José dos Santos Machado
Adauto Cavalcante Menezes
Toniclay Andrade Nogueira
Edward David Moreno Ordonez
Admilson de Ribamar Lima Ribeiro

Implementação de uma Fog Computing para Fornecer StaaS a Dispositivos IoT Utilizando Sistemas Embarcados

EDITORA IFS

Implementação de uma Fog Computing para Fornecer StaaS a Dispositivos IoT Utilizando Sistemas Embarcados

José dos Santos Machado
Adauto Cavalcante Menezes
Toniclay Andrade Nogueira
Edward David Moreno Ordonez
Admilson de Ribamar Lima Ribeiro

INSTITUTO FEDERAL
Sergipe
2019

DIRETORA DE PUBLICAÇÕES
Vanina Cardoso Viana Andrade

EDITORAÇÃO
Diego Ramos Feitosa
Jéssika Lima Santos
Kelly Cristina Barbosa
Júlio César Nunes Ramiro

PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GRÁFICA
Renan Garcia de Passos

PROJETO GRÁFICO DA CAPA
Renan Garcia de Passos

DIAGRAMAÇÃO
Renan Garcia de Passos

REVISÃO
Danielle Fernanda da Silva

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

I34 Implementação de uma Fog Computing para fornecer StaaS a dispositivos IoT utilizando sistemas embarcados [recurso eletrônico] / José dos Santos Machado [et al...] – Aracaju: IFS, 2019.
160 p.: il.

Formato: e-book
ISBN 978-85-9591-094-2

1. Internet das coisas. 2. Computação. 3. Computação em nuvem. I. Machado, José dos Santos. II. Menezes, Adauto Cavalcante. III. Nogueira, Toniclay Andrade. IV. Ordonez, Edward David Moreno. V. Ribeiro, Admilson de Ribamar Lima.

CDU: 004.33

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Célia Aparecida Santos de Araújo (CRB 5/1030)

[2019]

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS)
Avenida Jorge Amado, 1551. Loteamento Garcia, bairro Jardins.
Aracaju/SE. CEP: 49025-330.
Tel.: +55 (79) 3711-3222. E-mail: edifs@ifs.edu.br.
Impresso no Brasil

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE (IFS)

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Jair Messias Bolsonaro

MINISTRO DA EDUCAÇÃO
Abraham Bragança de Vasconcellos Weintraub

SECRETÁRIO DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
Alexandro Ferreira de Souza

REITORA DO IFS
Ruth Sales Gama de Andrade

PRÓ-REITORA DE PESQUISA E EXTENSÃO
Chirlaine Cristine Gonçalves

Dedico esta obra aos técnicos e analistas da área de tecnologia da informação que desejam conhecer e pesquisar esse novo paradigma da computação distribuída que é a Fog Computing.

APRESENTAÇÃO

A IoT (Internet das Coisas) necessita de muitos serviços para ser uma realidade, por ter recurso de processamento e armazenamento muito restrito, a sua interconexão com a *Cloud Computing* é um fator relevante e de elevada atenção para pesquisadores do mundo inteiro. As questões de latência, big data, armazenamento e poder de processamento próximo dos dispositivos de borda, fez com que surgisse a *Fog Computing*.

A *Fog Computing* é a interligação entre os dispositivos IoT e a *Cloud Computing*, e pode levar poder de processamento e armazenamento aos dispositivos IoT, sendo possível o surgimento de novas tecnologias e aplicações para poder sanar essas deficiências encontradas hoje.

Esta obra apresenta o conceito da *Fog Computing*, seus desafios, sua contextualização teórica, os trabalhos correlatos junto com a revisão sistemática e realiza a implementação e análise de uma *Fog Computing*, para fornecer StaaS (*Storage as a Service*), a dispositivos IoT utilizando plataformas de sistemas embarcados e compara seus resultados com os obtidos por um servidor de alto desempenho.

Desenvolve o sistema FogSys com o objetivo principal de simular, receber, validar e armazenar os dados de dispositivos IoT para serem transferidos para *Cloud Computing*, funcionando como uma *Fog Computing* para fornecer o serviço de StaaS (*Storage as a Service*). Os resultados demonstraram que a implementação desse serviço em dispositivos de sistemas embarcados pode ser uma boa alternativa para reduzir um desses problemas, no caso, o armazenamento de dados, que atinge hoje os dispositivos IoT.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS

ACM	Association for Computing Machinery
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IaaS	Infrastructure as a Service
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
PaaS	Platform as a Service
QoS	Quality of Service
SaaS	Software as a Service
SDN	Software Defined Networking
StaaS	Storage as a Service
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
VM	Virtual Machine
WSN	Wireless Sensor Network

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A *Cloud computing e Internet of Things* (IoT) são duas tecnologias muito diferentes que já fazem parte da nossa vida. Espera-se que sua adoção e uso se tornem cada vez mais difundidos, tornando-os componentes importantes da Internet do Futuro. Um novo paradigma em que *Cloud* e IoT estão ligados em conjunto é o significado que haverá tecnologias avançadas como facilitador de um grande número de cenários de aplicação na vida cotidiana (BOTTA, 2016).

Assim, surge o CloudIoT um paradigma de TI inovador em que Cloud e IoT, duas tecnologias complementares, se uniram para se fundir à Internet atual e futura (BABU, 2015).

Nas últimas décadas, observa-se que serviços de computação como armazenamento, processamento de dados e controle foram migrados para a "nuvem". A oportunidade de computação ilimitada na nuvem permite que os usuários finais acessem amplas informações facilmente, também é possível visualizar que os dispositivos móveis e sensores, como *smartphones*, se tornaram poderosos equipamentos, o que levou ao surgimento de novos sistemas e aplicações.

Estes sistemas e aplicações introduzem novas demandas funcionais em computação e redes que a "nuvem" sozinha não pode atender neste cenário, percebe-se que a computação local em uma borda da rede é muitas vezes necessária. Por exemplo, para processar dados em tempo real, criar contextos de reconhecimento de localização a partir de sensores locais e maximizar a eficiência das comunicações sem fio na borda da rede. No entanto, a nuvem está muito longe dos dispositivos IoT para satisfazer requisitos de latência e é muito centralizada para lidar com a heterogeneidade e diversidade contextual em uma área local, também é muito custoso carregar todos os dados de sensores individuais para a nuvem (STOJMENOVIC, 2015).

Para ultrapassar estas limitações, porções da capacidade de computação da nuvem deslocam-se para a borda da rede e formam um ambiente de computação local, isto é, uma "*Fog Computing*" chamada também de "nevoeiro". Ao distribuir os serviços de computação e de rede mais próximos de onde os dados do usuário são gerados, a Fog Computing atende melhor às demandas emergentes (MACHADO, 2017).

A *Fog* Computing apresenta uma nova arquitetura que "leva processamento para os dados", enquanto a nuvem "leva os dados para o processamento" (AL-DOGHMAN, 2016). Dessa maneira dispositivos de borda e dispositivos móveis podem estar interligados dentro de uma rede local e executar colaborativamente tarefas de armazenamento, processamento de dados de rede e de controle (HAJIBABA, 2014).

Em uma arquitetura de *Fog Computing*, redes de sensores podem desempenhar um papel significativo na medida em que sensores e atuadores implantados em ambiente distribuído podem vir a ser geradores de dados, controladores para sistemas físicos e plataformas de computação em rede. A *Fog Computing* pode ter *gateways* de borda que têm mais capacidade de computação. Uma rede de sensores, incluindo sensores e atuadores, estará profundamente conectada aos *gateways* de "nevoeiro" e aos dispositivos móveis diretamente e, em seguida, fazer extensas interações com eles, isso fornecerá novos serviços que conectam o ambiente físico à infraestrutura cibernética.

A *Fog Computing* pode vir a resolver muitos problemas da Internet das Coisas (IoT), por exemplo, os serviços da *Fog* serão capazes de melhorar a largura de banda e as restrições de custo das comunicações de longo alcance. No entanto, muitos desafios ainda permanecem na computação em *Fog*, como modelar uma arquitetura de sistema para a *Fog*; como implementar, organizar e gerenciar dispositivos da *Fog*; como a *Fog* interage com a nuvem e com os dispositivos; e como gerenciar a conectividade física e lógica da *Fog*.

1.1 Motivação

A *Fog Computing* é uma extensão da clássica *Cloud Computing* para a borda da rede (como a névoa é uma nuvem perto do chão). Ela foi projetada para suportar aplicações da Internet das coisas (IoT) caracterizadas por limitações de latência, exigência de mobilidade e de distribuição geográfica. Apesar da computação, armazenamento e rede serem recursos tanto da *Cloud* e da *Fog*, o último tem características específicas, localização na borda e reconhecimento do local implicando baixa latência, distribuição geográfica e um grande número de nós em contraste com a nuvem centralizada, apoio à mobilidade (através de acesso sem fio), interação em tempo real (em vez de processos *batch*) e suporte para interação com a *Cloud* (FAN; JAIN, 2016).

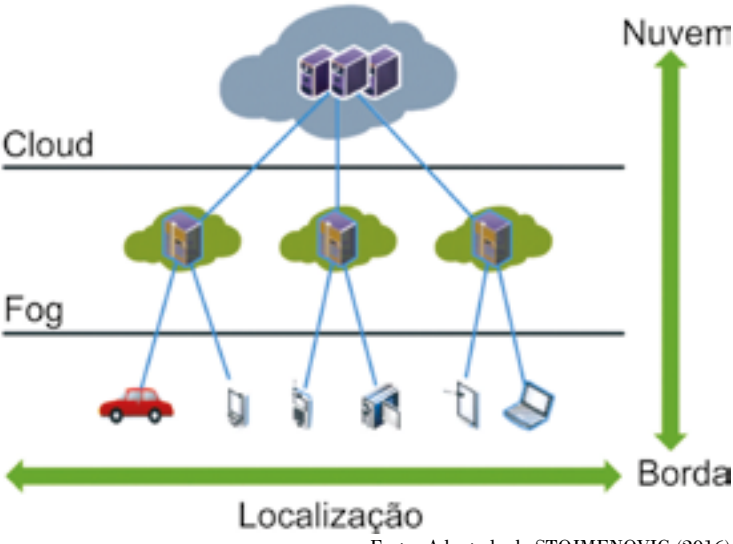
BOTTA et al. (2016), fazem uma análise que mostra como a construção de projetos de *Fog Computing* é um desafio, de fato, a adoção de abordagens baseadas em *Fog* requer vários algoritmos e metodologias relacionadas com a confiabilidade das redes de dispositivos inteligentes, e que operam sob condições específicas que pedem técnicas de tolerância a falhas específicas.

A *Fog Computing* é proposta para resolver os problemas acima mencionados. Como a *Fog Computing* é implementada na borda da rede, ela fornece baixa latência, definição geográfica de localização e melhora a qualidade de serviço (QoS) para aplicações que usam *streaming* e aplicações em tempo real (KUMAR, 2016). Exemplos típicos incluem automação industrial, transporte, redes de sensores e atuadores.

Além disso, essa nova infraestrutura suporta heterogeneidade, pois os dispositivos *Fog* incluem dispositivos para usuários finais, pontos de acesso, roteadores e *switches*. Conforme se afirma em STOJMENOVIC (2015), o paradigma *Fog* está bem posicionado para análise de dados em tempo real, suporta pontos de coleta de dados densamente distribuídos e oferece vantagens em entretenimento, publicidade, computação pessoal e outras

aplicações. A figura 1.1 mostra a localização entre *Fog Computing* e *Cloud Computing*.

Fig. 1.1 - *Fog* localizada entre borda e nuvem



Fonte: Adaptado de STOJMENOVIC (2016)

1.2 Justificativa

Internet das Coisas (IoT) é uma das tendências crescentes em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), sendo caracterizada pela presença de sensores e atuadores, dispersos, necessitando de plataformas de hospedagem, geralmente disponíveis em várias ordens de magnitude, possivelmente heterogêneos ao longo de vários eixos, por exemplo, arquitetura, conjunto de instruções, sistema operacional e tempo de execução (LONGO, 2015).

Já existem algumas aplicações na vida social cotidiana, tais como monitoramento ambiental, transporte inteligente, sistema de monitoramento de saúde, casas inteligentes, etc. (BABU, 2015; BOTTA; DÍAZ, 2016).

IoT representa uma interligação de um grande número de objetos inteligentes com baixos recursos através da WSN (rede de sensores sem fios), que dispõe de uma grande rede de sensores e atuadores, com restrita capacidade de processamento e memória (BABU, 2015). Necessitando de recursos de segurança eficiente para garantir confiabilidade e privacidade, esses são importantes desafios para sua popularização (BABU, 2015; DÍAZ, 2016).

Hoje em dia, sistemas embarcados estão ficando cada vez mais poderosos e flexíveis, em termos de comportamento reprogramável e facilidade de uso, para avançar esta evolução neste cenário ambicioso e abrangente, é necessário adotar e usar tecnologias adequadas (BOTTA, 2016; LONGO, 2015).

Como a Internet das coisas tem capacidades limitadas de poder de processamento e de armazenamento, também as questões como desempenho, segurança, confiabilidade e privacidade, a *Fog Computing* pode ser a solução para esses problemas.

A integração da Internet das coisas com *Cloud* é necessária para prover serviços que são limitados, como armazenamento e poder de processamento. *Cloud* pode até se beneficiar com a Internet das coisas, que pode estender seus limites com as coisas do mundo real de forma mais dinâmica e distribuída e, entregar grande número de serviços em tempo real (BABU, 2015).

As características da IoT e *Cloud* de diferentes paradigmas são traçadas na tabela 1.1, *Cloud* atuará como camada intermediária entre as aplicações e as coisas para esconder todas as funcionalidades e complexidades necessárias para processar posteriormente. A tabela 1.1 mostra o desenvolvimento de aplicações futuras, onde a informação, processo de coleta e transmissão vai oferecer novos desafios a enfrentar em um ambiente de nuvem.

Desta maneira percebe-se que atualmente a Integração da *Cloud* com IoT (CloudIoT), é um grande desafio para pesquisadores, e a implementação de uma *Fog Computing* com baixo recurso, utilizando equipamentos simples e acessíveis como uma plataforma de sistema embarcado Raspberry PI, em

vez de potentes e caros servidores, pode ser uma boa alternativa para suprir as limitações da IoT, como poder de processamento, armazenamento e recursos de rede.

Tabela 1.1 - Características da IoT e Cloud

IoT	Cloud
IoT é Pervasiva (Coisas colocadas em todos os lugares)	A nuvem é ubíqua (Recursos utilizáveis de todos os lugares)
Estas são coisas do mundo real	Trata-se de recursos virtuais
Possui armazenamento limitado ou sem recursos de armazenamento	A nuvem tem recursos de armazenamento praticamente ilimitados
Este usa a Internet como ponto de convergência	Este usa a Internet para a prestação de serviços
Esta é uma grande fonte de dados	Significa gerenciar grande quantidade de dados

Fonte: Adaptado de BABU (2015)

1.3 Objetivos

O objetivo principal desta obra é propor a implementação e análise de uma *Fog Computing*, para fornecer *StaaS (Storage as a Service)*, a dispositivos IoT utilizando plataformas de sistemas embarcados.

Para atingir esse objetivo principal, foram elencados objetivos específicos, a saber:

- Identificar qual plataforma de nuvem é adequada para fornecer *StaaS (Storage as a Service)* e que seja possível sua implementação numa plataforma de sistemas embarcados como Raspberry PI e Banana PI;
- Implementar a plataforma de nuvem em dispositivos de sistemas embarcados baseados em Raspberry PI e Banana PI, obedecendo o conceito e características de uma *Fog Computing*;
- Homologar a qualidade do serviço disponibilizado, no caso *StaaS (Storage as a Service)* para dispositivos IoT, através

de técnica de avaliação ou *benchmark* específico para *StaaS (Storage as a Service)*.

- Desenvolver um sistema WEB para armazenar e simular o envio de dados dos dispositivos IoT através de *Upload* e sincronizar com a *Cloud Storage Client* em *real time*, fazendo o papel de uma *Fog Computing*.

1.4 Metodologia

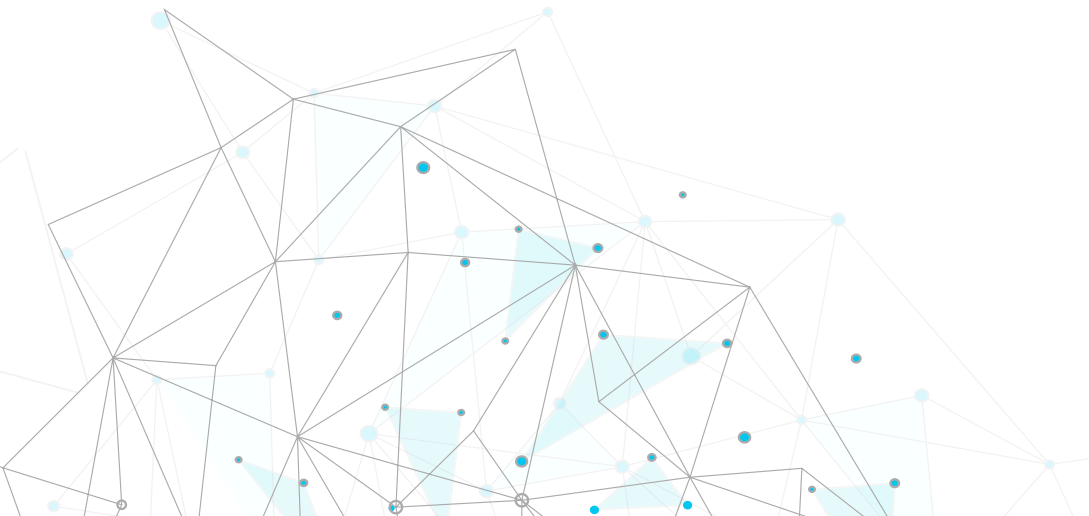
Este livro está caracterizado como uma pesquisa aplicada que contém objetivos exploratórios e descritivos, com abordagem qualitativa com caráter bibliográfico e experimental. Inicialmente foi feita uma atualização do estado da arte, um estudo aprofundado das plataformas existentes de *Cloud Computing*, para escolher a melhor opção a ser implantada para dispositivos com recursos limitados como é o caso do Raspberry PI. Após as devidas análises, foi realizada a implementação de uma *Fog Computing* usando sistemas embarcados nas plataformas de dispositivos Raspberry PI e Banana PI, seguindo o método de ANTONI (2015) e CHEN (2017), como referência. Após a instalação são realizados testes de desempenho e experimento do serviço implementado *StaaS (Storage as a Service)*, para comprovar a eficiência da implantação da *Fog Computing*, visando fornecer *StaaS (Storage as a Service)* para diversos dispositivos IoT.

1.5 Organização do texto

O texto deste livro está organizado em sete capítulos que fornecem toda a base conceitual, metodológica e empírica para o entendimento completo do estudo realizado. Os tópicos a seguir descrevem o conteúdo de cada um destes capítulos.

- O capítulo 1 apresenta as argumentações, problemática e hipóteses sobre o tema, os objetivos, as definições preliminares de literatura;

- O capítulo 2 expõe a contextualização teórica da literatura com a revisão de literatura relacionada a sistemas aplicados a Fog Computing, e a integração da Cloud Computing à IoT (Internet of Things), apresentação e comparação das plataformas de Cloud Computing, apresentação e comparação das plataformas de sistemas embarcados;
- O capítulo 3 demonstra os trabalhos correlatos com a revisão de literatura adotada (Revisão Sistemática), bem como são apresentados os resultados dessa revisão e a síntese do processo de sumarização dos trabalhos estudados;
- O capítulo 4 apresenta o método utilizado para a prototipação e coleta dos dados obtidos para análise nos dispositivos implementados, tais como: metodologia utilizada, arquitetura de simulação ou cenário de testes, dispositivos de sistemas embarcados Raspberry Pi 3, Banana Pi M3 e o servidor DELL PowerEdge T410;
- O capítulo 5 apresenta a análise e avaliação com o benchmark Smashbox para validar o desempenho do serviço de armazenamento StaaS (Storage as a Service);
- O capítulo 6 apresenta um experimento de implementação simulando um ambiente de Fog Computing, utilizando o sistema FogSys;
- Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões e considerações finais, suas contribuições, artigos publicados e trabalhos futuros.



CAPÍTULO 2

CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

A Internet tem testemunhado duas mudanças radicais na última década, o crescimento rápido da computação em nuvem e os dispositivos IoT. Motivado por estas duas tendências uma infinidade de pesquisas tem sido conduzida para suportar a computação em nuvem, que liga as nuvens e os dispositivos IoT, alavancando tanto a poderosa capacidade de computação da nuvem quanto o suporte à mobilidade de dispositivos móveis e IoT.

Grande parte dos trabalhos tem focado em como efetivamente descarregar tarefas computacionais intensivas de dispositivos com recursos limitados, para a nuvem e obter os resultados desejados (CHEN, 2017).

No entanto, devido à latência de rede frequentemente imprevisível, especialmente em um ambiente móvel, muitas vezes a computação em nuvem não pode atender aos requisitos rigorosos de latência dos aplicativos, segurança e privacidade em área restrita geograficamente (ZHU, 2013). Por outro lado, a crescente quantidade de dados gerados por dispositivos e sistemas com poucos recursos pode se tornar impraticável para transportar dados através de redes para nuvens remotas (OSANAIYE, 2017).

Para isso, surgiu um novo paradigma, a *Fog Computing*. A *Fog Computing* é a computação em nuvem que distribuirá com serviços avançados de computação, armazenamento, rede e gerenciamento mais próximos dos usuários finais, enviando informações dos dispositivos IoT para *Cloud Computing*, formando assim uma plataforma distribuída e virtualizada, assim, também é referido como computação de borda.

A *Fog Computing* oferece muitas vantagens desejadas pelas aplicações de hoje, como processamento em tempo real, rápida

escalabilidade, compartilhamento de recursos e armazenamentos locais. Como tal, a *Fog Computing* rapidamente conquistou muita atenção da indústria e da academia. É naturalmente a ponte entre a Internet das Coisas (IoT) e a computação em nuvem, com a infraestrutura de computação existente na Internet (LI, 2017).

As aplicações atuais e futuras que exigem a *Fog Computing* incluem veículos conectados, veículos de piloto automático, redes inteligentes, redes de sensores e atuadores sem fio, casas inteligentes, cidades inteligentes, sistemas conectados de petróleo e gás e sistemas móveis de saúde (CHEN, 2017).

2.1 Cloud Computing

A *Cloud Computing* é uma modalidade de computação recente, que vem se tornando popular desde meados de 2007. Essa modalidade de computação permite que o usuário acesse uma grande quantidade de informação e serviços que não estão armazenados localmente no seu dispositivo. *Cloud Computing* é considerada o próximo passo na evolução natural dos sistemas computacionais (ANTONI, 2015).

A *Cloud Computing* é uma forma de computação baseada na Internet que pode fornecer recursos de *hardware* e *software*, de acordo com as necessidades. *Cloud Computing* virtualiza a infraestrutura de computação, redes, armazenamento e outros, para formar uma grande gama de recursos compartilhados, mensurável e dinâmico, e fornece um modelo de computação para todos os tipos de usuários na forma de serviços controlados através de uma plataforma de gestão (ANTONI; BABU; HUO, 2015; BOTTA; DÍAZ, 2016; ZHANG, 2010).

Os principais modelos de serviço são: (i) SaaS - (*Software as a Service*); (ii) - PaaS (*Platform as a Service*) e (iii) - IaaS (*Infrastructure as a Service*) (ANTONI, 2015; ZHANG, 2010).

(i) SaaS - (*Software as a Service*): Refere-se ao fornecimento de aplicações sob demanda através da Internet. Exemplos de fornecedores de SaaS incluem Salesforce.com, Rackspace e SAP Business ByDesign.

(ii) PaaS (*Platform as a Service*): Refere-se ao fornecimento de recursos da camada de plataforma, incluindo suporte ao sistema operacional e de desenvolvimento de *software*. Exemplos de provedores de PaaS incluem o Google App Engine, Microsoft Windows Azure e Force.com.

(iii) IaaS (*Infrastructure as a Service*): Refere-se ao provisionamento sob demanda de recursos de infraestrutura, geralmente em termos de VMs. O proprietário da nuvem que oferece IaaS é chamado um provedor de IaaS. Exemplos de fornecedores de IaaS incluem Amazon EC2, GoGrid e Flexiscale.

Fig. 2.1 - Arquitetura da computação em nuvem

Fonte: ZHANG (2010)

De um modo geral, a arquitetura de um ambiente de computação em nuvem pode ser dividida em 4 camadas: A camada de Hardware / Datacenter; a camada da Infraestrutura; a camada de Plataforma e a camada de Aplicação, como mostrado na figura 2.1.

2.1.1 Armazenamento como Serviço (StaaS)

A computação em nuvem e, em particular, os serviços de armazenamento em nuvem tornaram-se uma parte cada vez mais importante do setor de tecnologia da informação nos últimos tempos. O número de opções de armazenamento em nuvem está aumentando, com a maioria dos fornecedores fornecendo uma quantidade variada de armazenamento livre antes de cobrar por níveis de armazenamento maiores, devido ao número crescente desses serviços disponíveis, muitos pesquisadores usaram a frase *Storage as a Service* (StaaS), como uma extensão do *Software as a Service*, para descrever esse tipo de serviço (MARTINI, 2013).

2.2 Plataformas de Computação em Nuvem

A Computação em nuvem possibilita acessar recursos computacionais (por exemplo, servidores, armazenamento, redes, serviços e aplicações) de maneira prática e sob demanda, rapidamente, e que podem ser liberados para o usuário sem qualquer envolvimento gerencial. Isso pode ser muito importante para agilizar o desenvolvimento do trabalho, reduzir custos, facilitar o emprego de recursos de alto processamento, evitar gastos com manutenção e licenças de *software*.

A dificuldade não está somente em implementar uma nuvem, mas também em escolher a ferramenta mais apropriada para o projeto de redes. Nesta obra, o escopo são as ferramentas *open source* para administração de nuvem que suportam o modelo IaaS, PaaS, SaaS e StaaS. Existem várias plataformas disponíveis para implementação a exemplo da OpenStack, OwnCloud, Eucalyptus, OpenNebula, Abicloud, Nimbus, SeaFile e NextCloud, que são comentadas em seguida.

2.2.1 OpenStack

OpenStack é uma plataforma de *Cloud Computing* que foi desenvolvida pelo provedor de hospedagem Rackspace e NASA, para ajudar os provedores de serviços de nuvem e empresa a construir serviços de infraestrutura de nuvem.

O projeto OpenStack foi pensado como um sistema operacional em nuvem, assim qualquer organização ou indivíduo pode construir seu próprio ambiente de computação em nuvem (IaaS) com base em OpenStack (HUO, 2015).

OpenStack adota concepção modular, seus módulos principais são Nova (serviço de computação), Swift (serviço de armazenamento de objetos) e Glance (serviço de imagem). O serviço de computação é uma unidade de plataforma de nuvem que fornece ferramentas de gestão para gerir a execução, redes e usuários da instância de controle.

Fig. 2.2 - Implementação da plataforma OpenStack

Fonte: HUO (2015)

O serviço de armazenamento de objetos é um sistema escalável que suporta uma variedade de aplicações, tais como

replicação de dados e arquivamento, vídeo ou imagem e outros tipos de serviços de acesso a dados em massa. E o serviço de imagem é um sistema de armazenamento de imagens, consulta e gerenciamento de máquina virtual (VM) (HUO, 2015).

Na figura 2.2, três servidores, incluindo um nó de controle, um nó de rede e um nó de computação foram implantados em um ambiente de laboratório, do qual o Swift foi implantado no nó de computação (HUO, 2015).

2.2.2 OwnCloud

OwnCloud é uma aplicação WEB escrita usando a linguagem PHP. Sua primeira versão foi lançada em 2012 com o propósito de fazer sincronização de arquivos entre vários dispositivos (ANTONI, 2015). Tal característica é útil quando se quer compartilhar arquivos com outros usuários e até mesmo fazer *backups* dos dados. As principais vantagens de se utilizar essa ferramenta são: gratuita e código fonte é *open source*, permitindo que o usuário altere o código conforme sua necessidade e possibilita a criação de uma nuvem de armazenamento privada sendo uma alternativa às nuvens públicas (PRINCY, 2015).

A plataforma é dividida em duas partes; Cliente e Servidor. (i) O Cliente é a parte responsável por decidir quando os dados devem ser enviados e fazer o *download* dos arquivos atualizados do servidor. O cliente está disponível para as versões *desktop* (Linux, Mac e Windows) e mobile (Android, BlackBerry e IOS). Ainda é possível acessar os arquivos diretamente do browser através de uma interface WEB. (ii) O Servidor é o ponto de armazenamento centralizado dos dados sendo responsável por enviar os novos arquivos para todos os clientes relacionados àquela conta de usuário. Por ser uma aplicação escrita em PHP, é necessário ter o interpretador PHP instalado no servidor. Além disso é necessário ter um gerenciador de banco de dados para armazenamento dos metadados dos arquivos e um servidor WEB onde a instância do OwnCloud estará disponível (ANTONI, 2015).

A escalabilidade do OwnCloud é um fator relevante quando se fala em computação na nuvem. Há relatos de organizações que usam o OwnCloud que chegam a atender 500 mil usuários e trabalham com vários terabytes, porém para atingir essa escalabilidade são necessárias configurações adicionais que não estão definidas na instalação padrão (ANTONI, 2015).

A figura 2.3, mostra uma visão da arquitetura do servidor OwnCloud e sua forma de comunicação com suas aplicações.

