

Mecanismo de Comunicação para Migração de Serviços Ciente da Localização de Nuvem e Névoas

Gilmar Moraes¹, Denis Rosário¹, Eduardo Cerqueira¹, Helder Oliveira¹

¹Universidade Federal do Pará (UFPA) - Belém, PA, Brasil

gilmar.moraes@icen.ufpa.br,

{heldermay, denis, cerqueira}@ufpa.br

Abstract. *The growing demand for entertainment services in real-time together with the increasing spread of mobile devices has increased the need to perform services with high resources and in real-time. However, the current network scenario fails to provide a satisfactory quality of video streaming to mobile users, driving the migration of services closer to users. In this paper, a service migration mechanism is proposed, aware of the location of the cloud and / or fog, in which the services are encapsulated in containers and virtual machines and sent through elastic optical networks with spatial multiplexing. The results indicate that the proposed algorithm provides less blocking than another routing algorithm in the literature.*

Resumo. *A crescente demanda por serviços de entretenimento em tempo real em conjunto com o aumento da disseminação dos dispositivos móveis, tem aumentado a necessidade de executar serviços com alto recurso e em tempo real. Contudo, o cenário de rede atual não consegue prover qualidade satisfatória de streaming de vídeo aos usuários móveis, impulsionando a migração dos serviços para próximo dos usuários. Neste artigo, propõe-se um mecanismo de migração de serviços ciente da localização da nuvem e/ou névoa, em que os serviços são encapsulados em contêineres e máquinas virtuais e enviados através de redes ópticas elásticas com multiplexação espacial. Os resultados indicam que o algoritmo proposto, fornece menor bloqueio do que outro algoritmo de roteamento da literatura.*

1. Introdução

O paradigma de computação em nuvem tem-se tornado um tópico de grande interesse nos últimos anos [Varghese and Buyya 2018]. Esse modelo possibilita que os usuários adquiram recursos computacionais com base no pagamento por uso. Dessa forma, gerando uma carga de trabalho dinâmica e, conseqüentemente, desafios para realização do provisionamento de recursos [Li et al. 2018]. A centralização da estrutura de nuvem separa geograficamente os usuários e a infraestrutura, levando, muitas vezes, a uma comunicação de múltiplos saltos de rede, gera alta latência, tal como, uma saturação na largura de banda de entrada na infraestrutura da nuvem, visto que o acesso é realizado de muitos para um [Varghese and Buyya 2018]. Além disso, os centros de dados em nuvem centralizados, como qualquer outro modelo de computação centralizada, são suscetíveis as falhas e necessitam de uma grande quantidade de energia para manter o funcionamento.

A utilização de infraestruturas descentralizadas é uma solução promissora para mitigar esses problemas, em especial, a latência e a saturação da largura de banda.

Atualmente, existe uma vasta gama de abordagens para aproximar infraestruturas de computação aos usuários, deixando-as transparentes. Apesar das abordagens propostas possuírem diferentes conceitos e formas de implementações, todas preconizam colocar pequenas infraestruturas de nuvem na borda da rede, proporcionando aos usuários uma conexão perfeita com os serviços em nuvem [Machen et al. 2018]. Para o fornecimento dessas infraestruturas, o paradigma de computação em névoa ganhou destaque devido a suas vantagens, tais como: baixa latência, maior distribuição geográfica dos nós na rede, diferentes tipos de dispositivos conectados e baixo tempo de resposta. Assim, os serviços da nuvem ficam mais próximos dos usuários finais.

Com intuito de possibilitar a utilização de tecnologias descentralizadas, como computação em névoa, torna-se necessário realizar migrações dos serviços para a borda da rede, garantindo que o usuário esteja sempre próximo de um servidor. Para realizar a migração, um serviço é encapsulado em um ambiente autossuficiente e pré configurado [Machen et al. 2018], que podem ser máquinas virtuais (*VMs*) ou contêineres [Arnold et al. 2016]. Estes ambientes permitem a criação e a execução de vários sistemas operacionais isolados sobre um sistema operacional hospedeiro. A principal distinção entre eles é que enquanto as *VMs* emulam completamente o *kernel* e o *hardware* do sistema operacional, os contêineres (*Ct*) compartilham o hardware e sistema operacional do hospedeiro [Machen et al. 2018]. Desta forma, os contêineres utilizam menos recursos e têm menor sobrecarga de virtualização do que as *VMs*, mas são menos adaptáveis.

