

Edge Computing: Um Estudo sobre Ferramentas de Simulação e suas Características

Fernanda B. G. Famá, Danilo F. S. Santos e Angelo Perkusich

Resumo—Edge Computing (EC) é um paradigma tecnológico que surgiu com o intuito de suprir a necessidade de aplicações por baixa latência. Apesar dos avanços obtidos com o processamento de dados distribuído da computação em nuvem e móvel, requisitos de latência e disponibilidade levaram a necessidade de processamento próximo as entidades finais na borda da rede, através do EC. Neste artigo é apresentada uma visão geral sobre EC e o seu impacto sobre a Internet das Coisas. Como principal contribuição, este artigo apresenta uma classificação de ferramentas de simulação para EC, permitindo que novos serviços possam ser validados em ambientes simulados.

Palavras-Chave—Edge Computing, Computação Pervasiva, Computação Móvel, Internet das Coisas.

Abstract—Edge Computing (EC) is a technological paradigm that emerged with the aim of fulfill the need of applications for low latency. Despite the advances in data sharing and processing among remote entities using cloud and mobile computing, low latency and availability requirements led to the distribution of processing power to the edge of the network, through EC. This article presents an overview of EC, and its impact on the Internet of Things. As main contribution, this article presents a classification of simulation tools for EC, allowing new services to be validated using these tools.

Keywords—Edge Computing, Ubiquitous Computing, Mobile Computing, Internet of Things.

I. INTRODUÇÃO

Podemos analisar o avanço dos anseios dos usuários finais e da indústria pela crescente disponibilidade de serviços móveis, através de *Smartphones* ou dos objetos conectados, ou as coisas da Internet das Coisas. No início da computação móvel, os primeiros dispositivos móveis a se conectarem a Internet possuíam uma quantidade restrita de memória, capacidade de processamento e armazenamento. Atualmente, com os novos *Smartphones* e dispositivos embarcados, já é possível obter uma maior capacidade de processamento e armazenamento, de modo a suportar a execução de diversas aplicações e sua integração com serviços remotos através da computação em nuvem.

No entanto, tratando-se de aplicações onde é necessária uma alta taxa de transferência de dados, como *stream* de vídeos e serviços em tempo real, alguns dispositivos móveis e seus sistemas embarcados necessitam de uma resposta rápida dos serviços remotos para suas aplicações. Além disso, com o aumento de dispositivos conectados à rede, devido principalmente ao surgimento da Internet das Coisas, o volume de dados trafegados também aumentou, e como resultado disso, surge a necessidade de aumentar a largura de banda e

capacidade de rede para evitar problemas como congestionamento. Visando solucionar essas limitações, investimentos da indústrias e pesquisas em torno do *Edge Computing* tem crescido energeticamente nos últimos anos [1], especialmente com sua adoção por redes de quinta geração (5G).

Edge Computing (EC) é um paradigma que visa processar parte dos dados na borda da rede, ou seja, mais próximo da fonte de dados, em vez de percorrer longos percursos pela rede, como a Internet, até serem processados em um serviço em nuvem em *datacenter* distante. Com isso, é possível reduzir o consumo de energia da rede como um todo, reduzir a necessidade de largura de banda para *backbones*, diminuir a latência de resposta aos serviços para os dispositivos finais, e melhorar quesitos como segurança dos dados e privacidade [2]. Arelado ao conceito de *Edge Computing* está o conceito de *Fog Computing* [2]. No contexto desse artigo, os conceitos são considerados iguais, entretanto, de um ponto de vista mais amplo podemos considerar que o *Edge Computing* é mais voltado para os desafios e soluções computacionais relacionados aos serviços e aplicações da computação de borda, enquanto o *Fog Computing* tem um foco maior em aspectos relacionados a infraestrutura de rede, como ilustrado na Figura 1. Como o próprio nome sugere, *Fog Computing*, atua nos dispositivos de infraestrutura, como roteadores, switches e estações rádio base, localizados na névoa (entre o dispositivo final e a nuvem), de modo que os mesmos possuam uma configuração adaptável às diferentes características dos nós e serviços na borda (*edge*), acarretando, então, uma redução do gargalo no que diz respeito à transferência de dados para a nuvem ou redes móveis.