Fig. 2.3 - Arquitetura do servidor OwnCloud

Fonte: https://owncloud.com/

2.2.3 Eucalyptus

A Eucalyptus (Elastic Utility Computing Architecture), projeto conceitualmente iniciado na UCSB - Universidade da Califórnia Santa Babara (USA), especificamente como um código aberto usado para construir plataforma de nuvem privada. Atualmente passou por modificações e hoje é administrada pela companhia Eucalyptus (NWOBODO, 2015).

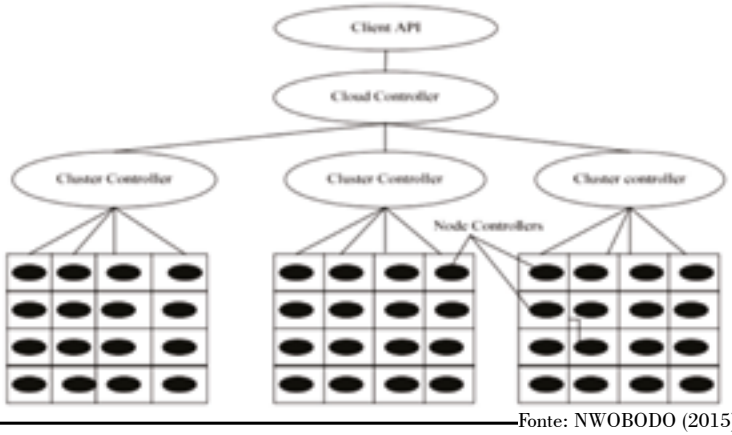
A plataforma é uma implementação de código aberto do Amazon EC2 & S3 usada para construir Cloud privada e híbrida compatível com AWS, APIs e com modificação mínima ou extensão também pode suportar outros clientes. Eucalyptus é uma plataforma projetada que atende às necessidades comerciais da nuvem EC2.

Ela consiste em um programa chamado euca2ools, um front end para usuários, semelhante ao programa EC2 (NWOBODO, 2015).

Eucalyptus é estruturado como computação Elastic que permite a conexão do programa de usuário para o sistema principal. A tecnologia é uma infraestrutura que usa estação de trabalho e clusters para implementar o elastic, utilizado na computação em nuvem e bem conhecido em nível de condição de serviço, baseado em computação padrão que permitem aos usuários melhorar sua capacidade de rede e aumentar seu poder de processamento.

A figura 2.4, mostra uma visão da arquitetura da plataforma de nuvem Eucalyptus e seus cluster de controles.

Fig. 2.4 - Arquitetura Eucalyptus



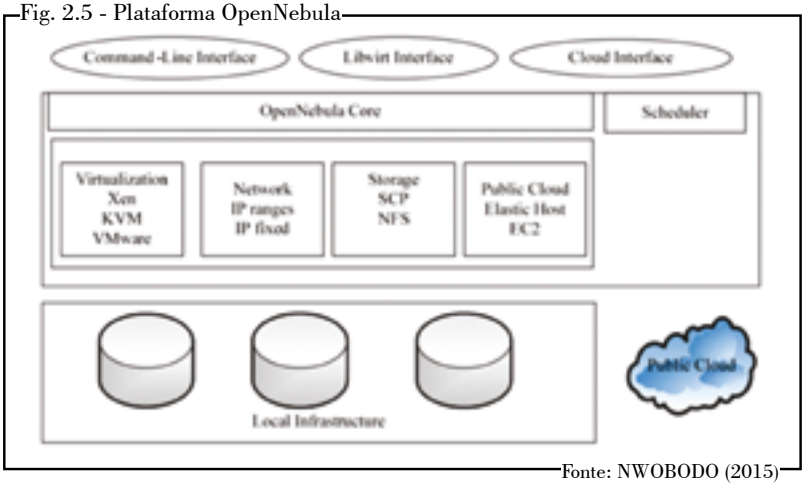
Fonte: NWOBODO (2015)

2.2.4 OpenNebula

OpenNebula é uma tecnologia de nuvem importante que evoluiu após muitos anos de pesquisa consistente, e é um projeto desenvolvido pela União Europeia para dar eficiência às máquinas virtuais, escalabilidade e gerenciamento em nível maciço de infraestrutura distribuída (NWOBODO, 2015). A OpenNebula é uma ferramenta de computação em nuvem de código aberto, especificamente projetada como modular para

permitir fácil integração com diferentes ambientes e *hypervisors*, gerenciar a heterogeneidade e a complexidade da grande infraestrutura distribuída.

Fig. 2.5 - Plataforma OpenNebula



Fonte: NWOBODO (2015)

OpenNebula é um mecanismo flexível, escalável e aberto de infraestrutura virtual, capaz de permitir a sincronização de redes, armazenamento e técnicas virtuais. Isso pode permitir aos usuários implementar dinamicamente serviços em infraestrutura distribuída com base em estratégias de *datacentes* e recursos remoto de nuvem.

Além disso, a OpenNebula facilita a evolução da nuvem, permitindo aos usuários integrar e alavancar a infraestrutura de TI existente, fornecendo uma camada de gerenciamento flexível, abrangente, aberta e extensível, capaz de orquestrar e automatizar a operação em nuvem empresarial, além da solução de implantação para armazenamento, virtualização e monitorização (NWOBODO, 2015).

A plataforma consiste em três componentes principais como mostra a figura 2.5 acima: *Core Virtual Infrastructure Manager*, *Capacity Manager e Drivers*.

2.2.5 AbiCloud

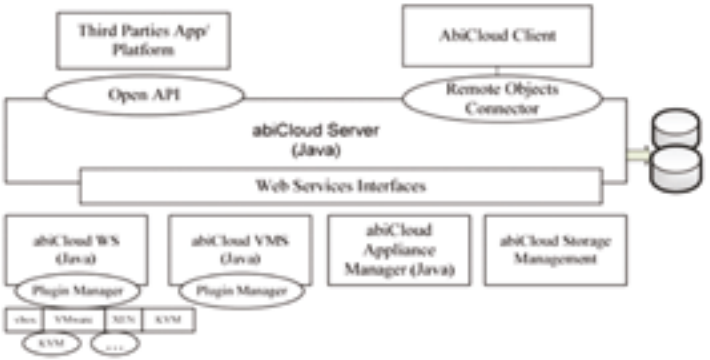
A plataforma AbiCloud de computação foi projetada e desenvolvida pela Abiquo, uma empresa de computação em nuvem estabelecida em Barcelona Espanha, especializada no desenvolvimento de plataforma de nuvem. NWOBODO *et al*. (2015), afirmam que a inovação computacional da AbiCloud pode ser usada para construir, gerenciar e integrar um ambiente homogêneo, numa infraestrutura privada e pública virtualizada em nuvem.

Além disso, a plataforma pode permitir fácil escalonamento automático de usuários, orquestração e a implantação de vários utilitários em nuvem, incluindo o gerenciamento de sistemas de armazenamento, servidores, dispositivos virtuais, redes e aplicativos. Esta tem a potencialidade de realizar serviços de IaaS em um curto período de tempo, e alavancar mais essa capacidade na prestação de serviços de hospedagem gerenciada ou autoatendimento IaaS via interface simplificada ou a combinação de ambos (NWOBODO, 2015).

AbiCloud tem interface de gerenciamento baseada na WEB, constitui uma classificação excepcional em comparação com outras plataformas de nuvem, principalmente concebida para implementar serviços usando processo de linha de comando. Os usuários têm a capacidade de implementar novos serviços, como máquinas virtuais (VM), por "drag and drop" (arrastar e soltar), nomenclatura utilizada nas interfaces gráficas de computadores, é a ação de clicar em um objeto virtual e "arrastá-lo" a uma posição diferente ou sobre um outro objeto virtual. Assim que a implantação for concluída, os usuários podem usar a API RESTful, bem como outra integração para conectar todos os seus serviços, tais como: sistema de faturamento, CMDB, portal de cliente, sistema de backup, sistema de OSS ou BSS.

A figura 2.6, mostra uma visão da arquitetura da plataforma de nuvem AbiCloud e a interligação entre os seus componentes.

Fig. 2.6 - Plataforma AbiCloud



Fonte: NWOBODO (2015)

2.2.6 Nimbus

A plataforma de nuvem Nimbus é uma ferramenta integrada aberta, usada para fornecer infraestrutura como serviço para uma solução de computação em nuvem, desenvolvida pela Universidade da Flórida e Chicago (NWOBODO, 2015). A plataforma Nimbus foi especificamente projetada com base no interesse da comunidade científica, como agendadores de lote, credenciais de proxy e alocação de melhores esforços, etc.

Embora tenha recentemente incentivado aplicações e dados não científicos, ela permite que os usuários forneçam e construam vários recursos de computação remota sob demanda através da implantação de máquinas virtuais, Nimbus permite a combinação da Amazon, OpenStack e várias outras nuvens (NWOBODO, 2015).

A nuvem Nimbus parece ser mais complicada do que muitas plataformas de nuvens, pelo motivo de que é necessário inserir funcionalidade usando linhas de comandos para poder obter resultado, fazendo Nimbus parecer complexa. No entanto, o

software é particularmente único com base em maior nível de flexibilidade, uma vez que suporta quase todos os hypervisores.

A possibilidade de um *backup* consistente e regular da carga de trabalho da plataforma, ajuda a evitar problemas de perda de dados em caso de mau funcionamento. A Nimbus é fornecida sob licença da versão 2 do Apache, como a OpenNebula, a plataforma Nimbus suporta as tecnologias de virtualização XEN e KVM, exceto VMware (NWOBODO, 2015).

A figura 2.7, mostra uma visão da arquitetura da plataforma de nuvem Nimbus e seus principais componentes de APIs.

Fig. 2.7 - Plataforma de nuvem Nimbus

Fonte: NWOBODO (2015)

2.2.7 Seafile

O Seafile é um sistema de armazenamento em nuvem de código aberto com criptografia de arquivos e compartilhamento de grupo. Coleções de arquivos são chamadas de bibliotecas, e cada biblioteca pode ser sincronizada separadamente. Uma biblioteca pode ser criptografada com uma senha escolhida pelo usuário. Esta senha não está armazenada no servidor, portanto, mesmo o administrador do servidor não pode visualizar os conteúdos de um arquivo.

O Seafile permite aos usuários criar grupos com sincronização de arquivos, um wiki e discussões para permitir uma colaboração fácil em torno de documentos dentro de uma equipe.

O servidor Seafile consiste nos seguintes componentes:

Seahub (django)

O *frontend* da WEB. O pacote do servidor Seafile contém um leve servidor gunicorn de HTTP em Python, que serve como servidor de website. Por padrão, o Seahub é executado como um aplicativo dentro do gunicorn. Também pode configurar o Seahub para executar no modo *fast-cgi*, através do servidor Nginx ou do Apache. Isso é recomendado para configurações de produção.

Servidor Seafile (seaf-server)

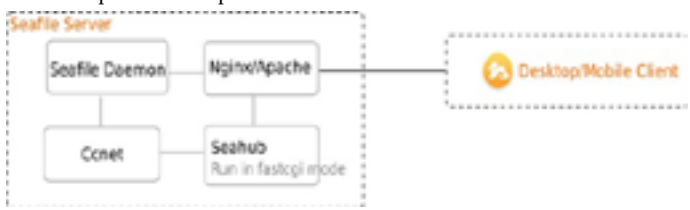
Responsável pelo serviço de dados, lida com carregamento de arquivos, *download* e sincronização. O servidor Seafile por padrão escuta na porta 8082. Podendo configurar o servidor Nginx ou Apache para tráfego de *proxy* para a porta local 8082.

Servidor Ccnet (ccnet-server)

Responsável pelo serviço RPC para permitir a comunicação entre vários componentes. O Ccnet é usado apenas para comunicação interna.

A figura 2.8, mostra como os clientes do Seafile acessam arquivos quando configurado o Seafile através do servidor Nginx ou Apache.

Fig. 2.8 - Componentes da plataforma de nuvem Seafile



Fonte: https://manual.seafile.com

2.2.8 NextCloud

NextCloud é um conjunto de *software* cliente-servidor para fornecer serviços de armazenamento de arquivos em nuvem. É funcionalmente semelhante ao Dropbox, embora o NextCloud seja gratuito e de código aberto, permitindo que qualquer um instale e opere em um servidor privado. Em contraste com os serviços proprietários, como o Dropbox, a arquitetura aberta permite adicionar funcionalidades ao servidor na forma de aplicativos. NextCloud é uma customização da conhecida plataforma de nuvem de armazenamento OwnCloud.

É uma solução flexível de armazenamento, sincronização e compartilhamento de arquivos, sendo todos os sistemas de códigos abertos. É composto pelo servidor NextCloud, que é executado em sistema operacional Linux, aplicativos de clientes para Microsoft Windows, Mac OS X e Linux, e clientes móveis para sistemas operacionais Android e Apple iOS.

O servidor Nextcloud está disponível:

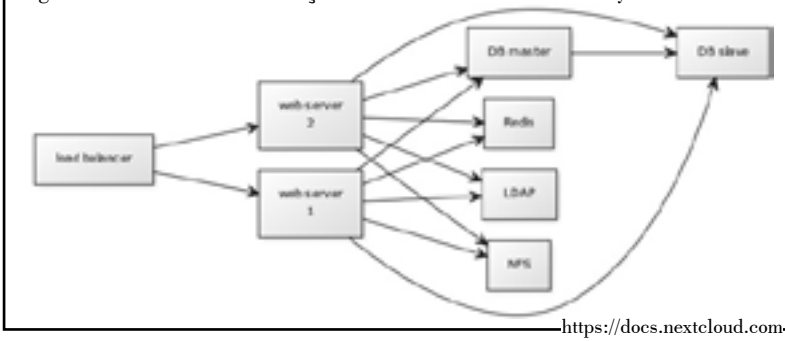
- Como um servidor gratuito, com todas as funcionalidades disponível para comunidade, com todos os recursos corporativos.

- Ou com suporte empresarial completo, incluindo acesso de telefone e e-mail aos desenvolvedores do NextCloud. Sendo essa opção não gratuita.

As distribuições dos sistemas operacionais que oferecem uma maneira mais segura de instalar os vários componentes são as versões atualizadas do Linux. É recomendado o *Red Hat Enterprise* Linux 7 ou o Ubuntu 16.04, pois ambos têm suportes comerciais que podem ser adquiridos. Debian e Ubuntu são gratuitos, e incluem pacotes de *software* mais recentes. O CentOS é o clone do Red Hat Enterprise Linux, com suporte para a comunidade.

A figura 2.9, mostra uma implementação da plataforma NextCloud.

Fig. 2.9 - NextCloud autenticação via LDAP ou Active Directory



https://docs.nextcloud.com

2.3 Comparando as Plataformas de Nuvens

Tabela 2.1 - Plataformas de nuvens

	Eucalyptus	OPenNebula	AbiCloud	Nimbus
Cloud type	Public	Private	Public/private	Private
Scalability	Scalable	Dynamical, scalable	Scalable	Dynamical, scalable
Cloud form	IaaS	IaaS	IaaS	IaaS
Compatibility	Support EC2, S3	Open, multi- platform	Not supported EC2	Support EC2
Deployment	Dynamical deployment	Dynamical deployment	Pack and redeploy	Dynamical deployment
Deployment manner	Commandline	Commandline	Web interface drag	Commandline
Transplant ability	Common	Common	Easy	Common
Hypervisors support	VMware, Xen, KVM	Xen, VMware, KVM	Virtualbox, Xen,VMware,KVM	Xen, KVM
Web interface	Web service	Libvirt,EC2, OCCI,API	Libvirt	EC2 WSDL WSRF
Structure	Module	Module	Open platform, encapsulate core	Lightweight components
Reliability	--	Rollback host and VM	--	---
OS support	Linux	Linux	Linux	Linux
Development language	java	java	Ruby, C++, python	Java, python
Security	Public/Private key authentication	Authen,password, RSA, SSH, LDAP,	Code Access System(CAS)	PKI
VM build	unavailable	unavailable	Drag & drop	unavailable
OS Licence	BSD Licence	Apache version 2 licence	Common Public Attribution Licence	Apache version 2 licence

Fonte: NWOBODO (2015)

NWOBODO et al. (2015), os autores apresentam uma comparação de quatro das plataformas aqui apresentadas (Eucalyptus, AbiCloud, OpenNebula e Nimbus), porém não constam as plataformas (OpenStack, OwnCloud, Seafile e NexCloud), nem a comparação de características importantes para essa pesquisa como da memória mínima requerida para sua implementação, o quadro 2.1 apresenta essa comparação.

Atualmente existe uma grande quantidade de plataformas de computação em nuvem com diferentes implementações, características e vantagens, a fim de ter uma melhor compreensão, o quadro 2.1 apresenta uma comparação das plataformas aqui apresentadas (Eucalyptus, OpenNebula, AbiCloud, Nimbus, OpenStack, OwnCloud, Seafile e NextCloud). Sendo que cinco plataformas oferecem IaaS (Infraestrutura como Serviço) e três StaaS (*Storage as a Service*), que são as três últimas mencionadas, existem outras plataformas que fornecem StaaS, é o caso das plataformas Resilio, Syncany, Syncthing, Sparkleshare, Pydio e Cozy, porém este trabalho fará uma comparação das plataformas antes mencionadas. E alguns parâmetros utilizados na análise incluem, tipo de plataforma, suporte a hypervisores, serviço disponibilizado, SO suportado, linguagem de desenvolvimento e memória requerida.

De acordo com o quadro 2.1, embora a maioria das plataformas sejam diferentes na implementação de suporte a *hypervisores*, exceto as OwnCloud, Seafile e NextCloud que não suportam, todas executam sobre o sistema operacional Linux, observa-se que todas têm suporte a IaaS (Infraestrutura como Serviço), exceto as OwnCloud, Seafile e NextCloud que suportam StaaS (*Storage as a Service*). Observa-se também que as plataformas foram desenvolvidas usando-se de linguagens diferentes (Python, PHP, Java, Ruby e C++).

Porém, o mais importante para ser analisado no quadro 2.1 é a característica referente ao mínimo requerido de memória RAM para instalação de cada plataforma. Pelo motivo da proposta desta obra ser a implementação de uma plataforma de nuvem em plataforma de sistemas embarcados como o Raspberry PI, percebe-

se que as melhores opções das plataformas aqui apresentadas para sua implementação são, sem dúvida, as OwnCloud, Seafile e NextCloud, pelo fato de requerer a menor quantidade de memória RAM 512 MB, já que o Raspberry PI só tem disponível 1 GB de RAM e todas as outras plataformas superam essa capacidade. Neste trabalho foi decidido implementar e testar uma dessas plataformas, a OwnCloud, pelo motivo do sistema de *benchmark Smashbox* suportar essa plataforma e ser uma das mais utilizadas no meio científico.

Quadro 2.1 - Comparação das plataformas cloud

	Tipo da Nuvem	Hypervisor Suportado	Serviço Nuvem	SO Suportado	Linguagem Desenvolvida	Memória Requerida
OpenStack	Pública e Privada	VMware, KVM, Xen e Hyper-V	IaaS	Linux	Python	8 GB e 4 GB RAM
Eucalyptus	Pública	VMware, Xen e KVM	IaaS	Linux	Java	4 GB RAM
AbiCloud	Pública e Privada	VirtualBox, Xen,VMware e KVM	IaaS	Linux	Ruby, C++ e Python	2 GB RAM
OpenNebula	Privada	VMware, Xen e KVM	IaaS	Linux	Java	2 GB RAM
Nimbus	Privada	Xen e KVM	IaaS	Linux	Java e Python	2 GB RAM
OwnCloud	Privada	___	StaaS	Linux	PHP	512 MB RAM
Seafile	Privada	___	StaaS	Linux	Python	512 MB RAM
NextCloud	Privada	___	StaaS	Linux	PHP	512 MB RAM

Fonte: Própria do autor (2017)

2.4 Fog Computing

A Internet das Coisas (IoT) só resume a uma tecnologia de ponta para perceber o mundo real ao nosso redor, através das redes de computadores, e iniciou uma transição proeminente na forma de como a comunicação e as interações do nosso mundo podem acontecer (ALRAWAIS, 2017). A forte necessidade de remediar as crescentes preocupações com relação ao enorme fluxo de dados em tempo real e a utilização dos limites de largura

de banda disponível, levou ao nascimento da *Fog Computing*, que intensa, mas não exclusivamente, opera ao longo da borda da rede (AL-DOGHMAN, 2016).

2.4.1 Conceito da Fog Computing

O conceito da *Fog Computing* foi adotado pela Cisco Systems como um novo paradigma em 2012 (HAJIBABA, 2014). A *Fog Computing* é um paradigma inovador que realiza computação distribuída, serviços de rede e armazenamento, além da comunicação entre os *Data Centers* da *Cloud Computing* até os dispositivos ao longo da borda da rede (OSANAIYE; MACHADO, 2017). Essa comunicação amplia as operações e serviços inerentes à computação em nuvem, permitindo assim uma nova geração de aplicativos. A principal função é filtrar e agregar dados para os centros de dados da *Cloud* e aplicar inteligência lógica a dispositivos finais.

2.4.2 Características da Fog Computing

A Fog Computing é semelhante à computação em nuvem em muitos aspectos, no entanto, pode ser diferenciado do anterior pelo fato de estar próximo dos dispositivos finais, a distribuição espacial geograficamente menor e a possibilidade de apoio à mobilidade (CHIANG, 2017).

Como o processamento baseado em *Fog* ocorre ao longo da borda da rede, os resultados finais refletem uma percepção de localização altamente melhorada, baixa latência e Qualidade de Serviço (QoS), em aplicações de *streaming* e tempo real, os nós de nevoeiro são dispositivos heterogêneos, que vão desde servidores, pontos de acesso, roteadores de borda até dispositivos finais como telefones celulares, relógios inteligentes, sensores e etc. (MACHADO, 2017).

As principais características da *Fog Computing* são:

Heterogeneidade

A *Fog Computing* é uma plataforma virtualizada que oferece serviços computacionais, de rede e de armazenamento entre a computação em nuvem e dispositivos finais de diferentes tipos e formas.

Distribuição geográfica

A *Fog Computing* possui uma implementação amplamente distribuída para oferecer serviços de alta qualidade para dispositivos finais móveis e fixos.

Localização de borda, percepção de localização e baixa latência

O conceito da *Fog Computing* foi implementado para suprir a falta de suporte para pontos finais, com serviços de qualidade à beira da rede.

Interação em tempo real

Várias aplicações de *Fog*, como sistemas de monitoramento de tráfego, exigem processamento em tempo real em vez de processamento em lote.

Suporte à mobilidade

O suporte à mobilidade é essencial para muitos aplicativos de *Fog Computing*, para permitir a comunicação direta com dispositivos móveis usando protocolos como o protocolo de separação de localização / ID da Cisco, que desacopla a identidade do host da identidade de localização usando um sistema de diretório distribuído.

Prevalente para acesso sem fio

A maioria dos pontos de acesso sem fio e o *gateway* de dispositivos móveis são exemplos típicos de um nó de *Fog* na rede.

Grande escala de redes de sensores

Isso é aplicável ao monitorar o ambiente ou em rede inteligente, usando sistemas inerentemente distribuídos que requerem computação distribuída ou recursos de armazenamento.

Interoperabilidade

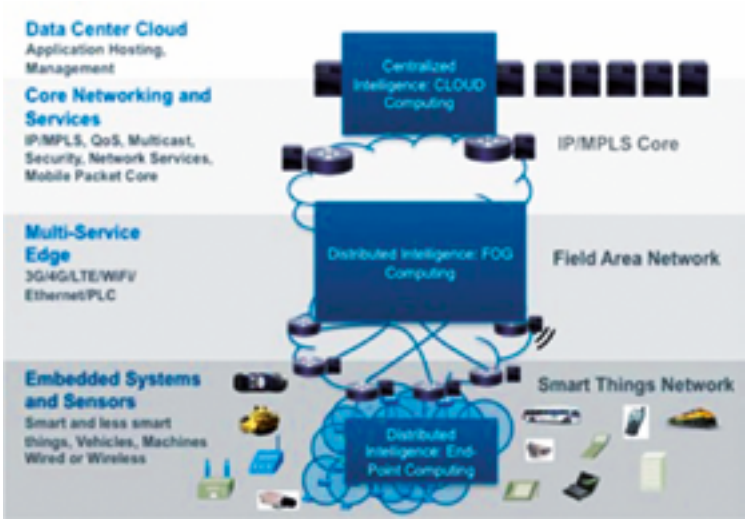
Os componentes de *Fog* devem ser capazes de interoperar para garantir suporte para ampla gama de serviços, como transmissão de dados.

A Internet das Coisas (IoT) são os dispositivos inteligentes conectados que tiveram um crescimento exponencial em termos de tecnologias, participação no mercado e aprovação dos consumidores, pavimentando o caminho para a evolução dos princípios da *Fog Computing*, melhorando gradualmente oportunidades produtivas em domínios como redes de veículos e o *Smart Grid*, as vantagens deste procedimento de computação para serviços em vários domínios são necessários e devem ser investigados (MACHADO, 2017).

Fog Computing permite maior suporte e melhor tempo de resposta à Internet das Coisas, é adequada para solicitações de serviço em tempo real, e para compartilhar recursos de forma eficiente, uma eficiente e cooperativa utilidade baseada em estratégia de emparelhamento é necessária entre os nós do IoT (STEINER, 2016).

A figura 2.10 apresenta arquitetura da Fog Computing com a sua localização.

Fig. 2.10 - Arquitetura da Fog Computing



Fonte: ZHU (2013)

2.4.3 Áreas de Aplicação e Atuação da Fog Computing

A *Fog* funciona como um *link* entre IoT e a Nuvem para introduzir as funcionalidades extras necessárias para o processamento específico da aplicação, como filtragem e agregação. Antes de transferir os dados para a Nuvem, deve ser capaz de decidir o que deve ser enviado (o conteúdo), como (formato de dados) e quando enviar (tempo). Durante esse processo, ela também precisa excluir alguns dados redundantes ou inválidos, e agregar os dados complementares no espaço e no tempo dimensionado (AL-DOGHMAN, 2016).

Diferentes aplicações de *Fog Computing* foram sugeridas na literatura. Segundo OSANAIYE et al. (2017), as categorias das aplicações de *Fog Computing* são divididas em 3:

(i) Aplicações em tempo real; (ii) Aplicações quase em tempo real; (iii) Aplicações introduzidas em redes.

(i) As aplicações em tempo real são aplicações de baixa latência, que funcionam dentro de um período de tempo pré-definido, sendo classificada pelo usuário como imediata ou urgente.

(ii) Quase em tempo real, por outro lado, são aplicações que estão sujeitas a atraso de tempo introduzido pelo processamento de dados ou transmissão de rede, entre o momento em que ocorre um evento e o uso dos dados para processamento.

(iii) A *Fog Computing* também pode ser introduzida em uma rede (para aplicativos que não necessite de processamento e transmissão em tempo real), para reduzir a quantidade de tráfego no núcleo de processamento.

Vamos apresentar algumas áreas de aplicação e atuação da Fog Computing, disponibilizada na literatura e que poderá ser beneficiada com a sua implementação.

a) Vídeo streaming

A transmissão de aplicativos e serviços de vídeo aproveitará alguns dos principais benefícios da Fog Computing, que incluem conhecimento de localização, baixa latência, suporte para mobilidade e análises em tempo real. Vários dispositivos inteligentes suportam uma aplicação de vigilância inteligente, que pode ser usada por agentes da lei para exibir fluxos de eventos em vídeos de suspeitos em tempo real.

b) Jogos

O advento da computação em nuvem forneceu uma plataforma para jogos de computador sem usuários (jogadores) preocupados com os requisitos de hardware. Os provedores de jogos em nuvem nos últimos tempos têm expandido rapidamente a infraestrutura da nuvem, para fornecer o serviço de jogo sob demanda (GoD) aos usuários através da Internet. É oferecido remotamente, permitindo um jogo interativo que pode ser acessado e decodificado por dispositivos finais, como smartphones ou tablets.

c) Cuidados de saúde

As aplicações IoT forneceram uma abordagem estruturada para melhorar nossos serviços de saúde. Isso é conseguido através da implantação de sistemas de monitoramento onipresentes e transmissão dos dados para dispositivos de Fog em tempo real, antes de enviar a informação para a nuvem para posterior análise e diagnóstico.

d) Sistema inteligente de semáforo (STLS)

O semáforo inteligente foi idealizado por veículos inteligentes conectados e sistema de transporte avançado. Ele interage localmente com uma série de nós sensores para detectar a presença de ciclistas, motociclistas ou pedestres e também estima a velocidade e a distância dos veículos que se aproximam. Esta informação pode ser usada para prevenir acidentes ao enviar sinais de aviso prévio aos veículos que se aproximam.

e) Cidades inteligentes

Uma cidade inteligente é a chave essencial para aplicação IoT, que varia desde o gerenciamento inteligente de tráfego, até o gerenciamento de energia de edifícios. O conceito de cidade inteligente atraiu o grande interesse dos setores de ciência da engenharia, da comunidade científica e de profissionais da área, como um meio para superar os desafios associados ao rápido crescimento urbano.

f) Veículos inteligentes

O advento da computação em nuvem móvel exigi o estudo de seus agentes, como veículos, robôs e seres humanos, que interagem juntos para detectar o meio ambiente, processar os dados e transmitir os resultados. Veículo conectado através da Fog Computing poderá se comunicar com seu ambiente interno e externo.

g) Smart Grid

Os aplicativos de balanceamento de carga de energia podem ser executados em dispositivos de borda de rede, como medidores inteligentes e micro grades. Com base na demanda de energia, na disponibilidade e no preço mais baixo, esses dispositivos alternam automaticamente para energias alternativas, como a energia solar e o vento.

h) Redes de sensores e atuadores sem fio

As redes de sensores sem fio tradicionais são insuficientes em aplicações que vão além de detecção e rastreamento, que exigem que os atuadores exerçam ações físicas como abrir, fechar ou mesmo movimento de sensores. Nesse cenário, os atuadores que atuam como dispositivos de Fog podem controlar o próprio processo de medição, a estabilidade e os comportamentos oscilatórios criando um sistema de circuito fechado.

i) Controle de construção inteligente

As aplicações deste cenário são facilitadas por sensores sem fio implantados para medir temperatura, umidade ou níveis de vários gases na atmosfera de construção. Neste caso, as informações podem ser trocadas entre todos os sensores em um piso, e suas leituras podem ser combinadas para formar medições confiáveis. Os sensores irão usar a tomada de decisão e a ativação de dispositivos de Fog para reagir com as informações dos dados recebido.

j) IoT e sistemas ciberfísicos (CPSs)

Os sistemas baseados em Fog Computing estão se tornando uma classe importante de IoT e CPSs. Com base nas operadoras de informação tradicionais, incluindo Internet e rede de telecomunicações, a IoT é uma rede que pode interconectar objetos físicos comuns com endereços identificados. Os CPSs apresentam uma combinação dos elementos computacionais e físicos do sistema.

k) Redes Definidas por Software (SDN)

A estrutura da Fog Computing pode ser aplicada para implementar o conceito SDN para redes de veículos. SDN é um paradigma emergente de computação em rede e tornou-se um dos tópicos mais populares na indústria de TI. Ela separa as camadas de controle e comunicação de dados. O controle é realizado em um servidor centralizado e os nós seguem o caminho de comunicação decidido pelo servidor.

l) Trem autossustentável

Automanutenção de trens é uma importante área de aplicação. As variações de temperatura podem ser detectadas pelo sensor de monitoramento de rolamento de esferas no trem e podem notificar automaticamente qualquer tipo de transtorno. Isso ajudará na prevenção de desastres.

