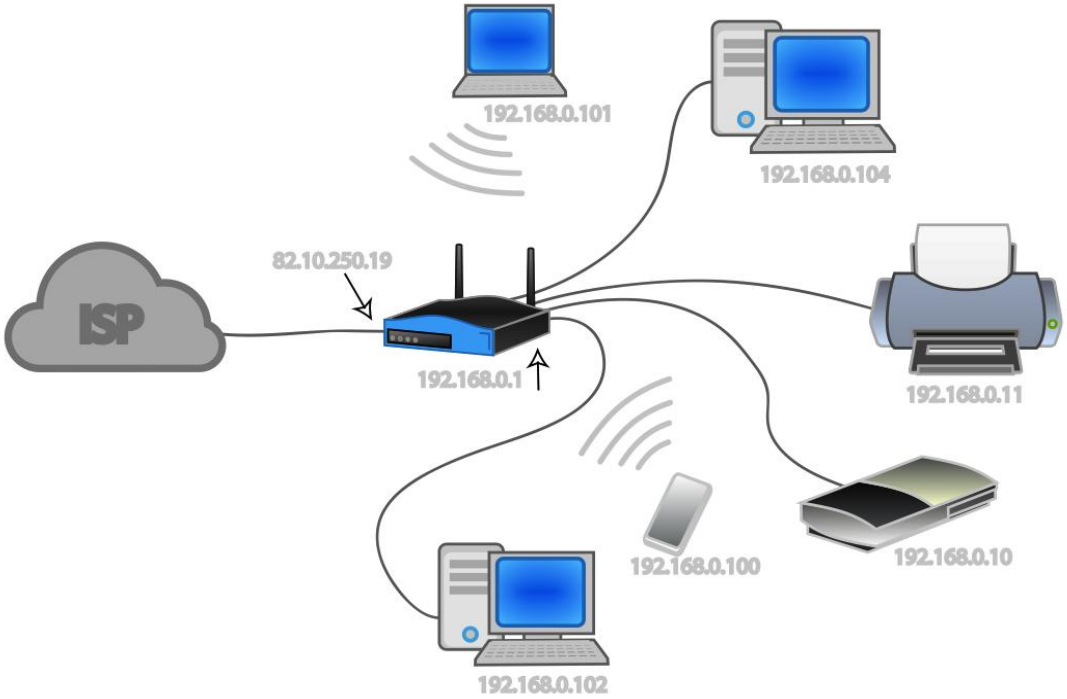
Como evoluir o núcleo da Internet?

- Gambiarras...
  - Para topologias específicas de rede: Redes *overlay*



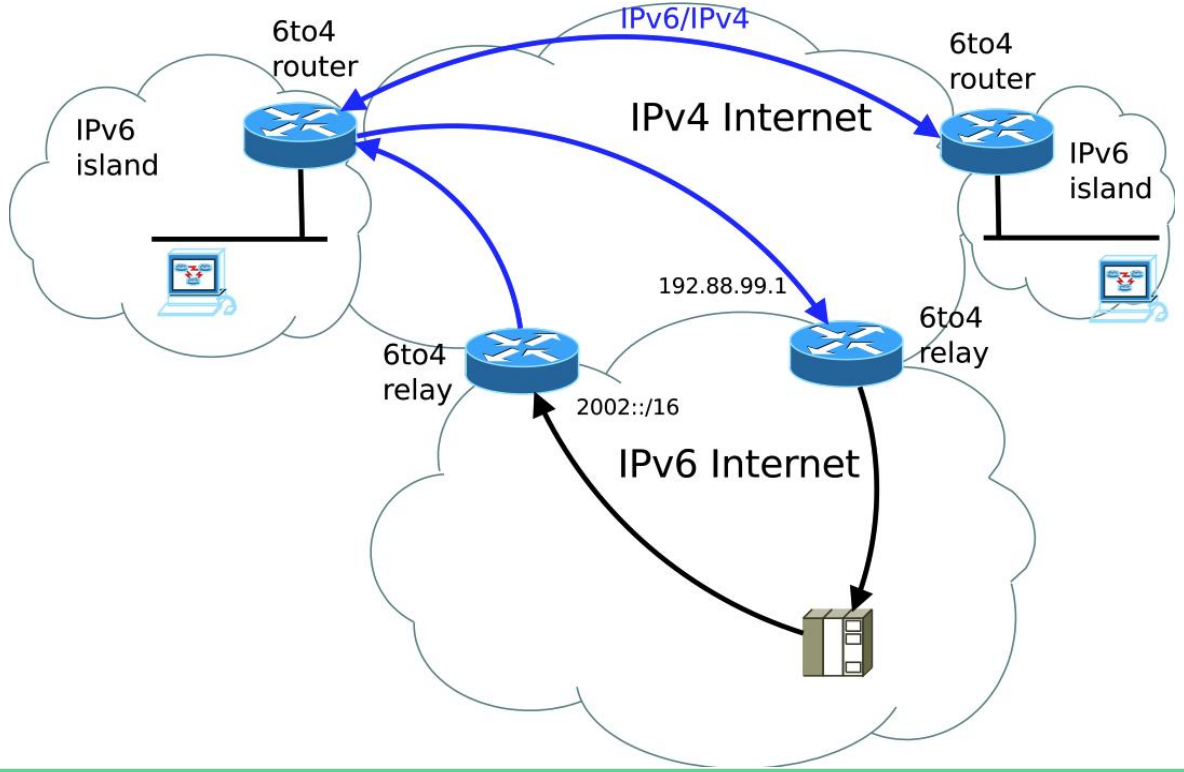
Como evoluir o núcleo da Internet?

- Gambiarras...
  - Para ter mais endereços: NAT



Como evoluir o núcleo da Internet?

- Gambiarras...
  - Para habilitar IPv6: tunelamento



Como evoluir o núcleo da Internet?

- Gambiarras...
  - Não escalam
  - Podem levar a perdas significativas de desempenho (Overlay)
  - Violam o princípio fim-a-fim (NAT)
  - Não são padronizadas pelos fabricantes (Tunelamento)

- O que ajudaria a resolver?
  - Uma visão global da rede
  - Um arcabouço padronizado para todas as camadas
  - Elementos programáveis sem especificidades dos fabricantes
  - Redes virtuais de fácil criação e configuração

Como evoluir o núcleo da Internet?