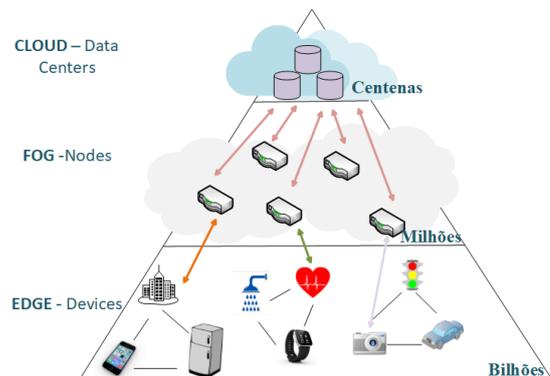


Fig. 1. Novo cenário de rede

Baseado nesse novo cenário e visando o desenvolvimento rápido de novos serviços para EC e redes de próxima geração, é fundamental dispormos de mecanismos e ferramentas que permitam a análise da infraestrutura da rede de borda, desde a inserção das Coisas (dispositivos finais) na rede, até a

avaliação de como os serviços de EC devem funcionar. Devido às características específicas de rede do EC, uma das possibilidades é uso de ferramentas que possam simular tais ambientes, topologias de rede, gestão de recursos e serviços. Além disso, a possibilidade de realizar simulações que possam validar e analisar o desempenho desses ambientes, de forma a mensurar os ganhos que podem ser obtidos, é relevante para empresas e desenvolvedores, e aos usuários que receberam melhorias em termos de qualidade de serviços.

Neste artigo é apresentado um mapeamento sobre ferramentas de simulação voltadas para características específicas do paradigma de *Edge/Fog Computing*. Adicionalmente, através desse mapeamento, foi realizada uma classificação e discussão sobre os objetivos e características de cada uma dessas ferramentas, de modo a orientar um desenvolvedor na escolha da melhor ferramenta dados seus requisitos de projeto. Como contribuição, portanto, este artigo apresenta uma discussão comparativa entre as novas ferramentas de simulação de EC que estão sendo desenvolvidas, e como cada uma pode se adequar a diferentes propósitos.

Este artigo está dividido da seguinte forma: na seção II é realizada uma breve introdução das ferramentas pesquisadas, no entanto, apenas as principais são detalhadas na seção III. Na seção IV é feito um levantamento das principais características das ferramentas, categorizando-as e comparando-as, para enfim, serem sintetizadas na Tabela I. Por fim, a seção V contém a conclusão e os futuros trabalhos.

II. FERRAMENTAS

Ao decidir implantar uma nova arquitetura, infraestrutura ou serviço, é imprescindível a realização de testes, onde serão analisados a viabilidade, desempenho e configurações que serão adotados para cada implementação. Visando isso, como discutido anteriormente, o uso de ferramentas que simulam condições semelhantes às desejáveis se torna uma prática. Dessa forma, o objetivo desta seção é apresentar as principais ferramentas de simulação identificadas e disponíveis para ambientes envolvendo *Fog* e *Edge Computing*, obtidas através de um processo de revisão bibliográfica.

A. Emufog

O EmuFog é um emulador open-source da MaxiNet¹ - *Distributed Emulation of Software-Defined Networks*, desenvolvido em Java que permite controle e repetibilidade dos experimentos. O MaxiNet, adveio do MiniNet, que possibilita a simulação de redes complexas, devido a sua infraestrutura distribuída [3] [5]. O EmuFog tem sua estrutura dividida em: geração de topologia; transformação da topologia; aprimoramento; desenvolvimento e execução.

A ferramenta suporta que a rede seja gerada usando o BRITE² ou importada do CAIDA³. Na segunda etapa, configurações como latência e a taxa de transferências de dados dos equipamentos são aplicadas; a rede é representada por um grafo unidirecional. Na etapa de aprimoramento é onde são usados os Nós *Fog*, que possuem configurações

diferenciadas como, conexões máximas e custo. Fica a cargo do desenvolvedor especificar a capacidade computacional dos Nós e a quantidade de clientes que estarão conectados. Os componentes de aplicações são obtidos através de contêineres de aplicação Docker⁴ e implantados nos Nós, o que permite a execução em várias plataformas, suporte à limitação de recursos de hardware, além de ser leve e seguro [4].