Devido à sua recente introdução e emergência, não há nenhuma arquitetura padrão disponível em relação ao gerenciamento de recursos baseado em Fog, e por esse motivo ainda existe um modelo simples para esse propósito, considerando a previsão de recursos, a alocação de recursos e os custos de forma realista e dinâmica, considerando também o tipo, e características dos clientes, este modelo é adaptável às exigências de diferentes clientes. A tabela 2.2 mostra a comparação de resultados entre a Cloud e a Fog.

Tabela 2.2 - Comparação de resultados entre a Cloud e a Fog

Aspectos Investigados	Cloud Tradicional	Fog Computing
Previsão de latência	5 segundos	1,5 segundos
Latência de exibição de página da WEB	8 segundos	3 segundos
Tráfego de internet	75 Kbps	10 Kbps
Hardware usado	Amazon WEB Server	Sistemas embarcados, a exemplo do Raspberry PI

Fonte: AL-DOGHMAN (2016)

Nesta tabela 2.2 observa-se em que todos os aspectos analisados tiveram melhores resultados no uso da *Fog Computing* em relação a *Cloud Computing*, isso demostra sua eficiência entre a comunicação da *Cloud* e à IoT.

2.5 Plataformas para Sistemas Embarcados

Tabela 2.3 - Comparação entre as plataformas embarcadas

PLACA	CPU	GPU	MEMÓRIA	COMUNICAÇÃO	SO	CUSTO
Raspberry PI Zero	1 Core 1GHz	250Mhz	512MB DDR2	1 USB	Linux	US$ 5
Raspberry PI 2 B	4 Cores 0.9GHz	250Mhz	1GB DDR2	4 USB Ethernet	Linux	US$ 35
Raspberry PI 3 B	4 Cores 1.2GHz	400Mhz	1GB DDR2	4 USB / Wireless Bluetooth / Ethernet	Linux Windows	US$ 35
Banana PI M2	4 Cores 1GHz	355Mhz	1GB DDR3	5 USB / Wireless Ethernet	Linux Android	US$ 46
Banana PI M3	8 Cores 1.8GHz	700Mhz	2GB DDR3	3 USB / Wireless Bluetooth / Ethernet	Linux Android	US$ 74
Orange PI One	4 Cores 1.5GHz	600Mhz	512MB DDR3	2 USB Ethernet	Linux Android	US$ 10
Orange PI PC	4 Cores 1.5GHz	600Mhz	1GB DDR3	4 USB Ethernet	Linux Android	US$ 15
Orange PI Plus	4 Cores 1.5GHz	600Mhz	1GB DDR3	5 USB / Wireless Ethernet	Linux Android	US$ 39
Orange PI Plus 2	4 Cores 1.5GHz	600Mhz	2GB DDR3	5 USB / Wireless Ethernet	Linux Android	US$ 45
Odroid C1+	4 Cores 1.5GHz	600Mhz	1GB DDR3	5 USB Ethernet	Android	US$ 32
Odroid C2	4 Cores 2GHz	700Mhz	2GB DDR3	5 USB Ethernet	Android	US$ 40
Odroid XU4	8 Cores 2.1GHz	600Mhz	2GB DDR3	3 USB Ethernet	Linux Android	US$ 74

Fonte: http://www.sistemasembarcados.org (adaptado)

Um sistema embarcado é um sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla. Diferentemente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas,

geralmente com requisitos específicos. Já que o sistema é dedicado a tarefas específicas, através de engenharia pode-se otimizar o projeto reduzindo tamanho, recursos computacionais e custo do produto.

Em geral tais sistemas não podem ter sua funcionalidade alterada durante o uso. Caso queira-se modificar o propósito é necessário reprogramar todo o sistema. A tabela 2.3 apresenta as características de quatro das principais plataformas de dispositivos para sistemas embarcados e seus respectivos modelos.

Existem disponíveis no mercado muitas plataformas para sistemas embarcados com diferentes características, como poder de processamento, capacidade de memória e meios de comunicação, porém vamos analisar quatro dessas principais plataformas e os seus diferentes modelos, são elas: Rasperry Pi, Banana Pi, Orange Pi e Odroid.

Para selecionar a plataforma de dispositivo embarcado a ser utilizada em nosso trabalho, definimos cinco critérios para a seleção, que pudesse atender o objetivo final que é, propor a implementação e análise de uma Fog Computing, para fornecer StaaS (Storage as a Service), a dispositivos IoT utilizando plataforma de sistema embarcado, são eles:

1. Processamento

Possuir os requisitos mínimos para permitir a instalação das plataformas de nuvem selecionada para fornecer o serviço StaaS (Storage as a Service), que no caso foi a OwnCloud.

2. Memória

Ter no mínimo 1GB de memória RAM, já que a plataforma de nuvem OwnCloud necessita de 512MB para sua instalação.

3. Comunicação

Possuir o máximo de conexões disponíveis, principalmente por WSN (rede de sensores sem fio), pelo fato de que uma Fog Computing poderá se comunicar com diversos dispositivos IoT heterogêneos.

4. Sistema Operacional

Deverá ter sido homologado o uso do sistema operacional Linux pelo fabricante, já que a plataforma OwnCloud server só funcionam com esse determinado sistema operacional.

5. Custo

Possuir um bom custo benefício, permitir oferecer o serviço StaaS (Storage as a Service) de modo satisfatório, com um custo baixo ao final do projeto.

Conforme mostrado na tabela 2.3 no primeiro critério todas as plataformas atendem a esse requisito, no segundo critério duas plataformas não atendem o requisito, a Raspberry Pi Zero e Orange Pi One, já no terceiro critério só duas plataformas atendem esse requisito, Raspberry Pi B e a Banana Pi M3, com mais possibilidades de comunicação USB, Wireless, Bluetooth e Ethernet, no quarto critério só duas plataformas não atenderam a esse requisito, a Odroid C1+ e a Odroid C2, no quinto critério todas as plataformas atenderam a esse requisito, por custarem um valor relativamente baixo. Sendo assim, escolhemos para utilização as plataformas de sistemas embarcados Raspberry PI modelo B e Banana PI modelo M3, por atenderem todos os critérios pré-definidos anteriormente.

2.6 Considerações Finais do Capítulo

Com o objetivo de proporcionar uma análise da contextualização teórica, foi feito um estudo em alguns *reviews* relacionados ao tema. Esses temas foram uma análise sobre a *Cloud Computing* e seus serviços, as plataformas da computação em nuvem, uma comparação entre elas, foram abordados o conceito e a necessidade da *Fog Computing*, apresentamos uma comparação entre as plataformas de dispositivos para sistemas embarcados.

Observamos que a IoT (Internet das Coisas) necessita de muitos serviços para ser uma realidade, por ter recurso de processamento e armazenamento muito restrito, a sua interconexão com a *Cloud Computing* é um fator relevante e de elevada atenção para pesquisadores do mundo inteiro. As questões de latência, big data, armazenamento e poder de processamento próximo dos dispositivos de borda, fez com que surgisse a *Fog Computing*. A *Fog Computing* é a interligação entre os dispositivos IoT e a *Cloud Computing*, e pode levar poder de processamento e armazenamento aos dispositivos IoT, sendo possível o surgimento de novas tecnologias e aplicações para poder reduzir essas deficiências encontradas hoje.

No quadro 2.1 vimos que as plataformas *OwnCloud* pode ser usada para fornecer StaaS (*Storage as a Service*), podendo ser uma boa alternativa para diminuir o problema de armazenamento de dados, que atinge hoje os dispositivos IoT, servindo como *Fog Computing* para armazenar dados desses dispositivos e enviar à *Cloud Computing*, com segurança e eficiência no transporte dos dados entre as redes. Utilizando sistemas embarcados em plataforma de dispositivo de baixo custo, em vez de usar potentes e caros servidores para exercer essa função.

CAPÍTULO 3

TRABALHOS CORRELATOS

Nos últimos anos, a Internet mudou dramaticamente, tornou-se muito mais poderosa, a computação em nuvem é uma das causas. A computação em nuvem utiliza a tecnologia de virtualização, os provedores permitem que os usuários aluguem recursos de computação com um modelo "pague e use" para executar suas tarefas na nuvem.

A computação em nuvem tem sido objeto de muitas pesquisas se tornando muito popular nos últimos anos. Por outro lado, cada vez mais dispositivos são capazes de se conectar à Internet, e esses dispositivos conectados não só podem solicitar recursos da Internet, mas também enviar os dados para um destino desejado.

O termo "Internet das Coisas" (IoT) também é recente e hoje é uma área de pesquisa muito popular. O relatório de pesquisa mostra que mais de 30 bilhões de dispositivos IoT (Internet das Coisas) se conectarão através da rede sem fio (FAN, 2016). Mesmo que os dispositivos tenham capacidade de computação limitada, a computação em nuvem tem poder de fornecer computação em massa que pode ser utilizado facilmente.

Os dispositivos de IoT se tornaram mais poderosos, enquanto mais e mais dispositivos facilmente podem acessar a Internet, que se torna congestionada, por exemplo, um dispositivo tem de enviar a sua solicitação para uma nuvem dedicada e aguardar a sua resposta para efetuar a ação seguinte, podendo ocasionar uma latência muito alta.

A *Fog Computing* pode ser a chave para a solução. A *Fog Computing* utiliza os dispositivos de borda e oferece mais possibilidades de conexão e processamento, com dispositivos de rede que fornece o ponto de entrada para as redes principais. Os dispositivos de borda na rede *Fog Computing* são atualizados

adicionando assim mais capacidade de computação e armazenamento à IoT.

Com a capacidade na borda da rede, algumas das funções do servidor podem ser descentralizadas para esses dispositivos, por exemplo, um dispositivo de borda pode coletar todos os dados de sensores dentro de uma rede e enviá-los periodicamente como um lote, para reduzir a carga na largura de banda e a carga de processamento do servidor (MACHADO, 2017).

Nesse sentido, com a finalidade de sintetizar os estudos realizados na temática da implementação de uma *Fog Computing*, para fornecer serviço de armazenamento a dispositivos IoT, utilizando plataforma embarcada como Raspberry PI, e, ao mesmo tempo, verificar quais métodos ou técnicas estão presentes nessas metodologias, neste capítulo apresenta-se uma Revisão Sistemática, o estudo e análise sobre a literatura existente deste novo paradigma que é a Fog Computing.

3.1 Revisão Sistemática

Para alcançar um grau de rigor científico, procurou-se assegurar o processo de investigação a partir das concepções sobre Revisão Sistemática (RS) conforme descreve-se a seguir.

A revisão sistemática de literatura, identifica, avalia e interpreta todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão específica, área temática, ou fenômeno de interesse (KITCHENHAM, 2004).

A importância do estabelecimento de um processo de revisão sistemática se concretiza ao observar a definição de fases, quais sejam: a) Planejamento da revisão; b) Procedimentos de condução e extração da RS e, ao final, c) Procedimentos de elaboração de relatórios da RS.

Dessa forma, os resultados são mais confiáveis em relação à revisão de literatura primária, em virtude de sua forma rigorosa e que dá possibilidade de repetições e auditagem.

Assim, a RS teve o seu foco na caracterização dos processos

de desenvolvimento de solução para implementação de *Fog Computing*, que utilizassem plataforma embarcada como o Raspberry PI, e que fizessem uso de *Benchmark* para avaliar o serviço disponibilizado.

Durante a fase de planejamento da RS define-se primeiramente um protocolo, no qual constam o problema de pesquisa, de forma a delimitar a natureza essencial e a eficiência de determinadas práticas ou métodos no domínio em pauta, bem como aspectos como fontes de pesquisa, *Strings* de busca utilizadas (sequência ou combinação de palavras-chaves para a pesquisa), critérios de inclusão e exclusão de trabalhos encontrados na literatura e forma de sumarização dos resultados.

Na fase de condução da RS executa-se a formalização de um processo de pesquisa conforme o protocolo estabelecido. Nessa etapa, de forma sumarizada, devem ser listados todos os trabalhos encontrados na literatura e aplicados os critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo. O resultado final é uma lista de artigos que devem ser incluídos na fase seguinte.

Inicia-se então a fase de extração que consiste em um detalhamento das informações por meio da extração de variáveis e anotações específicas de referências que podem agregar valor ou alterar os rumos do processo de pesquisa desenvolvido até então. Ao final, desenvolve-se um relatório incluindo-se todas as etapas do processo de revisão sistemática, conclusões e resultados encontrados.

3.2 Planejamento da Revisão Sistemática

Para planejamento da revisão formulou-se inicialmente um protocolo de RS, no qual se delineou os objetivos, questões da pesquisa e fontes de buscas no Portal de Periódicos da CAPES (ACM, IEEE, Science Direct, Springer e SCOPUS), além de referências acadêmicas presentes no *Google Scholar* para iniciar

a atividade de construção do protocolo de revisão.

Como questão de pesquisa, definiu-se para o processo investigatório em questão um estudo sobre duas dimensões: a) Questão primária: Qual plataforma de nuvem está sendo utilizada para implementar a *Fog Computing*? e b) Questão secundária: Qual plataforma de nuvem é suportada para implementação numa plataforma embarcada como Raspberry PI?

Para responder essas duas dimensões, consolidaram-se termos de buscas formuladas em inglês, em dois segmentos de pesquisa com a definição das seguintes palavras-chaves: Pesquisa I ("*Fog Computing Implementation*") e Pesquisa II ("*Cloud and IoT Integration*" ou "*Implementation of Cloud Computing in Raspberry PI*").

A justificativa de segmentos de palavras-chave em dois procedimentos de recuperação de informação é feita considerando-se a necessidade de avaliar as informações presentes no campo das especificações da implementação da *Fog Computing*, e de forma mais abrangente não excluindo as contribuições de outras tecnologias de comunicação de dados.

Nesse sentido, foram delineados dois procedimentos de pesquisa e, após avaliação interseccionou-se as fontes encontradas da pesquisa I e II e na qual os trabalhos recuperados em redundância foram preservados e isolados para fins estatísticos.

Para a execução dos procedimentos de busca, definiram *strings* para as fontes de busca escolhidas, conforme apresenta-se a seguir:

SCOPUS:

TITLE-ABS-KEY (("Fog Computing" OR "Fog Computing Implementation" OR "Cloud and IoT Integration" OR "Cloud Computing Platform Comparison" OR "Implementation of Cloud Computing in Raspberry PI"))

Ano de publicação: 2010 – 2017

IEEE

TITLE-ABS-KEY (("Fog Computing" OR "Fog Computing Implementation" OR "Cloud and IoT Integration" OR "Cloud Computing Platform Comparison" OR "Implementation of Cloud Computing in Raspberry PI"))

Ano de publicação: 2010 – 2017

ACM

TITLE-ABS-KEY (("Fog Computing" OR "Fog Computing Implementation" OR "Cloud and IoT Integration" OR "Cloud Computing Platform Comparison" OR "Implementation of Cloud Computing in Raspberry PI"))

Ano de publicação: 2010 – 2017

SPRINGER

TITLE-ABS-KEY (("Fog Computing" OR "Fog Computing Implementation" OR "Cloud and IoT Integration" OR "Cloud Computing Platform Comparison" OR "Implementation of Cloud Computing in Raspberry PI"))

Ano de publicação: 2010 – 2017

SCIENCE DIRECT

TITLE-ABS-KEY (("Fog Computing" OR "Fog Computing Implementation" OR "Cloud and IoT Integration" OR "Cloud Computing Platform Comparison" OR "Implementation of Cloud Computing in Raspberry PI"))

Ano de publicação: 2010 – 2017

A fim de estabelecer os interesses da pesquisa, o protocolo construído definiu os seguintes critérios de seleção de trabalhos: artigos publicados no período de 2010 a 2017; artigos completos disponíveis online; idioma inglês e português; estudos que abordem áreas da *Fog Computing*; e estudos que abordem a integração da *Cloud* à IoT; estudos que abordem a comparação

entre plataformas *Cloud Computing*; e a implementação da *Cloud Computing* em plataforma embarcada, como o Raspberry PI.

De maneira a observar a relevância dos trabalhos selecionados, foram elaborados critérios de inclusão e exclusão, conforme segue:

Critérios de inclusão: trabalhos que abordem a questão relacionada à comunicação de redes com e sem fio; trabalhos que abordem a questão relacionada à *Fog Computing*; trabalhos que abordem a integração da *Cloud* à IoT; trabalhos que abordem a implementação da *Cloud Computing* em plataforma embarcada; e, trabalhos publicados em conferências e revistas especializadas.

Critérios de exclusão: trabalhos que não apresentem texto completo; trabalhos onde os termos de busca não se apresentem nos campos: título, resumo e palavras-chave; trabalhos de conclusão de curso; e, trabalhos que não abordem a questão relacionada ao critério de inclusão.

3.3 Execução da Pesquisa

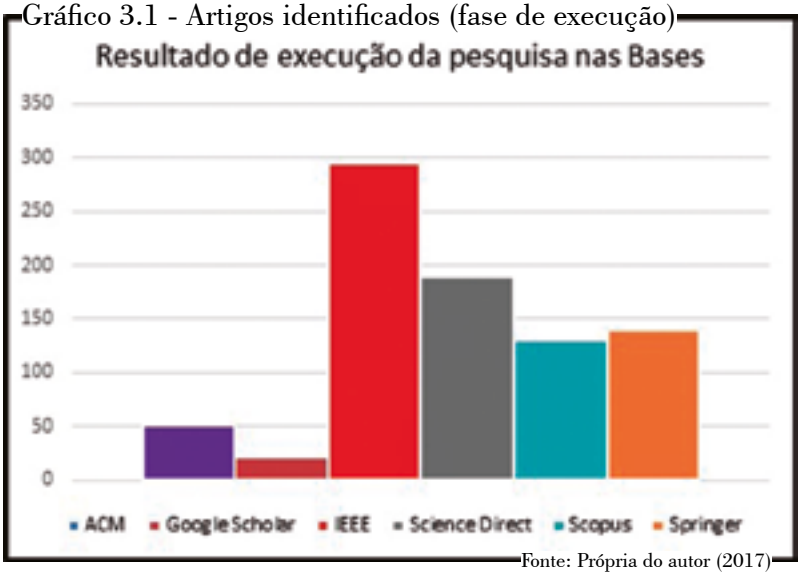
Após a etapa de planejamento, o processo de execução da revisão sistemática (RS) foi iniciado. Na execução da RS os trabalhos foram recuperados por meio das *strings* já delineadas no protocolo de RS. Os trabalhos foram importados a partir de cada base de pesquisa em formato apropriado (de modo geral, no formato PDF) e armazenados, contendo as informações sobre o trabalho como: autor, título, palavras-chaves, resumo, ano de publicação e referências bibliográficas.

As strings de busca elaboradas no processo de planejamento foram executadas e utilizadas em cada um dos engenhos de busca das fontes selecionadas para um formato de importação compatível.

Foram identificados 825 artigos (gráfico 3.1), dos quais, em cada base totalizaram: ACM (51 artigos), GOOGLE SCHOLAR (21 artigos), IEEE (294 artigos), SCIENCE DIRECT (189 artigos), SCOPUS (130 artigos) e SPRINGER (140 artigos).

Os artigos foram identificados em um repositório de

Gráfico 3.1 - Artigos identificados (fase de execução)



Fonte: Própria do autor (2017)

informações eletrônico para sua avaliação na segunda fase da RS, conforme se descreve a seguir. Observou-se que a grande quantidade de artigos relacionados na base IEEE (294 artigos) se deu em virtude de seu engenho de busca tratar todos os campos que forma a string, como palavras para pesquisa em todo o conteúdo dos artigos, o que dificultou o processo inicial de seleção destes artigos na revisão sistemática.

3.4 Procedimentos de Seleção e Extração

Uma vez que o protocolo de RS foi definido e os artigos foram identificados e armazenados na etapa de condução passa a ser executada, iniciando-se por uma seleção de informações e encerrando-se com a submissão dos trabalhos para a próxima fase da RS.

Nessa etapa, utilizando-se de um formulário eletrônico os pesquisadores efetuaram a leitura do resumo de cada artigo disponibilizado. Nesse momento, houve o julgamento dos critérios

de inclusão e exclusão dos artigos por meio de um processo de seleção, conforme se observa no gráfico 3.2.

Dos 825 trabalhos relacionados no processo de identificação, 212 trabalhos foram aceitos para ser avaliados na etapa de extração da revisão de literatura, assim 613 foram excluídos, sendo 355 pelos critérios definidos no protocolo e 258 trabalhos excluídos (gráfico 3.2) por estar duplicados quando da exportação dos resultados de consultas das bases.

Gráfico 3.2 - Resultado da etapa de seleção dos artigos

Fonte: Própria do autor (2017)

Na etapa de extração, foram coletadas informações pré-definidas no protocolo de RS como: resumo do trabalho, objetivo do trabalho, resumo do experimento realizado, local do experimento, participantes, material, descrição da metodologia de avaliação, descrição de técnicas ou métodos de avaliação, técnicas de ensino, escopo do trabalho, objetos centrais de avaliação, parâmetros ou métricas de avaliação utilizadas, hipóteses ou questão problema evidenciada, natureza do método ou técnica de avaliação, área de aplicação/domínio, classificação do ambiente, resultados, referências relevantes, observações e trabalhos futuros.

Os 212 trabalhos aceitos por, pelo menos, um critério de

seleção e conduzidos à etapa de extração para o processo de leitura completa, onde conclui-se a condução de 30 trabalhos, os quais atenderam os critérios formalizados no protocolo da revisão sistemática. Os 182 trabalhos já excluídos não atenderam a todos os critérios da etapa de análise na extração.

3.5 Resultados da Revisão Sistemática

Obtidos os resultados da etapa de extração, a revisão sistemática permitiu discutir aspectos específicos de cada trabalho, envolvendo os objetivos, aspectos metodológicos, métodos ou técnicas, parâmetros, padrão de comunicação, agregação de dados para melhor organização da implementação do ambiente de aplicação em *Fog*.

Os dados são sumarizados e apresentados no quadro 3.1 e foram organizados na ordem crescente cronologicamente, para demostrar a evolução em relação ao tema *Fog Computing*. No quadro 3.1, os artigos foram analisados quanto ao objetivo da pesquisa, implementação da *Fog Computing*, a plataforma de *Cloud* usada, utilização de dispositivo embarcado, a descrição de técnicas ou métodos de avaliação (*benchmark*), trabalho futuro e também a observação em relação a contribuição deste trabalho.

No quadro 3.1 é possível observar que a *Fog Computing* é um novo paradigma e, amplamente pesquisada atualmente, prova disso é que 33,33% dos artigos selecionados para a pesquisa são do ano de (2017), publicados até o início daquele ano, isso mostra a ascensão do assunto nos dias de hoje.

CHEN (2017), afirma que a *Fog Computing* distribuirá serviços avançados de computação, armazenamento, rede e gerenciamento mais próximos dos usuários finais ao longo da borda da rede, da *Cloud* para dispositivos IoT, formando assim uma plataforma distribuída e virtualizada.

Com isso surgem os desafios de pesquisas, como apresentado

por BOTTA (2016), destaca os seguintes assuntos: A padronização, potência e eficiência energética, big data, segurança e privacidade, inteligência, metodologia de integração, comunicações de rede, armazenamento, escalabilidade e flexibilidade.

Percebe-se que poucos artigos fizeram a implementação da *Fog Computing*, apenas 20% dos trabalhos. Nenhum deles disponibilizou o serviço StaaS (*Storage as a Service*). Os restantes fizeram pesquisas teóricas sobre o tema ou implementaram somente em nível de *Cloud Computing*, sem observar o conceito da *Fog* e a maioria não utilizou técnica ou método de avaliação como *benchmark*.

A análise dos estudos apresentados no quadro 3.1 permitiu identificar que a produção científica sobre a implementação da *Fog Computing* é escassa, esse percentual ainda é menor quando se trata de implementação com dispositivos de sistemas embarcados, tendo em vista que somente 13,33% dos estudos faz referência a esse tipo de implementação.

Dos artigos analisados podemos destacar dois, que este trabalho será uma extensão destas pesquisas, ANTONI (2015) e PRINCY (2015), apresentaram uma solução de implementação de nuvem privada de armazenamento, ao implementar o Owncloud utilizando Raspberry PI, sendo que não utilizaram técnica ou método de avaliação como *benchmark* específico para o serviço disponibilizado StaaS (*Storage as a Service*), nem foi aplicado o conceito de *Fog Computing*. Como apresentado por CRACIUNESCU (2015), a *Fog Computing* concentra-se na descarga de algumas das tarefas (por exemplo, tarefas de armazenamento ou processamento) geralmente realizadas na nuvem até a borda da rede, entre a *Cloud* e IoT.

Desse modo, nota-se a necessidade de maiores investimentos em pesquisa nesta temática, dada a importância da implementação da *Fog Computing* como tecnologia que promoverá mais segurança e velocidade na transmissão dos dados entre a *Cloud* e IoT.

Quadro 3.1 – Sumários dos artigos analisados

ZHANG (2010)

- [ ] Implementação FOG
- [ ] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [ ] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar: Migração de máquina virtual; Gerenciamento de energia; Segurança de dados e tecnologias de armazenamento; e Novas arquiteturas de nuvens.

Objetivo
Apresentar um levantamento da computação em nuvem, destacando seus conceitos, princípios arquitetônicos, implementação de ponta, desafios de pesquisa e identificar direções de pesquisas nesta área.

MARTINI (2013)

- [ ] Implementação FOG
- [x] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [x] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Observar outros produtos *Cloud* StaaS disponíveis, incluindo os hospedados no ambiente de nuvem pública.

Observação
Fez análise com Cloud forensics framework e utilizou o ownCloud.

Objetivo
Apresentar um estudo de análise forense usando um aplicativo de nuvem de código aberto amplamente utilizado, a aplicação *storage as a service* (StaaS) OwnCloud, como um estudo de caso.

ZHU (2013)

- [x] Implementação FOG
- [ ] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [ ] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Aplicar seus conceitos propostos para desenvolver um sistema de prova de conceito.

Objetivo
Apresentar a otimização da WEB dentro do contexto Fog Computing. Aplicou métodos existentes para otimização da WEB de uma maneira inovadora, de tal forma que esses métodos podem ser combinados com conhecimento exclusivo que está disponível apenas nos nós de borda (Fog).

HAJIBABA (2014)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar novos paradigmas de computação distribuída.

Objetivo
Apresentar o advento de novas formas de computação distribuída, ele fornece uma definição para computação em Cloud, Jungle e Fog, e são determinadas as principais características, além disso, são ilustradas suas arquiteturas.

NWOBODO (2015)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ◉
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ◉

Observação
Fez uma análise dos resultados e analisou as plataformas AbiCloud, Eucalyptus, Nimbus e OpenNebula cloud.

Objetivo
Analisar algumas plataformas que são usadas para projetar arquitetura de computadores, que satisfaça os requisitos de uso modular a computação em nuvem, é feita uma comparação de quatro plataformas de nuvem, as plataformas: AbiCloud, Eucalyptus, Nimbus e OpenNebula cloud.

BABU (2015)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar as questões que envolvem a CloudIoT como: Padronização; Complexidade da mineração de dados; Capacidade da Cloud e a Fog Computing.

Objetivo
Apresentar a necessidade de integração da nuvem e da Internet das coisas, um paradigma orientado por agente e assistido pela Cloud, no Cloud IoT, é proposta a arquitetura de referência para visão orientada a agente e a assistência a Cloud, identificar e discutir sobre questões abertas e direções futuras.

STOJMENOVIC
(2015)

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar Fog Computing em Smart Grid; SDN em redes de veículos; Mobilidade entre Fog e Cloud e a Segurança.