+ arquivos e comandos de configuração específicos de um fabricante

+ códigos (preferencialmente FLOSS) em Python/C/C++/... gerais para qualquer fabricante

Redes definidas por software

```
def _do_expire (self):
  """
  Expire probes and "memorized" flows

  Each of these should only have a limited lifetime.
  """
  t = time.time()

  # Expire probes
  for ip,expire_at in self.outstanding_probes.items():
    if t > expire_at:
      self.outstanding_probes.pop(ip, None)
      if ip in self.live_servers:
        self.log.warn("Server %s down", ip)
        del self.live_servers[ip]

  # Expire old flows
  c = len(self.memory)
  self.memory = {k:v for k,v in self.memory.items()
                 if not v.is_expired}
  if len(self.memory) != c:
    self.log.debug("Expired %i flows", c-len(self.memory))

def _do_probe (self):
```

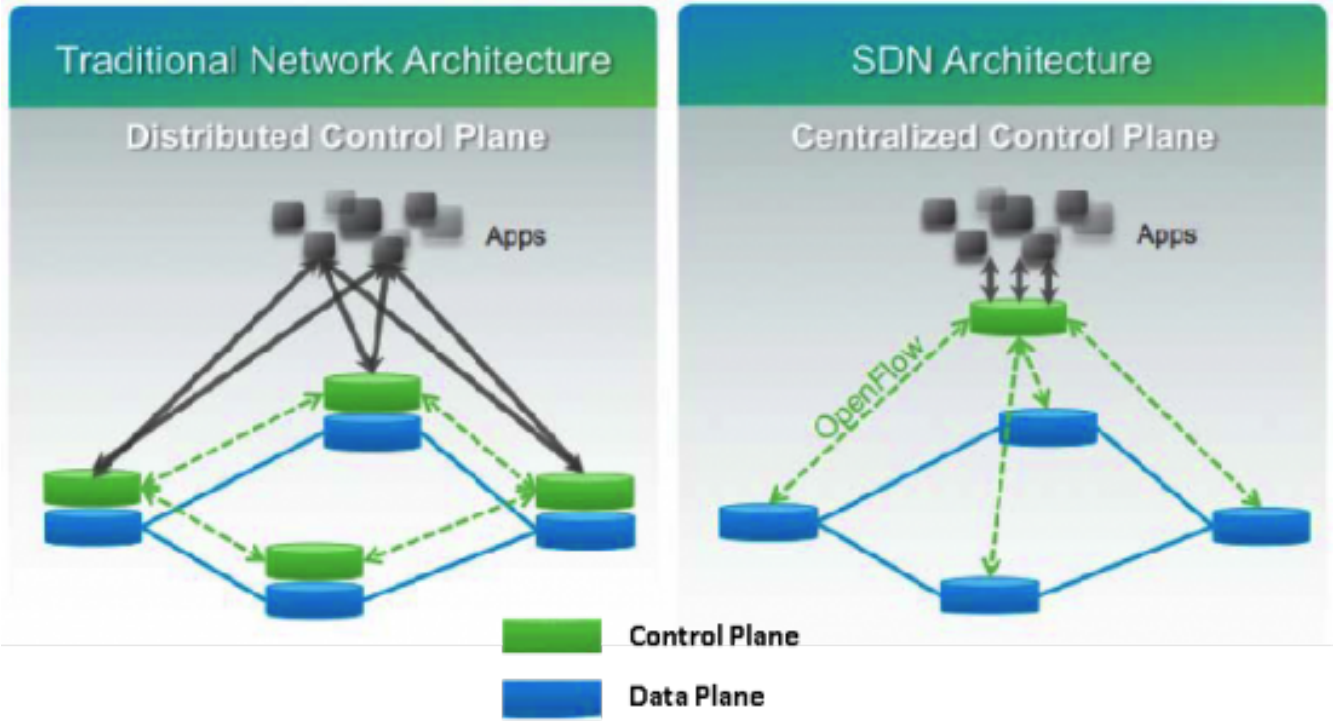
Software Defined Networking (SDN)

- Um arcabouço que permite aos administradores de rede automaticamente e dinamicamente gerenciar e controlar um grande número de elementos de rede, serviços, topologia, caminhos do tráfego e políticas de manipulação de pacotes usando linguagens de alto nível e APIs

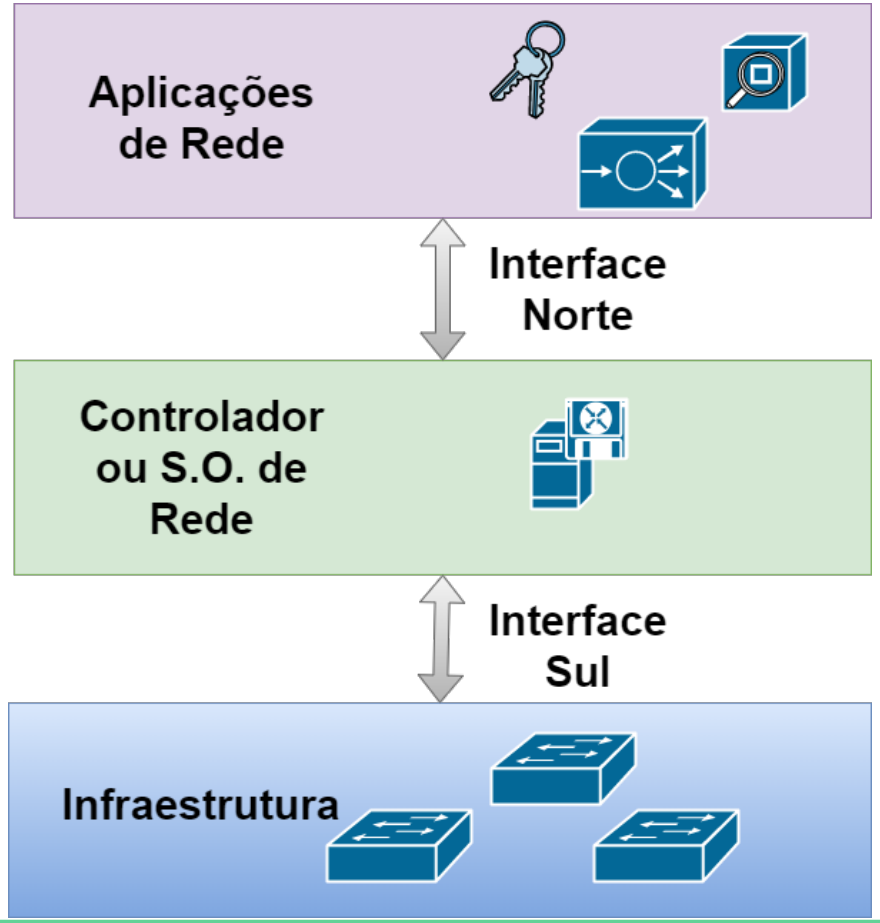
- Existiram propostas desde 1996 mas SDN de fato tornou-se algo viável com a proposta do OpenFlow (*OpenFlow: enabling innovation in campus networks* – 2008)