B. EdgeCloudSim

Esse simulador é uma extensão do CloudSim, framework open-source desenvolvido em Java que foi projetado para cenários envolvendo *Edge Computing*. Dessa forma, o principal foco é a simulação de rede e recursos computacionais. O CloudSim é uma ferramenta que analisa o desempenho no que se refere a *Cloud Computing*. O EdgeCloudSim tem sua arquitetura dividida em: *Core Simulation, Networking, Load Generator, Mobility e Edge Orchestrator*. A simulação de dispositivos móveis é um dos pontos fortes dessa ferramenta, já que possibilita simular redes WLAN [6].

C. FogTorch π

Essa ferramenta foi desenvolvida para dar suporte a ambientes envolvendo *Cloud, Edge* e IoT. Esse protótipo é uma extensão do FogTorch, ferramenta essa open-source desenvolvida em Java. A mesma, é voltada para análise de recursos de processamento, latência, largura de banda, requisitos de processamento e a qualidade de serviço (QoS) de um aplicativo. Isso é feito através de modelagem de links de comunicação. Quando entramos no âmbito de hardware, é levado em consideração, memória, armazenamento e núcleos de CPU. Já em software, o sistema operacional, linguagem de programação e estruturas de dados, são informações descritas em listas [13].

D. iFogSim

O conjunto de ferramentas de simulação iFogSim é outra extensão do framework CloudSim. Essa, assim como a EdgeCloudSim é open-source e desenvolvida em Java. No entanto, foi projetada visando simular ambientes que integram dispositivos IoT, como sensores e atuadores; sendo capaz de localizar-se na *Cloud*, na *Fog* ou na *Edge* da rede [6]. Esse simulador através da inserção desses dispositivos, permite a criação de topologia, análise de políticas de gerenciamento de recursos, consumo de energia, congestionamento na rede, custo e latência [7].

O iFogSim tem sua arquitetura dividida em várias camadas, como pode ser visto na Figura 2, de baixo para cima temos: os dispositivos IoT, dispositivos *Fog*, geração de dados, monitoramento da infraestrutura, gerenciamento de recursos, modelos de aplicações e aplicações IoT. Na camada mais baixa, é onde vão estar dispostos os dispositivos IoT, que através dos seus sensores e atuadores, irão captar dados do ambiente e integrar com o meio a sua volta. Os dispositivos *Fog* são organizados em ordem hierárquica, oferecem recursos de memória, rede e computação; quando criados devem ser associados a uma taxa de processamento de instruções e consumo de energia. Na

¹Disponível em <https://maxinet.github.io/>

²BRITE, <https://www.cs.bu.edu/brite/>

³CAIDA, <http://www.caida.org/home/>

⁴Docker, <http://www.docker.com>

geração de dados, o fluxo de dados pode advir de sensores ou de módulos de aplicativos. Quando gerado pelos dispositivos *Fog*, serão monitoradas pela camada seguinte. Nessa camada, a de monitoramento de infraestrutura é onde é feita a análise do desempenho dos dispositivos. Posteriormente, na camada de gerenciamento de recursos, tem-se uma previsão do uso de recursos que são administrados através de políticas de gerenciamento que controlam e gerenciam os serviços oferecidos pelos dispositivos [8]. A última é dedicada ao desenvolvimento de serviços e aplicações de Internet das Coisas, utilizando um cenário com *Edge Computing*.

