

## **ANÁLISE DO USO DE EDGE COMPUTING EM AMBIENTES DE INTERNET DAS COISAS ATRAVÉS DO PUREEDGESIM**

Tiago Bratz Heck<sup>1</sup>; Everton de Matos<sup>2</sup>;

1 Escola Politécnica – Faculdade Meridional (IMED). 1113798@imed.edu.br

2 Escola Politécnica – Faculdade Meridional (IMED). everton.matos@imed.edu.br

**RESUMO:** A adoção da Internet das Coisas (IoT) em ambientes inteligentes exige avanços para lidar com os desafios da área. Abordagens tradicionais de IoT utilizam a topologia de nuvem, ou Cloud Computing, para o gerenciamento de dados e dispositivos. Porém, com o grande aumento na quantidade de dispositivos, novas abordagens se fizerem necessárias para um bom funcionamento do ambiente. O paradigma de Edge Computing, ou computação de borda, surgiu como uma alternativa para minimizar a latência destes ambientes, entre outros benefícios. O presente artigo tem como objetivo modelar e avaliar ambientes de Edge Computing em comparação com ambientes tradicionais de Cloud através da ferramenta de simulação PureEdgeSim.

**PALAVRAS-CHAVE:** Internet of Things, Edge Computing, Cloud Computing, PureEdgeSim, Fog Computing.

**ABSTRACT:** The adoption of the Internet of Things (IoT) in smart environments requires advances to deal with the challenges of the area. Traditional IoT approaches use the Cloud Computing topology for data and device management. However, with a significant increase in the number of devices, new strategies are necessary for the proper functioning of the environment. The Edge Computing paradigm has emerged as an alternative to minimize latency in these environments, among other benefits. This article aims to model and evaluate Edge Computing environments compared to traditional Cloud environments using the PureEdgeSim simulation tool.

### **1 INTRODUÇÃO**

Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) é um conceito sobre a conectividade de diferentes dispositivos que vem ganhando alta relevância atualmente (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Com o avanço da tecnologia embarcada e da computação utilizada como serviço, a Internet das Coisas é uma das áreas mais atraentes para o desenvolvimento de novas soluções que visam a interconectividade entre diferentes dispositivos. Com a capacidade de coleta e processamento de dados, diferentes dispositivos conectados podem auxiliar tanto em tarefas rotineiras, quanto em análises complexas de comportamento (NITTI et al., 2016). Isso é possível devido a quantidade enorme de dados armazenados e a uso de recursos computacionais como serviço, computação em nuvem por exemplo. A medida que o avanço dessas tecnologias ocorre, novos paradigmas e desafios são descobertos, como o desenvolvimento de novas soluções que visam melhorar a usabilidade, latência e segurança dessas aplicações.

A Computação em Nuvem é um conceito muito difundido e bastante recorrente em Internet das Coisas. Seu propósito é oferecer diferentes recursos de computação como serviço antes somente oferecidos por servidores locais físicos. A computação em nuvem possibilita uma grande redução de custo para manter toda a infraestrutura de hardware (AMARAL et al., 2016). Diversos dispositivos podem enviar dados em tempo real para a nuvem a fim de ser processados e analisados posteriormente por outros sistemas. Porém, utilizar apenas a computação em nuvem,

pode trazer diversos problemas tais como, falta de segurança, alta latência no envio de dados e retorno de informações e problemas com a conectividade. A fim de mitigar os principais problemas, novos conceitos estão sendo abordados para aplicações em Internet das Coisas. Um deles é o *Edge Computing* (MORABITO et al., 2016).

*Edge Computing* é um paradigma de programação que visa a implementação e o armazenamento de dados próximos aos locais onde os dados são gerados, ou seja, próximo aos sensores e outros dispositivos na borda (DOLUI; DATTA, 2017). Desenvolver aplicações IoT baseadas em *Edge computing* pode trazer mais segurança e velocidade no processamento das informações. Uma vez que a quantidade de dispositivos inteligentes aumenta e o volume de dados cresce, o *Edge Computing* se torna uma boa alternativa para a Internet das Coisas (LU et al., 2018).

Esse trabalho tem como objetivo a modelagem e avaliação de um ambiente *Edge Computing* usando a ferramenta *PureEdgeSim*, a qual é distribuída de maneira *Open-Source*. Os resultados obtidos serão apresentados através de comparações com outros ambientes tradicionais de IoT, avaliando as diferenças entre as soluções e apontando as principais vantagens do paradigma *Edge Computing* para Internet das Coisas.

O restante deste artigo é apresentado da seguinte forma. Na Seção 2 são apresentadas algumas definições importantes, tais como IoT e *Edge Computing*. A Seção 3 apresenta trabalhos relacionados com o desenvolvido. A Seção 4 define as abordagens utilizadas para modelar um ambiente de *Edge Computing*. Na Seção 5 são apresentados os resultados da avaliação do ambiente de *Edge Computing* em comparação com ambientes tradicionais de IoT em Computação em Nuvem. Por fim, a Seção 6 conclui o presente artigo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A presente Seção apresenta alguns conceitos comumente citados no decorrer do presente trabalho. Na Subseção 2.1 é apresentada a definição de Internet das Coisas. Na Subseção 2.2, o conceito de *Cloud Computing* é apresentado detalhadamente, assim como os diferentes níveis de aplicação presentes nesta camada. Além disso, a Subseção 2.3 apresenta em detalhes o conceito de *Edge Computing*.

