

# Virtualização de Serviço de Distribuição de Vídeo

Regina Melo Silveira e Samuel Kopp

**Resumo**—As redes de funções virtualizadas (NFV) tem sido bastante exploradas em serviços de armazenamento em nuvem. No entanto, a virtualização de serviço de distribuição de vídeo ainda requer amadurecimento da tecnologia, principalmente com relação aos mecanismos de gerenciamento e orquestração dos recursos virtualizados. Este trabalho traz um levantamento do estado da arte da área, com foco especialmente no módulo MANO da arquitetura NFV e sua utilização integrada a infraestrutura da rede de distribuição de conteúdo (CDN), ressaltando os benefícios, desafios e melhorias necessárias para que tal integração seja bem sucedida.

**Palavras-Chave**—Distribuição de Vídeo, CDN, NFV, MANO, integração.

**Abstract**— Network functions virtualization (NFV) has been widely explored in cloud storage services. However, video distribution service virtualization requires further maturing of technology, particularly with respect to the mechanisms of management and orchestration of the virtualized resources. This paper presents a survey of the state of the art area, focusing especially on MANO module of NFV architecture and its integrated use with infrastructure of content delivery network (CDN), highlighting the benefits, challenges and improvements required for such integration is successful.

**Keywords**—Video distribution, CDN, NFV, MANO, integration.

## I. INTRODUÇÃO

Há cerca de quinze anos observou-se que a Internet apresentava limitações com relação a pontos de congestionamento, ineficiência dos protocolos de roteamento e transporte, problemas com redes inacessíveis por falhas ou quedas de enlaces, descentralização elevada do gerenciamento dos recursos e heterogeneidade dos softwares utilizados no cliente final [1]. Tais limitações são inerentes ao funcionamento da Internet e estão fora de controle de uma única instituição.

Por outro lado, nos últimos anos, a distribuição de vídeo através da Internet tem se tornado cada vez mais frequente. Segundo relatório anual da CISCO [2], até o final de 2018 79% do tráfego da Internet será constituído por fluxos de vídeo, e se considerado o compartilhamento de vídeo através de redes P2P (peer-to-peer), representará 90% do tráfego total. A popularidade crescente de serviços como o Netflix e o Youtube dão subsídios a estas estimativas. Um aumento contínuo das aplicações de grandes volumes gerados por vídeos 2D e 3D de altas resoluções é previsto, já que é clara a tendência de escalada em termos da resolução de vídeo, visto que estão planejadas transmissões 4k nos eventos esportivos deste ano e do uso de TV UHD (*Ultra High Definition*) 8k (4320p) em 2020 [3].

Portanto, observa-se uma lacuna tecnológica entre o limite da capacidade da Internet e o desempenho necessário para as atuais e futuras aplicações distribuídas, de forma que estas

continuem crescendo e alavancando cada vez mais negócios. Por esta razão, estratégias e artifícios que permitissem melhorar o desempenho da entrega de dados, áudio e vídeo começaram a ser elaborados, garantindo a adaptação da Internet às necessidades atuais e futuras [4]. A comunidade científica da área é unânime em afirmar que estamos vivenciando um momento de mudança de paradigmas da Internet, visto que atuais tendências no uso da Web exigem uma evolução no funcionamento da rede.

Os padrões de tráfego induzido pelas aplicações emergentes são altamente dinâmicos, e gerenciar o atendimento a estes serviços requer gerenciamento de banda e de recursos de forma flexíveis. O surgimento da computação em nuvem, onde usuários solicitam acesso sob demanda à função implementada em software, tem aumentado a necessidade de provisionamento de banda e recursos, tanto físicos como virtuais, sob demanda [5].

As redes de distribuição de conteúdos (CDN - *Content Delivery Network*) [6] surgiram neste contexto e modificaram o modelo de negócios usado na Internet até então. As primeiras CDNs surgiram há cerca de doze anos e já se observa uma evolução em relação ao seu uso. Segundo Pathan [7], a primeira geração tinha como objetivo fazer a entrega eficiente de conteúdos Web estáticos e dinâmicos, a segunda geração objetivava melhorar o desempenho da rede para serviços de vídeo sob demanda e ao vivo; enquanto a terceira geração tem como principal foco a interação das comunidades sociais e o acesso de aplicações via dispositivos móveis.