- A partir do OpenFlow 1.2, a Open Networking Foundation (ONF) passou a cuidar do OpenFlow

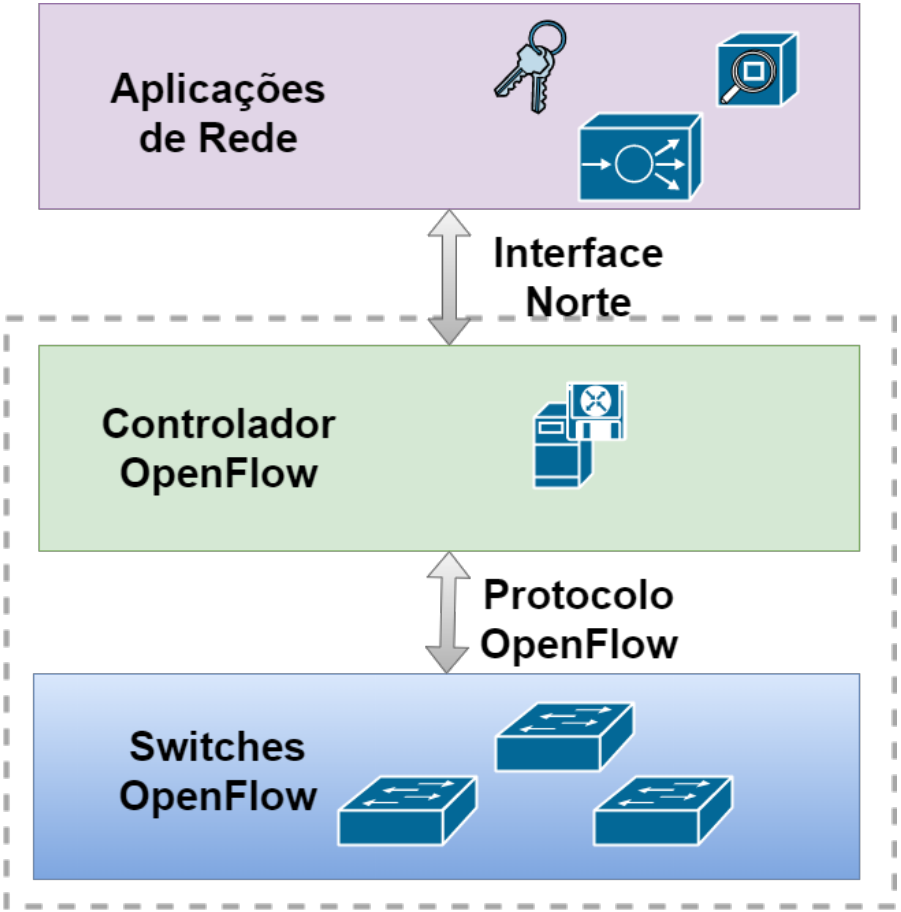
Separação dos planos de controle e dados



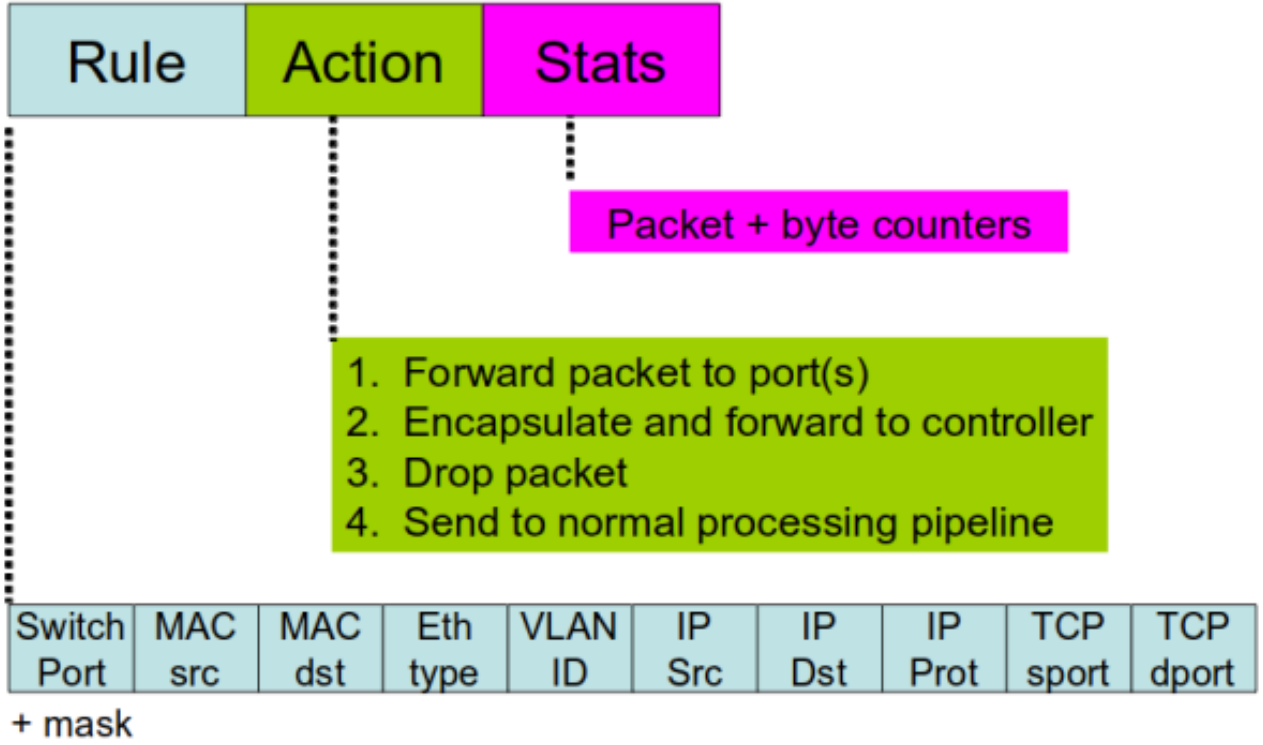
Presença de um novo elemento: o controlador