Na migração de serviços em tempo real, é realizada uma atividade intensiva na rede transferindo *Gigabytes* do estado de memória de uma máquina virtual ou contêiner de origem para um destino. Quando as unidades que estão sendo migradas estão executando aplicativos vinculados à rede, o tráfego dos aplicativos compete com o tráfego de migração das placas de interface de rede, tanto nos nós de origem quanto destino. Este cenário prolonga a migração, atrasando a utilização dos recursos. A heterogeneidade do tráfego, gerada pela migração de serviços e outras aplicações de rede, tem motivado o estudo de meios de comunicação, como as redes ópticas elásticas com multiplexação por divisão do espaço (*SDM-EON*), que tratam demandas de tráfegos variáveis e uma grande quantidade de dados.

Diferentemente das redes ópticas que utilizam a multiplexação por comprimento de onda (*WDM*), as quais dividem o espectro em unidade de tamanho fixo denominado comprimento de onda. Contudo, a utilização dessa técnica deixa a rede subutilizada, pois o fluxo de dado pode ser menor que a largura de banda alocada. Enquanto que as redes ópticas elásticas (*EONs*) com multiplexação por divisão de espaço (*SDM*) estão sendo proposta com soluções por apresentarem capacidade de alocar de forma flexível o espectro possibilitando uma utilização eficiente dos recursos de acordo com a largura de banda solicitada. A ideia central da *SDM* é possibilitar a adoção de múltiplos núcleos na fibra de forma que eles trabalhem independentes uns dos outros, aumentando a capacidade de transmissão e a eficiência espectral. Tais características juntamente com a velocidade de transmissão das redes ópticas, motivam a importância de utilizar *SDM-EON* em cenários de tráfegos que consideram juntamente a migração de ambientes de serviços e outras aplicações em tempo real.

Muitos trabalhos tem focado em computação em névoa para suprir a necessidade da nova geração de serviço em tempo real [Rejiba et al. 2019, Gonçalves et al. 2019]. À medida que os serviços se aproximam dos usuários, muitos recursos são servidos ou apri-

morados. No entanto, com novos serviços surgem novos desafios, por exemplo, manter o serviço próximo ao usuário sempre que necessário. A migração de serviço entre névoa ou a nuvem é vista como o meio para alcançar esse objetivo. Todavia, a maioria dos trabalhos existentes [Machen et al. 2018, Chen et al. 2015] abstraem todo processo de roteamento e alocação dos recursos durante a migração, da mesma forma que o impacto da migração na competição pelos recursos da rede. Neste artigo, propõe-se um mecanismo para o estabelecimento de conexões em *SDM-EON* que considera um cenário de tráfego heterogêneo, composto por requisições aleatórias e migrações de serviços encapsulados em contêineres e máquinas virtuais.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 revisa os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o algoritmo IMPETUS. A Seção 4 avalia o desempenho do algoritmo proposto e na seção 5 conclui o artigo.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura, existem diversos trabalhos que tratam de migrações em nuvens de borda móvel, ainda assim, para melhorar o nosso conhecimento, este é o primeiro trabalho que considera o processo de roteamento na migração dos serviços, em particular, quando outros tráfegos competem pelos recursos da rede.

Alguns estudos propuseram às redes ópticas passivas para a migrações de serviços. Em [Li et al. 2017] e [Li et al. 2019] utilizam redes ópticas passivas junto a rede de acesso via rádio aprimorado a nevoeiro para tratar dados com elevado tamanho nas migrações. Ademais, os autores propõem o desenvolvimento de um algoritmo de corte dinâmico de largura de banda para fazer o particionamento desses dados a fim de ser transmitido com um certo prazo limite. No entanto, nenhum desses trabalhos consideram a utilização de *SDM-EON* para tratar migração no núcleo da rede. A migração de contêiner com conhecimento de tráfego foi estudada em [Maheshwari et al. 2018]. Os autores validaram a abordagem proposta por meio da implementação de um sistema fim a fim usando contêineres. O modelo de migração de contêiner proposto foi avaliado utilizando aplicações em tempo real, com base em traços de mobilidade nos táxis da cidade de São Francisco. A avaliação do sistema considerou as principais métricas associadas à qualidade da experiência (QoE) das aplicações e a eficiência da rede. Apesar disso, desconsiderou os recursos dos meios de comunicação utilizados na migração.

Para evitar o congestionamento de uma sequência de migração arbitrária e também maximizar os números de migrações bem-sucedidas, os autores em [Liu et al. 2015] formularam o problema de planejamento de sequência de migração de *VM* como um problema de programação linear inteira mista. Na simulação eles consideram o tráfego de comunicação entre *VMs* e o tráfego de migração. Contudo, os autores não consideraram a utilização de *SDM-EON* e quando outros tráfegos competem pelos recursos da rede.