Implementação FOG	☐
Plataforma Cloud	☐
Dispositivos Embarcados	☐
Benchmark	☐

Objetivo
Apresentar a motivação e as vantagens da Fog Computing e analisar suas aplicações em uma série de cenários reais, como o Smart Grid, semáforos inteligentes em redes de veículos e redes definidas por software, discutir o estado da arte da Fog Computing, as questões de segurança e privacidade de acordo com o atual paradigma da Fog Computing.

HUO
(2015)

Observação
Utilizou a plataforma OpenStack.

Implementação FOG	☐
Plataforma Cloud	◉
Dispositivos Embarcados	☐
Benchmark	☐

Objetivo
Apresentar o design e implementação de uma plataforma de armazenamento em nuvem privada utilizando OpenStack. Projetada com base na estrutura Python Django e no framework Swift, adotada para construir o sistema do site para completar as tarefas de criação, upload e download de arquivos de dados corporativos, baseado na WEB por meio de método para prover a viabilidade do sistema.

ANTONI
(2015)

Observação
Fez uma análise com a ferramenta Cacti, utilizou a plataforma Ownclod e utilizou dispositivo embarcado Raspberry PI.

Implementação FOG	☐
Plataforma Cloud	◉
Dispositivos Embarcados	◉
Benchmark	◉

Objetivo
Apresentar implementação de uma nuvem de armazenamento privada usando Owncloud e Raspberry PI, e destacar a importância e vantagens de se utilizar uma nuvem de armazenamento privada.

PRINCY (2015)

Implementação FOG	☐
Plataforma Cloud	◉
Dispositivos Embarcados	☐
Benchmark	◉

Observação
Utilizou a plataforma Ownclod e utilizou dispositivo embarcado Raspberry PI.

Objetivo
Apresentar implementação de um servidor de nuvem privada configurado em um Raspberry Pi, que pode ser usado como um dispositivo de armazenamento para aplicações envolvendo sinais em tempo real, converter e transmitir o sinal analógico para digital, em série do Arduíno para o Raspberry Pi.

CRACIUNESCU (2015)

Implementação FOG	☐
Plataforma Cloud	◉
Dispositivos Embarcados	◉
Benchmark	◉

Desafios/Trabalhos Futuros
O trabalho futuro incluirá a adição de mais sensores e adição de dispositivos off-the-shelf, que são atualmente mainstream, e os dados de fusão desses dispositivos.

Observação
Utilizou dispositivo embarcado Arduíno como sensor.

Objetivo
Apresentar uma implementação em laboratório de e-Saúde, onde o processamento em tempo real é realizado pelo PC doméstico, enquanto os metadados extraídos são enviados para a nuvem para processamento posterior.

LONGO (2015)

Implementação FOG	☐
Plataforma Cloud	◉
Dispositivos Embarcados	☐
Benchmark	☐

Desafios/Trabalhos Futuros
O trabalho futuro abordará as comunicações seguras ao atualizar as comunicações baseadas no WebSocket para o Secure WebSockets (was).

Observação
Utilizou plataforma Cloud OpenStack.

Objetivo
Descreve a abordagem e as soluções até o momento implementadas preliminarmente para permitir interações mediadas por nuvem com unidades de nós hosts, para hospedar sensores e atuadores, propondo Stack4Things, uma estrutura para Sensing-and-Actuation-as-a-Service.

BOTTA
(2016)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Desafios: Segurança e privacidade; Heterogeneidade; Performance; Confiabilidade; Aspectos jurídicos e sociais; Big data, Redes de sensores, Monitoramento e Fog computing.

Objetivo
Fornecer uma pesquisa da literatura sobre a integração da Cloud e da IoT, começando por analisar os conceitos básicos de IoT e Cloud Computing, discutindo a sua complementaridade, detalhando o que está atualmente disponível para gerar sua integração.

AL-DOGHMAN
(2016)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Objetivo
Apresenta conceito, interesse, abordagens e práticas da Fog Computing e descrever a necessidade de adotar esse novo modelo e investigar seus principais recursos ao elucidar os cenários para implementá-la, descrevendo assim sua importância no mundo IoT.

STEINER
(2016)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar mais o tema Fog Computing.

Objetivo
Propor a Fog Computing como um meio arquitetônico para realizar IIoT e discutir duas tecnologias habilitadas para Fog Computing: virtualização e comunicação determinística.

KUMAR (2016)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Projetar de uma maneira que só precisamos criar um nó de Fog falso e, de acordo com o tráfego, esse nó falso se replica automaticamente, dificultando a identificação da localização.

Objetivo
Aborda a ameaça de problemas de segurança, especialmente com privacidade de localização e confidencialidade de dados, discutir a forma como os provedores de serviços, bem como o governo podem acessar os dados dos usuários e referenciar o conceito de técnica de armadilha com algumas modificações para localização e privacidade de dados.

JAIN (2016)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar os aspectos da Fog Computing em: Smart Grid e SDN em redes veiculares.

Objetivo
Apresentar um overview da Fog Computing, define o que é a edge computing e como pode ser alcançada através da Fog Computing.

VERBA (2016)

- Implementação FOG ◉
- Plataforma Cloud ◉
- Dispositivos Embarcados ◉
- Benchmark ◉

Desafios/Trabalhos Futuros
Avaliou com IBM benchmarck, utilizou plataforma Cloud Openstack e utilizou dispositivo embarcado Raspberry PI.

Observação
Consistirá em desenvolver um ambiente de laboratório inteligente com diversos dispositivos mais complexos e cenários de controle para testar completamente o sistema.

Objetivo
Analisar as plataformas existentes e suas deficiências, bem como propor uma plataforma de gateway modular, baseada em mensagens que permite o agrupamento de gateways e a abstração dos detalhes do protocolo de comunicação periférica.

DÍAZ
(2016)

- [ ] Implementação FOG
- [ ] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [ ] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar questões da integração Cloud a IoT como: Privacidade e segurança; Falta de interoperabilidade; Fog Computing e IPV6.

Objetivo
Apresentar uma pesquisa de componentes de integração: plataformas em nuvem, infraestruturas em nuvem e middleware IoT, além disso, algumas propostas de integração e técnicas de análise de dados, bem como diferentes desafios e questões de pesquisas.

FAN
(2016)

- [x] Implementação FOG
- [ ] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [x] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Adicionar mais funcionalidades ao dispositivo de borda, como a segurança. Implementar o trabalho no mundo real.

Observação
Fez avaliação.

Objetivo
Apresentar a capacidade do recurso de WEB Caching adicionado ao dispositivo de borda para servir como servidor proxy de armazenamento em cache, para obter mais armazenamento em cache, os dispositivos finais também são explorados para fornecer algum espaço de cache.

FAN
(2016)

- [x] Implementação FOG
- [ ] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [x] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Adicionar mais funcionalidades ao dispositivo de borda, como a segurança. Implementar o trabalho no mundo real.

Observação
Fez avaliação.

Objetivo
Apresentar a capacidade do recurso de WEB Caching adicionado ao dispositivo de borda para servir como servidor proxy de armazenamento em cache, para obter mais armazenamento em cache, os dispositivos finais também são explorados para fornecer algum espaço de cache.

MRÓWCZYNSKI (2017)

- Implementação FOG: ☐
- Plataforma Cloud: ◉
- Dispositivos Embarcados: ☐
- Benchmark: ◉

Observação
Fez avaliação com benchmark Smashbox e utilizou as plataformas Cloud OwnCloud e OpenStack.

Objetivo
Apresentar uma estrutura de benchmarking e monitoramento para sincronização de arquivos e serviços de compartilhamento, para fornecer métricas de desempenho e robustez para sincronização de arquivos interconectados e serviços de compartilhamento.

HAO (2017)

- Implementação FOG: ◉
- Plataforma Cloud: ◉
- Dispositivos Embarcados: ☐
- Benchmark: ◉

Desafios/Trabalhos Futuros
Trabalho futuro envolverá a adição de mais recursos ao WM-FOG para melhor atender às aplicações de Fog Computing.

Observação
Fez avaliação e utilizou plataforma Cloud.

Objetivo
Apresentar uma descrição detalhada da Fog Computing, explorar seus desafios e problemas de pesquisa, apresentar um design do WM-FOG, uma estrutura de computação para ambientes Fog, que engloba essa arquitetura de software e avalia seu protótipo do sistema.

CHIANG (2017)

- Implementação FOG: ☐
- Plataforma Cloud: ☐
- Dispositivos Embarcados: ☐
- Benchmark: ☐

Observação
Heterogeneidade e restrição; Interface cloud-fog; Armazenamento elástico e volátil; e a Segurança.

Objetivo
Apresentar 10 questões e resposta do paradigma Fog Computing e sua comunicação de rede, questões como definição, comparação entre Fog, Edge e Cloud Computing, segurança, vantagens e desafios de pesquisas.

LI
(2017)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ◉

Desafios/Trabalhos Futuros
Computação heterogênea; Redes com topologia de camada múltipla e estruturada; Tarefas de computação em várias etapas; Custos de computação codificados; Verificar a computação distribuída; Explorar as estruturas algébricas das tarefas computacionais; Aplicações pesadas de comunicação e Nós de fog plug-and-play.

Observação
Fez avaliação.

Objetivo
Discutir dois conceitos de codificação recentemente propostos, códigos de mínima largura de banda e códigos mínima latência, e ilustram seus impactos na Fog Computing, também analisar uma estrutura de codificação unificada que inclui as duas técnicas de codificação acima descritas.

LINTHICUM
(2017)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Padronizar a arquitetura Fog Computing.

Objetivo
Apresentar uma análise da conexão da Fog e Cloud computing definindo problemas e soluções, referentes a sua padronização.

MCMILLIN
(2017)

- Implementação FOG ☐
- Plataforma Cloud ☐
- Dispositivos Embarcados ☐
- Benchmark ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Pesquisar a Segurança e Privacidade em Fog Computing.

Objetivo
Analisar a Fog Computing para o desenvolvimento e sustentabilidade da vida inteligente.

ALRAWAIS
(2017)

- **Implementação FOG** ◉
- **Plataforma Cloud** ◉
- **Dispositivos Embarcados** ☐
- **Benchmark** ◉

Desafios/Trabalhos Futuros
Privacidade; Atualização de dispositivos IoT; Protocolos seguros e eficientes; Autenticação; Detecção de ataque; Verificação de localização e Controle de acesso.

Observação
Fez avaliação.

Objetivo
Discuti os problemas de segurança e privacidade no ambiente IoT, propor um mecanismo que emprega a Fog para melhorar a distribuição de informações na revogação de certificados nos dispositivos IoT, aprimorando a segurança.

CHEN
(2017)

- **Implementação FOG** ☐
- **Plataforma Cloud** ☐
- **Dispositivos Embarcados** ☐
- **Benchmark** ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Rede Veiculares; Veículo com piloto automático; Cidades inteligentes; Redes industriais, Sistemas de petróleo e gás; e Sistemas de saúde.

Objetivo
Apresentar a Fog Computing, como novo paradigma, que distribuirá serviços avançados de computação, armazenamento, rede e gerenciamento mais próximos dos usuários finais ao longo da borda da rede, da cloud para IoT, formando assim uma plataforma distribuída e virtualizada.

OSANAIYE
(2017)

- **Implementação FOG** ☐
- **Plataforma Cloud** ☐
- **Dispositivos Embarcados** ☐
- **Benchmark** ☐

Desafios/Trabalhos Futuros
Implantação do framework no mundo real ou ambiente de teste, com o objetivo de sua validação.

Objetivo
Descrever a arquitetura de Fog Computing e revisar seus diferentes serviços e aplicativos, discutir questões de segurança e privacidade, apresentar uma abordagem conceitual de migração em tempo real de pré cópia para a migração de VM.

OSANAIYE (2017)

- [ ] Implementação FOG
- [ ] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [ ] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Implantação do framework no mundo real ou ambiente de teste, com o objetivo de sua validação.

Objetivo
Descrever a arquitetura de Fog Computing e revisar seus diferentes serviços e aplicativos, discutir questões de segurança e privacidade, apresentar uma abordagem conceitual de migração em tempo real de pré cópia para a migração de VM.

POPENTIU-VLADICESCU (2017)

- [ ] Implementação FOG
- [ ] Plataforma Cloud
- [ ] Dispositivos Embarcados
- [ ] Benchmark

Desafios/Trabalhos Futuros
Resolver problemas técnicos e de algorítmicos no paradigma de Fog.

Objetivo
Analisar os modelos, arquiteturas e práticas existentes em Fog computing visando a confiabilidade e segurança dos sistemas de Fog, uma abordagem considerada integradora de três componentes da confiabilidade do sistema: a confiabilidade dos nós, a confiabilidade da rede e a confiabilidade do software, a arquitetura de referência OpenFog e os esquemas AJIA e BDSC.

Fonte: Própria do autor (2017)

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA PARA PROTOTIPAÇÃO E COLETA DE DADOS

Neste capítulo são apresentados métodos utilizados para a prototipação e coleta dos dados obtidos para análise nos dispositivos implementados, tais como: metodologia utilizada, arquitetura de simulação ou cenário de testes, dispositivos de sistemas embarcados Raspberry Pi 3, Banana Pi M3 e o servidor DELL PowerEdge T410. Assim como a ferramenta de virtualização Docker Container, o sistema de benchmark Smashbox e o Zabbix, utilizado para coletar e analisar os dados de desempenho das implementações, as quais são detalhadas neste capítulo.

4.1 Metodologia

Ao definir uma metodologia de avaliação de desempenho, deve-se ter atenção a fim de não cometer erros comuns, como inexistência de objetivos, propostas tendenciosas, incorretos métodos de avaliação, entre outros. Para evitar tais erros, o ideal é adotar uma abordagem sistemática como a proposta por Jain (1991), a qual foi aplicada neste trabalho. Para empregar essa metodologia torna-se necessário seguir uma sequência de passos.

O primeiro passo é a definição dos objetivos e do sistema. Pode ser difícil precisar os objetivos, todavia, é o primeiro passo para a resposta de um problema. O sistema deve ser claro, pois ele influencia diretamente nas métricas utilizadas para avaliação de desempenho, bem como no fluxo de carga para validação.

O segundo passo é a elaboração da lista de serviços e resultados esperados. Cada sistema provê um conjunto de serviços, e para cada um deles existe um conjunto de possíveis resultados.

Com o terceiro passo, tem-se a seleção de métricas que estabelecem os critérios para a comparação do desempenho. A fim de escolher boas métricas, Jain (1991) recomenda verificar se as mesmas possuem baixa variação para diminuir o número de experimentos necessários; não redundância de modo a evitar números supérfluos; e completude com o intuito de retratar todos os resultados possíveis. Ainda segundo Jain (1991), as métricas mais comuns são: eficiência (capacidade utilizável sobre capacidade nominal), confiabilidade (tempo sem erros), disponibilidade (tempo médio entre falhas) e a relação custo/desempenho.

O quarto passo é a elaboração da lista de parâmetros que afetam o desempenho. Essa lista pode ser dividida em parâmetros de sistema (que geralmente não variam de uma instância para outra) e de carga (que são características das solicitações dos usuários).

Já o quinto passo, trata da escolha de fatores para estudo, que são parâmetros os quais sofrerão variações durante a pesquisa. Esses fatores podem assumir valores que são denominados níveis. Recomenda-se iniciar com poucos fatores e poucos níveis, e aumentar a lista conforme necessidade.

O sexto passo é a seleção da técnica de avaliação. Existem três técnicas: a simulação, a modelagem analítica e a medição. A técnica a utilizar dependerá do tempo e dos recursos disponíveis para a resolução do problema.

Com o sétimo passo, tem-se a escolha da carga, a qual consiste em uma lista de solicitações de serviços ao sistema. É importante que retrate o uso real.

Em seguida, o oitavo passo é o planejamento dos experimentos. Com a lista de fatores e níveis, deve-se estabelecer uma sequência de experimentos de modo a obter o máximo de informações possíveis com o mínimo de esforço realizado.

Com o nono passo, tem-se a análise e interpretação dos dados. Nessa etapa deve-se utilizar técnicas estatísticas adequadas a fim

de consolidar os resultados obtidos, de modo a permitir realizar conclusões sobre o desempenho do sistema.

Já o décimo e último passo é a apresentação dos resultados. Nesta etapa deve-se atentar à apresentação final da avaliação.

4.1.1 Aplicação da Metodologia

Ao aplicar esta metodologia, nota-se sua importância diante da forma organizada na qual o trabalho foi conduzido. Inicialmente, torna-se necessário definir os objetivos, em seguida o escopo do sistema, os serviços oferecidos, e a técnica de avaliação. Como são mostrados a seguir.

Objetivos:

- Realizar uma análise de desempenho e eficiência em dois dispositivos de sistemas embarcados de baixo custo e um servidor de alto desempenho;
- Determinar fatores relevantes no que se refere ao desempenho destes equipamentos.

Sistema:

- O sistema corresponde a um software de nuvem para fornecer serviço de armazenamento StaaS (Storage as a Service) denominado OwnCloud, o mesmo interage com o meio através de transferência de arquivos entre o cliente e o servidor.

Serviço:

- Transferência de arquivo entre o sistema cliente e o sistema servidor.

Técnica de avaliação:

- Medição, pois trata-se de uma técnica útil para análise de desempenho de sistemas informáticos.

A atividade foi dividida em cinco etapas:

Etapa 1 - Projeto e cenário de testes;

Etapa 2 - Especificação das métricas;

Etapa 3 - Definição dos parâmetros, fatores e carga;

Etapa 4 - Planejamento e realização dos experimentos;

Etapa 5 - Análise estatística dos resultados obtidos.

A subseção 4.1.2 descreve as três primeiras etapas, enquanto a quarta e quinta são abordadas no próximo capítulo.

4.1.2 Projeto e Cenário de Testes

Para realizar a prototipação deve-se pressupor a existência de um modelo computacional idêntico ao ambiente real de produção. Na literatura, uma boa descrição para análise de desempenho em sistemas de nuvem para fornecer serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*) foi encontrada, como exemplo é possível citar o trabalho de MRÓWCZYNSKI et al. (2017). Faz uma análise de desempenho para sincronização de arquivos, serviços de compartilhamento, e fornecer métricas de desempenho e robustez para sincronização de arquivos interconectados, utilizando o sistema de *benchmark* Smashbox.

Baseado nesse trabalho e em especificações técnicas de equipamentos disponíveis comercialmente, o presente trabalho foi realizado com dois dispositivos de sistemas embarcados modernos e um servidor com alto poder de processamento, e com a proposta de complementar as pesquisas já realizadas, e assim contribuir de forma efetiva para a indústria, para pequenas e grandes empresas. Bem como para a área acadêmica, pois amplia a realização de novas pesquisas.

Este trabalho verifica a possibilidade de atestar a utilização de dispositivos de sistemas embarcados modernos como servidores de um sistema de nuvem denominado *OwnCloud* para fornecer o serviço StaaS (*Storage as a Service*), faz a implementação e análise de uma *Fog Computing* para fornecer o

serviço a dispositivos IoT. Podendo ser uma boa alternativa para sanar problemas relacionados ao armazenamento de dados dos dispositivos IoT, servindo como *Fog Computing* para armazenar dados desses dispositivos e enviar à *Cloud Computing*, com segurança e eficiência no transporte dos dados entre as redes, sendo comparando os resultados com de um servidor de alto desempenho.

A análise de desempenho consiste em verificar o tempo e velocidade de *upload* e *download* de cada teste realizado com diferentes quantidades e tamanhos de arquivos em cada equipamento analisado, e com diferentes combinações de sistemas operacionais. Também foi analisado o sistema não virtualizado e virtualizado com Docker *Container* para saber o seu impacto em apenas um nó. Para isso, utilizou-se a ferramenta de *benchmark* Smashbox para análise de desempenho para sincronização de arquivos, serviços de compartilhamento, utilizado por pesquisadores no meio acadêmico, como por exemplo, (MRÓWCZYNSKI et al. 2017).

Foram realizados cinco tipos de diferentes testes para avaliar o desempenho dos equipamentos analisados, para o fornecimento do serviço StaaS, esses testes foram escolhidos por ser os mesmos utilizados por MRÓWCZYNSKI (2017), exceto o Test4. O quadro 4.1 informa abreviaturas dos testes e sua correspondente distribuição de arquivos.

Quadro 4.1 - Abreviaturas dos testes

Nome	Abreviação	Quantidade de Arquvos	Tamanho do Arquvo	Volume Total do Teste
Test0	0/1/1	1	1 Byte	1 Byte
Test1	0/1/100000000	1	100 Megabytes	100 Megabytes
Test2	0/10/10000000	10	10 Megabytes	100 Megabytes
Test3	0/1000/10000	1000	10 Kilobytes	10 Megabytes
Test4	0/1/500000000	1	500 Megabytes	500 Megabytes

Fonte: Adaptado de MRÓWCZYNSKI (2017)

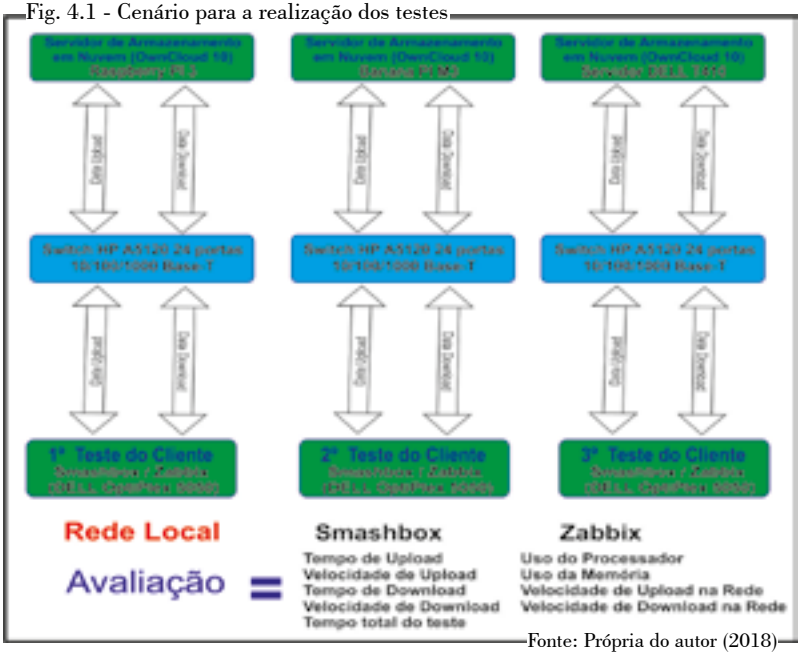
Ainda em análise de desempenho, realizou-se o monitoramento do consumo de memória, processamento e do tráfego de rede em momentos de elevado uso do sistema; a fim de atingir o objetivo desejado utilizou-se o *software* de monitoramento Zabbix, o qual permitiu monitorar a eficiência dos equipamentos testados durante todo o experimento.

Para a execução do experimento foi desenvolvido um sistema denominado FogSys e um simulador para enviar as informações dos dispositivos IoT através de *Upload* e sincronizar com a *Cloud Storage Client* em *real time*, fazendo o papel de *Fog Computing* instalado no dispositivo de sistema embarcado Raspberry PI, e transferindo estes arquivos para a *Cloud Computing* que por sua vez sincroniza os dados com o dispositivo móvel, um smartphone utilizando um SO Android.

Para a realização deste trabalho, foi necessário elaborar um cenário de testes, de modo a possibilitar a execução de todos os objetivos propostos. Sendo assim, o cenário contemplou dois dispositivos de sistemas embarcados modernos e de baixo custo (Raspberry Pi 3 e Banana Pi M3), um Switch HP A5120 24 portas 10/100/1000 Base-T, um Desktop DELL OptiPlex 5050 Core i5 16GB RAM e 1TB de HD, um servidor DELL Power Edge T410 Xeon 16GB RAM e 2 HDs de 320GB, um *Acess Point* RUCKUS ZoneFlex 7363 e um Smartphone Samsung J7.

Na análise de desempenho o Switch HP A5120 24 portas 10/100/1000 Base-T, é responsável por interligar todos os equipamentos em rede. Cada dispositivo embarcado e o servidor DELL Power Edge T410 possui suporte ao sistema de nuvem OwnCloud para fornecer o serviço StaaS (*Storage as a Service*). O Desktop DELL OptiPlex 5050 foi alocado com o suporte ao *benchmark* Smashbox e a ferramenta de monitoramento de rede de computadores Zabbix, sendo esses sistemas virtualizados com Docker *Container* para ser o gerador de carga e realizar a coleta dos dados. A figura 4.1 ilustra a arquitetura do cenário para a realização dos testes de avaliação.

Fig. 4.1 - Cenário para a realização dos testes

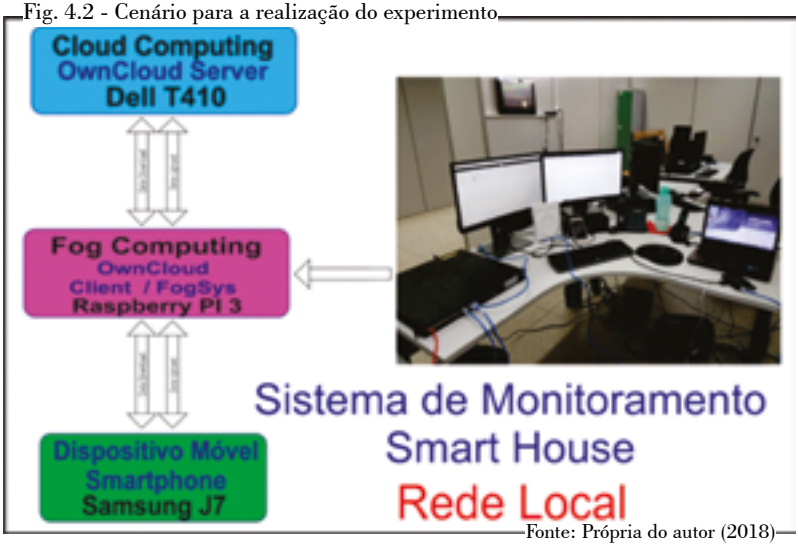


Fonte: Própria do autor (2018)

No experimento foi simulado o monitoramento de ambiente *Smart House* com simulação de sensores IoT. Switch HP A5120 24 portas 10/100/1000 Base-T, é responsável por interligar todos os equipamentos em rede. O dispositivo de sistema embarcado Raspberry Pi com o suporte ao sistema de nuvem OwnCloud *Client* e o sistema FogSys instalados com virtualização, o servidor DELL Power Edge T410 possui suporte ao sistema de nuvem OwnCloud Server instalado para fornecer o serviço StaaS (*Storage as a Service*). O *Acess Point* RUCKUS ZoneFlex 7363 fornece acesso Wi-Fi para o Smartphone Samsung J7 com suporte ao sistema de nuvem OwnCloud *Client*. O dispositivo desktop DELL OptiPlex 5050 foi alocado com o suporte ao sistema FogSys com o módulo de simulador para dispositivos IoT, para ser o gerador de carga e simular um ambiente real, sendo que todos esses sistemas foram virtualizados com Docker *Container*, exceto o *Smartphone* Samsung Galaxy J7 que foi instalado o sistema de sincronização para o OwnclCloud denominado cottonCloud versão 2.5.1.

A figura 4.2 ilustra a arquitetura do cenário para a realização do experimento.

Fig. 4.2 - Cenário para a realização do experimento



Fonte: Própria do autor (2018)

Os dispositivos foram submetidos a momentos de elevado consumo do sistema, assim, foi possível atingir o objetivo deste trabalho com a realização das devidas simulações. Mais detalhes do sistema FogSys serão descritos no capítulo 6.

4.2 Rasbperry PI Modelo B

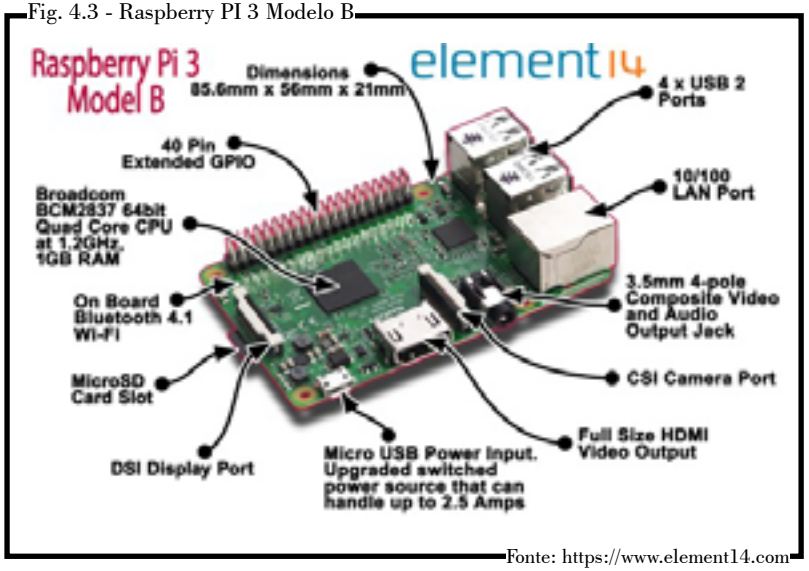
Raspberry PI é um pequeno computador potente baseado em microcontrolador ARM, ele funciona em distribuições Linux com o sistema operacional Raspbian distribuição Debian. Uma placa Raspberry PI suporta cartão de memória SD, teclado e mouse USB, monitor HDMI e fonte de alimentação, é possível fazer o Raspberry Pi funcionar como um computador normal de propósito geral (PRINCY, 2015).