Presença de um novo elemento: o controlador



Presença de um novo elemento: o controlador



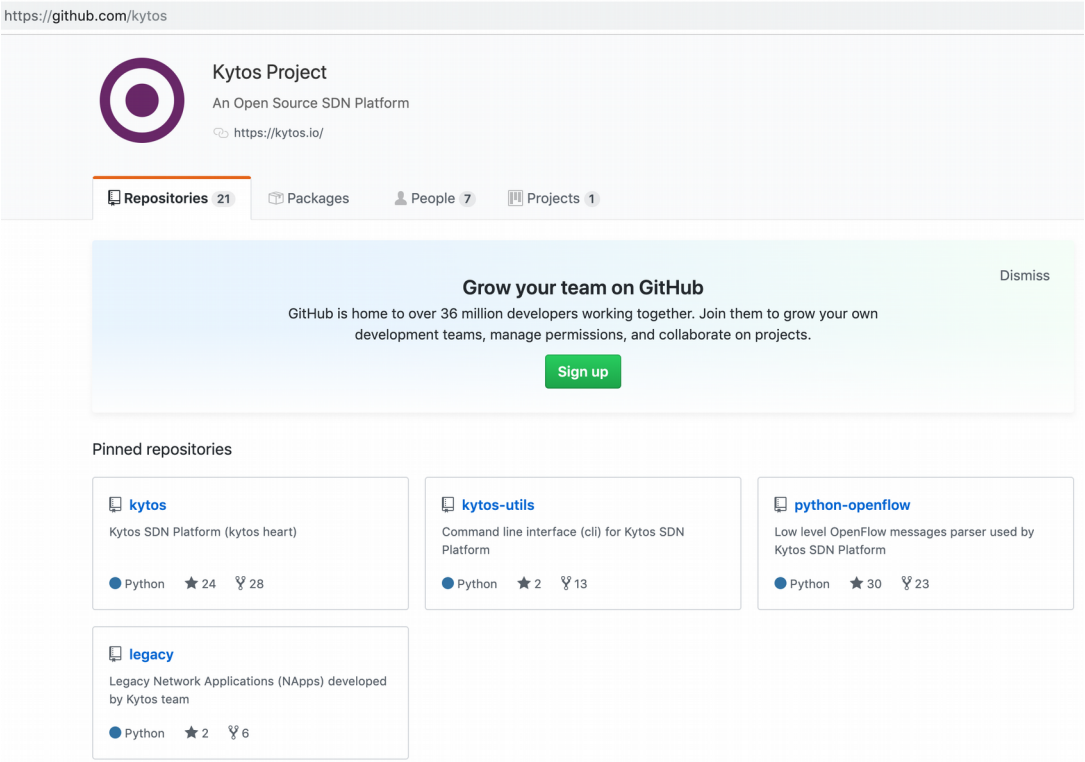
Presença de um novo elemento: o controlador

- Gerenciar / Atualizar a rede agora significa programar o controlador ou as aplicações que rodam sobre o controlador

Controlador OpenFlow	Linguagem	Documentação Atualizada	Versão do OF suportada	Viabilidade da Migração
FlowLog - Frenetic	FlowLog, oCaml	Não	1.0	Inviável
OpenDaylight	Java	Sim	1.3	Viável
Nox	C++	Sim	1.3	Com restrições
Ryu	Python	Sim	1.5	Viável
Floodlight	Java	Sim	1.3	Viável
Kytos	Python	Sim	1.3	Viável

Exemplo de controlador: Kytos

- Ideia similar às lojas de aplicativos: `https://github.com/kytos`



O que SDN resolve?

- Uma visão global da rede
- Um arcabouço padronizado para todas as camadas
- Elementos programáveis “sem especificidades dos fabricantes”

- Flexibilidade e custo na gerência da rede

Research team that includes Brazilians breaks record at Supercomputing Conference

January 21, 2015

Agência FAPESP – A network of researchers in which Brazil plays an important part set a new record for data distribution at Supercomputing 2014 (SC14), a conference for high-performance computing, networking, storage and analysis. The conference, in its 26th year, was held in New Orleans, USA, on November 16-20.

Researchers transferred 1,400 gigabits per second at event to advance the transmission of LHC data (*photo: Antoninho Perri/Unicamp*)

The team achieved a data transfer rate of 1,400 gigabits (1.4 terabits) per second. At the previous meeting of the conference, the highest rate was just over 750 gigabits.

Mas nem tudo são flores...

- O padrão OpenFlow permite personalizações pelos fabricantes e em muitos casos, o diferencial de um equipamento para outro está nessas personalizações
  - A linguagem de programação P4 tem sido difundida para resolver esse problema
- Pode continuar violando o princípio fim-a-fim

- Migração precisa ser feita
  - mas uma vez feita, a evolução é concentrada em menos elementos - nos controladores

Por que um cientista da computação é útil em SDN?