Para fornecer um serviço de nuvem de borda móvel flexível, foi proposto em [Chen et al. 2018] um framework, que consiste em um mecanismo de computação com eficiência de recursos para usuários e um mecanismo de alocação de recursos de comunicação e computação para o operador de rede. O primeiro mecanismo estuda o problema de transferência de computação com eficiência de recursos para um usuário, enquanto o segundo aborda o problema crítico do controle de admissão de usuários para alocação de recursos, a fim de selecionar corretamente o conjunto de usuários para satisfação da demanda de recursos. Apesar do trabalho considerar características de migração, os autores não consideram os meios de comunicação utilizados nesta migração.

Embora os trabalhos apresentados tratem de migração de serviços em névoa, nenhum deles consideram estudar a alocação de recursos em SDM-EON.

3. Algoritmo IMPETUS

Nessa seção, introduzimos um mecanismo para o estabelecimento de conexões em SDM-EONs que considera um cenário de tráfego heterogêneo, composto por requisições aleatórias e migrações de serviços encapsulados em contêineres e máquinas virtuais. O mecanismo proposto é apresentado através do algoritmo 1.

3.1. Visão Geral da rede

Neste artigo a rede é modelada através de um grafo $G(V, E, W)$, onde o V representa um conjunto de nós, o E representa um conjunto de arestas e o W representa um conjunto de pesos de arestas. Os enlaces da rede são representados por arestas que conectam dois vértices de G . Uma requisição é denotada como $R(s, d, r)$, onde $s, d \in V$ são os nós de origem e destino, e a largura de banda requerida é r Gb/s. O número dos intervalos de frequência requeridos b_m para a requisição $R(s, d, r)$ é derivado a partir de r . A rede considera a existência de um servidor central e alguns servidores de borda, sendo representadas pelos vértices, além disso, as arestas representam os enlaces que conectam os nós. Na simulação, considerou-se enlaces de fibras ópticas que utilizam sete núcleos, que se comportam de forma independente, cada núcleo possui 240 slots de largura de banda de 12,5 GHz.

Para a escolha do formato de modulação, empregamos a técnica de modulação adaptativa que se baseia em alguma métrica de qualidade de transmissão (QoT). Neste artigo, a escolha do formato de modulação utilizado leva em consideração a transmissão adaptativa a distância (DAT), i.e., considera a distância entre os nós de origem e destino (alcance óptico). Nesse método de modulação adaptativa, o formato de modulação mais eficiente, do ponto de vista espectral, é selecionado de forma que o comprimento do caminho não exceda o alcance da transmissão. A eficiência óptica refere-se à quantidade de bits/símbolo transmitido ao se utilizar um determinado formato de modulação. Por outro lado, quanto maior a quantidade de bits/símbolo menor deve ser a distância entre os nós de origem e destino (alcance óptico em quilômetros) [Oliveira and da Fonseca 2017]. Nessa artigo, os seguintes formatos de modulação 64QAM, 32QAM, 16QAM, 8QAM, QPSK e BPSK são empregados para distância máxima de 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 km, respectivamente, com capacidades de slot de 75, 62,5, 50, 37,5, 25 e 12,5 Gb/s. A quantidade de bits por símbolo para os formatos de modulação 64QAM, 32QAM, 16QAM, 8QAM, QPSK e BPSK são 6, 5, 4, 3, 2 e 1, respectivamente.

3.2. Descrição do algoritmo IMPETUS

O algoritmo de migração de serviço em redes ópticas elásticas com multiplexação por divisão espacial (IMPETUS) é responsável por encontrar a rota e os recursos para o estabelecimento de um determinado fluxo, mesmo quando diferentes tráfegos competem pelos recursos da rede. O Algoritmo IMPETUS foi criado para realizar roteamento e alocação de núcleo e espectro de qualquer tráfego na rede, incluindo tráfego de migração. No entanto, quando usado simultaneamente com o algoritmo EOP (Algoritmo 2), são capazes de verificar a possibilidade da requisição de ser atendida por servidores localizados na nuvem ou na névoa. O IMPETUS, além de encontrar a rota a ser utilizada, verifica se existe caminho óptico que obedeça às restrições de contiguidade e continuidade do espectro, provendo um transporte rápido de dados sem a necessidade de conversão óptico-elétrico-óptico.