### 2.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) é um paradigma de computação que vem rapidamente ganhando espaço nos cenários de tecnologia da informação e comunicação. A ideia da IoT é basicamente a presença pervasiva de uma variedade de *coisas*, ou objetos, que são capazes de interagir entre si e cooperar com seus vizinhos a fim de alcançar objetivos comuns. Isto é feito através de esquemas únicos de endereçamento e meios de comunicação confiáveis através da Internet. Alguns exemplos de *coisas* são: sensores, atuadores, *smartphones*, dispositivos inteligentes, *tags RFID* (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010) (SCHENFELD et al., 2016).

De acordo com (RAY, 2018), 25 bilhões de dispositivos serão conectados a internet até 2020 e essas conexões facilitarão o uso de dados para analisar, pré-planejar, gerenciar e tomar decisões inteligentes de forma autônoma. Neste contexto, podemos ver que o serviço de vários setores, tais como: transportes, cidades inteligentes, saúde, governo, educação, varejo, logística, agricultura, automação, manufatura industrial e negócios/gerenciamento de processos etc., já estão sendo beneficiados pela Internet das Coisas e suas diferentes implementações.

Ambientes da IoT são geralmente implementados baseando-se em uma arquitetura padrão que consiste em várias camadas (BANDYOPADHYAY; SEN, 2011): desde a camada de aquisição de dados até a camada de aplicação. A seguir, são apresentadas as funcionalidades das principais camadas da IoT (BANDYOPADHYAY; SEN, 2011):

- **Camada de aplicação:** Esta camada é responsável por disponibilizar vários serviços para diferentes usuários/aplicações de ambientes da IoT. As aplicações podem ser de diferentes domínios, como por exemplo indústria, fábricas, logística, meio ambiente, segurança pública, *healthcare*, cidades inteligentes.
- **Camada de gateway de acesso:** A primeira fase de tratamento de dados acontece nesta camada. É nela que é feito o roteamento de mensagens, *publish/subscribe*, e também realiza comunicação *cross-platform* se necessário.
- **Camada Edge:** Esta camada de hardware consiste de redes de sensores, sistemas embarcados, *tags* e *readers RFID*, ou outro dispositivo da IoT. Estas entidades são as fontes de dados implantadas em ambientes da IoT. Muitos destes elementos de hardware proveem identificação e armazenamento de informações, coleta de informações (redes de sensores), processamento de informações (processadores embarcados), comunicação, e controle.

Muitas aplicações de IoT (por exemplo, processamento de fluxo) são distribuídas naturalmente e são muitas vezes incorporadas em um ambiente com numerosos dispositivos de computação conectados com capacidades heterogêneas (GUPTA et al., 2017). À medida que os dados viajam de seu ponto de origem (por exemplo, sensores) para aplicações implantadas em máquinas virtuais em nuvem, ela passa por muitos dispositivos, cada um dos quais é um alvo potencial de descarregamento de computação. Por isso, é importante aproveitar os recursos computacionais e de armazenamento desses dispositivos intermediários. Alguns conceitos de topologia para organização de dispositivos foram sendo desenvolvidos a medida que a IoT ganhou espaço no mercado. Um destes conceitos de topologia é a abordagem de Computação em Nuvem --- *Cloud Computing* --- e posteriormente a abordagem de processamento na borda da rede, chamada de *Edge Computing* (LU et al., 2018).

## 2.2 Cloud Computing

Os aspectos essenciais da computação em nuvem foram relatados na definição fornecida pelo *National Institute of Standard and Technologies* (NIST) (BOTTA et al., 2016): "A computação em nuvem é um modelo de habilitação onipresente, conveniente, acesso à rede sob demanda a um compartilhado pool de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e lançado com mínimo esforço de gerenciamento ou provedor de serviços interação" (BOTTA et al., 2016).

O modelo de *Cloud Computing* tem três tipos de serviços e três principais modelos de implantação (ALMORSY; GRUNDY; M'ULLER, 2016). O os modelos de implantação são: Nuvem privada: uma nuvem plataforma é dedicada para organização específica. Nuvem Pública: uma plataforma pública em nuvem disponível para usuários se cadastrarem e usar a infraestrutura disponível, e a Nuvem Híbrida:

uma nuvem privada que pode se estender para usar recursos de nuvens públicas (ALMORSY; GRUNDY; MULLER, 2016).

Os serviços em nuvem podem ser agrupados em três categorias principais: *Software as a Service* (SaaS), *Platform as a Service* (PaaS), e *Infrastructure as a Service* (IaaS) (BOTTA et al., 2016). SaaS refere-se ao provisionamento de aplicativos em execução em ambientes cloud. Aplicativos são tipicamente acessíveis através de um *client* ou de um navegador Web. PaaS refere-se a recursos de camada de plataforma (por exemplo, suporte ao sistema operacional, frameworks de desenvolvimento de software, etc.). IaaS refere-se ao fornecimento processamento, armazenamento e recursos de rede, permitindo ao usuário controlar o sistema operacional, armazenamento e aplicativos (BOTTA et al., 2016).