Apesar do tamanho reduzido, medindo aproximadamente 9 x 6 x 2 cm ele vem equipado com 1GB de memória RAM, processador ARMv8 quadcore de 1.2 Ghz, armazenamento de

16GB (cartão micro SD) podendo ser expandido, suas expansões se dão através das quatro portas USB, uma porta Ethernet e uma HDMI (ANTONI, 2015).

O dispositivo Raspberry PI é similar a outros encontrados no mercado, a exemplo da Banana PI e Orange PI. A figura 4.3, demonstra mais características e detalhes do novo Raspberry PI 3 modelo B.

Fig. 4.3 - Raspberry PI 3 Modelo B



Fonte: https://www.element14.com

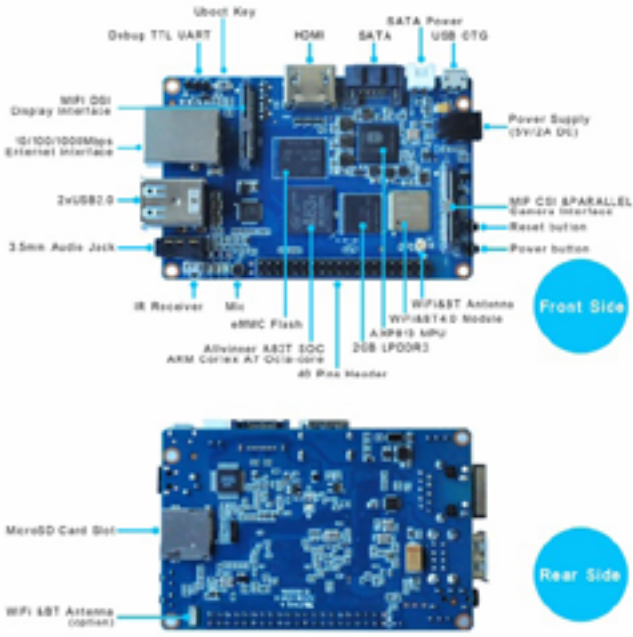
4.3 Banana PI Modelo M3

Banana PI M3 é um mine computador potente, com sua placa medindo 92mm x 60mm e um processador Octa-core e 2GB de RAM. Ao lado da unidade de processamento, possui uma conexão Gigabit Ethernet, 2 USB, SATA, WiFi, Bluetooth e HDMI. Ele pode ser executado em uma variedade de sistemas operacionais, incluindo Android, Lubuntu, Ubuntu, Debian e Raspbian.

Banana PI M3 é um dispositivo de plataforma aberta, é ideal para aplicações de jogos e para desenvolver novas tecnologias, em vez de simplesmente usar as tecnologias já

existentes. Começar um projeto e construir servidores em mines computadores pode ser divertido e gratificante, podendo fazer diferente, inspirar os outros e construir projetos relevantes para a comunidade acadêmica e industrial. A figura 4.4, demonstra mais características e detalhes do Banana PI modelo M3.

Fig. 4.4 - Banana PI Modelo M3



Fonte: http://www.banana-pi.org

4.4 Dell PowerEdge T410

O servidor Dell PowerEdge T410 conta com o desempenho dos processadores Intel Xeon séries 5500 e 5600, a disponibilidade de até 6 unidades de disco rígido (3,5" ou 2,5"), memória DDR3 e uma profundidade de chassi de 24" ideal para implantação e operação eficientes. O design do PowerEdge T410 é dotado de funcionalidade, incluindo tecnologia otimizada para reduzir o consumo de energia e gerenciamento simplificado de sistemas.

O PowerEdge T410 aproveita a excelente compatibilidade e confiabilidade de sistema da Dell. O *layout* consistente dos componentes e a disposição funcional das portas de interface e das fontes de alimentação facilitam a instalação e a reimplantação. Com uma profundidade de 24", o chassi do PowerEdge T410 é fácil de acessar e foi projetado para residir em uma instalação de *back-office*, varejo ou pequeno escritório, onde um chassi pequeno e uma acústica silenciosa são importantes.

Os resistentes suportes de metal das unidades de disco rígido e o cabeamento organizado foram projetados para melhorar o acesso aos componentes e o fluxo de ar em todo o servidor. O design funcional do PowerEdge T410 fornece uma acústica silenciosa e apresenta uma tela de LCD opcional posicionada na tampa frontal para facilitar o monitoramento. A figura 4.5, demonstra uma comparação visual da diferença de tamanho entre o servidor mais DELL PowerEdge T410, e os dispositivos de sistemas embarcados Banana PI M3 e o Raspberry Pi 3.

Fig. 4.5 - DELL T410, Banana Pi M3 e Raspberry Pi 3

Fonte: Própria do autor (2018)

4.5 Benchmark Smashbox

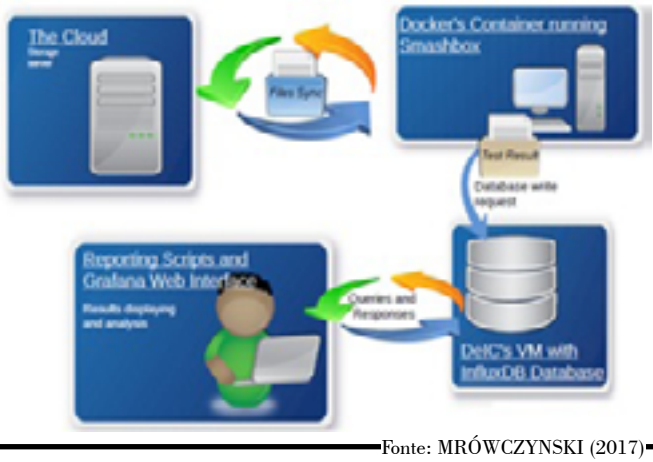
O Smashbox é uma estrutura de *benchmarking* e monitoramento para sincronização de arquivos e serviços de compartilhamento, permitindo aos provedores de serviços monitorar o status operacional de seus serviços, entendendo o comportamento do serviço sob diferentes tipos de carga e com diferentes locais de rede para a sincronização de clientes. A estrutura é projetada como uma ferramenta de monitoramento e *benchmarking* para fornecer métricas de desempenho e robustez para a sincronização de arquivos interconectados e serviços de compartilhamento, como o *Open Cloud Mesh* (MRÓWCZYNSKI, 2017).

O Smashbox foi inicialmente desenvolvido para testes funcionais de serviços baseados em OwnCloud, é uma estrutura de teste de ponta a ponta para funcionalidade principal de serviço de armazenamento, sincronização e compartilhamento de arquivos, pode ser executado de forma interativa a partir de uma linha de comando, através de acesso à área de trabalho ou via *scripts*. O conjunto padrão de testes do Smashbox inclui vários cenários de sincronização básica (*upload* / *download* / conflitos), operações simultâneas do cliente, condicionamento de transferência, consistência de compartilhamento, integridade do arquivo e concorrência de protocolo.

A estrutura original foi estendida com capacidades de monitoramento e relatórios para reportar informações de tempo para diferentes estágios do protocolo de sincronização OwnCloud, tempo total de execução dos testes e o número de erros e condições de falha. Ele possui um componente de monitoramento para capturar as taxas de transferência registradas na interface de rede local durante a sincronização, também oferece a possibilidade de conectar novos tipos de clientes de sincronização à estrutura (Dropbox e Seafile), essas adições estão integradas na estrutura Smashbox e estão disponíveis como recursos opcionais na

configuração (MRÓWCZYNSKI, 2017). A figura 4.6 demonstra o ambiente de monitoramento do *benchmarking* Smashbox.

Fig. 4.6 - Benchmarking e ambiente de monitoramento do Smashbox



Fonte: MRÓWCZYNSKI (2017)

Atualmente, duas das soluções de sincronização de nuvem mais populares em redes de colaboração de pesquisa são OwnCloud e Seafile, a vantagem dessas soluções é que elas fornecem uma interface de usuário simples tipo Dropbox e também permitem um alto grau de personalização de *back-ends* e *front-ends*.

O monitoramento foi integrado ao serviço WEB do Grafana e ao InfluxDB, a visualização também é possível usando *scripts* python e matplotlib (MRÓWCZYNSKI, 2017).

4.6 Zabbix

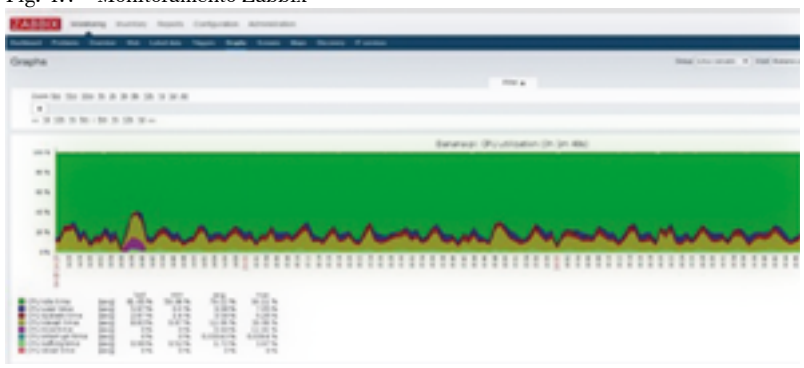
Zabbix é um software consolidado como ferramenta de monitoramento em redes de computadores, servidores e serviços. O mesmo possui o intuito de monitorar a integridade, disponibilidade, experiência de usuário e qualidade de serviços.

Segundo Dalle Vacche e Kewan Lee (2015), o Zabbix surgiu em 2001 e desde o seu lançamento se distinguiu como uma solução de monitoramento poderosa e eficaz. Trata-se de um

produto de código aberto, fácil de obter e implementar. Sua abordagem possui métricas e alarmes que ajudam bastante o administrador de redes.

Fornece ótimos relatórios, assim como a possibilidade de visualizar dados de recursos com base nas informações armazenadas. Possui ainda um excelente mecanismo de notificação, o qual possibilita aos usuários configurar alertas para qualquer evento. A figura 4.7 demonstra um monitoramento de uso da CPU de um dispositivo embarcado realizado com o *software* Zabbix.

Fig. 4.7 - Monitoramento Zabbix



Fonte: Própria do autor (2018)

O Zabbix é uma solução ideal para pequenos e grandes ambientes distribuídos, onde é possível gerenciar de forma eficiente e extrair informações significativas de objetos e eventos.

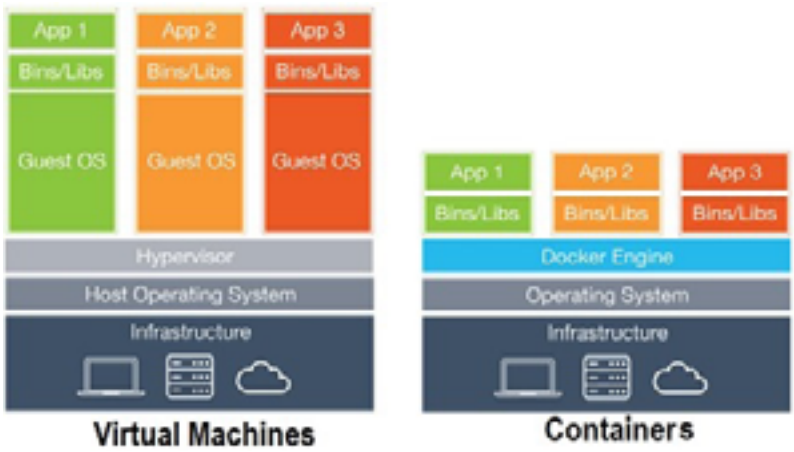
4.7 Docker Container

A tecnologia Docker, é uma implementação da tecnologia "virtualização em nível de contêiner". No mecanismo do Docker, cada contêiner tem seus próprios *namespaces* independentes, que são transparentes e isolados de outros. Além disso, o mecanismo Docker pode gerenciar efetivamente os recursos do sistema operacional, dividindo-os em grupos separados para equilibrar

ainda mais as necessidades de recursos conflitantes (GENG, 2017).

Docker não é um sistema de virtualização tradicional. Enquanto em um ambiente de virtualização tradicional nos nós temos um S.O. completo e isolado, dentro do Docker nos nós temos recursos isolados que utilizando bibliotecas de *kernel* em comum (entre *host* e *container*), isso é possível pois o Docker utiliza como *backend* o nosso conhecido LXC. A figura 4.8 demonstra a diferença entre a implementação tradicional (VM) e a *container* (Docker *Engine*).

Fig. 4.8 - Diferença entre VM e Docker



Fonte: https://talkitbr.com (2018)

O Docker é uma solução para conteinerização, que é uma alternativa para as tradicionais máquinas virtuais. Tanto máquinas virtuais como *containers* proporcionam recursos computacionais, tendo como benefícios o isolamento e facilidade de alocação de ambiente computacional. Contudo, os containers têm uma arquitetura diferente. Enquanto as máquinas virtuais têm um sistema operacional completo e vários *softwares* e bibliotecas para executar as aplicações, os containers possuem apenas as aplicações e as bibliotecas dependentes, compartilhando uma mesma *engine*. Consequentemente, os *conteiners* são bem

menores e podem ser facilmente compartilhados e replicados. Possibilitando assim, a implementação em plataformas de sistemas embarcados de baixo recursos computacionais, como é o caso do Raspberry Pi 3 modelo B.

O Docker possibilita o empacotamento de uma aplicação ou ambiente inteiro dentro de um *container*, e a partir desse momento o ambiente inteiro torna-se portável para qualquer outro host que contenha o Docker instalado.

CRÉDITOS

AVALIAÇÃO E RESULTADOS

Este capítulo apresenta a implementação, análise e avaliação com o benchmark Smashbox, simulando um ambiente de Fog Computing para validar o desempenho do serviço de armazenamento StaaS (Storage as a Service), implementando o sistema de nuvem OwnCloud nas plataformas embarcadas de sistemas embarcados Raspberry PI, Banana PI e o servidor DELL PowerEdge T410. Essa etapa consiste em: realizar a montagem do cenário de teste com os dispositivos de sistemas embarcados e o servidor de forma individual; efetuar a abordagem dos softwares necessários nos dispositivos para a elaboração do experimento; proceder com o processo de coleta dos dados do tempo de upload, velocidade do upload, tempo de download, velocidade do download e tempo total de cada teste realizado com o software benchmark Smashbox, com a finalidade de gerar cargas e executar elevados fluxos de dados na disponibilização do serviço de armazenamento StaaS (Storage as a Service), e em paralelo realizar o monitoramento do consumo de processamento, memória e rede; e por fim, aferir os resultados.

5.1 Elaboração do Cenário de Testes

Ao realizar a montagem do cenário para elaboração dos testes, foi necessário instalar um sistema operacional nos dispositivos embarcados e no servidor DELL PowerEdge T410. Para ser realizada uma análise do impacto no fornecimento do serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), foi implementado 5 (cinco) cenários com diferentes sistemas operacionais, com e sem a implementação da virtualização Docker *Container*, isso possibilitou analisar o melhor conjunto implementado e o impacto da virtualização em dispositivos de sistemas embarcados.

Para isso utilizou-se o Ubuntu Server no Banana Pi M3, não

foi possível implementar a virtualização Docker *Container* no Banana Pi M3, pois o mesmo só é capaz de utilizar o *Kernel* até a versão 3.4 do sistema operacional Linux e para poder ser implementada a virtualização Docker *Container* a versão do *Kernel* tem que ser 3.10 ou superior. Já no Raspberry Pi 3, foram instaladas três diferentes implementações, o Raspbian *Stretch Lite* sem virtualização Docker *Container* e com virtualização, também foi testada a implementação do Raspberry Pi 3 com o sistema operacional Ubuntu Mate com virtualização Docker, o único com interface gráfica. Em sequência, ocorreu a instalação do *software* de nuvem Owncloud na versão 10 para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*). O quadro 5.1 mostra as diferentes implementações utilizadas com diferentes sistemas operacionais, uso da virtualização Docker *Container* ou não, capacidade da memória RAM e capacidade de transmissão da placa de rede, em cada equipamento utilizado.

Quadro 5.1 - Diferentes implementações de sistemas operacionais

Equipamentos utilizados na avaliação				
EQUIPAMENTO	**S.O**	**VIRTUALIZAÇÃO**	**RAM**	**NETWORK**
Banana PI M3	**Ubuntu Server 16.04**	**Não suporta**	**2 Gb**	**1000 Mb/s**
Raspberry PI 3	**Raspbian Stretch Lite 9**	**Sem virtualização**	**1 Gb**	**100 Mb/s**
Raspberry PI 3	**Raspbian Stretch Lite 9**	**Docker**	**1 Gb**	**100 Mb/s**
Raspberry PI 3	**Ubuntu MATE 16.04**	**Docker**	**1 Gb**	**100 Mb/s**
Servidor Dell T410	**Ubuntu Server 16.04**	**VMware ESXi + Docker**	**16 Gb**	**1000 Mb/s**
Desktop Dell OptiPlex 5050	**Windows 10**	**Docker**	**16 Gb**	**1000 Mb/s**

Fonte: Própria do autor (2018)

Fig. 5.1 - Cenário de teste

Fonte: Própria do autor (2018)

Ocorreu também a instalação Docker *Container* para o sistema Windows 10 no Desktop Dell OptiPlex 5050 e dois *containers* de aplicações. Um com o *software* de *benchmark* Smashbox e no outro o *software* de monitoramento Zabbix. Para a instalação desses containers, utilizou-se o sistema de virtualização Docker. No Servidor Dell T410, ocorreu também a instalação do sistema de virtualização VMware ESXi 6, assim como uma VM com o sistema operacional Ubuntu Server 16.04 com suporte ao sistema de virtualização Docker *Container* e por fim, a instalação do container do sistema de nuvem OwnCloud na versão 10 para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*).

Foi preciso instalar dissipadores de calor, assim como um cooler, a fim de refrigerar os dispositivos, pois houve um elevado número de ocorrências de mensagens de alarme referindo-se a alta temperatura nos dispositivos de sistemas embarcados.

Para validar o cenário de testes, o sistema Smashbox foi configurado com a finalidade de executar a transferência e análise dos arquivos de cada teste. Durante os testes foi realizado o monitoramento do processamento, memória e volume do fluxo de dados na placa de rede, com o *software* Zabbix.

A intenção foi realizar uma análise de desempenho entre

dois dispositivos de sistemas embarcados e um servidor de alto desempenho para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), com uso do *software* de nuvem OwnCloud 10, usando-se do sistema de *benchmark Smashbox*, a qual consiste em: realizar a coleta do tempo utilizado e velocidade de *upload*; tempo utilizado e velocidade de *download*; apurar o tempo utilizado em cada teste; e em paralelo realizar medições do consumo do processamento, memória RAM e fluxo de dados na rede com o sistema de monitoramento de redes Zabbix. A figura 5.1 ilustra o cenário real em que os testes foram realizados.

5.1.1 Configuração do Smashbox

Foi utilizado um *container* da aplicação Smashbox disponibilizado por MRÓWCZYNSKI (2017), também se utilizou do seu método de configuração, inicialmente foi feita atualização da aplicação do *client* do servidor OwnCloud para a versão mais recente disponível, em seguida foi configurado o arquivo testrun.config, onde encontra-se as variáveis de configuração do teste, sendo que o sistema Smashbox não tem interface gráfica, toda sua configuração é através de variáveis. Em um único teste o sistema Smashbox testa o *upload* e *download*, e todos os testes foram configurados para serem realizados com trinta repetições consecutivas, só foram aceitos para análise os testes concluídos sem erros. A figura 5.2 ilustra um exemplo de configuração do arquivo testrun.config.

O *benchmark* Smashbox é uma estrutura desenvolvida em python para testar de ponta a ponta a funcionalidade do serviço de armazenamento em nuvem. Essa estrutura de teste pode ser executada interativamente a partir de uma linha de comando, executar testes contínuos por meio de tarefas agendadas ou testes de carga / estresse. Pode ser facilmente integrado em testes e processos de controle de qualidade (MRÓWCZYNSKI, 2017).

Fig. 5.2 - Configuração do arquivo testrun.config

```
{
"config" : [
"remote=true",
"sniffer=true",
"backuplog=true",
"remote_storage_server=YOUR_SERVER",
"remote_database=YOUR_DB",
"remote_storage_user=YOUR_DB_USR",
"remote_storage_password=YOUR_DB_PSWD",
],
[
"engine=owncloud",
"oc_server=YOUR_SERVER",
"oc_account_name=YOUR_ACC",
"oc_account_password=YOUR_PSW",
"oc_server_folder=YOUR_REMOTE_FOLDER",
"oc_sync_cmd=YOUR_CMD_DIR",
"oc_webdav_endpoint=YOUR_WEBDAV",
"oc_account_reset_procedure=webdav_delete",
"oc_ssl_enabled=true",
],
],
"tests" : [
{
"runid" : "testrun",
"test_name" : "performance/test_syncperf.py",
"testset" : "0"
},
],
"loop" : 1,
"ensure_net_qos" : 10,
"timeout" : 3600,
}
```

Fonte: MRÓWCZYNSKI (2017)

O que foi verificado no Smashbox:

- Sincronização cliente em vários cenários;
- Compartilhamento de arquivos e pastas;
- Verificação de conflitos de protocolos;
- Tempo utilizado e velocidade de upload;
- Tempo utilizado e velocidade de download;
- Tempo utilizado em cada teste.

O que foi verificado no Zabbix:

- Consumo do processamento;
- Uso de memória RAM;
- Fluxo de dados de upload na rede;
- Fluxo de dados de download na rede.

5.2 Análise e Avaliação dos Resultados

Após a realização dos testes preliminares para validar o cenário que objetiva simular um ambiente real de produção, iniciou-se a coleta do tempo e velocidade utilizado para *upload*, tempo e velocidade utilizado para *download*, tempo total necessário para cada teste, consumo de processamento, uso de memória RAM e o fluxo de dados de *upload* e *download* na placa de rede de cada equipamento testado.

Dessa forma, foi possível realizar a captura dos dados e consequentemente efetuar a análise. Todavia, totalizaram-se 750 coletas de dados (30 repetições para os 5 diferentes testes, utilizando as 5 diferentes implementações entre os equipamentos testados e diferentes sistemas operacionais). Assim, foi possível obter um bom quantitativo de dados para realizar a análise. A figura 5.3 mostra um exemplo de resultado obtido pelo sistema de *benchmark* Smashbox.

Onde-se lê as variáveis "syncperf_testdirstruct" indica o tipo do teste realizado, "worker0" o tempo de *upload*, "worker1" o tempo de *download* e "total_exec_time" o tempo total da

realização do teste. Contudo, utilizou-se a média, desvio padrão e intervalo de confiança de 95% como parâmetro para as medições. No entanto, os cálculos foram realizados manualmente, através da exportação dos dados capturados para o sistema Microsoft Office Excel.

As subseções seguintes apresentam os resultados coletados com o sistema de benchmark Smashbox e o sistema de monitoramento de rede Zabbix nos dispositivos de sistemas embarcados Raspberry Pi 3, Banana Pi M3 e no servidor DELL PowerEdge T410, com o seu respectivo desvio padrão e intervalo de confiança de 95%, assim como breves discussões.

Fig. 5.3 - Resultado de teste com Smashbox


```
{
  "172.28.9.43": {
    "syncperf": [
      {
        "engine": "owncloud",
        "timeid": "1520931561011938",
        " scenario": {
          "syncperf_testdirstruct": "0/10/10000000",
          "syncperf_countfiles": true
        },
        "results": [
          {
            "sync_time_intervals": [
              [
                1520931571748105,
                1520931577181122
              ]
            ],
            "worker": "worker0",
            "sync_time": 5.433017
          },
          {
            "sync_time_intervals": [
              [
                1520931577201725,
                1520931580910665
              ]
            ],
            "worker": "worker1",
            "sync_time": 3.708941
          }
        ],
        "total_exec_time": 20.912398
      }
    ]
  },
```


Exemplo de resultado do teste

Fonte: Própria do autor (2018)

As subseções seguintes apresentam os resultados coletados com o sistema de benchmark Smashbox e o sistema de monitoramento de rede Zabbix nos dispositivos de sistemas embarcados Raspberry Pi 3, Banana Pi M3 e no servidor DELL PowerEdge T410, com o seu respectivo desvio padrão e intervalo de confiança de 95%, assim como breves discussões.

5.2.1 Test0 0/1/1

Tabela 5.1 - Resultados do Test0 - 1 x 1B = 1 Byte

TEST0 0/1/1 1 x 1B = 1 Byte	SMASHBOX				ZABBIX			
	MÉDIA	DESV	MIN	MAX	CPU %	MEM %	UPL kbps	DOWN kbps
BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER								
Tempo de *upload* em segundos	15,13	5,54	3,00	26,00	21,50	12,50	6,59	10,02
Velocidade *upload* em bps	0,08	0,06	0,04	0,33				
Tempo *download* em segundos	3,33	2,01	2,00	9,00				
Velocidade *download* em bps	0,38	0,15	0,11	0,50				
Tempo do teste em segundos	38,73	8,65	21,00	57,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE								
Tempo de *upload* em segundos	4,20	5,26	1,00	17,00	32,42	31,39	8,99	18,34
Velocidade *upload* em bps	0,73	0,42	0,06	1,00				
Tempo *download* em segundos	1,73	2,30	0,82	13,00				
Velocidade *download* em bps	0,93	0,38	0,08	1,22				
Tempo do teste em segundos	20,40	22,23	6,00	62,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	22,60	3,76	14,00	31,00	29,36	26,55	4,52	6,97
Velocidade *upload* em bps	0,05	0,01	0,03	0,07				
Tempo *download* em segundos	14,53	2,61	7,00	20,00				
Velocidade *download* em bps	0,07	0,02	0,05	0,14				
Tempo do teste em segundos	106,60	10,41	73,00	122,00				
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	12,83	1,64	9,00	17,00	49,93	41,09	4,67	2,57
Velocidade *upload* em bps	0,08	0,01	0,06	0,11				
Tempo *download* em segundos	7,03	1,27	4,00	11,00				
Velocidade *download* em bps	0,15	0,03	0,09	0,25				
Tempo do teste em segundos	60,87	2,15	56,00	64,00				
SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	1,00	0,00	1,00	1,00	6,40	6,00	8,77	15,52
Velocidade *upload* em bps	1,00	0,00	1,00	1,00				
Tempo *download* em segundos	0,99	0,02	0,90	1,00				
Velocidade *download* em bps	1,01	0,02	1,00	1,11				
Tempo do teste em segundos	6,00	0,26	5,00	7,00				

Fonte: Própria do autor (2018)

O test0 0/1/1 consiste no menor volume testado nesse trabalho para a transferência de arquivos em armazenamento em nuvem, esse teste avalia a transferência de um arquivo com o tamanho de 1 byte, é ideal para se analisar como o sistema se comporta com a transferência de um pequeno arquivo. A tabela 5.1 mostra os resultados coletados do tempo médio utilizado e velocidade

de *upload*; tempo médio utilizado e velocidade de *download*; apura o tempo médio utilizado em cada teste; o desvio padrão, o valor mínimo e máximo obtidos nos resultados com o sistema de *benchmark* Smashbox e em paralelo apresenta as medições do máximo atingido do consumo do processamento, memória RAM e fluxo de dados na rede com o sistema de monitoramento de rede Zabbix em cada implementação testada, o tempo encontra-se em segundos.

Nota-se que nesse teste todas as implementações obtiveram resultados melhores no tempo de download em relação ao tempo de upload e consequentemente maior velocidade. Também se observa que as implementações nos dispositivos de sistemas embarcados obtiveram um valor muito elevado na métrica de desvio padrão, que será analisado nos testes seguintes. Para melhor entendimento dos resultados foi realizada uma análise resumida de cada implementação separadamente a seguir:

BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER: Esta implementação deixou a desejar, já que o dispositivo Banana Pi M3 tem elevado poder de recursos (processamento, memória e rede) comparado com o seu concorrente Raspberry Pi 3, na métrica de tempo de *upload* só foi melhor do que a implementação do Raspberry com raspbian e virtualização Docker, e seus resultados ficaram bem abaixo comparado com a implementação do Raspberry com raspbian sem virtualização. Todavia obteve um baixo uso de processamento e memória durantes os testes comparados com as outras implementações do Raspberry. Não foi possível implementar a virtualização neste dispositivo pelo fato de seu *hardware* não suportar.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE: Esta implementação surpreendeu pelo seu desempenho, chegando a obter melhor resultado em relação ao servidor DELL T410, foi o caso do parâmetro tempo mínimo obtido no *download* 0,82 segundos sendo a melhor performance entre todas as implementações, obteve também a maior velocidade de *download* 18,34kbps verificada pelo monitoramento da rede com

o sistema Zabbix. Todavia nota-se que o desvio padrão dos seus resultados apresentaram uma alta discrepância.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER: Nesta implementação nota-se que a utilização da virtualização Docker container em um único nó onera bastante o desempenho do dispositivo, já que o sistema operacional deve tratar uma camada a mais na sua implementação. Observa-se que foi a implementação que obteve os piores resultados, com a média 22,60 segundos de *upload* e 14,53 segundos de *download*, e uma média de tempo de conclusão dos testes muito elevada 106,60 segundos e com um nível de uso de processamento e memória mediano.