- Criar novos controladores
- Criar novas aplicações para controladores já existentes
- Criar novos modelos de negócio para tirar proveito da flexibilidade permitida com SDN
- Criar “conexões” entre aplicações na camada de aplicação e a rede para melhorar o desempenho das aplicações

- Trabalhos relacionados no IME-USP:
  - *Análise e comparação do uso de SDN para balanceamento de carga* (Leonardo Padilha) [Finalizado]
  - *Migração de redes tradicionais para SDN* (Renan Barbosa) [Finalizado]
  - *Adaptação de Redes Definidas por Software para Jogos Eletrônicos* (Lucas Dário)

Virtualização de funções de rede

```
    connection_points_reference:
      - "vdu01:cp02"
      - "input"
  - id: "output"
    connectivity_type: "E-Line"
    connection_points_reference:
      - "vdu01:cp03"
      - "output"

##
# The VNF connection points to the
# outside world.
##
connection_points:
  - id: "mgmt"
    interface: "ipv4"
    type: "management"
  - id: "input"
    interface: "ipv4"
    type: "external"
  - id: "output"
    interface: "ipv4"
    type: "external"
```

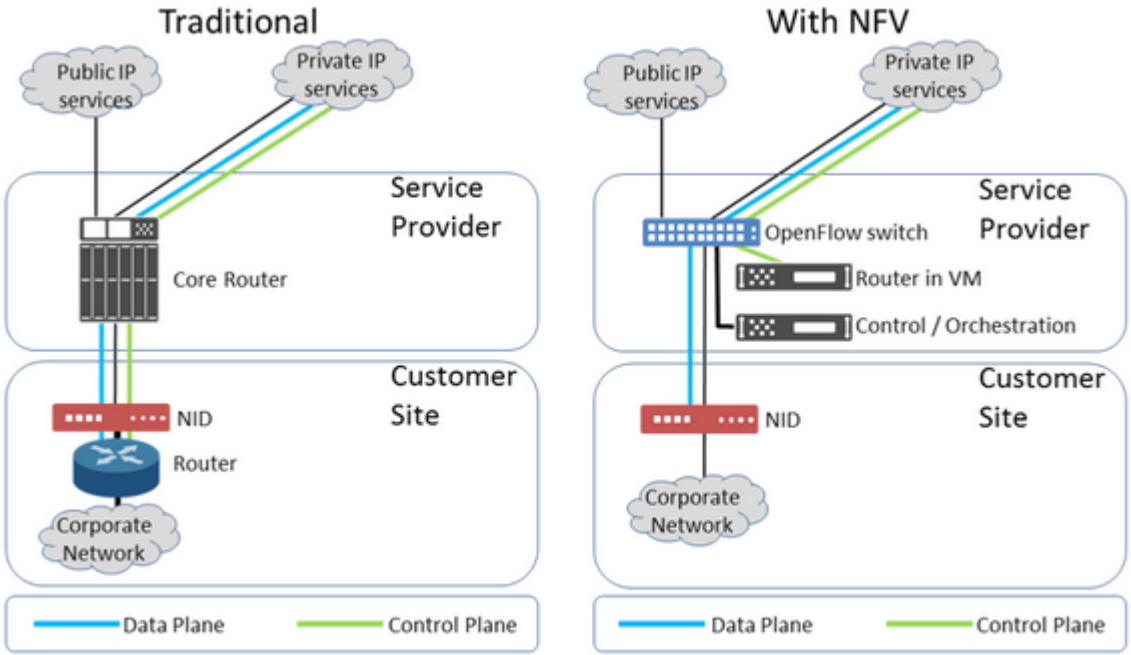
Network Functions Virtualization (NFV)

- Uma arquitetura de rede que usa tecnologias de virtualização de TI para virtualizar funções de elementos de rede que podem se conectar, ou se encadear, para criar serviços de comunicação
- Traz a “Softwarização” para as redes
- Ao invés de comprar uma caixa preta (“appliance”) específica para realizar uma função de rede, usa servidores de baixo custo (muito mais baratos e que podem escalar vertical e horizontalmente) para virtualizar essa função

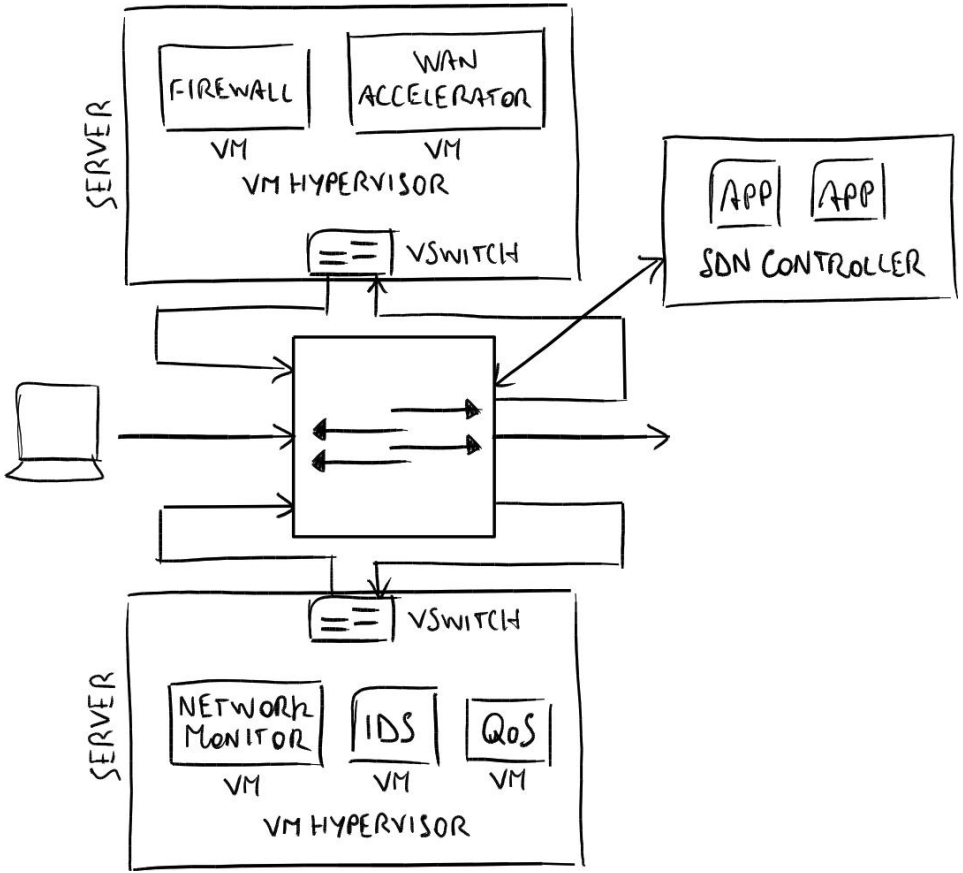
- O movimento começou em 2012 sob coordenação de um grupo de trabalho da ETSI