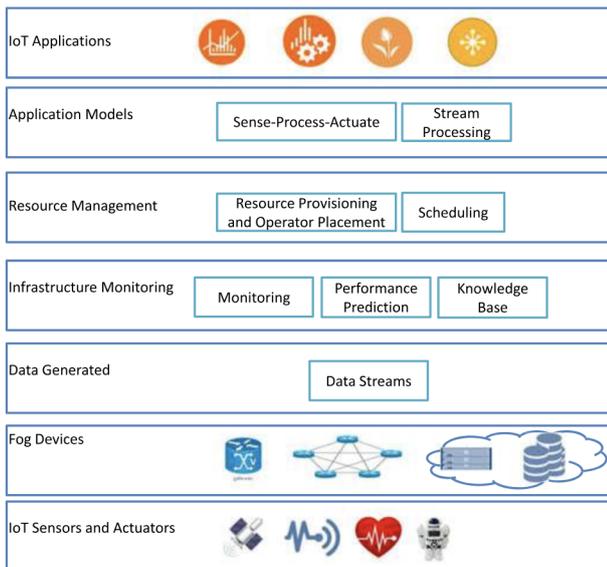


Fig. 2. Arquitetura do iFogSim

E. Outras ferramentas

Outras ferramentas foram identificadas, as quais abrangem apenas alguns aspectos do EC. O SherlockFog é voltada para aplicações MPI (*Message Passing Interface*), padrão que especifica um modelo para comunicação de dados em computação paralela. O que garante diferentes topologias, características de desempenho e capacidade computacional [14].

RECAP é um *framework* que visa implementar uma nova arquitetura na qual possa ser realizado o gerenciamento de recursos e análise de dados. Isso é proposto através de um simulador de cenários, *Cloud*, *Edge* e *Fog Computing*. Essa ferramenta, dispõe-se a realizar simulações de aplicações, de recursos de infraestrutura, de gerenciamento de recursos para então, realizar experimentação e validação dos resultados. No entanto, a ferramenta Recap está em desenvolvimento, e o projeto RECAP⁵ é financiado pela Horizon 2020 [15].

De acordo com Massimo et al [7] várias soluções open-source foram propostas para dar suporte a arquitetura de *Cloud*, *Edge* e *Fog Computing*, entre elas os testbeds FIT IoT-Lab e o SmartSantander, e o simulador SimpleIoTSimulator. O FIT IoT-Lab⁶ é uma plataforma de larga escala que permite

a construção, comparação e otimização de protocolos, serviços e aplicativos para o novo paradigma IoT. Essa plataforma possui mais de 2000 nós de sensores sem fio fixos ou móveis espalhados em seis locais diferentes na França [18]. O testbed SmartSantander⁷ adveio de um projeto que prevê a implantação de 20.000 sensores, que tem como objetivo permitir uma avaliação experimental em escala urbana de novas tecnologias IoT [17]. Por fim, o SimpleIoTSimulator, ferramenta comercial que permite simular cenários na borda de IoT em grande escala em dispositivos como sensores e gateways.

Como aspecto interessante, dentre a bibliografia e projetos pesquisados não foram identificados trabalhos relevantes que envolvam o desenvolvimento de módulos e ambientes de simulação de EC utilizando ferramentas como o NS-3 ou OM-Net++, os quais estão entre os principais simuladores de redes utilizados na academia e indústria. Foram apenas identificados trabalhos em estágios iniciais de desenvolvimento.

III. AVALIAÇÃO DE FERRAMENTAS

Nesta seção serão detalhadas algumas características das principais ferramentas que já foram apresentadas anteriormente.

A. Características do EmuFog

Dada a descrição apresentada anteriormente, a ferramenta de simulação EmuFog, possui como principais características a extensibilidade, escalabilidade para topologia de grande escala, a emulação de aplicações reais e sua carga de trabalho, possibilitando então uma flexibilidade de simular cenários e hardware diferentes. Um dos pontos negativos dessa ferramenta, são os valores estáticos para a capacidade computacional e a quantidade de usuários conectados a essa rede, portanto, fazendo com que a rede não seja adaptativa. Em [4] é detalhado o funcionamento da arquitetura do EmuFog, tendo como foco a política de posicionamento utilizada pela ferramenta nos nós Fog. Já no trabalho [5] é realizado um estudo sobre ferramenta, detalhando o conceito, a implementação e evolução da mesma.

B. Características do iFogSim

Considerando que iFogSim é um framework projetado para fornecer um ambiente de modelagem que integra a *Edge Computing*, com a *Cloud* e a Internet das Coisas, o mesmo tem como principais características fornecer a possibilidade de simulação e análise de diversas funcionalidades e recursos inerentes à topologia de rede. No entanto, não está no seu escopo problemas de rede de baixo nível, como gerenciamento de interferências entre dispositivos densamente posicionados, suporte a comunicação entre dispositivos. Além disso, não é possível descarregar módulos em outros dispositivos no mesmo nível hierárquico. Em [8] pode ser encontrado um detalhamento das propriedades, da arquitetura, da estruturação e implementação do framework. Ademais, é analisado o desempenho de estudos de casos, o primeiro; verifica a latência em um jogo online [11], o segundo; análise de uma rede física empregando uma rede de câmeras distribuídas usada para

⁵RECAP, <https://recap-project.eu/>

⁶FIT IoT-Lab, <https://www.iot-lab.info/>

⁷SmartSantander, <http://www.smartsantander.eu/>

fiscalização inteligente [12]. Em [9] e [10] é usado o iFogSim para simular um ambiente de gerenciamento de compras e suprimentos interativo que gerencia seu inventário de forma automatizada.