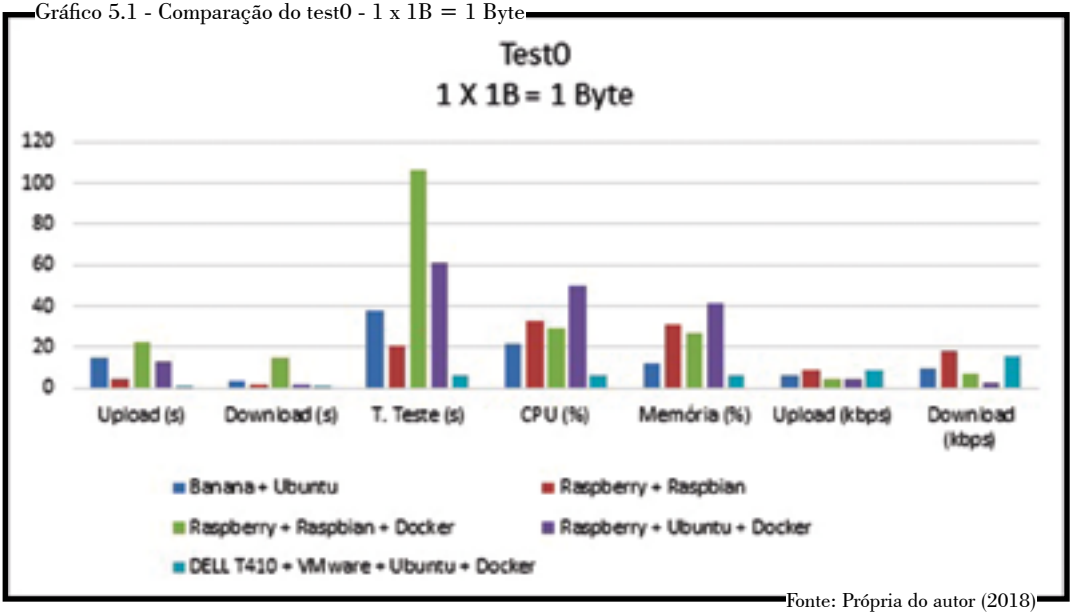
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER: Esta implementação é a única que o sistema operacional foi disponibilizado com um ambiente de interface gráfica e obteve bons resultados, chegando a obter melhor resultado quando comparado com a implementação do Banana Pi M3 utilizando o sistema ubuntu server sem virtualização, foi o caso da métrica do tempo médio de *upload* com 12,83 segundos contra 15,13 segundos do seu concorrente. Todavia nota-se que foi a implementação que mais se utilizou do processamento e memória do *hardware*.

SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER: Está implementação é considerada a ideal, afinal o servidor DELL PowerEdge T410 é um equipamento de alto desempenho, porém com um alto custo aquisitivo, percebe-se que os seus resultados foram melhores em quase todos os aspectos analisados em relação às outras implementações. Nota-se que o tempo de *upload* e *download* praticamente são os mesmos, o que não acontece com os dispositivos de sistemas embarcados, e suas métricas relacionadas ao desvio padrão dos resultados obtidos são praticamente zerados nas 30 repetições do teste, isso indica que o serviço é bem mais preciso. Outro dado interessante de ser analisado é a métrica

média de tempo total do teste, que inclui *upload*, *download* e checagem dos dados que obteve 6,00 segundos, esse resultado é mais de três vezes melhor em relação ao segundo colocado 20,40 obtido pela implementação Raspberry com raspbian *stretch lite* sem virtualização. Isso com o pico de uso do processamento e memória muito baixo.

O gráfico 5.1 mostra melhor visualmente a comparação entre todas as implementações referentes ao tempo médio de *upload*, tempo médio de *download* e tempo médio utilizado na execução dos testes, obtidos pelo sistema de *benchmark* Smashbox, também apresenta os valores do pico de uso do processamento, memória, *upload* e *download*, capturados com o sistema de monitoramento de rede Zabbix.

Gráfico 5.1 - Comparação do test0 - 1 x 1B = 1 Byte



Fonte: Própria do autor (2018)

5.2.2 Test1 0/1/100000000

Tabela 5.2 - Resultados do Test1 - 1 x 100Mb = 100 Megabytes

TEST1 0/1/100000000 1 x 100Mb = 100 Megabytes	SMASHBOX				ZABBIX			
	MED	DES	MIN	MAX	CPU %	MEM %	UPL mbps	DOW mbps
BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER								
Tempo de *upload* em segundos	88,50	14,45	67,00	125,00	36,31	15,50	19,80	14,08
Velocidade *upload* em mbps	1,16	0,17	0,80	1,49				
Tempo *download* em segundos	10,00	4,58	6,00	27,00				
Velocidade *download* em mbps	10,62	3,12	3,70	16,70				
Tempo do teste em segundos	121,63	19,24	95,00	159,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE								
Tempo de *upload* em segundos	56,93	26,51	30,00	144,00	56,21	33,06	19,66	14,86
Velocidade *upload* em mbps	2,06	0,74	0,69	3,33				
Tempo *download* em segundos	9,70	1,78	9,00	18,00				
Velocidade *download* em mbps	10,53	1,26	5,56	11,11				
Tempo do teste em segundos	77,67	34,84	44,00	191,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	199,20	16,61	148,00	223,00	67,60	28,76	17,50	14,17
Velocidade *upload* em mbps	0,51	0,05	0,45	0,68				
Tempo *download* em segundos	23,93	5,56	14,00	42,00				
Velocidade *download* em mbps	4,39	1,02	2,38	7,14				
Tempo do teste em segundos	290,90	25,80	174,00	317,00				
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	125,13	7,29	117,00	153,00	55,96	40,43	19,38	14,12
Velocidade *upload* em mbps	0,80	0,04	0,65	0,85				
Tempo *download* em segundos	23,57	4,28	17,00	37,00				
Velocidade *download* em mbps	4,39	0,83	3,13	5,88				
Tempo do teste em segundos	197,13	9,67	184,00	237,00				
SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	9,23	0,43	9,00	10,00	14,03	6,00	40,31	28,78
Velocidade *upload* em mbps	10,85	0,48	10,00	11,11				
Tempo *download* em segundos	4,00	0	4,00	4,00				
Velocidade *download* em mbps	25,00	0	25,00	25,00				
Tempo do teste em segundos	18,87	0,35	18,00	19,00				

Fonte: Própria do autor (2018)

O test1 0/1/100000000 consiste em volume mediano testado nesse trabalho para a transferência de arquivos em armazenamento em nuvem, esse teste avalia a transferência de um arquivo com o tamanho de 100 Megabytes, é ideal para se analisar como o sistema se comporta com a transferência de um arquivo com volume mediano. A tabela 5.2 mostra os resultados coletados do tempo médio utilizado e velocidade de *upload*; tempo médio utilizado e velocidade de *download*; apurar o tempo médio utilizado em cada teste; o desvio padrão, o valor mínimo e máximo obtidos nos resultados com o sistema de *benchmark* Smashbox e em paralelo demonstra as medições do máximo atingido do consumo do processamento, memória RAM e fluxo de dados na rede com o sistema de monitoramento de rede

Zabbix em cada implementação testada, o tempo encontra-se em segundos.

Nota-se que nesse teste todas as implementações obtiveram resultados melhores no tempo de *download* em relação ao tempo de *upload* e consequentemente maior velocidade. Também se observa que as implementações nos dispositivos de sistemas embarcados obtiveram um valor muito elevado na métrica de desvio padrão. Para melhor entendimento dos resultados foi realizada uma análise resumida de cada implementação separadamente a seguir:

BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER: Neste teste essa implementação obteve um melhor resultado em relação ao teste anterior, obteve uma métrica melhor no quesito tempo médio de *upload* comparado a implementação do Raspberry com ubuntu e utilizando virtualização Docker, fato que não tinha ocorrido no teste Test0. Porém, seus resultados ficaram abaixo comparado com a implementação do Raspberry com raspbian sem virtualização. Todavia obteve um baixo uso de processamento e memória durante os testes em relação às outras implementações do Raspberry.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE: Esta implementação continuou obtendo bons resultados, perdendo apenas para a implementação do servidor DELL T410. Todavia nota-se que o desvio padrão dos seus resultados apresentaram uma alta discrepância, obteve na métrica de desvio padrão do tempo médio utilizado para cada teste o resultado de 34,84 segundos, melhor e pior tempo obtido neste parâmetro 44,00 e 191,00 segundos respectivamente, isso o torna um serviço pouco preciso. Percebe-se também que esta implementação obteve um alto uso de processamento e memória 55,96% e 40,43% respectivamente verificada pelo monitoramento da rede com o sistema Zabbix.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER: Nesta implementação nota-se que continuou obtendo

os piores resultados no teste de disponibilização do serviço StaaS (*Storage as a Service*), com a média 199,20 segundos de upload e 23,93 segundos de *download*, e uma média de tempo de conclusão dos testes muito elevada 290,90 segundos. Percebe-se também que foi a implementação que chegou ao mais alto nível de processamento no teste 67,60% em relação a todas as outras implementações e com o uso de memória mediano 28,76%.

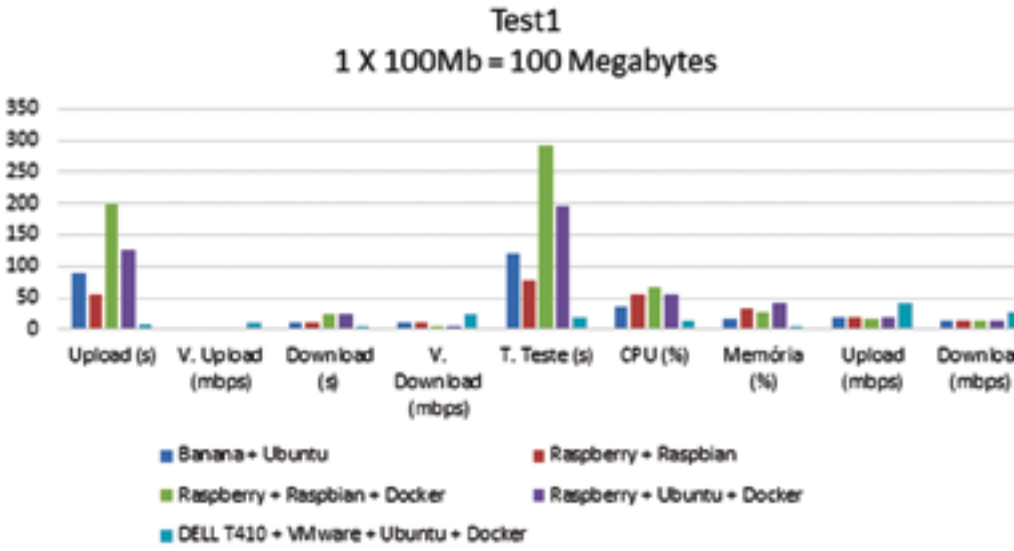
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER: Esta implementação obteve bons resultados quando comparado com a implementação de concorrência direta, Raspberry Pi com Raspbian Stretch e utilizando a virtualização Docker *Container*, foi o caso das métricas do tempo médio de upload, tempo médio de download e tempo médio utilizado para a realização dos testes, 125,13 segundos, 23,57 segundos e 197,13 segundos respectivamente. Todavia nota-se que foi a implementação que obteve o mais alto nível do uso da memória do hardware 40,43%.

SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER: Percebe-se que nesse teste essa implementação obteve os melhores resultados em todos os aspectos analisados em relação às outras implementações. Nota-se que o tempo médio de *upload* e *download* são excelentes, sem grandes variações nas métricas mínimo e máximo obtidos nos resultados, isso demostra um serviço bem preciso, o que não acontece com os dispositivos de sistemas embarcados, e suas métricas relacionadas ao desvio padrão dos resultados obtidos são muito baixas nas 30 repetições do teste. Outro dado interessante de ser analisado é a métrica referente a média de velocidade de *download* obtido pelo sistema de *benchmark* Smashbox 25Mbps, um excelente resultado comparado com as outras implementações. Isso com o pico de uso do processamento e memória muito baixo.

O gráfico 5.2 mostra melhor visualmente a comparação entre todas as implementações referentes ao tempo médio de *upload* e *download*, velocidade média de *upload* e *download*, e tempo médio utilizado na execução dos testes obtidos pelo sistema

de *benchmark* Smashbox, também apresenta os valores do pico de uso do processamento, memória, velocidade de *upload* e *download*, capturados com o sistema de monitoramento de rede Zabbix.

Gráfico 5.2 - Comparação do test1 - 1 x 100Mb = 100 Megabytes



Fonte: Própria do autor (2018)

5.2.3 Test2 0/10/10000000

O test2 0/10/10000000 consiste em volume mediano testado nesse trabalho para a transferência de arquivos em armazenamento em nuvem, porém divido em dez arquivos, esse teste avalia a transferência de dez arquivos com o tamanho de 10 Megabytes, totalizando 100 Megabytes de transferência, é ideal para se analisar como o sistema se comporta com a transferência de 10 arquivos com volume mediano de 10 Megabytes cada. A tabela 5.3 mostra os resultados coletados do tempo médio utilizado e velocidade de *upload*; tempo médio utilizado e velocidade de *download*; apurar o tempo médio utilizado em cada teste; o desvio padrão, o valor mínimo e máximo obtidos nos resultados

com o sistema de *benchmark* Smashbox e em paralelo apresenta as medições do máximo atingido do consumo do processamento, memória RAM e fluxo de dados na rede com o sistema de monitoramento de rede Zabbix em cada implementação testada, o tempo encontra-se em segundos.

Tabela 5.3 - Resultados do Test2 - 10 x 10Mb = 100 Megabytes

TEST20/10/10000000 10 x 10Mb = 100 Megabytes	SMASHBOX				ZABBIX			
	MÉD	DES	MÍN	MAX	CPU %	MEM %	UPL mbps	DOW mbps
BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER								
Tempo de *upload* em segundos	70,83	13,28	49,00	111,00				
Velocidade *upload* em mbps	1,46	0,26	0,90	2,04				
Tempo *download* em segundos	11,77	7,54	5,00	32,00	34,91	15,50	20,19	14,48
Velocidade *download* em mbps	11,39	5,15	3,12	20,00				
Tempo do teste em segundos	111,17	18,20	85,00	147,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE								
Tempo de *upload* em segundos	30,63	29,74	16,00	158,00				
Velocidade *upload* em mbps	4,40	1,41	0,63	6,25				
Tempo *download* em segundos	10,20	3,92	9,00	30,00	40,88	33,85	24,24	20,03
Velocidade *download* em mbps	10,38	1,65	3,33	11,11				
Tempo do teste em segundos	49,83	34,27	33,00	199,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	209,63	14,72	184,00	236,00				
Velocidade *upload* em mbps	0,48	0,03	0,42	0,54				
Tempo *download* em segundos	59,37	8,273	50,00	95,00	41,13	30,37	10,43	13,97
Velocidade *download* em mbps	1,71	0,18	1,05	2,00				
Tempo do teste em segundos	341,77	19,49	307,00	414,00				
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	133,37	21,92	117,00	242,00				
Velocidade *upload* em mbps	0,76	0,08	0,41	0,85				
Tempo *download* em segundos	42,40	7,96	34,00	80,00	41,96	39,50	11,71	14,13
Velocidade *download* em mbps	2,41	0,31	1,25	2,94				
Tempo do teste em segundos	225,70	21,93	212,00	330,00				
SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	7,40	0,89	6,00	9,00				
Velocidade *upload* em mbps	13,71	1,70	11,11	16,67				
Tempo *download* em segundos	4,80	0,61	4,00	6,00	13,20	6,00	40,08	28,54
Velocidade *download* em mbps	21,17	2,74	16,67	25,00				
Tempo do teste em segundos	18,73	1,08	17,00	21,00				

Fonte: Própria do autor (2018)

Nota-se que nesse teste todas as implementações obtiveram resultados melhores no tempo de *download* em relação ao tempo de *upload* e consequentemente maior velocidade. Também se observa que as implementações nos dispositivos de sistemas embarcados obtiveram um valor muito elevado na métrica de desvio padrão. Para melhor entendimento dos resultados foi realizada uma análise resumida de cada implementação separadamente a seguir:

BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER: Neste teste essa implementação obteve bons resultados quando comparados aos resultados obtidos pelas implementações do Raspberry com virtualização Docker, porém obteve piores resultados em quase todas as métricas comparados com seu concorrente direto, a implementação do Raspberry Pi 3 com o sistema raspbian e sem virtualização, obteve na métrica no quesito tempo médio de *upload* 70,83 segundos, isso é duas vezes maior do tempo obtido pela implementação do Raspberry com raspbian sem virtualização que obteve 30,63 segundo. Todavia obteve um baixo uso de processamento e memória durantes os testes em relação as outras implementações do Raspberry.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE: Esta implementação continuou obtendo bons resultados, perdendo apenas para a implementação do servidor DELL T410. Todavia nota-se que o desvio padrão dos seus resultados apresentaram uma alta discrepância, obteve na métrica de desvio padrão do tempo médio utilizado para cada teste o resultado de 34,27 segundos, melhor e pior tempo obtido neste parâmetro 33,00 e 199,00 segundos respectivamente, isso o torna um serviço pouco preciso. Percebe-se também que esta implementação obteve um uso mediano de processamento e memória 40,88% e 33,85% respectivamente verificada pelo monitoramento da rede com o sistema Zabbix.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER: Nesta implementação nota-se que continuou obtendo os piores resultados no teste de disponibilização do serviço StaaS (*Storage as a Service*), com a média 209,63 segundos de upload e 59,37 segundos de *download*, e uma média de tempo de conclusão dos testes muito elevada 341,77 segundos. Percebe-se também que a implementação chegou a utilizar um nível razoável de processamento no teste 41,13% e com o uso de memória mediano 30,37%.

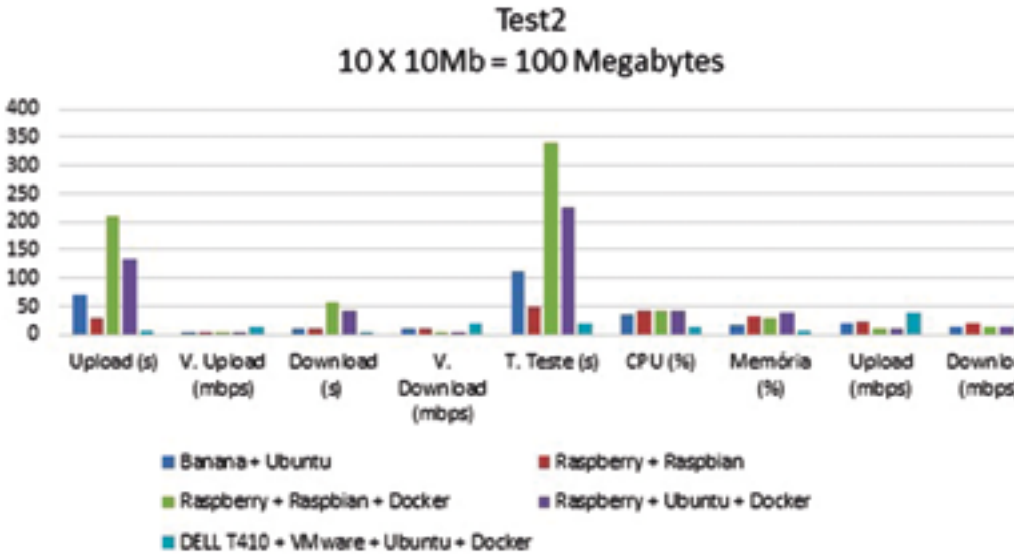
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER:

Esta implementação continuo obtendo bons resultados quando comparado com a implementação de concorrência direta, Raspberry Pi com Raspbian Stretch e utilizando a virtualização Docker *Container*, foi o caso das métricas do tempo médio de upload, tempo médio de *download* e tempo médio utilizado para a realização dos testes, 133,37 segundos, 42,40 segundos e 225,70 segundos respectivamente. Todavia nota-se que foi a implementação que obteve o mais alto nível do uso de processamento e memória do *hardware* 41,96% e 39,50 respectivamente.

SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER: Percebe-se que essa implementação continuo obtendo os melhores resultados em todos os aspectos analisados em relação às outras implementações. Nota-se que o tempo médio de 7,40 segundos para *upload* e de 4,80 segundos para *download* são excelentes, sem grandes variações nas métricas mínimo e máximo obtidos nos resultados, isso demostra um serviço bem preciso, o que não acontece com os dispositivos de sistemas embarcados. Outros dados interessantes de serem analisados são as métricas referentes ao fluxo de dados de *upload* e *download* analisados na placa de rede do dispositivo com o sistema de monitoramento Zabbix, que registrou uma velocidade de 40,08Mbps e 28,58Mbps respectivamente, um excelente resultado comparado com as outras implementações.

O gráfico 5.3 mostra melhor visualmente a comparação entre todas as implementações referentes ao tempo médio de *upload* e *download*, velocidade média de *upload* e *download*, e tempo médio utilizado na execução dos testes obtidos pelo sistema de *benchmark* Smashbox, também apresenta os valores do pico de uso do processamento, memória, velocidade de *upload* e *download*, capturados com o sistema de monitoramento de rede Zabbix.

Gráfico 5.3 - Comparação do test2 - 10 x 10Mb = 100 Megabytes



Fonte: Própria do autor (2018)

5.2.4 Test3 0/1000/10000

O test3 0/1000/10000 consiste em um pequeno volume de dados testado nesse trabalho para a transferência de arquivos em armazenamento em nuvem, esse teste avalia a transferência de mil arquivos com o tamanho de 10 Kilobytes, totalizando 10 Megabytes de transferência, acredita-se que esse teste seja a simulação mais próxima da realidade do funcionamento de uma *Fog Computing*, pequenos arquivos, porém em grande quantidade. A tabela 5.4 mostra os resultados coletados do tempo médio utilizado e velocidade de *upload*; tempo médio utilizado e velocidade de *download*; apurar o tempo médio utilizado em cada teste; o desvio padrão, o valor mínimo e máximo obtidos nos resultados com o sistema de *benchmark* Smashbox e em paralelo apresenta as medições do máximo atingido do consumo do processamento, memória RAM e fluxo de dados na rede com o sistema de monitoramento de rede Zabbix em cada implementação testada, o tempo encontra-se em segundos.

Tabela 5.4 - Resultados do Test3 - 1000 x 10Kb = 10 Megabytes

TEST3 0/1000/10000 1000 x 10Kb = 10 Megabytes	SMASHBOX				ZABBIX			
	MED	DEI	MIN	MAX	CPU %	MEM %	UPL kbps	DOW kbps
BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER								
Tempo de *upload* em segundos	640,67	459,94	418,00	2496,00	59,67	18,00	497,43	474,15
Velocidade *upload* em kbps	19,08	5,41	4,01	23,92				
Tempo *download* em segundos	301,67	121,19	235,00	687,00				
Velocidade *download* em kbps	36,04	7,65	14,56	43,10				
Tempo do teste em segundos	1079,03	540,16	804,00	2889,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE								
Tempo de *upload* em segundos	289,40	174,19	148,00	746,00	87,21	46,56	1000	1160
Velocidade *upload* em kbps	44,68	21,80	13,41	67,57				
Tempo *download* em segundos	120,77	98,14	87,00	546,00				
Velocidade *download* em kbps	101,32	35,48	18,31	114,94				
Tempo do teste em segundos	521,50	212,90	346,00	1175,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	369,09	46,41	346,00	613,00	67,65	51,14	423,69	381,18
Velocidade *upload* em kbps	27,56	2,18	16,59	28,90				
Tempo *download* em segundos	334,43	25,82	327,00	469,00				
Velocidade *download* em kbps	30,03	1,69	21,32	30,58				
Tempo do teste em segundos	812,60	58,57	779,00	1080,00				
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	430,57	81,83	335,00	685,00	61,65	60,82	353,58	500,16
Velocidade *upload* em kbps	23,97	4,15	14,60	29,90				
Tempo *download* em segundos	278,15	210,58	106,00	1056,00				
Velocidade *download* em kbps	38,02	34,65	9,47	94,30				
Tempo do teste em segundos	821,17	292,95	553,00	1858,00				
SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	350,63	6,14	340,00	364,00	12,00	7,08	100,70	135,90
Velocidade *upload* em kbps	28,53	0,50	27,47	29,41				
Tempo *download* em segundos	163,98	0,25	163,00	164,00				
Velocidade *download* em kbps	61,00	0,09	60,98	61,35				
Tempo do teste em segundos	620,63	6,36	610,00	635,00				

Fonte: Própria do autor (2018)

Nota-se que nesse teste todas as implementações obtiveram resultados melhores no tempo de *download* em relação ao tempo de *upload* e consequentemente maior velocidade. Também se observa que as implementações nos dispositivos de sistemas embarcados obtiveram um valor muito elevado na métrica de desvio padrão. Para melhor entendimento dos resultados foi realizada uma análise resumida de cada implementação separadamente a seguir:

BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER: Neste teste essa implementação obteve um dos piores resultados quando comparados aos resultados obtidos por todas as outras implementações, sendo os piores resultados em quase todas as métricas, obteve na métrica no quesito tempo médio de upload de 640,67 segundos e o valor máximo de tempo obtido neste serviço foi de 2.496,00 segundos nas 30 repetições, isso é um

valor exorbitante em relação as outras implementações. Todavia obteve um menor uso dos recursos de processamento e memória durantes os testes em relação as outras implementações do Raspberry.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE: Neste teste essa implementação surpreendeu, obtendo ótimos resultados, superando até mesmo a implementação do servidor DELL T410. Todavia nota-se que o desvio padrão dos seus resultados apresentaram uma alta discrepância, isso o torna um serviço pouco preciso, obteve nas métricas dos quesitos tempo médio de *upload* 289,40 segundos e *download* 120,77 segundos, foram os melhores resultados entre todas as implementações. Percebe-se também que esta implementação obteve um uso muito elevado do processamento e memória 87,21% e 46,56% respectivamente, e a maior velocidade de *upload* e *download* verificada pelo monitoramento da rede com o sistema Zabbix, chegando a casa dos Mbps.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER: Neste teste essa implementação supreendentemente obteve ótimos resultados no teste de disponibilização do serviço StaaS (*Storage as a Service*), com a média 369,03 segundos de *upload* e 812,60 segundos de média de tempo de conclusão dos testes, esses resultados só perderam para as implementações do Raspberry com raspbian sem virtualização e para o servidor DELL T410. Percebe-se também que a implementação chegou a utilizar um nível alto de processamento no teste 67,65% e com o uso de memória mediano 31,14%.

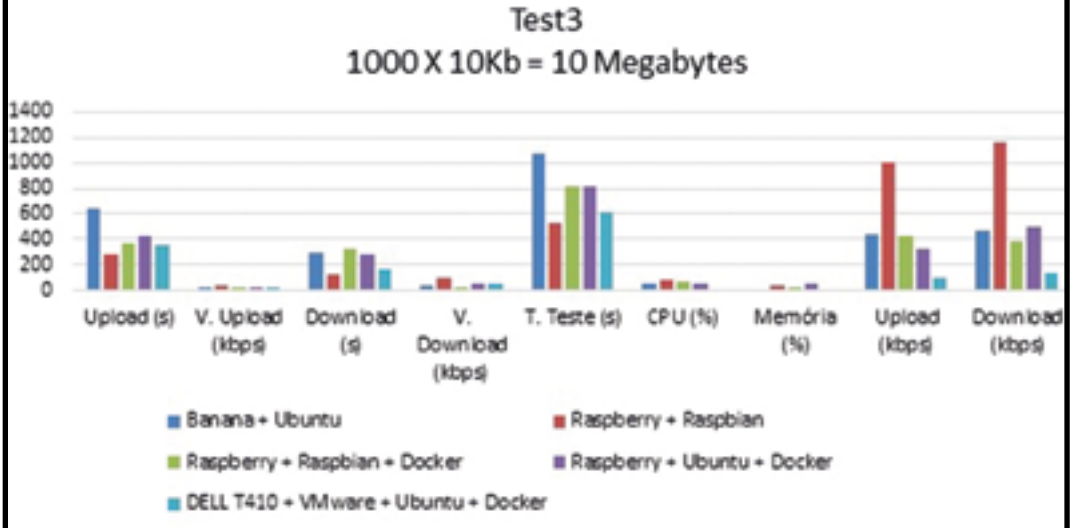
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER: Neste teste essa implementação obteve resultados semelhantes quando comparado com a implementação de concorrência direta, Raspberry Pi com Raspbian Stretch e utilizando a virtualização Docker Container, foi o caso das métricas do tempo médio de *upload*, tempo médio de *download* e tempo médio utilizado para a realização dos testes, 430,57 segundos, 278,13 segundos e

821,17 segundos respectivamente. Todavia nota-se que foi a implementação que obteve o mais alto nível do uso de memória do *hardware* 60,82.

SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER: Neste teste essa implementação não conseguiu obter os melhores resultados em todos os aspectos analisados em relação às outras implementações. Nota-se que o tempo médio de 350,63 segundos para *upload* e de 163,93 segundos para *download* foram resultados negativos comparados com a implementação do Raspberry com o raspbian e sem virtualização. Porém, seus resultados foram sem grandes variações nas métricas mínimo e máximo obtidos nos resultados, isso demostra um serviço muito preciso, o que não acontece com os dispositivos de sistemas embarcados. Outro dado interessante de ser analisado é a métrica referente ao nível máximo do uso do processamento do *hardware* obtendo 12,00% analisado com o sistema de monitoramento Zabbix, um excelente resultado comparado com as outras implementações.