*Cloud Computing* é uma tecnologia disruptiva com profunda implicações para a Internet, bem como para o setor de TI como um todo (BOTTA et al., 2016). No entanto, vários problemas técnicos relacionados aos negócios ainda estão sem solução. Questões específicas foram identificadas para cada modelo de serviço, que estão principalmente relacionados à segurança (por exemplo, segurança dos dados, integridade e segurança da rede), privacidade (por exemplo, dados confidenciais), e contratos de nível de serviço, o que poderia afastar usuários potenciais (BOTTA et al., 2016). Para solucionar estes e outros problemas surge o conceito de *Edge Computing* (LU et al., 2018) (MORABITO et al., 2016).

### 2.3 Edge Computing

*Edge Computing* diz respeito às tecnologias que possibilitam que a computação seja executada na borda da rede, tirando o massivo processamento da nuvem e colocando este processamento embarcado nos dispositivos da IoT. Assim diminuindo problemas relacionados a latência da rede, descentralizando o processamento, e aumentando a escalabilidade. A adoção de *Edge Computing* se popularizou pelo constante aumento de poder de processamento computacional de dispositivos finais implantados em ambientes IoT. O termo “*edge*” pode ser usado para qualquer recurso computacional ou de rede que esteja situado entre a camada da nuvem e os sensores geradores de dados (SHI et al., 2016).

A definição de *Edge Computing* varia muito entre os autores (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019). Embora a maioria dos artigos tenha considerado *Edge* e *Fog* como sendo o mesmo paradigma, alguns outros os diferenciaram. *Edge* é definida como parte separada da nuvem, *Fog Computing* funciona em conjunto com a nuvem. Segundo (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019) a principal diferença entre *Fog* e *Edge* é a localização dos dispositivos de cada paradigma. No *Edge Computing*, nós de borda são implantados nos próprios dispositivos de borda seguindo arquitetura peer-to-peer, de maneira embarcada, ao contrário de *Fog Computing*, onde os nós são implantados em servidores ou outros dispositivos (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019).

Nos últimos anos, temos visto um crescimento do interesse no uso de *Edge Computing* como uma forma de atender aos desafios colocados pela IoT (RAMACHANDRAN et al., 2019). No paradigma de *Edge Computing*, as aplicações são atendidas a partir de uma série de dispositivos que são geograficamente distribuídos ao longo da borda. Esses dispositivos podem ser compostos de hardwares que variam de sensores a servidores (RAMACHANDRAN et al., 2019).

O paradigma de *Edge Computing* aproveita as capacidades de armazenamento e processamento de um grande número de dispositivos IoT

conectados à Internet implantados com o propósito de fornecer uma camada intermediária entre os dispositivos nas bordas e a nuvem (DOLUI; DATTA, 2017). Com a presença desses dispositivos, a dependência dos recursos dos data centers é reduzida, fazendo assim a distribuição dos recursos de computação por todas as aplicações IoT, desde a nuvem até a borda (DOLUI; DATTA, 2017).

Os benefícios do *Edge Computing* resultam de sua proximidade com fontes de dados e usuários finais. O *Edge Computing* possibilita enfrentar os seguintes desafios: (i) baixa latência e previsibilidade para usuários finais e aplicativos; (ii) serviços e aplicativos seguros e que preservam a privacidade; (iii) longa duração da bateria e baixo custo de largura de banda; e (iv) escalabilidade (SHI et al., 2016).

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

O objetivo do presente trabalho é a experimentação, avaliação e modelagem de ambientes de Internet das Coisas e *Edge Computing* através do uso de uma ferramenta já existente com este fim. Portanto, a presente Seção avalia o estado da arte de ferramentas relacionadas e os diferentes cenários de simulação que podem ser modelados e avaliados.

SenSE (*Sensor Simulation Environment*) é uma ferramenta para geração de tráfego IoT em larga escala (ZYRIANOFF; BORELLI; KAMIENSKI, 2017). SenSE é distribuído de maneira *Open Source*. Com o SenSE é possível simular diversos ambientes de IoT em diferentes domínios partindo de uma estrutura genérica. Os dados criados para transmissão são sintéticos, uma vez que não suportada a conexão com dispositivos reais. Um ponto positivo do SenSE é o uso do protocolo MQTT para comunicação de dados, considerado um dos padrões em ambientes IoT. SenSE possibilita a criação e integração de dois tipos de sensores: (i) por tempo, (ii) por evento. Os sensores movidos por tempo ficam programados para enviar seus dados a cada determinado período de tempo, enquanto os sensores movidos por evento realizam a comunicação quando um novo dado é gerado, ou quando uma mudança de *status* ocorre, caracterizando um novo evento. O SenSE não permite a análise de diferentes topologias de organização de sensores na sua simulação, como variações entre *Cloud* e *Edge*.

Em (COUTINHO et al., 2018) é definida uma arquitetura para emulação escalável em névoa. A ferramenta permite a avaliação de ambientes em camada de névoa --- camada intermediária entre *Cloud* e os dispositivos --- através da virtualização e configuração do ambiente. Os autores definem que a ferramenta foi desenvolvida em quatro pilares: baixo custo, configuração rápida e flexível, suporte para realizar protocolos e serviços do mundo real, e execução escalável. Tais pilares fazem parte de diversos ambientes IoT. Para a implementação foi utilizada a tecnologia de virtualização *Docker*, possibilitando, na maioria dos casos, virtualizações mais leves do que a tradicional técnica de máquina virtual. O emulador de rede *Fogbed* foi utilizado para permitir a implementação de nós da rede na modalidade de contêineres *Docker* sobre diferentes configurações de rede.