Além das tendências relacionadas às CDNs, computação em nuvem, redes de *datacenter* e aplicações conhecidas como “big data” apresentam requisitos bastante dinâmicos. Contudo, a rede atual não oferece tal flexibilidade para se adaptar a essas novas tendências. Neste cenário, a virtualização das funções ou serviços de rede (NFV - *Network Functions Virtualization*) [11], demonstra ser uma solução atrativa em termos de agilidade e flexibilidade para atender a estes novos requisitos.

Este trabalho traz um levantamento do estado da arte da área, com foco especialmente no módulo MANO da arquitetura NFV e sua utilização integrada a infraestrutura da rede de distribuição de conteúdo (CDN), ressaltando os benefícios, desafios e melhorias necessárias para que tal integração seja bem sucedida.

A organização do texto apresenta na seção II os desafios da distribuição de vídeo na rede atual, na seção III é descrito a arquitetura de uma rede de função virtualizada proposta pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). A seção IV explora questões relativas à virtualização da distribuição de vídeo. Na seção V são levantados os desafios e obstáculos ainda existentes para a integração de CDN com NFV, enquanto a seção VI traz as considerações finais do trabalho.

Regina Melo Silveira, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, Brasil, e-mail: [regina@larc.usp.br](mailto:regina@larc.usp.br), Samuel Kopp, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, Brasil, e-mail: [samuel@larc.usp.br](mailto:samuel@larc.usp.br)

## II. DESAFIOS DA DISTRIBUIÇÃO DE CONTEÚDO

O termo CDN surgiu no final dos anos 90 com a necessidade de criar meios de prover desempenho e escalabilidade aos serviços Web, a fim de evitar que websites com grande volume de acessos apresentassem problemas de congestionamento e consequente indisponibilidade. Este tipo de problema ficou conhecida pelo termo *flash crowd* [8] ou *SlashDot effect* [9], que consiste em um aumento repentino e significativo da demanda a um determinado conteúdo, ocasionando a indisponibilidade do mesmo. Na prática estes efeitos acontecem com o fenômeno conhecido popularmente como “viralização” de um conteúdo, cujo interesse se espalhe entre vários usuários rapidamente.

O princípio fundamental do funcionamento das CDNs é fazer um balanceamento de carga entre diversos servidores com réplicas do conteúdo original, direcionando usuário para um servidor mais próximo deste, de forma a minimizar a largura de banda utilizada e reduzir a latência no acesso ao conteúdo.

A estrutura básica de uma CDN envolve três principais atores: o provedor de conteúdo, o provedor de CDN e o usuário final. De uma forma geral o provedor de conteúdo é o cliente do provedor de CDN, que faz a entrega para o usuário final, ou usuário Web, que por sua vez é cliente do provedor de conteúdo. O provedor de conteúdo delega a entrega destes, identificados e endereçados a partir de uma URL, para que o provedor de CDN atenda as requisições dos usuários. Para tanto, o provedor de conteúdo ou aplicação deve manter um sistema origem que inclui servidor web, servidor de aplicação, base de dados com todos os objetos digitais a serem distribuídos. No caso de distribuição de vídeo, o provedor de conteúdo deve prover instalações para a captura e codificação dos fluxos de vídeo ao vivo e equipamentos para armazenamento de vídeo sob demanda. É função dos servidores da CDN coletar os conteúdos dos servidores de origem de seus clientes e disparar o processo de replicação deste em sua estrutura de forma a otimizar sua entrega aos clientes finais, ou consumidores Web.

A arquitetura básica de uma CDN, segundo Buyya et al. [10], é composta por diversos componentes descritos a seguir.

- Componente de entrega de conteúdos - que consiste do servidor de origem, que mantém os conteúdos, e um conjunto de servidores de réplica (ou servidores de borda) que são os servidores que efetivamente entregam os conteúdos aos clientes.
- Componente de distribuição - responsável por replicar o conteúdo do servidor de origem, disponibilizado pelos clientes da CDN, para os servidores de borda e garantir a consistência dos conteúdos em todo o sistema.
- Componente de solicitação de rota - faz o redirecionamento das requisições dos clientes aos servidores de borda apropriados a partir do conhecimento da topologia do sistema;
- Componente de gerenciamento da topologia – servidor que faz o mapeamento da topologia da rede e dos recursos do serviço;
- Componente de contabilização – mantém o registro das requisições dos clientes e estatísticas de uso, as quais podem ser utilizadas para cobrança dos serviços prestados e controle do consumo dos conteúdos pelo cliente da CDN.