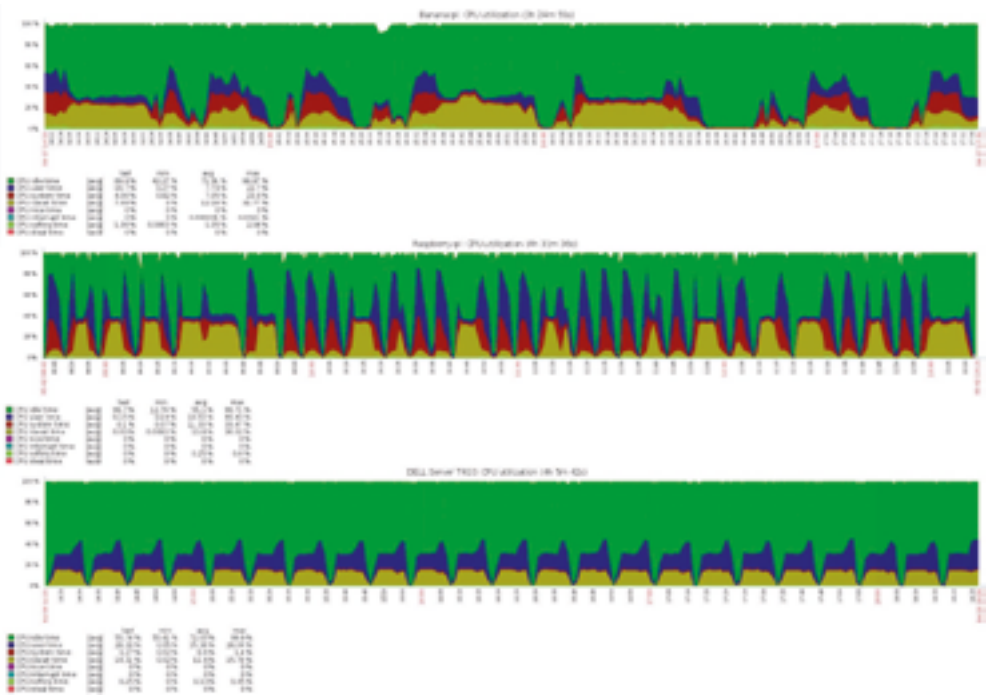
O gráfico 5.4 mostra melhor visualmente a comparação entre todas as implementações referentes ao tempo médio de *upload*

Gráfico 5.4 - Comparação do test3 - 1000 x 10Kb = 10 Megabytes



Fonte: Própria do autor (2018)

Fig. 5.4 - Utilização da CPU dos Equipamentos



Fonte: Própria do autor (2018)

e *download*, velocidade média de upload e download, e tempo médio utilizado na execução dos testes obtidos pelo sistema de *benchmark* Smashbox, também apresenta os valores do pico de uso do processamento, memória, velocidade de *upload* e *download*, capturados com o sistema de monitoramento de rede Zabbix.

Neste teste ocorreram os maiores resultados na métrica de desvio padrão dos resultados mínimo e máximo obtido pelos equipamentos de sistemas embarcados em todas as implementações, neste sentido foi feita uma análise com ajuda do sistema de monitoramento de rede Zabbix no momento da realização dos testes para saber o que ocorria nos recursos de processamento, memória e rede de cada equipamento e foi identificado que o uso do processador é o fator crítico na disponibilidade do serviço StaaS (*Storage as a Service*), nas implementações dos dispositivos de sistemas embarcados. A figura 5.4 mostra melhor visualmente a comparação do uso do

recurso de processamento entre os equipamentos Banana Pi M3, Raspberry 3 B e o DELL Server T410 executando o teste Test3 0/100/10000.

Na figura 5.4 percebe-se que os dispositivos Banana Pi M3 e o Raspberry 3 B não exercem uma curva contínua no uso dos seus processos na CPU, principalmente na variável "CPU iowait time" que é o tempo utilizado pelo processador para aguardar a entrada e saída de processos para serem executados, quando isso ocorre o tempo para execução do teste é muito elevado, diferentemente do servidor DELL T410 que apresenta um desenho uniforme em todos os testes, essa anomalia poderá ser analisada melhor em trabalhos futuros por não fazer parte do escopo deste trabalho.

5.2.5 Test4 0/1/500000000

Tabela 5.5 - Resultados do Test4 - 1 x 500Mb = 500 Megabytes

TEST4 0/1/500000000 1 x 500Mb = 500 Megabytes	SMASHBOX				ZABBIX			
	MÉD	DES	MÍN	MAX	CPU %	MEM %	UPL mbps	DOW mbps
BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER								
Tempo de *upload* em segundos	294,00	24,62	237,00	340,00				
Velocidade *upload* em mbps	1,71	0,15	1,47	2,11				
Tempo *download* em segundos	36,33	12,69	21,00	81,00	40,92	17,00	58,86	70,37
Velocidade *download* em mbps	15,27	4,85	6,17	23,81				
Tempo do teste em segundos	347,47	31,03	271,00	394,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE								
Tempo de *upload* em segundos	281,83	84,91	174,00	449,00				
Velocidade *upload* em mbps	1,92	0,55	1,11	2,87				
Tempo *download* em segundos	49,40	5,93	44,00	69,00	57,05	33,96	58,89	70,66
Velocidade *download* em mbps	10,24	1,02	7,25	11,36				
Tempo do teste em segundos	345,43	94,24	226,00	544,00				
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	394,37	146,64	191,00	886,00				
Velocidade *upload* em mbps	1,44	0,53	0,56	2,62				
Tempo *download* em segundos	55,30	8,26	47,00	81,00	59,41	30,30	54,40	69,88
Velocidade *download* em mbps	9,20	1,13	6,17	10,64				
Tempo do teste em segundos	476,80	158,12	254,00	1018,00				
RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	346,30	168,15	190,00	850,00				
Velocidade *upload* em mbps	1,74	0,67	0,59	2,63				
Tempo *download* em segundos	63,97	25,32	48,00	161,00	65,00	38,95	58,33	69,70
Velocidade *download* em mbps	8,48	1,85	3,11	10,40				
Tempo do teste em segundos	437,03	188,62	258,00	961,00				
SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER + VMWARE ESXI + DOCKER								
Tempo de *upload* em segundos	40,30	3,48	37,00	51,00				
Velocidade *upload* em mbps	12,49	0,99	9,80	13,51				
Tempo *download* em segundos	19,23	3,08	16,00	27,00	12,00	7,08	100,70	135,90
Velocidade *download* em mbps	26,61	3,99	18,52	31,25				
Tempo do teste em segundos	67,47	5,96	61,00	80,00				

Fonte: Própria do autor (2018)

O test4 0/1/500000000 consiste no maior volume testado nesse trabalho para a transferência de arquivos em armazenamento em nuvem, esse teste avalia a transferência de um arquivo com o tamanho de 500 Megabytes, é ideal para se analisar como o sistema se comporta com a transferência de um arquivo com volume grande. A tabela 5.5 mostra os resultados coletados do tempo médio utilizado e velocidade de *upload*; tempo médio utilizado e velocidade de *download*; apurar o tempo médio utilizado em cada teste; o desvio padrão, o valor mínimo e máximo obtidos nos resultados com o sistema de *benchmark* Smashbox e em paralelo apresenta as medições do máximo atingido do consumo do processamento, memória RAM e fluxo de dados na rede com o sistema de monitoramento de rede Zabbix em cada implementação testada, o tempo encontra-se em segundos.

Nota-se que nesse teste também todas as implementações obtiveram resultados melhores no tempo de *download* em relação ao tempo de *upload* e consequentemente maior velocidade. Também se observa que as implementações nos dispositivos de sistemas embarcados obtiveram um valor muito elevado na métrica de desvio padrão. Para melhor entendimento dos resultados foi realizada uma análise resumida de cada implementação separadamente a seguir:

BANANA PI M3 + UBUNTU SERVER: Neste teste essa implementação obteve bons resultados, obteve uma métrica melhor no quesito tempo médio de *download* comparado a implementação do Raspberry com raspbian sem virtualização Docker. Porém seus outros resultados ficaram abaixo comparado ao seu concorrente direto a implementação do Raspberry com raspbian sem virtualização. Todavia obteve um baixo uso de processamento e memória durantes os testes em relação as outras implementações do Raspberry.

RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE: Esta

implementação continuou obtendo bons resultados, perdendo apenas para a implementação do servidor DELL T410. Todavia nota-se que o desvio padrão dos seus resultados apresentaram uma alta discrepância, obteve na métrica de desvio padrão do tempo médio utilizado para cada teste o resultado de 94,24 segundos, melhor e pior tempo obtido neste parâmetro 226,00 e 544,00 segundos respectivamente, isso o torna um serviço pouco preciso. Percebe-se também que esta implementação obteve um alto uso de processamento e memória 57,05% e 33,96% respectivamente verificada pelo monitoramento da rede com o sistema Zabbix.

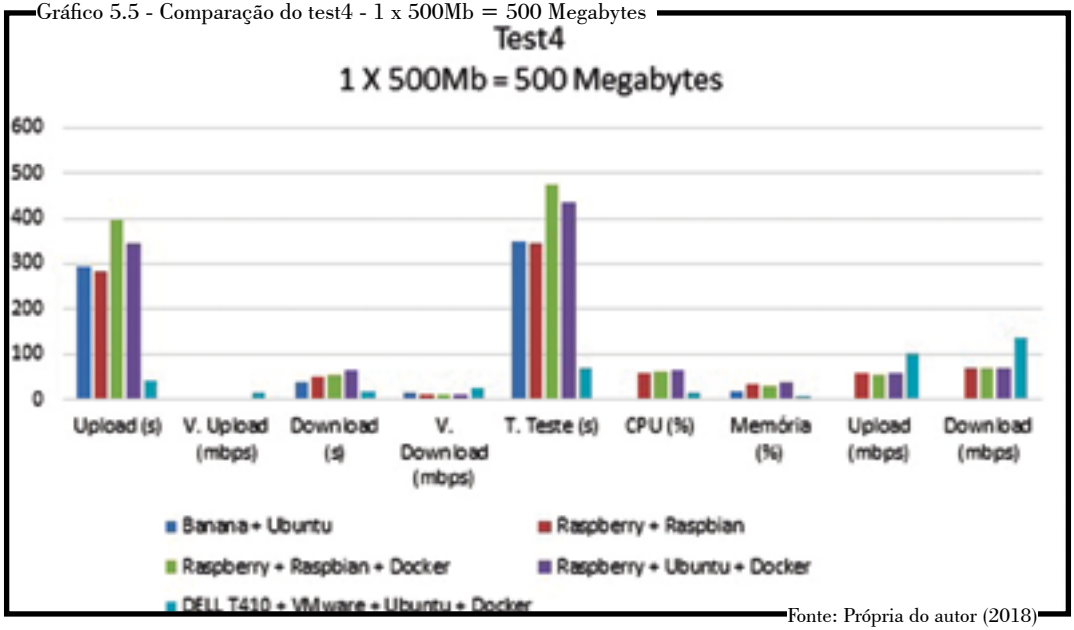
RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER: Nesta implementação nota-se que obteve os piores resultados no teste de disponibilização do serviço StaaS (*Storage as a Service*), com a média 394,37 segundos de *upload* e 55,30 segundos de *download*, e uma média de tempo de conclusão dos testes muito elevada 476,80 segundos. Percebe-se também que foi a implementação que chegou a um alto nível de processamento no teste 59,41% sendo menor apenas da implementação do Raspberry com ubuntu e virtualização Docker *container* e com o uso de memória mediano 30,30%.

RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER: Esta implementação obteve bons resultados quando comparado com a implementação de concorrência direta, Raspberry Pi com Raspbian Stretch e utilizando a virtualização Docker *Container,* foi o caso das métricas do tempo médio de *upload* e tempo médio utilizado para a realização dos testes, 346,30 segundos e 437,03 segundos respectivamente. Todavia nota-se que foi a implementação que obteve o mais alto nível do uso da memória do *hardware* 65,00%.

SERVIDOR DELL T410 + UBUNTU SERVER +

VMWARE ESXI + DOCKER: Percebe-se que nesse teste essa implementação obteve os melhores resultados em todos os aspectos analisados em relação as outras implementações. Nota-se que o tempo médio de *upload* e *download* são excelentes, sem grandes variações nas métricas mínimo e máximo obtidos nos resultados, isso demostra um serviço bem preciso, o que não acontece com os dispositivos de sistemas embarcados, e suas métricas relacionadas ao desvio padrão dos resultados obtidos são muito baixas nas 30 repetições do teste. Outros dados interessantes de serem analisados são as métricas referentes a velocidade de *Upload* e *download* obtido na placa de rede pelo sistema de monitoramento de rede Zabbix 100,07Mbps e 135,90Mbps, passando pela primeira vez da barreira dos 100Mbps nos testes, um excelente resultado comparado com as outras implementações. Isso com o pico de uso do processamento e memória muito baixo.

Gráfico 5.5 - Comparação do test4 - 1 x 500Mb = 500 Megabytes



Fonte: Própria do autor (2018)

O gráfico 5.5 mostra melhor visualmente a comparação entre todas as implementações referentes ao tempo médio de *upload*

e *download*, velocidade média de *upload* e *download*, e tempo médio utilizado na execução dos testes obtidos pelo sistema de *benchmark* Smashbox, também apresenta os valores do pico de uso do processamento, memória, velocidade de *upload* e *download*, capturados com o sistema de monitoramento de rede Zabbix.

CAPÍTULO 8

EXPERIMENTO DA FOG COMPUTING

Neste capítulo é exposto um experimento simulando um sistema de monitoramento com o sistema FogSys para validar o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), utilizando uma arquitetura *Fog Computing*, instalando a *Cloud Storage Client* na plataforma de dispositivo de sistemas embarcados Raspberry PI para validar o funcionamento da *Fog Computing*.

Foi realizado um experimento em um ambiente controlado de laboratório para simular uma situação real, sendo implementado um sistema de monitoramento de ambiente em uma rede local. Foi desenvolvido um sistema na linguagem Python com o *framework* Django denominado FogSys responsável em simular e capturar dados de dispositivos IoT e enviar para a *Fog Computing* que por sua vez sincroniza com *Cloud Computing* e, por fim, enviar para o dispositivo móvel *Smartphone*. Conforme se mostra na figura 4.2.

Para o experimento utilizaram-se dos mesmos equipamentos para realização das análises dos testes de desempenho do serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), um Raspberry PI 3 modelo "B" com virtualização Docker *container* com a instalação do sistema *Cloud Storage OwnCloud Client* e o sistema FogSys, o desktop DELL OptiPlex 5050 com o sistema FogSys utilizando o simulador de dados de dispositivos IoT e o servidor DELL PowerEdge T410 com instalação do *Cloud Storage Server* e um dispositivo móvel *Smartphone*, utilizando Sistema Operacional (SO) Android e executando *Cloud Storage Client*.

6.1 Sistema FogSys

O sistema teve como objetivo principal simular, receber, validar e armazenar os dados de dispositivos IoT para serem transferidos para *Cloud Computing*, funcionando como uma

Fog Computing para fornecer o serviço de StaaS (*Storage as a Service*).

Consiste em um programa em arquitetura WEB que armazena todos os processos de requisições de armazenamento de dados realizados por dispositivos IoT previamente cadastrados. Uma das principais funcionalidades é o serviço WEB *Service* simulando e armazenando requisições de dados de dispositivos IoT para serem transferidos a *Cloud Computing*.

A aplicação WEB designa de forma geral um sistema de informática projetado para utilização através de um navegador, através da internet ou aplicativos desenvolvidos utilizando tecnologias WEB, HTML, JavaScript e CSS, pode ser executado a partir de um servidor HTTP (WEB Host) ou localmente e no dispositivo do usuário. O sistema informatizado FogSys foi implementado em Docker *Container* totalmente funcional, utilizando as tecnologias WEB, PYTHON, DJANGO, HTML, JAVASCRIPT, CSS, SQLITE.

Django é um *framework* gratuito e de código aberto para a criação de aplicações WEB, escrito em Python. É um *framework* WEB, ou seja, é um conjunto de componentes que ajuda a desenvolver sites de forma mais rápida e mais fácil.

Django é um ambiente para desenvolvimento rápido para WEB escrito em Python que utiliza o padrão MTV (*Model, Template e View*). Criado originalmente para gerenciar um site jornalístico, tornou-se um projeto de código aberto e foi publicado sob a licença BSD em 2005. Seu nome é inspirado no músico de jazz Django Reinhart.

Como o django é escrito em Python, que está sobre a licença Python *Software Foundation License*, que é similar a GPL, com exceção de que se podem distribuir os binários da linguagem sem necessitar anexar as fontes.

Quem trabalha com a dupla python e django sabe os incríveis recursos do *framework*. Os que mais se destacam são:

- Mapeador de objeto relacional;
- URL's elegantes;
- Sistema de templates;
- Interface de administração automática (django-admin).

O requisito é uma condição cuja exigência deve ser satisfeita. Se a condição é produzir algo, diz-se que o requisito é funcional. Se a condição é caracterizar algo (atributo, propriedade, comportamento, restrição, etc.), diz-se que o requisito é não-funcional. A descrição destes requisitos é uma atividade indutiva e continuada. Descrever requisitos funcionais e requisitos não-funcionais requer uma abordagem holística, tratando os dois aspectos: primeiro, "Produzir"; segundo, "com Qualidade", os dois princípios aplicáveis à Engenharia de *Software*.

Desta forma realizou-se o levantamento dos requisitos da interface para a validação, a partir dessa técnica obteve-se os requisitos seguintes:

Requisito funcional - um requisito de sistema de *software* que especifica uma função que o sistema ou componente deve ser capaz de realizar. Estes são requisitos de software que definem o comportamento do sistema, ou seja, o processo ou transformação que componentes de *software* ou *hardware* efetuam sobre as entradas para gerar as saídas. Esses requisitos capturam as funcionalidades sob o ponto de vista do usuário.

- Permitir autenticação por meio de login;
- Permitir a recuperação de senha;
- Cadastrar, alterar e excluir usuário do sistema;
- Cadastrar, alterar e excluir sensores no sistema;
- Permitir receber requisição HTTP;
- Permitir receber string hash e validar o sensor cadastrado;
- Salvar o resultado em um arquivo;
- Criar um arquivo para cada dia com todas as medições diárias de cada sensor;

- Permitir salvar o arquivo em local específico no servidor;
- Simular envio de requisições para armazenamento dos dados de dispositivos IoT.

Requisito não funcional - em engenharia de sistemas de software, um requisito não funcional de *software* é aquele que descreve não o que o sistema fará, mas como ele fará. Assim, por exemplo, têm-se requisitos de desempenho, requisitos da interface externa do sistema, restrições de projeto e atributos da qualidade. A avaliação dos requisitos não funcionais é feita, em parte, por meio de testes, enquanto que outra parte é avaliada de maneira subjetiva.

- O sistema deve ser multiplataforma;
- Deve utilizar o bando de dados SQLite;
- Ter uma interface amigável;
- Ter a sessão encerrada para usuários inativos por mais de 10 minutos;
- Permitir a confiabilidade dos dados a serem gravados;
- Está disponível 24 horas por dia;
- Ser desenvolvido na linguagem PYTHON, DJANGO, HTML e JAVASCRIPT.

6.2 Fluxograma das ações do Sistema FogSys

Com uso do sistema Visutin v8.05 foram modelados os fluxogramas das ações do Sistema FogSys, para as suas duas principais funções, WEB *Service* responsável por receber requisições de armazenamento dos dispositivos IoT e *Simulation* responsável pela simulação das requisições.

O Visustin é um programa de fluxograma automatizado para desenvolvedores de *software* e redatores de documentos. Economizando esforços na documentação com visualização automática de código, reverte a engenharia do seu código-fonte

para fluxogramas ou diagramas de atividades da UML. Visustin lê as instruções *if* e *else*, faz um loop e salta e constrói um diagrama totalmente automatizado. Nenhum desenho manual é necessário e suporta uma vasta quantidade de linguagem de programação.

Visustin é ideal para documentação de sistemas informatizados, adicionando fluxogramas à documentação do projeto, diagramas claros informando instantaneamente ao leitor o que até mesmo o código mais complexo faz.

O uso de fluxogramas permite:

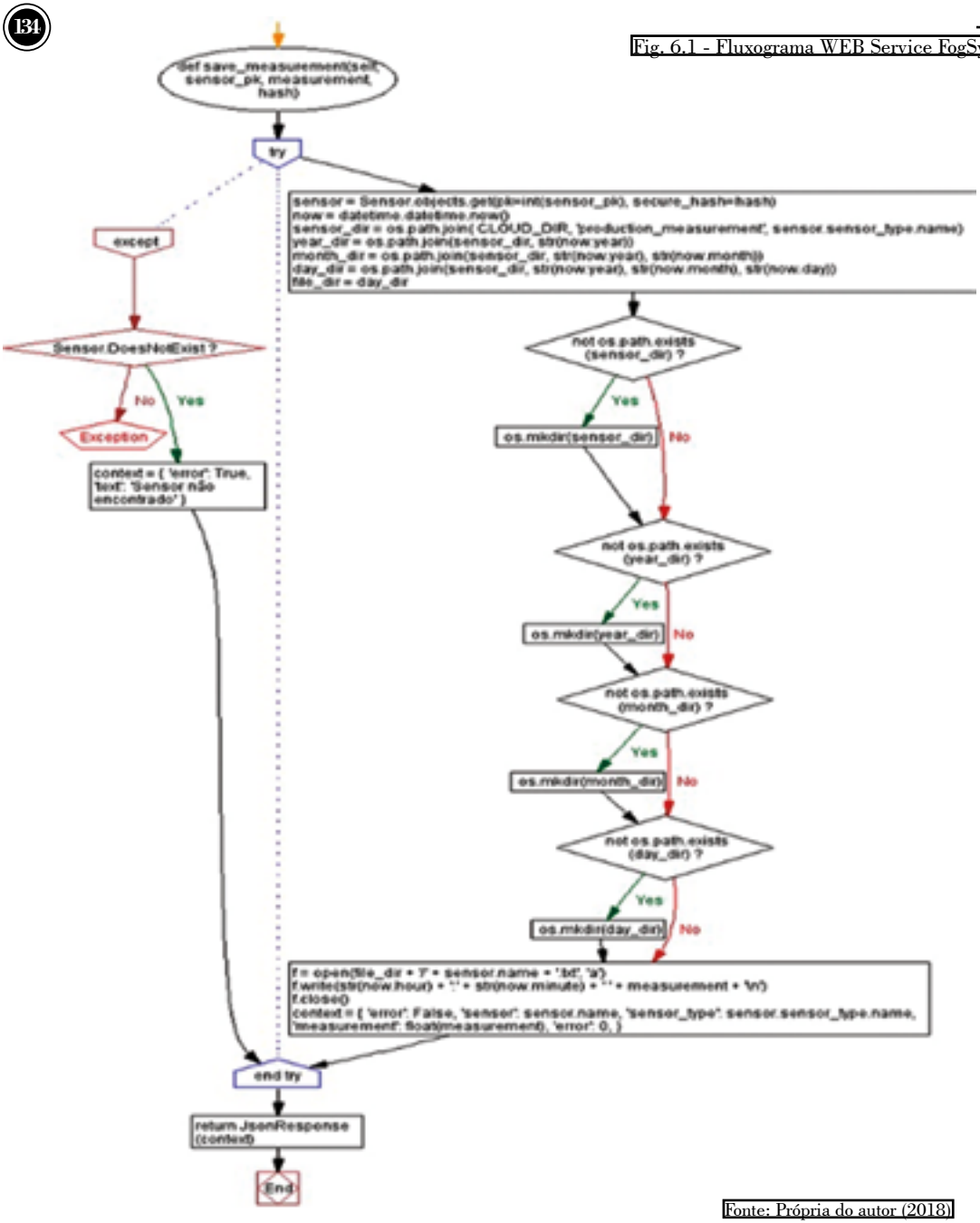
- Analisar algoritmos - corrigi erros;
- Seguir a lógica - evita erros;
- Comparar funções - localiza erros;
- Reestruturar código inválido - adiciona qualidade;
- Documentar o sistema - diminui esforço.

Visustin faz revisão de código, verifique a lógica do programa com fluxogramas e fica mais fácil de encontrar bugs antes dos usuários.

De uma maneira mais específica, o fluxograma da figura 6.1 expõe as ações executadas pelo sistema FogSys a função de WEB *Service*, responsável por receber as requisições de armazenamento dos dispositivos IoT através da URL pelo método GET. Os elementos do fluxograma representam funções ou conjuntos de funções, e de forma mais detalhada é apresentada a seguir:

- Inicialmente é declarada a função save_measurement() que recebe através da URL os parâmetros sensor_pk que corresponde ao ID do sensor, *measurement* que corresponde a medição do sensor e hash que corresponde ao número hash de cada sensor cadastrado;
- Em seguida entra na função TRY, que verifica as informações enviadas, checando com as disponíveis na base de dados;

Fig. 6.1 - Fluxograma WEB Service FogSys



Fonte: Própria do autor (2018)

- Logo após, são criadas as variáveis que formaram o caminho da gravação dos dados no arquivo tipo nome_sensor.txt, sendo sensor_dir, year_dir, month_dir, day_dir e file_dir, os resultados serão gravados no diretório tipo árvore, sendo na ordem tipo do sensor, ano da medição, mês da medição, dia da medição e por fim o arquivo com nome do sensor e suas medições;
- Posteriormente se qualquer diretório não existir o sistema o cria com a função os.mkdir;
- Em seguida abre o arquivo com a função *open*, se não existir cria escreve a hora da medição e o valor medido e fechando com a função *close*;
- Logo após verifica se ocorreu algum erro no processo;
- Se os dados informados não atenderem aos requisitos da base de dados entra na função *execpt* que informa que o sensor não foi encontrado;
- Por fim, retorna à função JsonResponse com a variável contexto e é o fim da função.

De uma maneira mais específica, o fluxograma da figura 6.2 expõe as ações executadas pelo sistema FogSys a função de *Simulation*, responsável por simular o envio das requisições de armazenamento dos dispositivos IoT através da URL pelo método GET. Os elementos do fluxograma representam funções ou conjuntos de funções, a segunda parte do sistema *Simulation* do FogSys funciona de forma semelhante com a primeira WEB *Service*, divergindo em alguns pontos que são abordados a seguir:

- Inicialmente é declarada a função test_measurement() que não recebe nenhum parâmetro;
- Em seguida são criadas as variáveis contexto e instanciado o objeto sensors da classe sensor_objects_all();
- Logo após, é gerado um laço para gerar um valor randômico entre 0 e 100 da quantidade de medições para cada sensor;

- Posteriormente é criado outro laço para gerar um valor randômico para cada medição dos sensores entre 1 e 100, esse podendo ser um valor decimal;
- Por fim, o fluxo das ações do sistema FogSys segue semelhante ao da primeira parte do programa WEB *Service*, fornecendo funções para disponibilizar o serviço WEB.

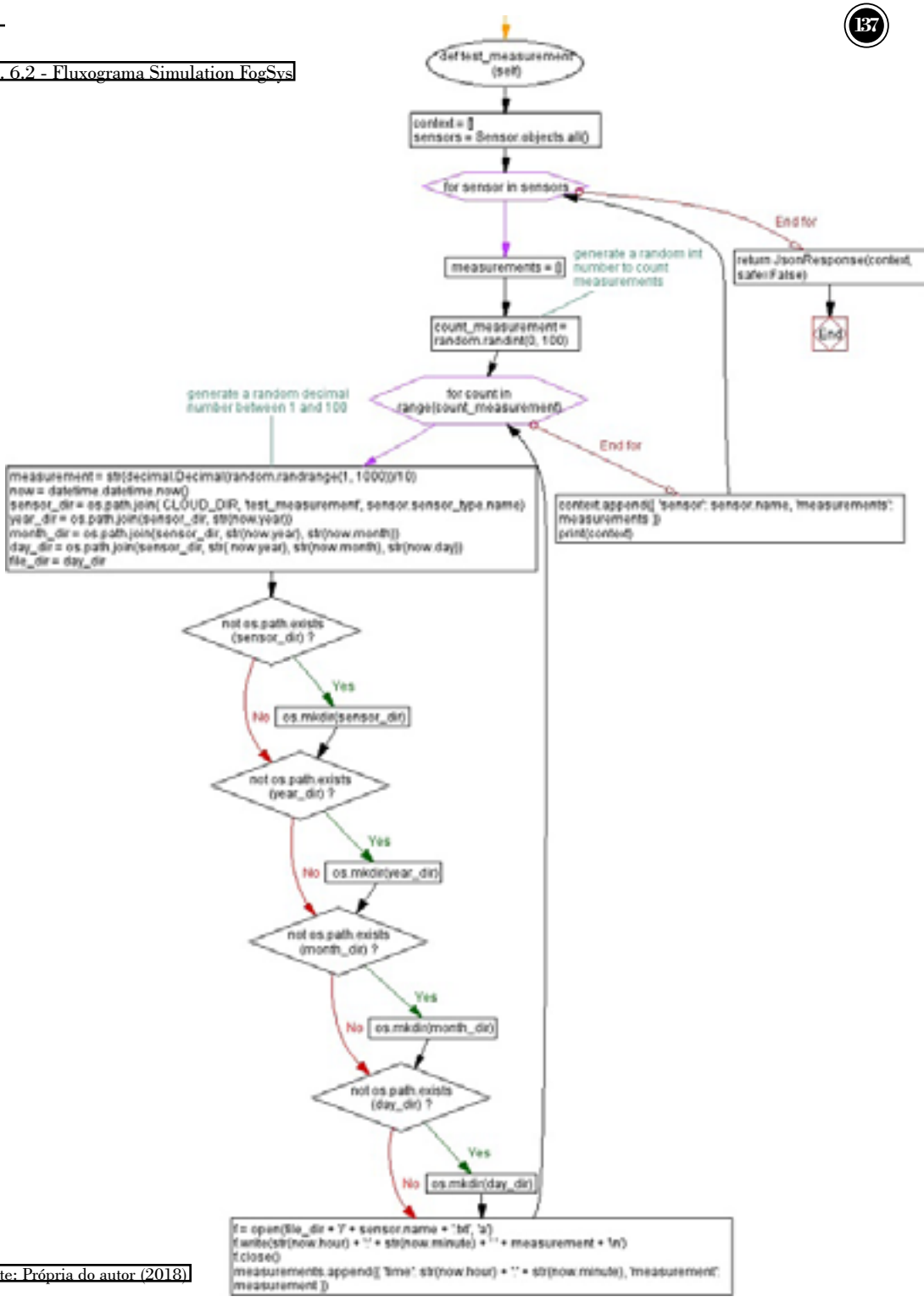
6.3 Ambiente de desenvolvimento

O sistema FogSys basicamente está dividido em duas partes, a primeira que é o WEB *Service* responsável em receber e gravar em um arquivo e local específico os dados das requisições de armazenamento dos dispositivos IoT para serem transferidos a *Cloud Computing* através do sistema *Owncloud Server* e *Client*, a segunda parte é a *simulation* responsável pela simulação dos pedidos de requisições de armazenamento dos dispositivos IoT.