Uma pesquisa ampla sobre ferramentas para modelagem, simulação e avaliação de ambientes de Internet das Coisas foi conduzida recentemente em (MARKUS; KERTESZ, 2020). Os autores analisaram diversas ferramentas as diferentes possibilidades de realizar a simulação de ambientes de IoT e *Edge Computing*. Os autores definem que a vasta maioria das ferramentas analisadas são voltadas para ambientes de *Cloud Computing*. Alguns trabalhos analisados em (MARKUS; KERTESZ, 2020) tem como foco ambientes de borda de rede. Um

exemplo é o IFogSim (GUPTA et al., 2017), que oferece o suporte a recursos de névoa e borda em diferentes cenários.

O IFogSim permite a avaliação de políticas de gerenciamento de recursos, analisando o consumo de energia, os custos operacionais, a latência e o congestionamento de rede. O projeto do IFogSim é uma evolução de um tradicional simulador de ambientes *Cloud*, o CloudSim (CALHEIROS et al., 2011). Uma variação do IFogSim, o MyiFogSim (LOPES et al., 2017) permite simulações considerando ambientes móveis. Da mesma linha de desenvolvimento surgiu o *PureEdgeSim* \cite{mechalikh19}, foco do presente trabalho. Por mais que seja uma ferramenta recente, o *PureEdgeSim* vem ganhando espaço na área por carregar diversas funções previamente apresentadas em soluções anteriores, juntamente com uma evolução em quesitos de possibilidades de simulação e facilidade de manejo dos ambientes simulados.

No melhor de nosso conhecimento, um trabalho que modela e analisa o desempenho de cenários *Edge Computing* utilizando uma ferramenta recente como o *PureEdgeSim* não foi publicado ainda. Este artigo pretende ser um modelo para que futuros autores possam se familiarizar com a ferramenta *PureEdgeSim* e o seu uso em diferentes cenários *Edge Computing*, através das diversas possibilidades de simulação demonstradas anteriormente.

#### 4 MODELAGEM DE AMBIENTES EDGE COMPUTING

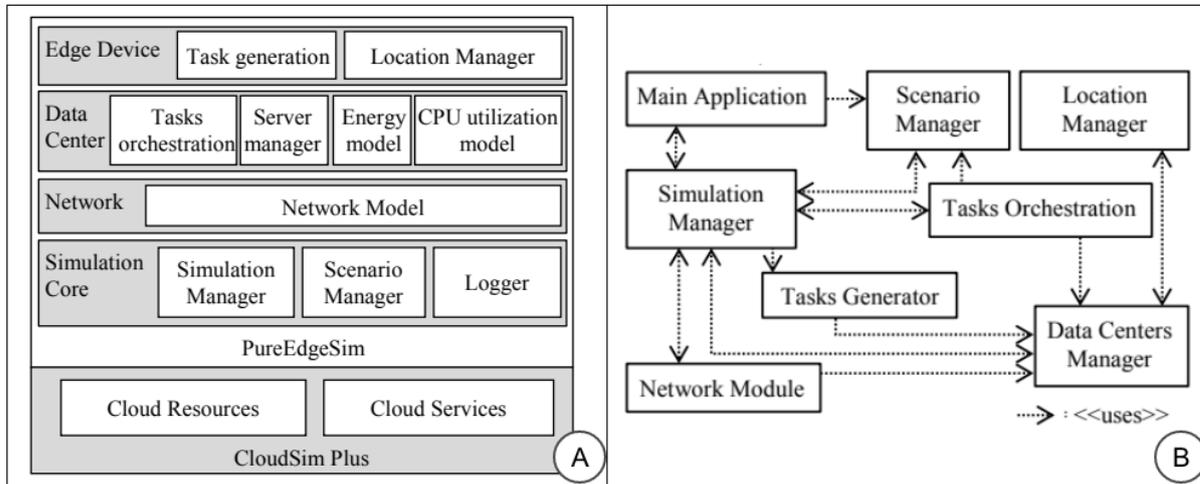
No presente trabalho, a ferramenta *Open Source*, *PureEdgeSim* (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019), foi utilizada para simulação de ambientes IoT utilizando a abordagem de arquitetura *Edge Computing*.

O *PureEdgeSim* permite simular a gestão de recursos e a avaliar o desempenho das arquiteturas *Cloud*, *Fog* e *Edge* avaliando esses ambientes. Ele concede alta escalabilidade permitindo a simulação de milhares de dispositivos (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019). Ele também suporta a heterogeneidade dos dispositivos de borda (ou seja, dispositivos de mobilidade: dispositivo móvel ou fixo, fonte de energia: bateria ou fonte de alimentação, diferentes requisitos de latência, etc.). Além disso, fornece um modelo de rede realista (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019). Ele também fornece um módulo orquestrador de tarefas que gerencia os recursos disponíveis, equilibra a carga de trabalho e permite a simulação de cenários de vários níveis onde muitos paradigmas computacionais podem ser usados em conjunto uns com os outros (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019).