Algoritmo 1: IMPETUS

Entrada: $G(V, E), R(s, d, r)$
Saída: Estado da Requisição

- 1 $s = \text{Algoritmo EOP} \triangleright$ Se
 IMPETUS + EOP
- 2 **Para cada Modulação Faça**
- 3 Computa *Rota* para s e d
 \triangleright Utiliza *Dijkstra*
- 4 **Se** $Rota = \emptyset$ **Então**
- 5 Bloqueia Requisição
 $(R(s, d, r))$
- 6 **Senão**
- 7 Computa b_m *slots*
 contínuos e contíguos na
 Rota
- 8 **Se** *slots contínuos e*
 contíguos **Então**
- 9 Aceita a Requisição
 $(R(s, d, r))$
- 10 **Senão**
- 11 Bloqueia a Requisição
 $(R(s, d, r))$
- 12 **Fim**
- 13 **Fim**
- 14 **Fim**

Algoritmo 2: EOP

Entrada: Requisição
Saída: Origem da requisição

- 1 **Se** *Serviço de Migração* **Então**
- 2 $origem = origem$ mais próxima
 do destino \triangleright Nuvem ou
 névoa
- 3 retorna $origem$
- 4 **Senão**
- 5 retorna $s \triangleright$ Fonte da
 requisição
- 6 **Fim**

No Algoritmo IMPETUS, a Linha 1 define a escolha do nó fonte da requisição, para isso, é utilizado o Algoritmo *EOP*. A utilização do Algoritmo *EOP* é necessária quando os recursos tratam de migrações e podem ser buscados na nuvem ou na névoa. Caso a utilização de nuvem ou névoa não seja possível, ou a requisição não seja uma migração, o algoritmo mantém o nó fonte inicial para a requisição. Na Linha 2, Algoritmo 1, busca um caminho óptico para todos os formatos de modulações, conforme apresentados na subseção anterior. A Linha 3 busca o menor caminho através da implementação do algoritmo de *Dijkstra*. Caso não exista o caminho (Linha 4), a requisição é bloqueada (linha 5). Na Linha 7 é computado a demanda por largura de banda em *slots*, respeitando as restrições de continuidade e contiguidade na rota encontrada, com base no tipo de modulação escolhido. Se for possível encontrar faixa de espectro que respeite as restrições (Linha 8), a requisição é aceita e estabelecida (Linha 9), caso contrário, a requisição é bloqueada (Linha 11).

O algoritmo de Escolha da Origem dos dados transportados- *EOP*, (Algoritmo 2), é um algoritmo simples de gerenciamento de escolha do nó de origem para os dados transportados nas requisições. O algoritmo considera a distância do destino para nuvem e a névoa. No algoritmo *EOP* a Linha 1 identifica se a requisição, trata-se de uma migração de contêiner ou máquina virtual, se a requisição é um *Ct* ou *VM* a origem dos dados são atualizados com a finalidade de realizar migrações para o servidor localizado mais próximo dos usuários finais, para esse fim, o Algoritmo 2 analisa a proximidade dos dados com os servidores (Linha 2), e na Linha 3 retorna o nó origem modificado. Se a requisição não for uma migração (Linha 4) ela retorna o nó de origem inicial (Linha 5).

4. Avaliação de Desempenho

Esta seção descreve o ambiente de simulação, como os parâmetros, metodologia e as métricas utilizadas para avaliar a eficiência do algoritmo IMPETUS.

4.1. Metodologia

Para avaliar o desempenho do algoritmo proposto, experimentos de simulação foram realizados utilizando o simulador *FlexGridSim* [Moura and Drummond 2018]. As requisições de tráfego e as migrações na rede foram simuladas através de eventos discretos. Os eventos de chegada e partida de requisição de conexão são baseados em informações na tupla (carga, tempo médio de duração e taxa de transmissão). A taxa média de chegada é definida a partir da carga em *Erlang* e os eventos são criados de acordo com processo de *Poisson*. Os nós fonte-destino, para geração de tráfego, são escolhidos aleatoriamente dentre todos os nós da rede. Foram executadas 100.000 requisições para cada simulação, com diferentes requisitos de largura de banda. Além disso, *Ct* e *VM* são representados por larguras de banda de 0.4 e 0.6 Gb, respectivamente. A topologia USA (Figura 1(b)) com 24 nós e 43 enlaces bidirecionais e a topologia NSF (Figura 2(b)) com 14 nós e 18 enlaces bidirecionais foram empregadas, as figuras mostram as respectivas distâncias entre os nós. O espectro da fibra óptica foi dividido em 240 slots de espectro. A carga simulada variou entre 10 e 300 erlangs em intervalos de 10 erlangs. Na simulação, foi utilizado um nó fixo para representar a nuvem, sendo o nó 12 na topologia NSF e o nó 23 para topologia USA. Os nós 0, 5 e 9 representam as névoas na topologia NSF e os nós 5, 9 e 15 na topologia USA. (Figura 1).