C. Características do EdgeCloudSim

A outra extensão do CloudSim, o EdgeCloudSim, foi desenvolvido para integração de *Edge Computing* a seu framework. Essa ampliação possibilita a modelagem de redes WLAN e WAN, a implementação de modelos que permite a mobilidade dos dispositivos. Em [6] é possível analisar um estudo de caso voltado para o reconhecimento de face, nesse exemplo, são considerados três modelos de arquitetura diferentes. Nessa ferramenta é possível analisar o desempenho da topologia, como, atraso médio, tempo médio de serviço e análise de perda de tarefas.

D. Características do FogTorch π

Por fim, temos o FogTorch π que tem como principais características, o desenvolvimento e disponibilização de uma ferramenta que possibilita a implementação de aplicativos em um cenário *Fog* e análise do desempenho dessa implementação em termos de *Quality of Service*. Isso é feito através da inserção de especificações de uma infraestrutura *Fog*, contendo informações sobre os recursos de processamento e QoS; e as especificações de um determinado aplicativo que desejasse implementar. O sistema irá retornar as implementações que estão de acordo com as especificações da infraestrutura [13].

IV. DISCUSSÃO DAS CARACTERÍSTICAS

A fim de facilitar a escolha entre as ferramentas, foi desenvolvido um sistema de classificação baseado em critérios inerentes as ferramentas analisadas na pesquisa. Com isso, foi realizado um resumo sobre as características principais encontradas, possibilitando relaciona-las seguindo os seguintes critérios:

- Grupo: domínio da ferramenta, o qual pode ser o grupo INFRA ou grupo IoT, descritos nas próximas seções;
- Linguagem de programação predominante: método de padronização a qual a ferramenta foi fundamentada;
- Principal característica: qual elemento, funcionalidade ou princípio de destaque da ferramenta;
- Manutenção: representa o nível de atualização e manutenção do software em relação a última atualização realizada.

A. Grupo INFRA

Nesse grupo estão classificadas as ferramentas que tem como objetivo avaliar e simular características específicas da rede de computadores, sejam aspectos de topologia, congestionamento, ou mobilidade de nós.

No EmuFog avaliou-se como objetivo principal o aprimoramento das características do framework da MaxiNet para um contexto de *Fog Computing*. Isso, através de uma nova política de posicionamento dos *nodes* *Fog*, o que em [4] é apresentado como uma melhoria na topologia da rede devido a escalabilidade dos algoritmos criados. O uso dessa ferramenta

deve ser considerado quando necessita-se de um cenário de teste mais realista e dinâmico onde não há possibilidade ou disponibilidade de criar e simular uma rede manualmente, apesar da plataforma também disponibilizar esse uso.

Tratando-se do EdgeCloudSim foi considerado como característica principal desse framework a simulação dos recursos computacionais e de rede inerentes a *Edge Computing*. Diferente do anterior que tem como foco o ambiente *Fog*, com seus nós, comutadores e links; esse trata de serviços que podem ser desenvolvidos na borda da rede. Logo, o uso desse framework deve ser considerado para modelar e simular serviços móveis que sejam necessários transferir tarefas para a *Edge Computing* [6] [19].

B. Grupo IoT

Nesses grupos se enquadram as ferramentas que tem como objetivo permitir a validação e execução de serviços e aplicações em um ambiente simulado de EC. O foco, portanto, está em avaliar como Nós na Internet das Coisas podem ser utilizados e beneficiados pela EC. Portanto, os simuladores desse grupo focam no desenvolvimento de ambientes que integrem a Internet das Coisas e na prestação de serviços inerentes a ela, as ferramentas são o iFogSim, FogTorch π e SimpleIoTSimulator.

iFogSim tem como principal objetivo fornecer uma ferramenta que simule ambientes IoT e *Fog* em grande escala, permitindo a modelagem de componentes como sensores, atuadores, dispositivos *Fog* e *Cloud*. O ponto forte desse framework é o fato de possibilitar aos usuários a implementação de soluções próprias para o gerenciamento de recursos, através da modelagem e verificação de políticas de alocação de serviços. Devido a isso, possibilitou que vários estudos fossem realizados com o uso dessa ferramenta [20].