Portanto, CDN é uma infraestrutura complexa em termos de gerenciamento e operação, principalmente devido às características dinâmicas das requisições realizadas pelos usuários. A alocação de novos recursos é uma tarefa manual e

demorada, que muitas vezes utiliza equipamentos dedicados. Por este motivo, em uma infraestrutura deste tipo normalmente opta-se pela alocação excedente de recursos, o que aumenta o custo e diminui a eficiência do capital investido, tornando o negócio pouco competitivo. Estabelecer mecanismos que permitam uma operação dinâmica e eficiente dos recursos envolvidos trará grande benefício principalmente às empresas de provisão de serviço de acesso à Internet (ISPs – *Internet Services Provider*) com interesse em distribuir conteúdos através de CDNs, possibilitando melhor uso de seus recursos.

## III. REDE DE FUNÇÕES VIRTUALIZADAS

Atualmente, um dos grandes desafios na oferta de serviços por parte de provedores de rede é a variação da demanda dos mesmos, exigindo que o provedor aloque recursos de forma superdimensionada para cada um deles. Além disso, o processo de alocação de recurso adicional é lento, pois requer a instanciação de novas máquinas e a instalação e configuração de sistemas.

A tecnologia NFV (*Network Functions Virtualization*) tem como objetivo a virtualização das funções ou serviços de rede, desacoplando a camada de hardware da camada de software, que implementa e gerencia tais funções [11]. Apesar de não ser mandatário o uso de NFV com SDN (*Software-Defined Networking*), estas duas tecnologias são bastante complementares. Clougherty [12] chega a mencionar que NFV é a “killer application” para a SDN.

A virtualização das funções da rede (NFV) é a possibilidade de implantar várias funções de rede (ex.: roteamento, CDN, firewall) através de software e utilizando hardware de baixo custo (servidores de mercado) [14]. As funções podem ser instanciadas em vários locais da rede dependendo da conveniência, sem a necessidade da instalação de novo equipamento.

A virtualização das funções de rede pode trazer vários benefícios, incluindo [10]:

- Estímulo a inovação para a criação de novos serviços de rede baseados em software, propiciando maior dinamismo para a oferta de novos serviços de rede;
- Aumento da flexibilidade e diminuição da complexidade do hardware necessário em uma operadora de rede, eliminando a necessidade de hardware de rede específico;
- Diminuição dos tempos gastos com implementação, implantação, testes e integração de um novo serviço de rede;
- Melhoria do desempenho e da escalabilidade de um serviço;
- Facilitar e otimizar a configuração e mudança de topologia da rede dinamicamente de acordo com a demanda;
- Redução do custo de equipamentos e do consumo de energia através de equipamentos mais simples que podem trazer economia de escala para a indústria de TI;
- Diminui custo de operação e manutenção do parque de equipamentos de uma operadora de rede;
- Melhoria do gerenciamento dos componentes do serviço de rede através de interfaces padronizadas e abertas entre as funções de rede virtualizadas e a infraestrutura providas por diferentes fornecedores.

No entanto, para atender adequadamente a demanda dos serviços NFV, é necessária uma arquitetura escalável associada a uma infraestrutura robusta. Além disso, dado a natureza deste serviço, na transmissão de vídeo, é notável a necessidade de alocação de recursos adicionais para atender adequadamente quando ocorrem picos de demanda. Para isso, a equipe de operações tem sob sua responsabilidade um número

considerável de ações que devem ser realizadas para que este dimensionamento seja realizado de forma estável, como: monitoração, alocação e reconfiguração de novos recursos.