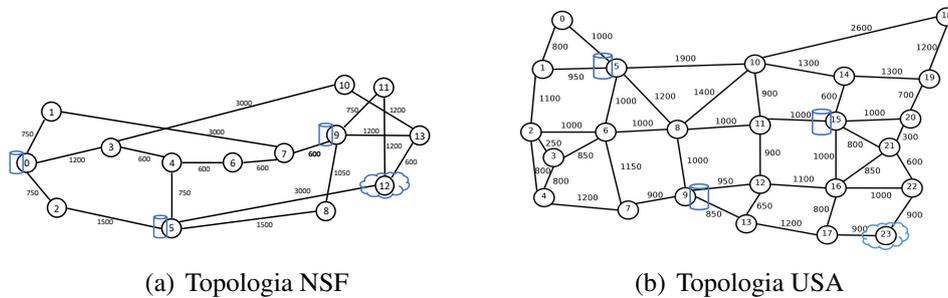


Figura 1. Topologias

As métricas adotadas para a comparação são: relação de bloqueio de banda, a qual é definida como a porcentagem de largura de banda (tráfego) bloqueada sobre o total largura de banda solicitada durante todo o período de simulação e a eficiência energética a qual é obtida pela demanda aceita e demanda atendida com sucesso na rede energética. As curvas rotuladas com “IMPETUS” mostram os resultados utilizando o algoritmo proposto nesse trabalho e as curvas rotuladas com “MSP” apresentam os resultados para um algoritmo tradicional de RSCA. O algoritmo MSP se baseia apenas na busca por *K* menores rotas e verificação da disponibilidade de banda para cada um deles para os diversos formatos de modulação. As curvas rotuladas com “IMPETUS+EOP” mostram os resultados utilizando os dois algoritmos propostos, o algoritmo IMPETUS responsável pela alocação dos recursos e o algoritmo EOP responsável pela escolha do local de origem dos dados, i.e., nuvem ou névoa. As curvas rotuladas com “MSP+EOP” apresentam os resultados utilizando o algoritmo MSP e o algoritmo EOP.

4.2. Resultados

A Figura 2 apresenta a relação de bloqueio de banda para as topologias NSF e USA. Na topologia NSF (Figura 2(a)), as curvas IMPETUS, MSP e MSP+EOP, iniciam os bloqueios das requisições sob cargas de 10 erlangs, enquanto que a curva IMPETUS+EOP inicia o bloqueio de requisições apenas sob cargas de 30 erlangs. Sob carga de 30 erlangs a curva IMPETUS+EOP que representa o algoritmo IMPETUS utilizado conjuntamente com o algoritmo EOP reduz a probabilidade de bloqueio de banda em aproximadamente três ordens de magnitude com relação ao algoritmo IMPETUS. Por sua vez, o algoritmo MSP quando utilizado conjuntamente com o algoritmo EOP reduz a probabilidade de bloqueio de banda em aproximadamente uma ordem de magnitude com relação ao algoritmo MSP. Isto ocorre pois, a adição do algoritmo EOP proporciona aos algoritmos MSP e IMPETUS a possibilidade de *offloading* dos serviços de migração diretamente da nuvem ou da névoa, considerando o menor caminho disponível.

Na topologia USA (Figura 2(b)), as curvas IMPETUS, MSP e MSP+EOP, iniciam os bloqueios das requisições sob cargas de 10 erlangs, enquanto que a curva IMPETUS+EOP inicia o bloqueio de requisições apenas sob cargas de 30 erlangs. Sob carga de 30 erlangs a curva IMPETUS+EOP que representa o algoritmo IMPETUS utilizado conjuntamente com o algoritmo EOP reduz a probabilidade de bloqueio de banda em aproximadamente duas ordens de magnitude com relação ao algoritmo IMPETUS. Por sua vez, o algoritmo MSP quando utilizado juntamente com o algoritmo EOP reduz a probabilidade de bloqueio de banda em, aproximadamente uma ordem de magnitude com relação ao algoritmo MSP. Isto ocorre, pois a adição do algoritmo EOP proporciona aos algoritmos MSP e IMPETUS a possibilidade de migrações de serviços diretamente da nuvem ou da névoa, considerando o menor caminho disponível, gerando uma melhor utilização de recursos e diminuindo a latência das requisições migradas. As curvas na topologia USA apresentam menor bloqueio que as curvas na topologia NSF, isto acontece pois o maior número de enlaces da topologia USA implica em um maior número de conexões estabelecidas.