Baseada na computação em nuvem

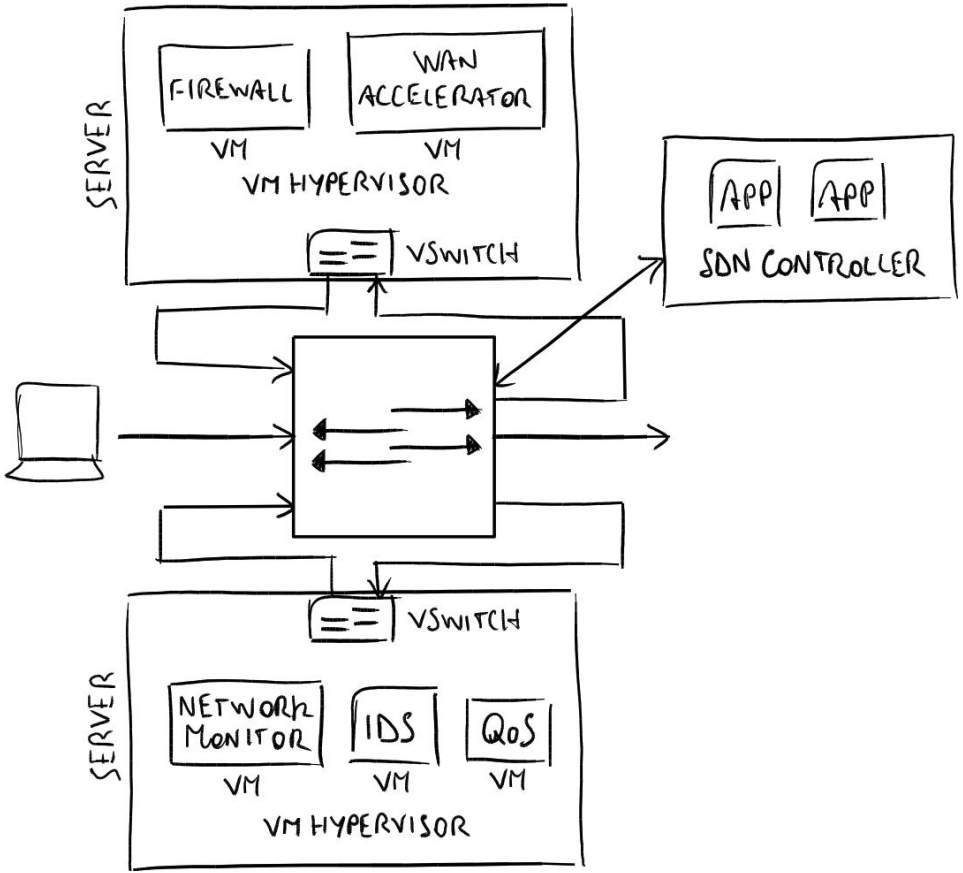
- Exemplos de funções: balanceadores de carga, firewalls, detectores de intrusão e aceleradores de WAN (mas mesmo aplicações como servidores web tem sido consideradas)