O primeiro serviço de rede que rapidamente absorveu a tecnologia NFV foi a computação em nuvem, principalmente devido ao fato de seu modelo de negócios ser baseado na oferta de recursos computacionais sob demanda, a medida da necessidade dos usuários [13]. No entanto, o European Telecommunications Standards Institute (ETSI), organização que tem encabeçado os esforços de padronização da tecnologia NFV, tem demonstrado que sua utilização trará benefícios para diversos outros serviços de rede, como por exemplo para a distribuição de conteúdo, apesar de ressaltar também os inúmeros desafios ainda existentes para isso. Dentre os desafios, possibilitar a alocação dinâmica dos recursos de forma eficiente e orquestrada, a fim de obter economia de escala, é sem dúvida um deles [15]. Segundo Mijumbi [16], apesar da utilização de NFV para computação em nuvem já ser uma realidade, a ação de disparo da alocação de recursos ainda é realizado manualmente. Sendo assim, os algoritmos de alocação de recursos devem definir quando recursos físicos ou virtuais adicionais devem ser colocados em operação e disparar o processo de disponibilização dos mesmos.

Para tratar esta questão, surgiu recentemente o conceito de serviços elásticos [17], que propõe um modelo de gestão de recursos mais eficiente, flexibilizando o uso da infraestrutura computacional e automatizando os processos de configuração, diminuindo custos de operação. Segundo Dustdar [18] o conceito de elasticidade pode ser aplicado não só para provisionamento de recursos computacionais, mas também para qualidade de serviço (QoS) e custo da oferta de um serviço. A tecnologia NFV permitirá a implementação prática de serviços elásticos para provisionamento de recursos de forma dinâmica e eficiente.

Considera-se que uma implementação NFV para alcançar o sucesso deve suportar as seguintes características: virtualização, abstração, programabilidade e orquestração. Alinhado a estes requisitos está sendo definida uma nova arquitetura para construção de serviços de rede, o qual permite implantar funções diversas, utilizando uma infraestrutura padronizada que pode ser alocada dinamicamente, evitando a necessidade de instalação de equipamentos específicos para cada função [20].

#### A. Arquitetura NFV

A seguir é detalhada a arquitetura de uma infraestrutura para NFV. A figura 1 mostra uma visão de alto nível desta arquitetura, na qual são definidos os seguintes módulos [21]:

- As funções de rede virtualizadas (VNFs – *Virtual Network Functions*): são as várias implementações de software das funções de rede para diferentes propósitos que são executados sobre a NFVI;
- A Infraestrutura de Virtualização de Funções de Rede (NFVI – *Network Functions Virtualization Infrastructure*): que inclui diversos recursos de hardware e a virtualização de cada um deles;
- Gerenciamento e orquestração NFV (MANO – *Management and Orchestration*): que inclui o gerenciamento e orquestração de todo os módulos, tanto físicos como de software que dão suporte a virtualização.

O desacoplamento entre hardware e software na virtualização das funções de rede é realizado pela camada de virtualização, que abstrai os recursos de hardware da NFVI. As funções virtualizadas rodam sobre a camada de virtualização, que faz parte da NFVI, e pode envolver recursos de computação, armazenamento e rede. Além disso, as VNFs

podem ser implementadas de forma independente ou como cadeia de VNFs, mantendo conectividade entre si para executar funções correlacionadas [19]. Esse é o caso de funções associadas ao serviço Web, como: firewall, NAT e balanceamento de carga.

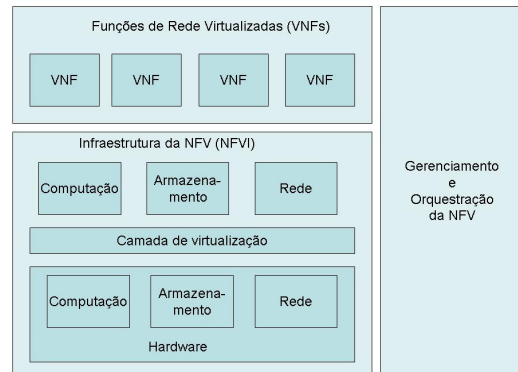


Fig 1. Visão de alto nível da arquitetura para NFV (adaptada de [21])

#### B. Gerenciamento e Orquestração

O módulo de gerenciamento e orquestração (MANO) do NFV engloba diversos desafios ainda a serem superados [11]. É este módulo que deve prover inteligência, garantindo a correta operação do NFVI e das VNFs, para a implementação das funções de rede de forma dinâmica. MANO deve tratar da orquestração e ciclo de vida de gerenciamento tanto dos recursos físicos como virtuais para dar suporte a NFV.

O ETSI, através do NFV Group, tem se dedicado a padronização para NFV assim como a troca de experiências de seu desenvolvimento e implementações iniciais. ETSI propôs recentemente um framework para o módulo MANO, que divide sua arquitetura em: Camada arquitetural NFV, Gerenciamento e orquestração NFV e Sistema de gerenciamento de rede.