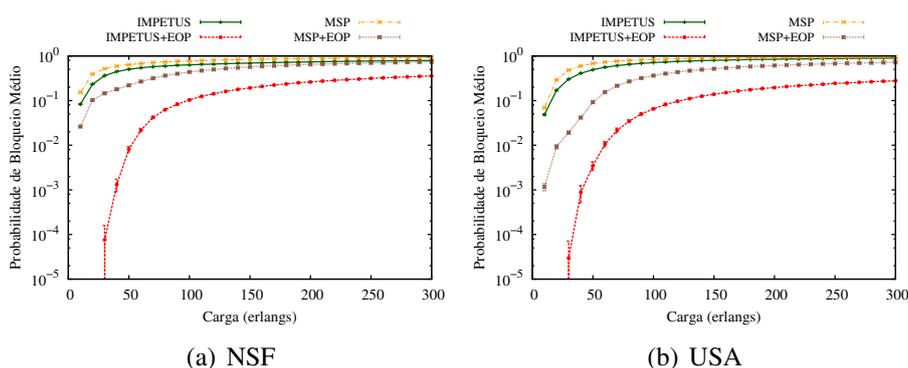


Figura 2. Relação de Bloqueio Total de Banda

As Figuras 3(a) e 3(b), apresentam os resultados do bloqueio de contêineres nas topologias NSF e USA, respectivamente. Para a topologia NSF (figura 3(a)), as curvas MSP, MSP+EOP começam a bloquear contêineres sob cargas de 10 erlangs. Enquanto que, as curvas IMPETUS e IMPETUS+EOP iniciam os bloqueios sob cargas de 60 erlangs. Ademais, a curva IMPETUS+EOP reduz o bloqueio em aproximadamente uma ordem de magnitude em comparação com a curva IMPETUS. Por outro lado, a curva

MSP+EOP quando comparado com a curva MSP, reduz em até três ordens de magnitude o bloqueio de contêineres. Ainda assim, as curvas que utilizam o algoritmo IMPETUS produzem o menor bloqueio de contêineres.

Na Figura 3(b) é apresentado os bloqueios dos contêineres para a topologia USA. Para topologia NSF, a curva MSP bloqueia as requisições a partir de cargas de 10 erlangs, contudo, a curva MSP+EOP inicia o bloqueio somente sob cargas de 20 erlangs. A curva IMPETUS começou a bloquear contêineres somente nas cargas de 50 erlangs. Além disso, a curva IMPETUS+EOP inicia o bloqueio de contêineres somente sob cargas de 60 erlangs. A curva MSP+EOP produz uma redução de quase duas ordens de magnitude no bloqueio quando comparado com o MSP. Por outro lado, a curva IMPETUS+EOP somente obteve redução significativa para cargas altas. No entanto, sob carga de 80 erlangs a curva IMPETUS+EOP não produziu nenhum bloqueio. A comparação entre as curvas que utilizam o algoritmo EOP mostra a eficiência de utilizar o algoritmo EOP na seleção de névoas e nuvem, principalmente quando empregado com um algoritmo eficiente como o IMPETUS.