O *PureEdgeSim* aproveita os recursos do *CloudSim Plus* --- outro framework que realiza simulações de ambientes *cloud* --- incluindo o suporte nativo para a simulação de eventos discretos que é usado durante a comunicação entre seus componentes (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019). Isso faz com que a complexidade do tempo de simulação dependa do número de eventos criados durante a simulação (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019). Para reduzir a duração da simulação, o *PureEdgeSim* oferece aos seus usuários, um controle rápido e total da simulação de ambientes através de seu conjunto de parâmetros, onde os usuários pode alterar os parâmetros da simulação (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019).

O *PureEdgeSim* utiliza em suas simulações, uma arquitetura de três níveis. *Cloud*, *Edge* e *Mist*. *Mist Computing* pode ser definida como a camada mais próxima da borda de uma aplicação. Segundo (BARIK et al., 2018), *Mist Computing* levou os conceitos de computação de borda e neblina ainda mais longe, levando parte do

processamento computacional para a borda da rede, dispositivos, atuadores e sensores. Com a ajuda do *Mist Computing*, o processamento é levado até a borda da rede através de nodos de microprocessadores. O paradigma de *Mist Computing* diminui a latência e aumenta a autonomia de uma aplicação IoT (BARIK et al., 2018).



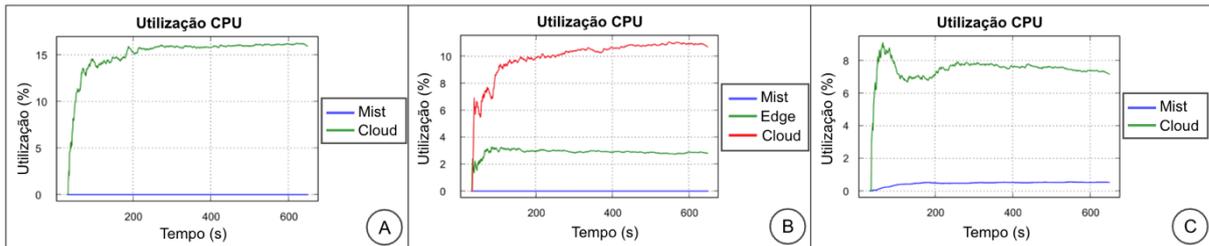
**Figura 1. (A) Arquitetura da ferramenta *PureEdgeSim*. (B) Relação entre os módulos da ferramenta *PureEdgeSim* (MECHALIKH; TAKTAK; MOUSSA, 2019).**

A Figura 1 (A) evidencia a arquitetura do *PureEdgeSim*. A ferramenta conta com os recursos fornecidos pelo *CloudSim Plus*. A fim de garantir maior extensibilidade, aplicabilidade e melhor reusabilidade de código, o *PureEdgeSim* fornece uma arquitetura modular onde cada módulo trabalha com um aspecto específico da simulação de *Cloud*, *Edge* e *Mist*. O *PureEdgeSim* consiste em sete módulos, apresentados na Figura 1 (B). A Figura 1 (B) evidencia a relação entre os módulos da ferramenta, onde cada um é responsável por uma função específica durante as simulações.

A simulação realizada com o *PureEdgeSim* para esse trabalho faz a avaliação de diferentes recursos tais como: Uso de CPU, uso de rede, total de tarefas executadas, *delays* durante a execução e outras métricas na comparação de diferentes arquiteturas ao executar o algoritmo *Round-Robin* (um algoritmo responsável pela divisão de tarefas a serem executadas por um processador). Na Seção 5 serão abordados e analisados os diferentes resultados obtidos dessa simulação.