A camada arquitetural inclui os módulos NFVI e VNFs, já mencionados anteriormente. O gerenciamento e orquestração NFV é segmentado em três blocos funcionais e o bloco repositório, como mostrado na figura 2 e descritos a seguir [20]:

- Gerenciador da Infraestrutura Virtualizada (VIM): gerencia e controla os recursos físicos e virtuais do NFVI de um único domínio. O VIM pode ser especializado para controlar os recursos de uma única função de rede ou pode ser genérico, controlando todos os recursos.
- Gerenciador VNF (VNFM): responsável pelo gerenciamento do ciclo de vida de uma VNF. O VNFM pode atender um único ou múltiplos VNFs em um determinado domínio.
- Orquestrador NFV (NFVO): responsável por criar um serviço fim-a-fim. Suas atribuições se dividem em (i) orquestração dos recursos e (ii) orquestração do serviço. O primeiro é usado para prover serviço que permita o acesso aos recursos da NFVI independente do VIMs, como também faz a governança das instancias das VNFs que compartilham recursos da uma mesma infraestrutura NFVI. O segundo é responsável por criar o serviço baseado na composição de diferentes VNFs e a gerencia da topologia das instancias dos serviços de rede.
- Repositório de Dados: base de dados que mantém as informações relacionadas ao MANO. Para tanto são considerados quatro tipos de repositórios: (i) o catálogo de serviços de rede é o conjunto de modelos pré-definidos,

que define como o serviço deverá ser criado e instalado, assim como as funções que fazem parte deste para seu funcionamento e conectividade; (ii) o catálogo VNF é o conjunto de modelos das características operacionais dos VNFs disponíveis; (iii) o repositório de recursos do NFVI mantém informações da disponibilidade e alocação da infraestrutura NFVI; e (iv) o repositório de instâncias NFV guarda as informações de todas as funções e serviços instanciados.

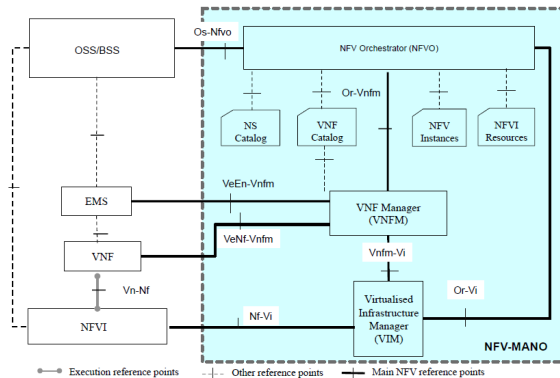


Fig 2. Arquitetura proposta pela ETSI para o módulo MANO da NFV (extraído de [20])

#### IV. VIRTUALIZAÇÃO DE SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO

A utilização de NFV em uma infraestrutura de CDNs foi descrita em [14], documento da ETSI, demonstrando a sua aplicabilidade. Os ISPs que operam CDNs frequentemente têm que hospedar equipamentos para diversas empresas que oferecem serviço de entrega, responsabilizando-se pela operação de equipamentos de diferentes fornecedores. Neste cenário, a possibilidade de implantar mais recursos devido a uma demanda inesperada, como o acesso a vídeo viral ou a um evento muito popular, torna-se mais lenta e com maior custo. Além disso, como o consumo de vídeo é feito principalmente para entretenimento, normalmente a utilização do serviço é caracterizado por picos nos finais de semana, enquanto que durante a semana os recursos de hardware ficam subutilizados. Outra característica deste serviço é a grande volatilidade do mercado, com rápidas mudanças de formato e resolução de vídeo, protocolo e dispositivos. Por estes motivos, virtualizar o serviço de CDN torna-se extremamente atrativo, possibilitando o melhor uso dos recursos disponíveis. Um dos benefícios indicado é que a virtualização de elementos de uma rede de distribuição de conteúdo pode conviver com elementos não virtualizados, permitindo que apenas os elementos mais críticos sejam virtualizados, garantindo a elasticidade do serviço. Mangili [22] demonstra que uma solução mista de elementos virtualizados e não virtualizados podem reduzir drasticamente o custo de operação de uma rede de distribuição, chegando a 65% de economia.