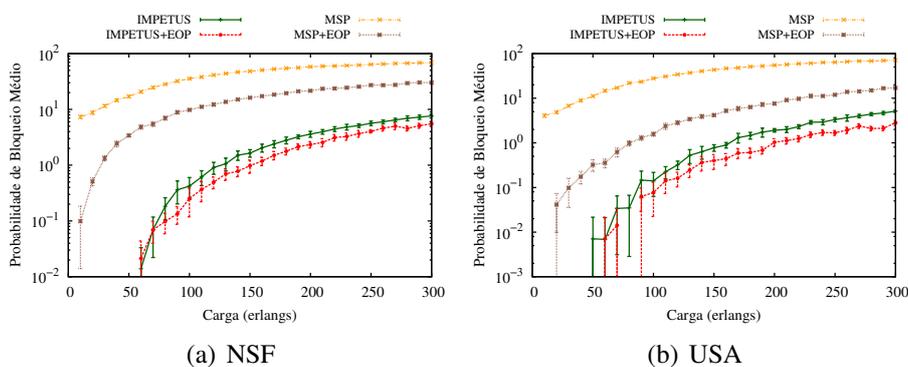


Figura 3. Relação de Bloqueio Banda para Contêineres

Na Figura 4 é apresentado os gráficos de relação de bloqueio para as máquinas virtuais na simulação. Na topologia NSF (Figura 4(a)), as curvas MSP e MSP+EOP iniciam os bloqueios das VMs sob cargas de 10 erlangs. Em outra parte, a curva IMPETUS inicia o bloqueio somente sob cargas de 40 erlangs e a curva IMPETUS+EOP, formada pelo algoritmo IMPETUS junto com o algoritmo EOP, apresenta bloqueio somente sob 60 erlangs. O algoritmo MSP utilizado junto com o algoritmo EOP obteve redução de quase uma ordem de magnitude no bloqueio de banda quando comparado com o MSP. E os algoritmos da curva IMPETUS+EOP apresentam uma ordem de magnitude. Esses resultados são proporcionados pela utilização do algoritmo EOP o descarregamento dos serviços de migração para nuvem ou névoa, o qual considera o menor caminho disponível.

Na topologia USA (Figura 4(b)) a curva MSP inicia o bloqueio sob cargas de 10 erlangs, enquanto que, o MSP utilizando o algoritmo EOP (MSP+EOP) bloqueia as requisições somente com cargas de 20 erlangs. De outro modo, as curvas IMPETUS e IMPETUS+EOP iniciam o bloqueio das requisições somente com cargas de 50 erlangs. O MSP+EOP apresenta redução de duas ordens de magnitude em relação ao MSP. E curva IMPETUS+EOP reduz menos que uma ordem de magnitude no bloqueio de máquinas virtuais. É possível observar que as curvas que utilizam o algoritmo IMPETUS produzem o menor bloqueio de VMs. Além disso, o bloqueio de VMs é ainda menor quando utilizado com os algoritmos IMPETUS e EOP, propostos neste artigo.

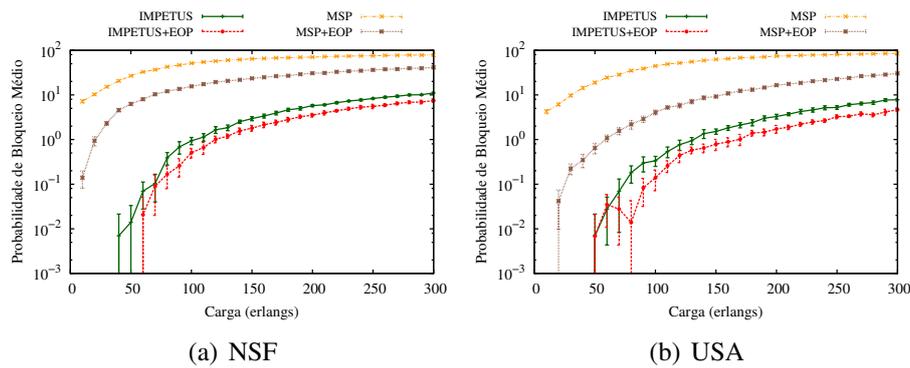


Figura 4. Relação de Bloqueio Banda para Máquina Virtual

As Figuras 5(a) e 5(b) apresentam a eficiência energética gerada para as topologias NFS e USA, respectivamente. A eficiência energética sofre influência do número médio de saltos dos caminhos, bem como, do consumo realizado pelo conjunto de slot do caminho que dependem, principalmente, da modulação utilizada no caminho óptico. Para ambas as topologias, as curvas IMPETUS e IMPETUS+EOP apresentam uma alta eficiência energética em relação as outras curvas simuladas. Isto acontece uma vez que a eficiência energética é influenciada pelos números de saltos dos caminhos, conforme o menor número de saltos para atender uma requisição, maior a eficiência energética gerada. Por outro lado, as curvas MSP+EOP e MSP possuem, respectivamente, a menor eficiência energética, o que indica um maior números de saltos nos caminhos.