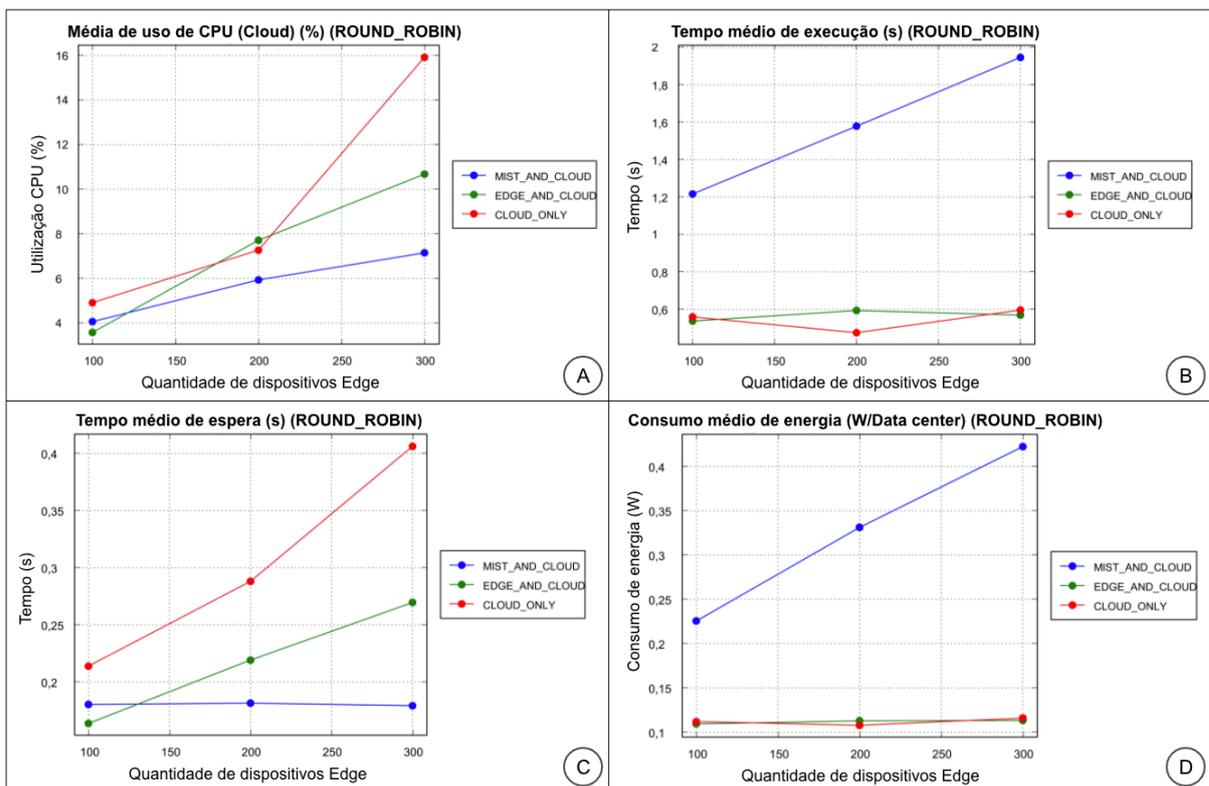
## 5 AVALIAÇÃO DE AMBIENTES EDGE COMPUTING

A ferramenta *PureEdgeSim* oferece ao usuário algumas opções de simulações de diferentes arquiteturas para a avaliação de diversos indicadores. É possível fazer a customização dos módulos da ferramenta para simular um ambiente mais específico. Dentre as diferentes análises, estão: A utilização da capacidade do CPU, consumo de energia, execução de tarefas, tempo de execução, entre outras. Para este trabalho, foram analisados os indicadores de performance do *PureEdgeSim*, executando o algoritmo *Round-Robin* com as arquiteturas: *Cloud*, *Mist* e *Cloud*, e *Edge* e *Cloud*. Os próximos parágrafos analisam o uso da capacidade de processamento da CPU ao executarmos os testes nas arquiteturas supracitadas.



**Figura 2. (A) Uso da CPU apenas com *Cloud*. (B) Uso da CPU apenas com arquitetura *Edge* e *Cloud*. (C) Uso da CPU apenas com arquitetura *Mist* e *Cloud*. Fonte: Autor.**

A Figura 2 (A) evidencia o uso da CPU no processamento do algoritmo. É possível observar que o processamento se mantém constante durante a execução do programa. A Figura 2 (B) mostra a diferença entre o uso da CPU entre as arquiteturas *Edge* e *Cloud*. A arquitetura *Edge* demanda menos recursos em sua operação, o que permite um melhor equilíbrio entre a distribuição de tarefas realizadas pela CPU. A Figura 2 (C) dispõe de um cenário ainda mais favorável. Nesse caso, o uso da arquitetura *Mist* utiliza menos recursos da CPU que a arquitetura *Edge* como foi visualizado na imagem anterior.