A virtualização de um serviço de distribuição de conteúdo baseado em CDN apresenta como requisitos a integração dos diversos componentes da CDN à MANO, de tal forma que seja possível fazer a monitoração, orquestração e ciclo de vida de gerenciamento tanto dos recursos físicos como virtuais. A virtualização pode ser parcial, com foco nos recursos que apresentam demanda mais variável, como é o caso dos servidores de réplica e o componente de distribuição. Os componentes de solicitação de rota e de contabilização não são elementos considerados críticos em situações de aumento abrupto de solicitações, pois executam funções que não consomem muito recurso computacional ou de rede.

Para que a integração dos módulos da CDN com a MANO seja realizada é necessário atender os seguintes requisitos:

- Estabelecer um protocolo de comunicação entre os componentes das duas arquiteturas;
- Estabelecer mecanismo de monitoração eficiente e de granularidade compatível com a dinâmica de crescimento de demanda de recursos, mas que não impacte negativamente no desempenho do sistema;
- Definir modelo de gerenciamento tanto dos recursos físicos como virtualizados disponíveis;
- Estabelecer mecanismo de atualização automática das informações do servidor de topologia;
- Definir mecanismos de alocação e desalocação dinâmica dos diversos recursos envolvidos.

Para o atendimento a estes requisitos de forma eficiente ainda é necessário o desenvolvimento de pesquisas que dê subsídios às implementações práticas.

Alguns grupos de pesquisa tem explorado o uso de algoritmos de otimização da alocação de recursos dinamicamente na expectativa de viabilizar a automatização da virtualização dos serviços de rede. Um [23] demonstra que é possível associar um algoritmo a rede de distribuição virtualizada que garanta o atendimento ao SLA (*Service-Level Agreement*) contratado pelo cliente de forma dinâmica. Giotis [29] também mostra resultados promissores ao utilizar uma rede de distribuição híbrida associada à SDN, com alguns nós virtualizados, ao estabelecer um mecanismo de políticas para a realocação de recursos. Mijumbi et al. [11] consideram a questão segmentando-a em dois problemas: (i) mapeamento de máquinas virtuais em máquinas físicas e (ii) mapeamento e escalonamento de VNFs nos nós virtuais criados. Para o mapeamento e escalonamento de funções de rede são explorados quatro algoritmos que realizam as duas tarefas, são eles baseados em: recurso menos carregado, recurso com menor taxa de processamento, recurso com menor fila virtual e mecanismo de busca do melhor recurso. Clayman [24] propõe uma arquitetura onde há um orquestrador associado a um módulo de monitoramento que garantem a alocação dinâmica dos recursos virtuais. O cenário de estudo considera objetivos como menor consumo de energia ou balanceamento de carga, e a realocação dos recursos é manipulado para alcançar tal objetivo. Os recursos são alocados baseados nas métricas “menos utilizado” e “menos ocupado”.

#### V. DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO DE CDN COM NFV

O uso de NFV para a distribuição de conteúdo envolve uma complexidade maior que na utilização em serviço de armazenamento em nuvem. A arquitetura NFV proposta pela ETSI ainda não está suficiente madura para uma integração que envolve um sistema com mais elementos com funções específicas como é o caso dos elementos que perfazem uma CDN. A comunicação entre tais elementos e a MANO não foi padronizado, e em se tratando de um sistema altamente distribuído e que requer conhecimento da topologia e gerenciamento de recursos de forma global e não local, esta comunicação é um desafio a ser superado. O protocolo ALTO (*Application Layer Traffic Optimization*) [25, 26] é visto como um potencial candidato para o estabelecimento da comunicação entre as duas infraestruturas.

Mijumbi [16] apresenta um amplo trabalho de revisão sobre NFV e aponta como um dos desafios de pesquisa existentes na área o tratamento da alocação de recursos de forma dinâmica. Ele indica que a sub otimização do uso dos recursos impacta negativamente nos ganhos e na competitividade dos provedores de serviço de rede.

Segundo Lee [27], em sua análise a respeito da arquitetura do VNFM proposto pelo ETSI, o módulo VIM gerencia os recursos virtualizados, mas não tem conhecimento sobre as VNFs ou sobre os serviços de rede (NS - *Network Services*). Por outro lado, a VNFM gerencia o ciclo de vida dos VNF e mapeia os recursos necessários, mas também não tem conhecimento dos NS. Portanto, alguns detalhes da arquitetura ainda não estão claros e muitas questões devem ser verificadas para garantir o melhor desempenho da implementação de NFV para serviços de maior complexidade.