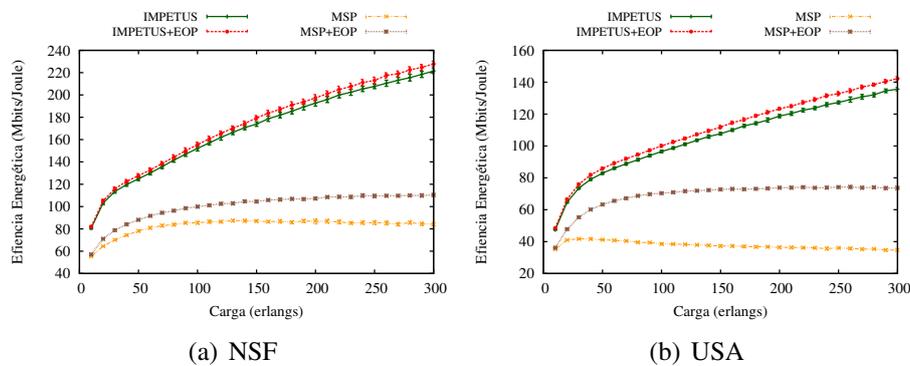


Figura 5. Eficiência energética

5. Conclusão

Neste artigo foi introduzido um algoritmo de roteamento e alocação de recursos para suportar migrações de serviços e/ou outras requisições em um ambiente de nuvem e névoa, utilizando redes ópticas elásticas com multiplexação espacial como meio de comunicação. O algoritmo proposto (IMPETUS) estabelece conexão em EON-SDM para tráfego de rede e para serviços de migrações que competem pelos recursos da rede entre si. Além disso, propomos, um algoritmo de gerenciamento de escolha do nó de origem para dados transportados das requisições, algoritmo EOP, a qual quando combinado com o algoritmo IMPETUS verifica a possibilidade em atender a requisição por um servidor de névoa ou nuvem. De resto, o IMPETUS foi analisado em diferentes cargas e topologias e os resultados apresentados mostram que ele obteve um menor bloqueio de requisições, mesmo

quando considerado individualmente VMs e Ct, quando comparando com outro algoritmo da literatura.

Referências

- Arnold, B., Baset, S. A., Dettori, P., Kalantar, M., Mohomed, I., Nadgowda, S., Sabath, M., Seelam, S. R., Steinder, M., Spreitzer, M., et al. (2016). Building the ibm containers cloud service. *IBM Journal of Research and Development*, 60(2-3):9–1.
- Chen, X., Jiao, L., Li, W., and Fu, X. (2015). Efficient multi-user computation offloading for mobile-edge cloud computing. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 24(5):2795–2808.
- Chen, X., Li, W., Lu, S., Zhou, Z., and Fu, X. (2018). Efficient resource allocation for on-demand mobile-edge cloud computing. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(9):8769–8780.
- Gonçalves, D. M., Bittencourt, L. F., and Madeira, E. (2019). Análise da predição de mobilidade na migração de aplicações em computação em névoa. In *XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 580–593. SBC.
- Li, J., Shen, X., Chen, L., Ou, J., Wosinska, L., and Chen, J. (2019). Delay-aware bandwidth slicing for service migration in mobile backhaul networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 11(4):B1–B9.
- Li, J., Wosinska, L., and Chen, J. (2017). Dynamic bandwidth slicing to support service migration in passive optical network based mobile backhaul. In *2017 Asia Communications and Photonics Conference (ACP)*, pages 1–3. IEEE.
- Li, J., Zhang, Y., Chen, X., and Xiang, Y. (2018). Secure attribute-based data sharing for resource-limited users in cloud computing. *Computers & Security*, 72:1–12.
- Liu, J., Li, Y., Jin, D., Su, L., and Zeng, L. (2015). Traffic aware cross-site virtual machine migration in future mobile cloud computing. *Mobile Networks and Applications*, 20(1):62–71.
- Machen, A., Wang, S., Leung, K. K., Ko, B. J., and Salonidis, T. (2018). Live service migration in mobile edge clouds. *Wireless Commun.*, 25(1):140–147.
- Maheshwari, S., Choudhury, S., Seskar, I., and Raychaudhuri, D. (2018). Traffic-aware dynamic container migration for real-time support in mobile edge clouds. In *2018 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, pages 1–6. IEEE.
- Moura, P. and Drummond, A. (2018). Flexgridsim:flexible grid optical network simulator.
- Oliveira, H. and da Fonseca, N. (2017). Proteção de redes ópticas elásticas com multiplexação espacial baseada em modulação, p-cycle fipp e interferência mínima. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. SBC.
- Rejiba, Z., Masip-Bruin, X., and Marín-Tordera, E. (2019). A survey on mobility-induced service migration in the fog, edge, and related computing paradigms. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(5):1–33.
- Varghese, B. and Buyya, R. (2018). Next generation cloud computing: New trends and research directions. *Future Generation Computer Systems*, 79:849–861.