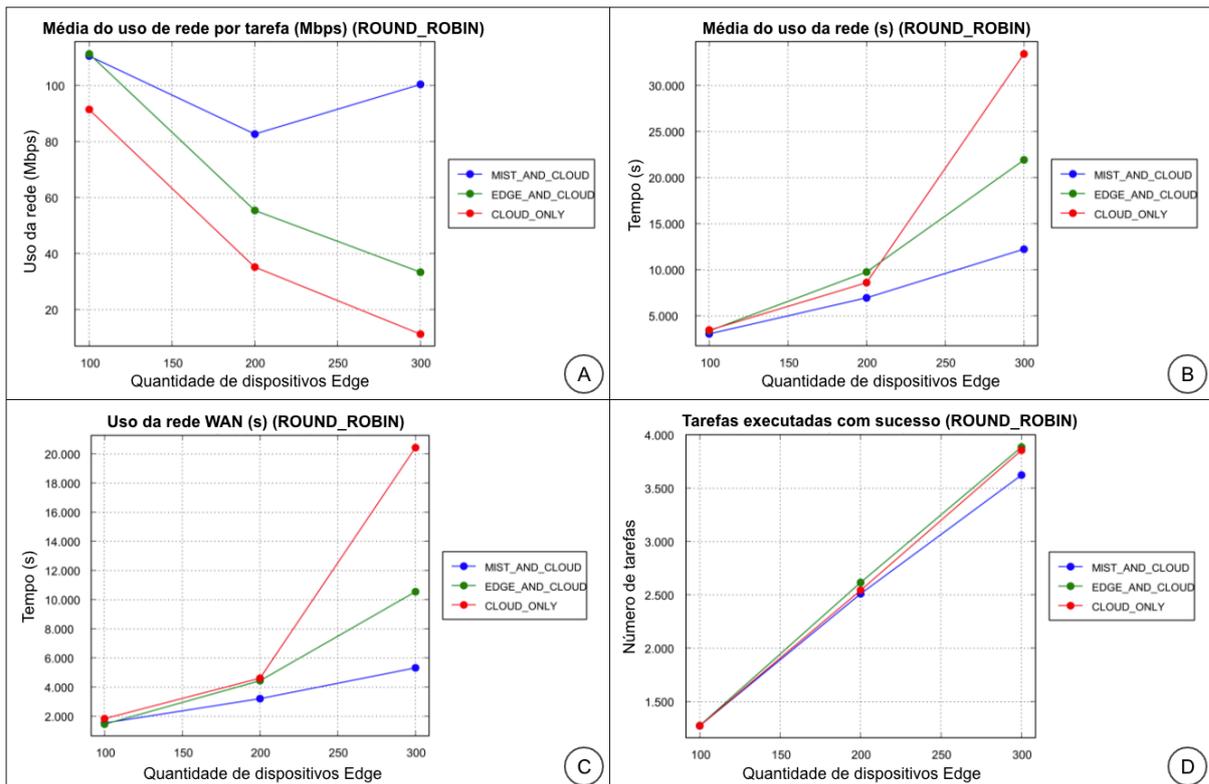


**Figura 3. (A) Uso da CPU pelo número de dispositivos *Edge*. (B) Tempo médio de atraso na execução. (C) Tempo médio de espera. (D) Consumo médio de energia. Fonte: Autor.**

A Figura 3 (A) demonstra o desempenho de processamento da CPU ao executar o algoritmo utilizando diferentes números de dispositivos *Edge*. Através do *PureEdgeSim* foi possível realizar a simulação utilizando: 100, 200 e 300 dispositivos de borda. Podemos visualizar no gráfico que a arquitetura que utiliza menos recursos é a *Mist and Cloud*, onde o processamento é dividido em dispositivos localizados na borda *Mist* e na nuvem. A Figura 3 (B) coloca o tempo médio de atraso nas execuções do algoritmo entre as três arquiteturas

analisadas. O tempo médio maior de *delay* na execução do *Round-Robin* acontece na arquitetura *Mist and Cloud*. Para as demais arquiteturas, o tempo é baixo, permanecendo quase inalterado a medida que cresce o número de dispositivos *Edge*.

A Figura 3 (C) fornece o tempo médio de espera na execução do algoritmo. Nesse cenário, fica evidenciado que a medida que o número de dispositivos *Edge* aumenta, as arquiteturas, *Edge and Cloud* e *Cloud only* aumentam o tempo de espera na execução. Podemos observar na Figura 3 (D) que o consumo médio de energia em Watt (w) por *data center* permanece baixo nas arquiteturas *Cloud only* e *Edge and Cloud* enquanto o consumo cresce ao longo do gráfico na arquitetura *Mist and Cloud*. O consumo de energia pode estar diretamente associado a distribuição de processamento para os dispositivos localizados nas bordas da aplicação.



**Figura 4. (A) Média do uso de banda por tarefa. (B) Uso de rede por arquitetura. (C) Uso da WAN. (D) Número de tarefas executadas com sucesso.**

**Fonte: Autor.**

A Figura 4 (A) evidencia o uso de banda em Megabytes por segundos (Mbps). Nas arquiteturas *Cloud only* e *Edge and cloud*, o uso de banda cai conforme o número de dispositivos *Edge* aumentam. A Figura 4 (B) mostra o tempo em segundos do uso da rede de internet por cada arquitetura. Nas três arquiteturas analisadas, o consumo de rede em segundos aumentou, mas a que mais se mostrou eficaz em relação ao aumento no número de dispositivos foi a *Mist and Cloud*.

A Figura 4 (C) evidencia um cenário similar ao da A Figura 4 (B). O consumo em segundos da rede WAN (*Wide Area Network*) aumenta conforme o número de dispositivos *Edge* aumenta. A Figura 4 (D) expõem o total de tarefas executadas com sucesso pelas três arquiteturas analisadas. O resultado entre elas é similar, com um leve destaque para as arquiteturas *Cloud only* e *Edge and Cloud*.

A partir das análises feitas através dos gráficos fornecidos pelo *PureEdgeSim*, podemos observar algumas vantagens e desvantagens do uso de algumas arquiteturas em relação às

outras. De maneira geral, as aplicações que optam por arquiteturas *Edge Computing*, consomem menos energia e utilizam menor capacidade de processamento. Nessa arquitetura, o tempo médio de execução de tarefas é menor, evidenciando que o poder de processamento dos dispositivos localizados na borda da rede, podem contribuir de maneira mais eficaz para aplicações IoT. É possível observar também que o uso de rede (WAN) aumenta nas arquiteturas *Cloud Computing*, conforme o número de dispositivos conectados a rede aumenta, o que pode acarretar eventuais erros durante os processamentos e perda de performance devido ao aumento da latência. O que as análises não evidenciam, é que não há clareza em relação a qual contexto essas arquiteturas estão sendo aplicadas. É necessário uma investigação mais detalhada e análises mais profundas em relação aos contextos reais e se os resultados obtidos com o *PureEdgeSim* serão similares em arquiteturas físicas.