Para se alcançar a combinação de bom desempenho de uma infraestrutura de entrega de vídeo, com atendimento aos requisitos de QoS, com economia de escala, primordial para manter o serviço sustentável, os recursos físicos devem ser usados eficientemente. Para tanto é necessário fazer alocação dinâmica dos recursos, visto a pré-alocação dos mesmos resultam em gastos excessivos devido a recursos excedentes não utilizados. Portanto, algoritmos eficientes devem ser elaborados para determinar quais recursos devem ser alocados dinamicamente para atender as funções de rede.

Com relação a implementação prática de virtualização de serviços de distribuição também existem vários desafios. Muitas implantações de NFV em serviço de nuvem se beneficiam da utilização da API OpenStack<sup>1</sup> que fornece módulo de gerenciamento e orquestração eficiente para este cenário. No entanto, para seu uso em serviço com maior demanda de gerenciamento e orquestração, como é o caso da distribuição de conteúdo, muitas melhorias ainda são necessárias como aponta Kavanagh [28], como serviço de telemetria, gerenciamento do ciclo de vida da infraestrutura, balanceamento de carga e suporte a acesso remoto via VPN.

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da Internet mudou significativamente nos últimos anos, com um número cada vez maior de usuários conectados 24 horas por dia, utilizando diferentes dispositivos e a oferta de novos serviços. Pode-se dizer que a Internet é um sucesso na sociedade atual. No entanto, a arquitetura da Internet está passando por um processo de questionamento, onde há adeptos da pesquisa evolutiva enquanto outros defendem o desenvolvimento de uma nova arquitetura (*clean-slate*), que consiga atender os requisitos atuais.

Em termos de evolução, a distribuição de vídeo na Internet teve um desenvolvimento particular com o objetivo de atender a requisitos que são bastante específicos. O modelo de distribuição de vídeo atualmente em uso utiliza os protocolos HTTP/TCP/IP, trazendo maior uniformidade para a camada de aplicação. Mas esta simplificação tem um custo, já que é necessária uma rede com mais recursos para atender os requisitos da aplicação e as expectativas dos usuários. Esta necessidade, associada ao intenso uso da rede, deu origem as redes de distribuição de conteúdo.

O uso de virtualização tem demonstrado ser uma opção atraente para a flexibilização dos recursos, a melhoria do gerenciamento e operação de uma infraestrutura de rede e serviços. Desta forma, a tecnologia NFV integrada às redes de distribuição de conteúdos trará benefícios aos serviços oferecidos, e devem diminuir significativamente os custos tanto de infraestrutura como de operação. No entanto, observa-se que ainda existem vários desafios de pesquisa e desenvolvimento nesta área que permitam que tal implementação seja uma realidade.