Qualquer provedor de nuvem + SDN

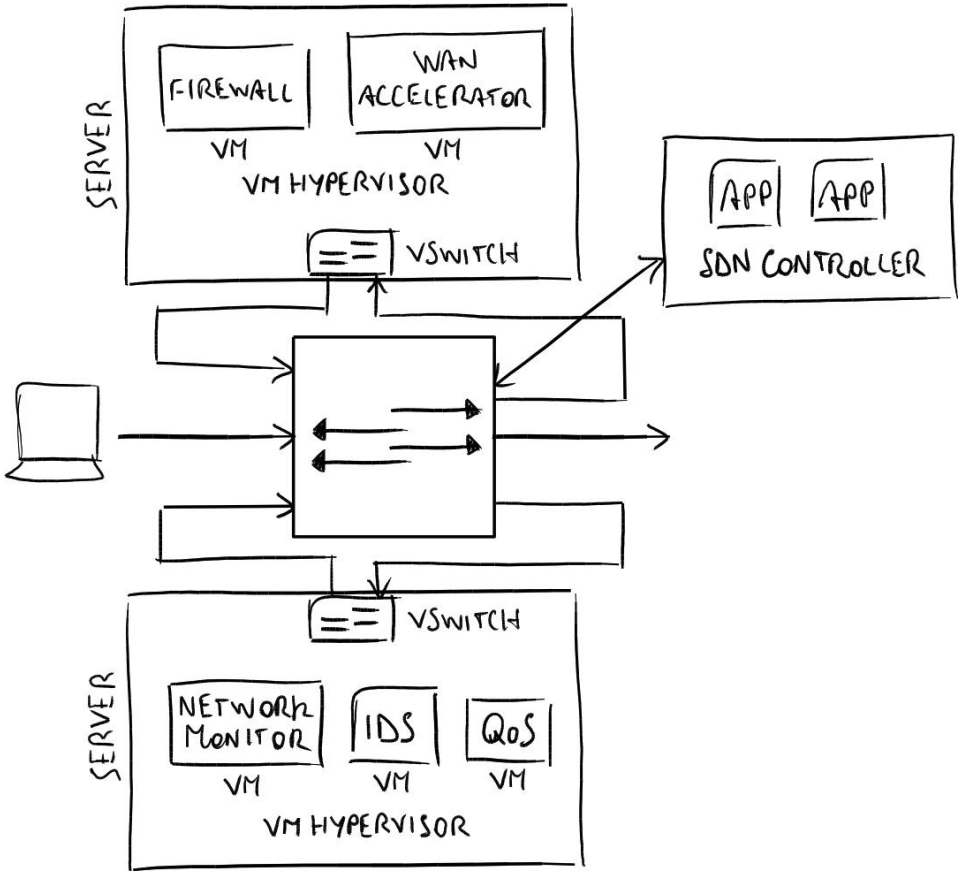


Qualquer provedor de nuvem + SDN



Escolher onde colocar cada função é um problema de escalonamento

Qualquer provedor de nuvem + SDN

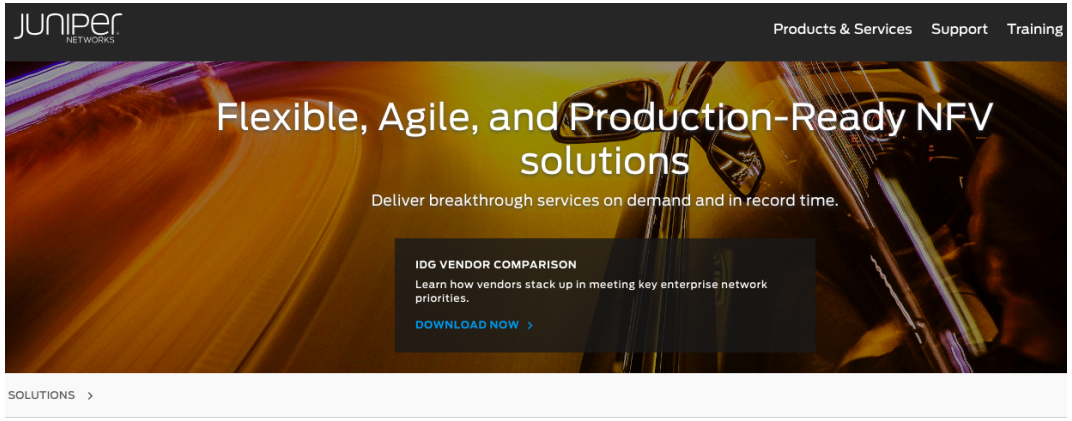


Escolher onde colocar cada função é um problema de escalonamento

Hipervisores, Containers, Provedores de nuvem são essenciais

O que NFV resolve?

- Redes virtuais de fácil criação e configuração
- Escalabilidade e custo (pay-per-use) no funcionamento da rede



Service providers today are facing a multitude of network challenges that hinder their ability to stay competitive. Foremost among these challenges is a rigid service delivery infrastructure and operating costs that seldom align with revenue. And compounding the problems, network operations are increasingly complex and expensive to maintain, driving up total cost of ownership (TCO).

Juniper solves these problems with a carrier-grade Network Functions Virtualization (NFV) solution that combines a dynamic cloud orchestration system with a supporting reference architecture based on virtualization and programmability.

We enhance our NFV solution with built-in automation capability that's powered by machine

Mas nem tudo são flores...

- Segurança: boa parte dos pacotes estão sendo enviados para um ambiente compartilhado com outros usuários
- Desempenho: encontrar o melhor encadeamento de funções (SFC) é algo que pode “não ter fim”
- Pode continuar violando o princípio fim-a-fim

- Migração pode ser dor de cabeça principalmente se algum problema estiver fora dos domínios da organização

Por que um cientista da computação é útil em NFV?

- Resolver problemas de otimização para definir onde colocar cada função de rede
- Criar mecanismos para escalar vertical e horizontalmente de forma automática
- Criar SFCs que não afetem o desempenho

- Trabalhos relacionados no IME-USP:
  - *Energy Saving in Data Centers using NFV* (Fatemeh Mosaiyebzadeh)

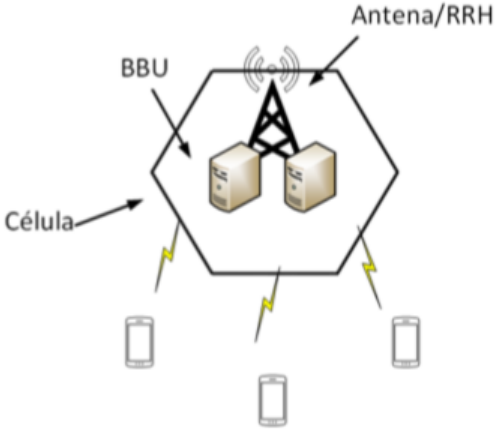
Redes 5G

Redes 5G

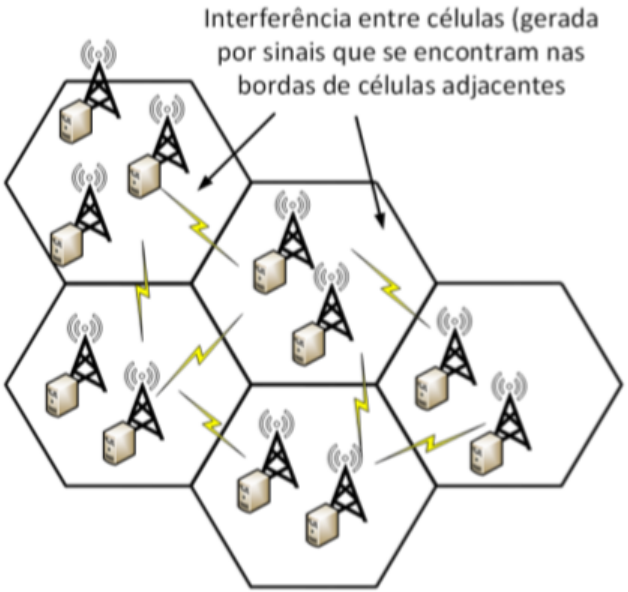
- Próxima geração de telecomunicações móveis
  - 1Gbps de taxa de transferência de dados
  - 1ms de atraso
  - Handoff funcionando mesmo a 500Km/h
- Muitas empresas envolvidas. Lançamento comercial ao redor do mundo previsto para 2020
- Cada pessoa teria uma rede pessoal para todos os dispositivos (não mais Internet cabeada)
- Redes (Slices) seriam facilmente criadas para grandes eventos temporários

- A Korea Telecom fez demonstrações durante as Olimpíadas de Inverno no início do ano passado (2018)