## 6 CONCLUSÃO

Nesse artigo foi modelada e avaliada abordagens de *Edge Computing* para IoT através da ferramenta de simulação *PureEdgeSim*. Tais abordagens tem como objetivo aproximar de maneira eficiente as camadas consumidoras e provedoras de serviços. É importante mencionar que *Edge Computing* não é um substituto de *Cloud Computing*, mas sim, que essas duas tecnologias complementam uma a outra. A principal motivação do trabalho é o ganho que ambientes *Edge* podem trazer para abordagens IoT. Tais ambientes diminuem a latência da comunicação, aumentam a descentralização do sistema, dão maior autonomia de tomada de decisão para dispositivos de ponta e aumentam a segurança do ambiente como um todo.

Foi percebido que os ambientes que utilizam algum tipo de tecnologia *Edge* possuem um ganho em diversas formas de desempenho quando comparados com ambientes *Cloud*. Isto acontece pois na IoT os dispositivos estão em constante comunicação, o que favorece cenários *Edge*.

Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar a gama de testes, além de realizar testes de desempenho em ambientes reais. Temos como objetivo a implementação de nodos *Edge* em ambiente acadêmico com a criação de um *Smart Campus* que servirá como *testbed* para diferentes abordagens de topologia de sistemas IoT. Além disso, pretendemos realizar testes a fim de avaliar a segurança de dados da topologia *Edge*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMORSY, M.; GRUNDY, J.; MULLER, I. An analysis of the cloud computing security problem. arXiv preprint arXiv:1609.01107, 2016.

AMARAL, L. A. et al. Internet of things (iot) in 5g mobile technologies. In: Cham: Springer International Publishing, 2016. cap. Middleware Technology for IoT Systems: Challenges and Perspectives Toward 5G, p. 333–367. ISBN 978-3-319-30913-2.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. Computer Networks, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. ISSN 1389-1286.

BANDYOPADHYAY, D.; SEN, J. Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. Wireless Personal Communications, v. 58, n. 1, p. 49–69, 2011. ISSN 1572-834X

BARIK, R. K. et al. Mistgis: Optimizing geospatial data analysis using mist computing. Progress in Computing, Analytics and Networking, Springer, p. 733–742, 2018.

- BOTTA, A. et al. Integration of cloud computing and internet of things: a survey. *Future generation computer systems*, Elsevier, v. 56, p. 684–700, 2016.
- CALHEIROS, R. N. et al. Cloudsim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms. *Software: Practice and Experience*, v. 41, n. 1, p. 23–50, 2011.
- COUTINHO, A. et al. Uma arquitetura para emulação escalável em névoa. In: *Anais do XVI Workshop em Cloud e Aplicações*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2018.
- DOLUI, K.; DATTA, S. K. Comparison of edge computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile edge computing. In: *2017 Global Internet of Things Summit (GloTS)*. [S.l.: s.n.], p. 1–6. 2017.
- GUPTA, H. 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*, Wiley Online Library, v. 47, n. 9, p. 1275–1296, 2017.
- LOPES, M. M. et al. Myifogsim: A simulator for virtual machine migration in fog computing. In: *Companion Proceedings of The 10th International Conference on Utility and Cloud Computing*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. (UCC '17 Companion), p. 47–52. ISBN 9781450351959. 2017.
- LU, L. et al. Fog Computing Approach for Music Cognition System Based on Machine Learning Algorithm. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, v. 5, n. 4, p. 1142–1151, 2018.
- MARKUS, A.; KERTESZ, A. A survey and taxonomy of simulation environments modelling fog computing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 101, p. 102042, 2020. ISSN 1569-190X. *Modeling and Simulation of Fog Computing*. 2020.
- MECHALIKH, C.; TAKTAK, H.; MOUSSA, F. PureEdgeSim: A Simulation Toolkit for Performance Evaluation of Cloud, Fog, and Pure Edge Computing Environments. In: *The 2019 International Conference on High Performance Computing & Simulation*. [S.l.: s.n.], p. 700–707. 2019.
- MORABITO, R. et al. Enabling a lightweight Edge Gateway-as-a-Service for the Internet of Things. In: *2016 7th International Conference on the Network of the Future (NOF)*. [S.l.: s.n.], p. 1–5. 2016.
- NITTI, M. et al. The Virtual Object as a Major Element of the Internet of Things: A Survey. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 18, n. 2, p. 1228–1240, Secondquarter 2016.
- RAMACHANDRAN, U. et al. Elevating the edge to be a peer of the cloud. In: *2019 IEEE 12th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*. [S.l.: s.n.], p. 17–24. 2019.
- RAY, P. P. A survey on internet of things architectures. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, Elsevier, v. 30, n. 3, p. 291–319, 2018.
- SCHENFELD, M. C. et al. Arquitetura para Fog Computing em Sistemas de Middleware para Internet das Coisas. In: *Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. [s.n.], p. 1819–1829. 2016.
- SHI, W. et al. Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 5, p. 637–646, Oct 2016. ISSN 2327-4662. 2016.

ZYRIANOFF, I.; BORELLI, F.; KAMIENSKI, C. SenSE—Sensor Simulation Environment: Uma ferramenta para geração de tráfego IoT em larga escala. Salão de Ferramentas-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos—SBRC, 2017.