O SimpleIoTSimulator assim como o iFogSim, possibilita que seja simulado cenários com interações em grande escalas entre seus dispositivos, nesse caso, sensores e atuadores. Ao analisar e comparar esse framework, foi observado que sua principal característica está na capacidade de possibilitar que os dispositivos IoT estabeleçam comunicação através de diversos protocolos como, COAP, MQTT, Cliente/Servidor e HTTP/s. Isso, propicia a análise de gerenciamento de desempenho de rede, quando realizado inúmeros testes com milhares de dispositivos utilizando diversos protocolos de comunicação. No entanto, não foi realizado um detalhamento dessa ferramenta nas seções anteriores, pela razão que, apesar de ser considerado em alguns trabalhos como ambiente de simulação que dar suporte a *Fog Computing*, não foi encontrado nenhum componente específico ou estudo de caso que utilize essa ferramenta para esse cenário [16].

Por fim, O FogTorch π dentre as ferramentas analisadas tem uma característica própria, fornece um meio de possibilite a validação de serviços e aplicativos voltados para o paradigma de *Edge Computing*. Dessa forma, esse protótipo deve ser utilizado por exemplo, quando deseja-se determinar quais implementações de um aplicativo em uma infraestrutura *Fog* atende a todos os requisitos de processamento, IoT e QoS.

TABELA I
COMPARATIVO ENTRE FERRAMENTAS SELECIONADAS QUE SUPORTAM *EDGE COMPUTING*.

Ferramenta	Grupo	Linguagem	Principal Característica	Manutenção Média
EmuFog	INFRA	Java	Topologia	3 meses
EdgeCloudSim	INFRA	Java	Mobilidade	1 mês
iFogSim	IoT	Java	Serviços	2 anos
FogTorch π	IoT	Java	Validação de aplicação	1 mês
SimpleIoTSimulator	IoT	Java	Desempenho	6 meses

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A grande quantidade de dados que está sendo gerada nos últimos anos, aliado com as novas demandas do mercado, tem alavancado pesquisas e estudos visando novas formas de transmissão e processamento desses dados. O paradigma da *Edge Computing* tem se tornado um desses focos, já que visa uma distribuição e processamento de dados em várias camadas da rede, de modo a aproximá-los dos dispositivos finais. Em adição a essa necessidade, somam-se novos requisitos de aplicações e serviços que colocam a latência de rede como um fator determinante.

Com a análise realizada neste trabalho, nota-se a necessidade de desenvolver ferramentas que viabilizam a implementação de simuladores de rede, de infraestrutura e serviços na área. Devido ao recente paradigma do EC, primeiramente é necessário dispormos de um ambiente de simulação que apresente as principais características do *Edge Computing*.

A pesquisa realizada fornece um mapeamento e classificação de ferramentas voltadas para *Edge/Fog Computing*, onde o desenvolvedor pode basear-se para escolha da ferramenta adequada a sua aplicação. Foram identificados dois grandes grupos de simuladores, um voltado para avaliação de características de rede e outro voltado para a execução de serviços e aplicações em ambiente simulado. Como trabalho futuro será realizado um estudo detalhado das ferramentas, análise de seu funcionamento e verificação de possível integração entre elas. Como aspecto interessante, não foram identificados trabalhos completos que envolvam o desenvolvimento de simulações de EC utilizando ferramentas como o NS-3 ou OMNet++. Portanto, como trabalhos futuros, pode-se avaliar o desenvolvimento de módulos de simulação nessas ferramentas que permitam a validação de serviços e aplicações de EC.