## REFERÊNCIAS

- [1] Rexford, J. and Dovrolis, C.; "Future Internet architecture: clean-slate versus evolutionary research." *Communications of the ACM* 53.9 (2010): 36-40.
- [2] CISCO, *TheZettabyteEra-TrendsandAnalysis*, Tech.Rep., Cisco, 2014.
- [3] Namiki, Shu, et al. "Ultrahigh-definition video transmission and extremely green optical networks for future." *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of* 17.2 (2011): 446-457.
- [4] E. Nygren, R. K. Sitaraman and J. Sun; "The Akamai Network: A Platform for High-Performance Internet Applications". *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, Volume 44, Issue 3, July 2010, pg. 2-19, New York, USA. Doi <10.1145/1842733.1842736>
- [5] Leavitt, Neal. "Network-usage changes push Internet traffic to the edge." *Computer* 10 (2010): 13-15.
- [6] Frank, Benjamin, et al. "Collaboration opportunities for content delivery and network infrastructures." *Recent Advances in Networking* (2013): 305-377.
- [7] M. Pathan, R. Buyya e A. Vakali; "Content Delivery Networks: State of the Art, Insight, and Imperatives." *Content Delivery Network*. Springer, 2010.
- [8] Arlitt, M.; Jin, T. A workload characterization study of the 1998 World Cup Web site. *IEEE Network*, v. 14, 2000. ISSN 0890-8044.
- [9] Adler, S. The Slashdot effect: an analysis of three Internet publications. *Linux Gazette Issue*, 1999.
- [10] Buyya, R.; Pathan, M.; Vakali, A. *Content Delivery Networks*. [S.l.: s.n.], 2008. 429 p. ISBN 9783540778868.
- [11] Mijumbi, Rashid, et al. "Design and evaluation of algorithms for mapping and scheduling of virtual network functions." *Network Softwarization (NetSoft)*, 2015 1st IEEE Conference on. IEEE, 2015.
- [12] M.M. Clougherty; C.A.White; H. Viswanathan; C.L.Kahn; Corporate CTO, Alcatel-Lucent;Bell Labs, Alcatel-Lucent; "Role of SDN in IP Network Evolution" [J];*Telecommunications Science*;2014-05
- [13] Jain, R., and Suddipta, P.; "Network virtualization and software defined networking for cloud computing: a survey." *Communications Magazine, IEEE* 51.11 (2013): 24-31.
- [14] ETSI NFV ISG, 2013 ETSI NFV ISG; *Network Functions Virtualization (NFV) – Use Cases*. White Paper, ETSI GS NFV 001, Oct. 2013.
- [15] ETSI, 2012 ETSI NFV ISG; *Network Functions Virtualization – An Introduction, Benefits, enablers, Challenges & Call for Action*. SDN & OpenFlow World Congress, Dusseldorf, Germany, Oct. 2012.
- [16] Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J. L., Latré, S., Charalambides, M., & Lopez, D. "Management and orchestration challenges in network function virtualization." *IEEE Communications Magazine*, 2015.
- [17] Szabó, R.; M. Kind, F.-J. Westphal, H. Woensner, S. Jocha and A. Császár; "Elastic Network Functions: Opportunities and Challenges". *IEEE Network*, Issue 9, May-June 2015.
- [18] Dustdar, S. et al. "Principles of elastic processes." *IEEE Internet Computing* 5 (2011): 66-71.
- [19] ETSI NFV ISG, 2015 ETSI NFV ISG; *Network Functions Virtualization – Infrastructure Overview*. White Paper, ETSI GS NFV-INF 001, Jan. 2015.
- [20] ETSI NFV ISG, 2014<sup>a</sup> ETSI NFV ISG; *Network Functions Virtualization – Network Operator Perspectives on Industry Progress*. SDN & OpenFlow World Congress, Dusseldorf, Germany, Oct. 2014.
- [21] ETSI NFV ISG, 2014<sup>b</sup> ETSI GS NFV-MAN 001; *Network Functions Virtualization – Management & Orchestration*, 2014.
- [22] Mangili, M. et al., "Concise Paper: Stochastic Planning for Content Delivery: Unveiling the Benefits of Network Functions Virtualization". 2014 IEEE 22nd International Conference on Network Protocols. DOI 10.1109/ICNP.2014.56
- [23] Um, T-W; et al., "Dynamic Resource Allocation and Scheduling for Cloud-Based Virtual Content Delivery Networks". *ETRI Journal*, Volume 36, Number 2, April 2014.
- [24] Clayman, Stuart, et al. "The dynamic placement of virtual network functions." *Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, 2014 IEEE. IEEE, 2014.
- [25] IETF, 2008 IETF. IETF ALTO WG Charter. 2008. Disponível em: <http://datatracker.ietf.org/wg/alto/charter/>.
- [26] Gurbani, V. K. et al. A survey of research on the application-layer traffic optimization problem and the need for layer cooperation - [Accepted from Open Call]. *IEEE Communications Magazine*, v. 47, n. August, p. 107-112, 2009. ISSN 01636804.
- [27] Lee, B. Y., and B. C. Lee. "Analysis the architecture of VNFM (Virtual network function manager)." *Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2015 17th International Conference on. IEEE, 2015.
- [28] Kavanagh, A.; "OpenStack as the API framework for NFV: the benefits, and the extensions needed". *Ericsson Review*, April, 2015.
- [29] Giotis, K. et al., "Policy-based Orchestration of NFV Services in Software-Defined Networks". 1st. *IEEE Conference on Network Softwarization*, 2015.

<sup>1</sup> <https://www.openstack.org/>