Aplicando na prática SDN e NFV

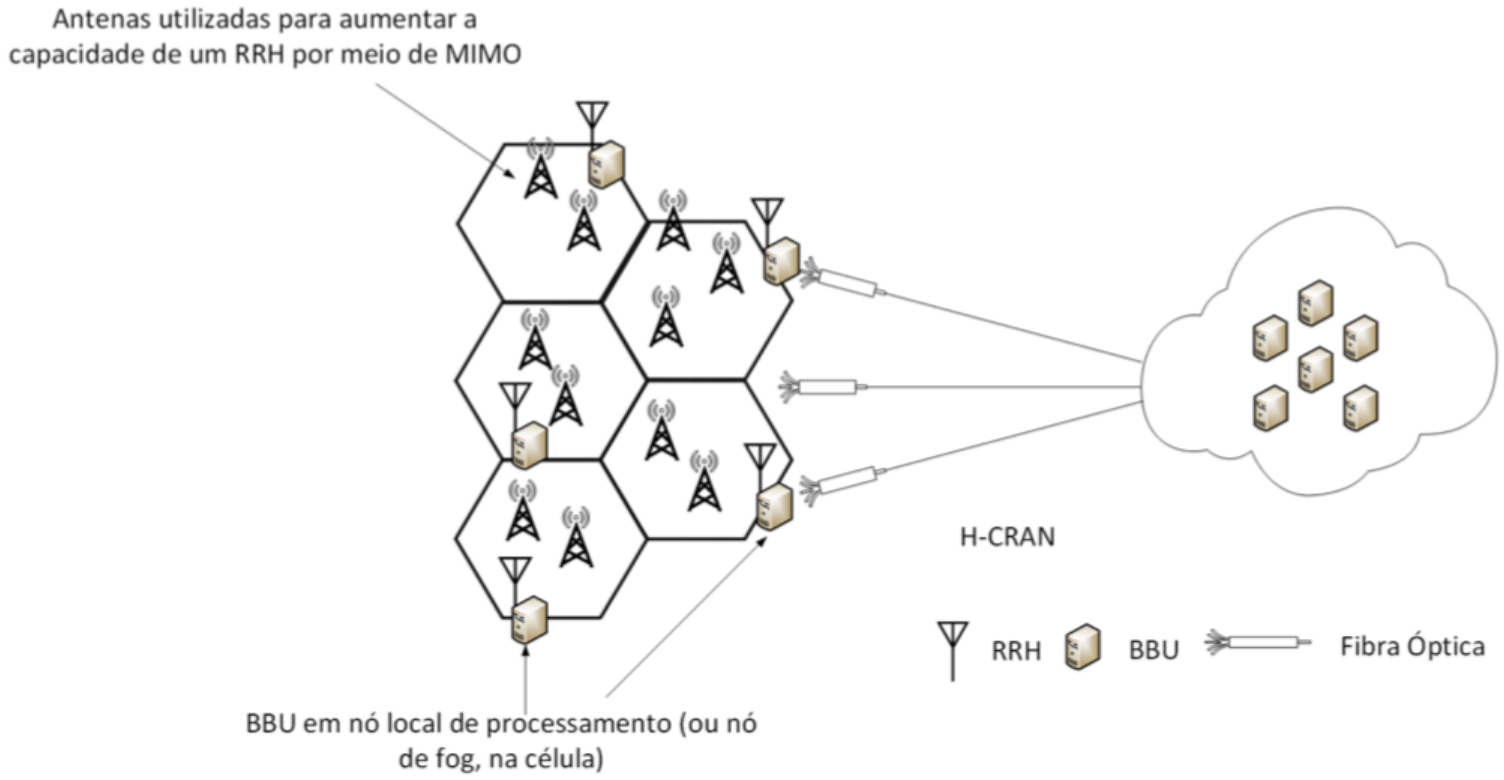


1G, 2G e 3G



4G

Aplicando na prática SDN e NFV



Por que um cientista da computação é útil em redes 5G?

- Aplicar as ideias de SDN e NFV
- Propor arquiteturas inovadoras que eventualmente usem especificidades do ambiente para otimizar a rede

- Trabalhos relacionados no IME-USP:
  - *Arquiteturas Ópticas para o Suporte da Internet 5G* (Rodrigo Tinini)

Conclusões

- O administrador de rede vai precisar saber programar mais do que saber comandos mágicos de fabricantes
- Conceitos como computação em nuvem, devops e loja de aplicativos, devem fazer cada vez mais sentido num provedor de infraestrutura de redes
- Espera-se que FLOSS transforme o ecosistema de modo que os serviços sejam o diferencial entre as empresas e não mais as caixas responsáveis por realizar as diversas ações sobre os fluxos de dados

Referências de conteúdo

- https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-13/ftp/m_16sdn.pdf
- http://www.scs.stanford.edu/nyu/04sp/notes/l23.pdf
- https://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv

Referências de figuras

- https://jornal.usp.br/wp-content/uploads/2018/05/19092013fachadaimefotomarcossantos003.jpg

Referências de figuras

- http://ccsl.ime.usp.br/logos
- http://interscity.org/
- https://www.flickr.com/photos/44176115@N07/15401776380
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Celluar_Antenna_with_tower_for_5G.jpg#filelinks
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PikiWiki_Israel_32304_The_Internet_Messenger_by_Buky_Schwartz.JPG

Referências de figuras

- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internet_map_1024.jpg
- https://raw.githubusercontent.com/noxrepo/pox/eel/pox/misc/ip_loadbalancer.py
- https://raw.githubusercontent.com/sonata-nfv/son-examples/master/service-projects/sonata-proxy-lb-service-emu/sources/vnf/nginx-lb-vnf/nginx-lb-vnf-vnfd.yml
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CPT-NAT-1.svg

Referências de figuras

- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:6to4.svg
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Silver1-550x304.png
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Openflow-table-entry-med.png
- https://www.flickr.com/photos/jackthegag/6141992442
- https://pixabay.com/pt/pc-computador-cpu-tecnologia-684125/

Perguntas?

https://www.ime.usp.br/~batista/daniel-ufabc.pdf

- batista@ime.usp.br (Sala 228 do bloco C do IME-USP)
- http://interscity.org/
- https://sbseg2019.ime.usp.br/