AGRADECIMENTOS

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, e do Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva (Embedded), ambiente onde foi desenvolvida essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] SATYANARAYANAN, Mahadev. *The emergence of edge computing*. Computer, v. 50, n. 1, p. 30-39, 2017.
- [2] SHI, Weisong et al. *Edge computing: Vision and challenges*. IEEE Internet of Things Journal, v. 3, n. 5, p. 637-646, 2016. [3] WETTE, Philip et al. *Maxinet: Distributed emulation of software-defined networks*. In: Networking Conference, 2014 IFIP. IEEE, 2014. p. 1-9.
- [3] WETTE, Philip et al. *Maxinet: Distributed emulation of software-defined networks*. In: Networking Conference, 2014 IFIP. IEEE, 2014. p. 1-9.
- [4] MAYER, Ruben et al. *EmuFog: Extensible and Scalable Emulation of Large-Scale Fog Computing Infrastructures*. arXiv preprint arXiv:1709.07563, 2017.
- [5] GRASER, Leon. *Design and implementation of an evaluation testbed for fog computing infrastructure and applications*. 2017. Dissertação de Mestrado.
- [6] SONMEZ, Cagatay; OZGOVDE, Atay; ERSOY, Cem. *EdgeCloudSim: An environment for performance evaluation of Edge Computing systems*. In: Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), 2017 Second International Conference on. IEEE, 2017. p. 39-44.
- [7] FICCO, Massimo et al. *Pseudo-Dynamic Testing of Realistic Edge-Fog Cloud Ecosystems*. IEEE Communications Magazine, v. 55, n. 11, p. 98-104, 2017.
- [8] GUPTA, Harshit et al. *iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments*. Software: Practice and Experience, v. 47, n. 9, p. 1275-1296, 2017.
- [9] KHANNA, Abhirup; TOMAR, Ravi. *IoT based interactive shopping ecosystem*. In: Next Generation Computing Technologies (NGCT), 2016 2nd International Conference on. IEEE, 2016. p. 40-45.
- [10] FORE, Vivudh et al. *Intelligent supply chain management system*. In: Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE), 2016 International Conference on. IEEE, 2016. p. 296-302.
- [11] SHURMAN, Mohammad M.; ALJARAH, Maha K. *Collaborative execution of distributed mobile and IoT applications running at the edge*. In: Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA), 2017 International Conference on. IEEE, 2017. p. 1-5.
- [12] RAHBARI, Dadmehr; NICKRAY, Mohsen. *Scheduling of fog networks with optimized knapsack by symbiotic organisms search*. In: Open Innovations Association (FRUCT), 2017 21st Conference of. IEEE, 2017. p. 278-283.
- [13] BROGI, Antonio; FORTI, Stefano; IBRAHIM, Ahmad. *How to best deploy your Fog applications, probably*. In: Fog and Edge Computing (ICFEC), 2017 IEEE 1st International Conference on. IEEE, 2017. p. 105-114.
- [14] GEIER, Maximiliano; MOCSKOS, Esteban. *SherlockFog: Finding Opportunities for MPI Applications in Fog and Edge Computing*. In: Latin American High Performance Computing Conference. Springer, Cham, 2017. p. 185-199.
- [15] ÖSTBERG, Per-Olov, et al. *Reliable capacity provisioning for distributed cloud/edge/fog computing applications*. In: Networks and Communications (EuCNC), 2017 European Conference on. IEEE, 2017. p. 1-6.
- [16] SimpleIotSimulator: The internetofthings simulator, <http://www.smpslft.com/SimpleIoTSimulator.html>, acessado em Maio, 2018.
- [17] SANCHEZ, Luis, et al. *SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed*. Computer Networks, 2014, 61: 217-238.
- [18] ADJIH, Cedric, et al. *FIT IoT-LAB: A large scale open experimental IoT testbed*. In: Internet of Things (WF-IoT), 2015 IEEE 2nd World Forum on. IEEE, 2015. p. 459-464.
- [19] BABOU, Cheikh Saliou Mbacke, et al. *Home Edge Computing (HEC): Design of a New Edge Computing Technology for Achieving Ultra-Low Latency*. In: International Conference on Edge Computing. Springer, Cham, 2018. p. 3-17.
- [20] NAAS, Mohammed Islam, et al. *An Extension to iFogSim to Enable the Design of Data Placement Strategies*. In: Fog and Edge Computing (ICFEC), 2018 IEEE 2nd International Conference on. IEEE, 2018. p. 1-8.