O FogSys foi desenvolvido na linguagem Python na versão 3.6 e utilizando o *framework* Django na versão 2.0.3, esse conjunto de ambiente para desenvolvimento foi escolhido por ser uma linguagem e *framework* bastante leve, não necessitando de muito recursos de *hardware* para implementação, sendo ideal para ser executado em plataforma de sistemas embarcados caso do Raspberry PI 3 Modelo "B".

Para o desenvolvimento foi utilizado o IDE PyCharm na versão 2017.3.3. O PyCharm é um IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) utilizado para programação em Python, que possui diversos recursos úteis e que facilitam diversas tarefas de desenvolvimento de *software*, principalmente quando comparado com IDE padrão do Python, o IDLE. O PyCharm é desenvolvido pela empresa tcheca JetBrains, sendo escrito em Java e Python, e está disponível para vários sistemas operacionais, como Windows, Linux e OS X. Existem várias licenças disponíveis para o uso do IDE: Professional Edition, que é paga (porém gratuita para alguns casos específicos), e uma versão gratuita e *open source*, a

Fig. 6.2 - Fluxograma Simulation FogSys



Fonte: Própria do autor (2018)

Community Edition, distribuída sob licença Apache.

Entre os principais recursos presentes no PyCharm destaca-se os seguintes:

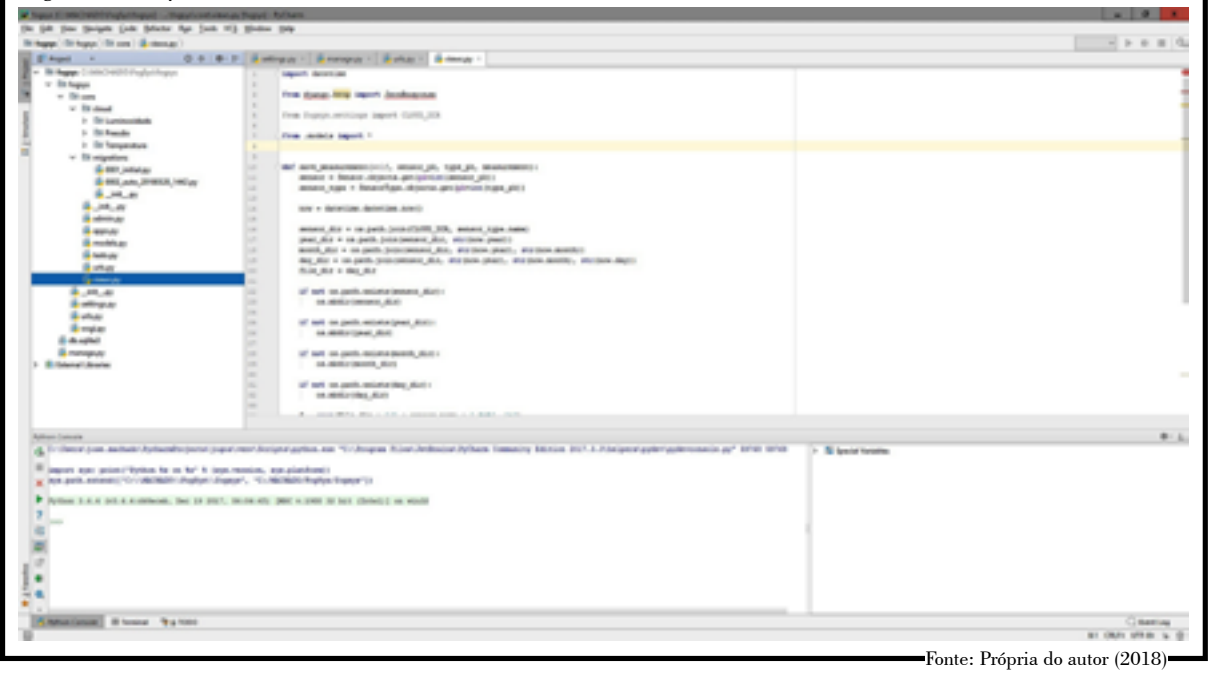
- Debugs gráfico;
- Unidade de testes integrada;
- Integração com sistemas de controle de versão, como Git, Mercurial e *Subversion*;
- Análise de código;
- *Code Completion*;
- Sintaxe e Erros destacados;
- Refatoração;
- Suporte a desenvolvimento com Django.

A figura 6.3 mostra visualmente o ambiente de desenvolvimento em linguagem Python IDE (*Integrated Development Environment*) PyCharm na versão 2017.3.3 utilizado no projeto de desenvolvimento do sistema FogSys.

As figuras 6.4, 6.5 e 6.6 mostram visualmente as telas de interface do Sistema FogSys, tela de interface de Login, tela de interface de Gerenciamento do Sistema e tela de interface de cadastro de sensores, respectivamente.

Observa-se que todos os sensores cadastrados têm um campo chamado SECURE HASH de 64 caracteres, esse campo é gerado automaticamente pela função create_hash na hora do cadastro do sensor com a criação de mensagem de hashing que usa o SHA256, concatenado o nome do sensor, a localização, data e hora da sua criação isso gera uma chave única que deverá ser enviado pelo sensor através da URL informando sua identidade para autenticação e autorização.

Fig. 6.3 - IDE PyCharm 2017.3.3



Fonte: Própria do autor (2018)

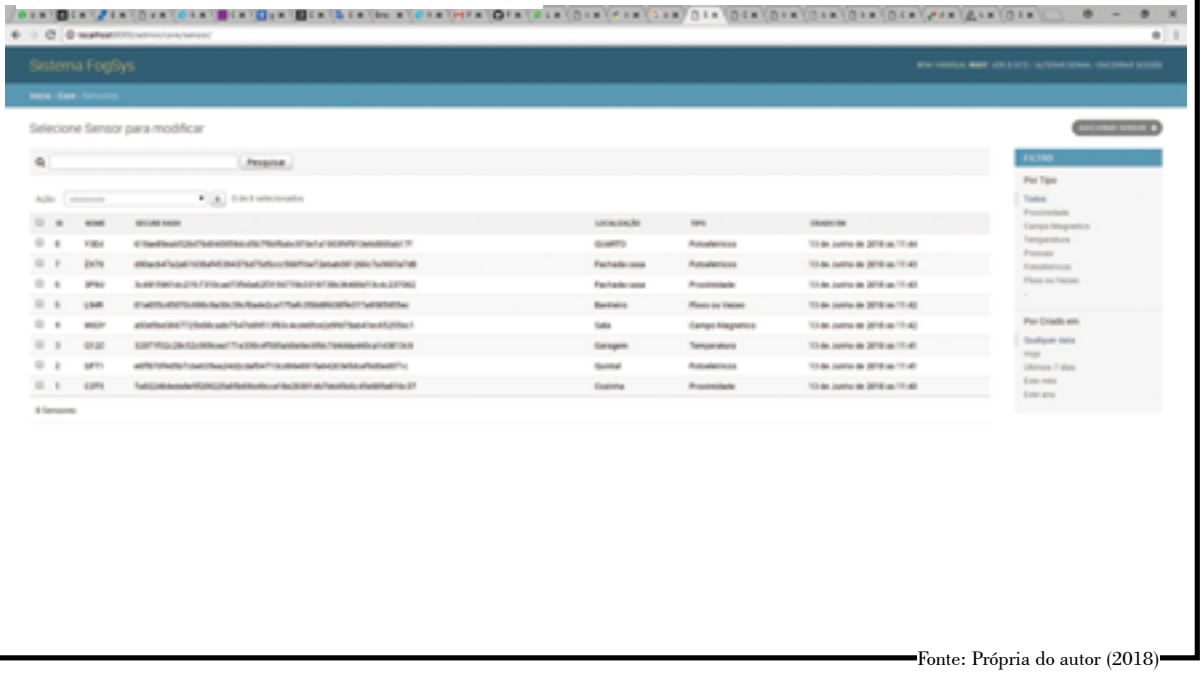
Fig. 6.4 - Interface de Login do FogSys

Fonte: Própria do autor (2018)

Fig. 6.5 - Interface de Gerenciamento do FogSys

Fonte: Própria do autor (2018)

Fig. 6.6 - Interface Gerenciamento dos Sensores no FogSys



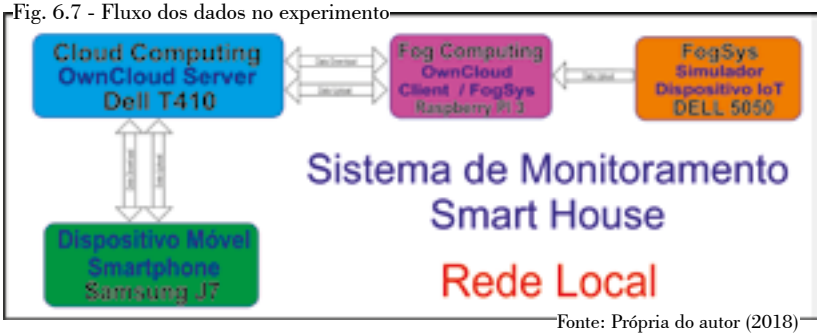
Fonte: Própria do autor (2018)

6.4 Experimento da Fog Computing com o Sistema FogSys

Foi realizado um experimento em um ambiente controlado de laboratório para simular uma situação real, sendo implementado um sistema de monitoramento de ambiente *Smart House* em uma rede local.

Para o experimento foram utilizados os mesmos equipamentos para realização das análises dos testes de desempenho do serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), um Raspberry PI 3 modelo "B" com virtualização Docker *container* com a instalação do sistema *Cloud Storage OwnCloud Client*, o sistema FogSys, o servidor DELL PowerEdge T410 com instalação do *Cloud Storage Server*, um dispositivo móvel *Smart Phone* Samsung J7, utilizando Sistema Operacional (SO) Android e o dispositivo desktop DELL OptiPlex 5050 foi alocado com o suporte ao sistema FogSys com o módulo de simulador para dispositivos IoT, para ser o gerador de carga e simular um ambiente real, sendo que todos esses sistemas foram virtualizados com Docker *Container*, exceto o *Smartphome* Samsung Galaxy J7 que foi instalado o sistema de sincronização *Cloud Storage Client* para o *OwnclCloud* denominado *cottonCloud* versão 2.5.1. A figura 6.7 ilustra o fluxo dos dados na realização do experimento.

Fig. 6.7 - Fluxo dos dados no experimento



Fonte: Própria do autor (2018)

A figura 6.8 apresenta o cenário real da realização do experimento que simula um ambiente de *Fog Computing*.

Na imagem percebe-se todos os equipamentos utilizados no experimento, exceto o servidor DELL T410 que estava localizado na sala ao lado, o Acess Point RUCKUS ZoneFlex 7363 serviu para fazer a comunicação entre o *Smartphone* Samsung J7 e os outros equipamentos na rede, o *Switch* HP A5120 24 portas 10/100/1000 Base-T interligou todos os equipamentos.

Fig. 6.8 - Cenário do experimento usando FogSys

Fonte: Própria do autor (2018)

No experimento utilizou-se o conjunto de *hardware* e *software* com RASPBERRY PI 3 + UBUNTU MATE + DOCKER CONTAINER, para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), pelo motivo de ter obtido bons resultados de performance quando comparado com a implementação de concorrência direta RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE + DOCKER CONTAINER e a virtualização ser uma das características da *Fog Computing*.

Primeiramente foi implementado um ambiente para hospedar o sistema FogSys utilizando um Docker *Container*, com o sistema operacional Linux Ubuntu na versão 18.04 e instalaram-se todas

as dependências para o seu funcionamento como: Linguagem Python na versão 3.6, o *framework* Django na versão 2.0.3, o sistema *OwnCloud Client*, o CRON sistema de agendamento de tarefa do Linux, etc. Em seguida este *container* foi disponibilizado na condição pública no Docker Hub para as arquiteturas x86, x64 e ARM, nos endereços https://hub.docker.com/r/jsmac/fogsys/ e https://hub.docker.com/r/jsmac/fogsys-arm/ respectivamente, com as informações para poder executar o sistema FogSys no container, podendo ser utilizados pela comunidade científica para futuras pesquisas acadêmicas.

Na configuração do sistema de sincronização dos dados foi criada uma pasta chamada cloud no sistema *Owncloud Server* para sincronização dos dados recebidos e agendada uma tarefa no CRON do sistema operacional Linux para sincronizar os dados a cada minuto com o servidor do sistema *OwnCloud Server*, praticamente em tempo real, foi editado o arquivo CRONTAB que se encontra no diretório /etc/ do sistema Linux com a seguinte linha:

* * * * * root owncloudcmd -u admin -p admin /fogsys/FogSys/fogsys/fogsys/core/cloud http://10.65.1.26/remote.php/webdav/cloud

Onde-se,

- Os asteriscos identificam: [minutos] [horas] [dias do mês] [mês] [dias da semana];
- root: [usuário do sistema Linux];
- owncloudcmd: [comando de sincronização do sistema Owncloud *Client*];
- -u: [parâmetro para identificar o usuário do sistema Owncloud *Server*];
- -p: [parâmetro para identificar o password do sistema Owncloud *Server*];
- /fogsys/FogSys/fogsys/fogsys/core/cloud: [caminho da pasta a ser sincronizada];
- http://10.65.1.26/remote.php/webdav/cloud: [endereço

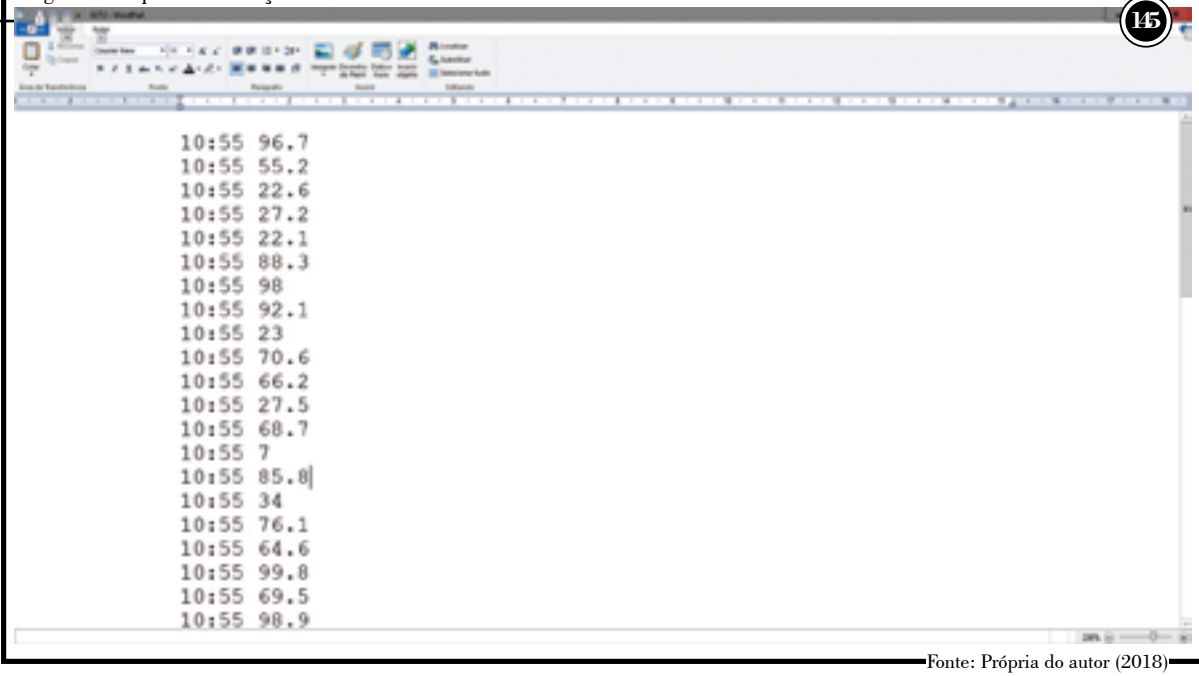
da pasta no *OwnCloud Server* para sincronização].

Instruções para utilização do container disponibilizado no Docker Hub no endereço jsmac/fogsys e jsmac/fogsys-arm são as seguintes:

- Execute o contêiner: [docker run -dti --name=fogsys -p 8000:8000 jsmac/fogsys:latest];
- Acesse o contêiner: [docker exec -ti fogsys bash];
- Inicie o servidor do Django: [cd fogsys/Fogsys/fogys/], [python3.6 manage.py runserver 0.0.0.0:8000];
- Configure o serviço de sincronização criando uma pasta no *OwnCloud Server* denominada *cloud*;
- Edite o arquivo CRONTAB: [nano /etc/crondat];
- Altere o nome de usuário, senha e endereço do *Owncloud Server* na linha abaixo [owncloudcmd -u admin -p admin /fogsys/FogSys/fogsys/fogsys/core/cloud http://10.65.1.26/remote.php/webdav/cloud];
- Inicie o serviço CRON: [/etc/init.d/cron start]
- Acesse o sistema FogSys para gerenciamento: [http://localhost:8000/admin/];
- Usuário: root senha: admin;
- Exemplo para enviar solicitação via http: [http://localhost:8000/fogsys/6/87.22/d4b85c4bc28f1535c94d0cd6e28301a5816151f56b8ae2ce06];
- Para execução de teste: [http://localhost:8000/test-measurement/].

A figura 6.9 apresenta um exemplo do conteúdo do arquivo gerado pela simulação de envio dos dados do sensor G5T2 e enviado para *Fog Computing*, observa-se que o nome do arquivo é mesmo nome do sensor no formato txt, onde consta a hora da medição e o valor medido.

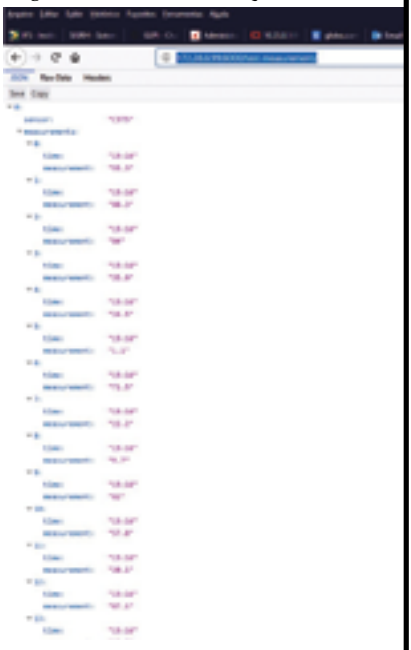
Fig. 6.9 - Arquivo de medição



Fonte: Própria do autor (2018)

A figura 6.10 apresenta a realização do experimento em tempo real da simulação do envio dos dados dos sensores para o sistema FogSys, simulando um ambiente real da *Fog Computing* para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), e o resultado é mostrado no navegador WEB.

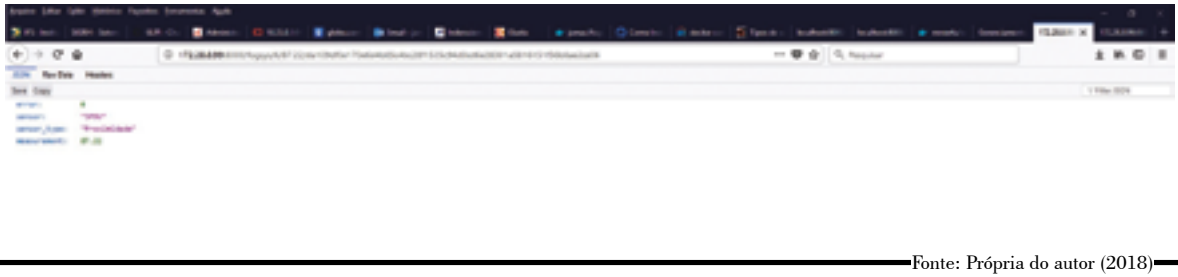
Fig. 6.10 - Teste de simulação



Fonte: Própria do autor (2018)

A figura 6.11 apresenta a realização do experimento em tempo real da medição de produção do envio dos dados dos sensores via protocolo HTTP para o sistema FogSys, simulando um ambiente real da *Fog Computing* para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), e o resultado é mostrado no navegador WEB.

Fig. 6.11 - Teste de envio via HTTP



Fonte: Própria do autor (2018)

Observa-se que o envio dos dados pelos sensores via HTTP segue uma ordem no link de envio, a exemplo:

http://172.28.8.99:8000/fogsys/6/87.22/da109df0e170e6d4b85c4bc28f1535c94d0cd6e28301a5816151f56b8ae2ce06

Onde-se:

- http://172.28.8.99:8000/fogsys: [endereço do servidor do sistema FogSys];
- /6: [ID do sensor no database do sistema FogSys];
- /87.22: [medição do sensor];
- /da109df0e170e6d4b85c4bc28f1535c94d0cd6e 28301a5816151f56b8ae2ce06: [número hash que identifica o sensor no database do sistema FogSys].

A figura 6.12 apresenta a realização do experimento em tempo real da chegada dos dados na *Cloud Computing* enviados pelo sistema FogSys, simulando um ambiente real da *Fog Computing* para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), e o resultado é mostrado no sistema de armazenamento em nuvem *OwnCloud Server*.

Observa-se que o sistema cria duas pastas distintas, uma para

a medição de produção pelo envio de dados via protocolo HTTP denominada production_measurement e outra para a medição via teste de simulação denominada test_measurement.

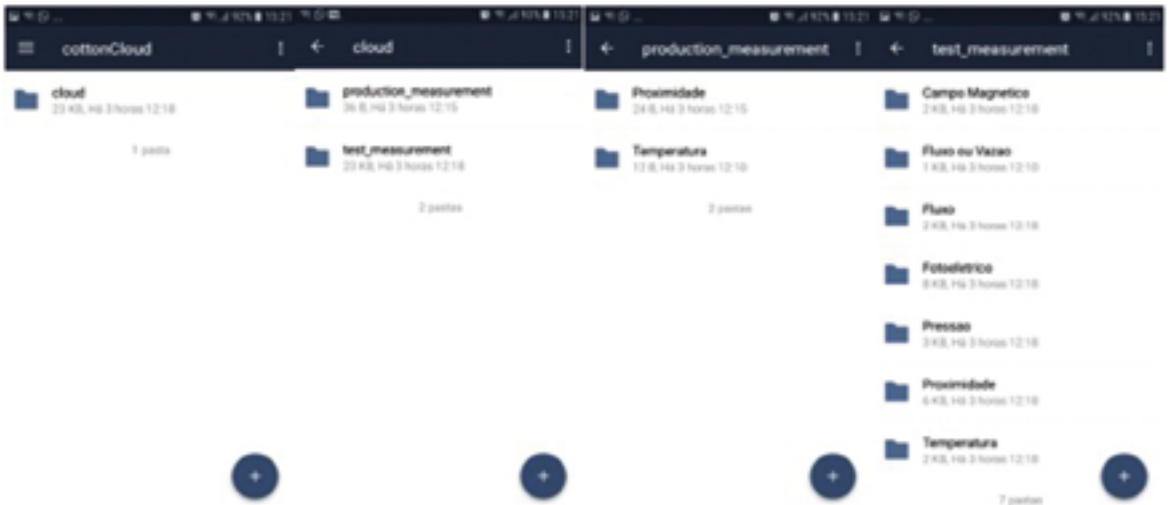
A figura 6.13 demonstra a realização do experimento em tempo real da chegada dos dados no *Smartphone* Samsung Galaxy J7 enviados pelo sistema de *Cloud Computing OwnCloud Server*, simulando um ambiente real da *Fog Computing* para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), e o resultado é mostrado no *Smartphone Samsung* Galaxy J7 utilizando o sistema de sincronização de dados cottonCloud.

Observa-se que a figura 6.13 demonstra quatro telas diferentes dos dados sincronizados para o *Smartphone Samsung* Galaxy J7, dentro das pastas production_measurement e test__measurement o sistema cria subpastas distintas para cada tipo de sensores cadastrados no sistema FogSys, dentro dessas pastas são criadas subpastas identificando o ano, mês e dia da medição dos sensores e por fim o sistema grava um arquivo com o nome do sensor contendo a hora e o valor das suas medições no formato txt.

Fig. 6.12 - Dados no OwnCloud Server

Fonte: Própria do autor (2018)

Fig. 6.13 - Dados no Smartphone



Fonte: Própria do autor (2018)

Definir o nível aceitável do fornecimento do serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), em uma emergente tecnologia em que se trata o ambiente *Fog Computing* é uma tarefa complexa e subjetiva, dependente da classificação da aplicação.

Diferentes aplicações de computação em *Fog* foram sugeridas na literatura. Segundo OSANAIYE et al. (2017), as categorias das aplicações de computação em *Fog* são divididas em 3: (i) Aplicações em tempo real; (ii) Aplicações quase em tempo real; (iii) Aplicações introduzidas em redes.

(i) As aplicações em tempo real são aplicações de baixa latência, que funcionam dentro de um período de tempo pré-definido, sendo classificada pelo usuário como imediata ou urgente.

(ii) Quase em tempo real, por outro lado, são aplicações que estão sujeitas a atraso de tempo introduzido pelo processamento de dados ou transmissão de rede, entre o momento em que ocorre um evento e o uso dos dados para processamento.

(iii) A computação em *Fog* também pode ser introduzida em uma rede (para aplicativos que não necessite de processamento e transmissão em tempo real), para reduzir a quantidade de tráfego no núcleo de processamento.

Neste sentido, nota-se neste trabalho que na avaliação e no experimento da implementação de uma *Fog Computing* para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), utilizando o sistema FogSys com o dispositivo de sistemas embarcados Raspberry 3 Pi, foi realizado com êxito e podendo satisfazer as expectativas para as aplicações classificadas em aplicações quase em tempo real e introduzida na rede, não sendo adequada para as aplicações classificadas como aplicações em tempo real, devido as implementações nos dispositivos de sistemas embarcados obterem valores muito elevados nas métricas de desvio padrão, tornando o serviço pouco preciso.

Porém, sabemos que o sistema FogSys é um protótipo e serão necessárias mais pesquisas acadêmicas para aglutinar novas funções que se adéquem aos futuros dispositivos de sensores do mundo IoT.

CRÉDITOS

CONCLUSÃO

A *Fog Computing* poderá distribuir serviços avançados de computação, armazenamento, rede e gerenciamento mais próximos dos usuários finais ao longo da borda da rede, entre a *Cloud*, IoT e dispositivos móveis, formando assim uma plataforma distribuída e virtualizada.

Problemas de latência, armazenamento e poder de processamento desses dispositivos fizeram surgir a *Fog Computing*. Assim, a computação em *Fog* rapidamente atraiu muita atenção da indústria e da academia.

Esta obra apresenta o conceito da *Fog Computing*, seus desafios, sua contextualização teórica, os trabalhos correlatos junto com a revisão sistemática e realiza a implementação e análise de uma *Fog Computing*, para fornecer StaaS (*Storage as a Service*), a dispositivos IoT utilizando plataformas de sistemas embarcados e compara seus resultados com os obtidos por um servidor de alto desempenho. Foram realizados testes com vários tamanhos de arquivos (variando de 1 byte até 500 megabytes).

Foram realizados cinco (5) implementações de diferentes combinações de *softwares* e *hardwares*, e analisa seus resultados com a finalidade de encontrar a melhor opção para disponibilizar o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*) em um ambiente *Fog Computing*.

Foi desenvolvido o Sistema FogSys com o objetivo principal de simular, receber, validar e armazenar os dados de dispositivos IoT para serem transferidos para *Cloud Computing*, funcionando como uma *Fog Computing* para fornecer o serviço de StaaS (*Storage as a Service*).

Realiza um experimento da implementação de uma *Fog Computing* para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), utilizando o sistema FogSys com o dispositivo de sistemas embarcados Raspberry 3 Pi, sendo realizado com

êxito, porém sabemos que o sistema FogSys é um protótipo e são necessárias mais pesquisas acadêmicas para aglutinar novas funções que se adequem aos futuros dispositivos de sensores do mundo IoT.

Os resultados satisfizeram as expectativas, na avaliação do teste Test3 0/1000/10000 (transferência de 1000 arquivos de 10 Kilobytes) a implementação RASPBERRY PI 3 + RASPBIAN STRETCH LITE surpreendeu, obtendo ótimos resultados, superando até mesmo a implementação do servidor DELL T410, obteve nas métricas dos quesitos tempo médio de *upload* 289,40 segundos e *download* 120,77 segundos contra *upload* de 350,63 segundos e *download* 163,93 segundos do servidor DELL T410, foram os melhores resultados entre todas as implementações neste teste. Todavia notou-se que o desvio padrão dos seus resultados apresentou uma alta discrepância, isso o torna um serviço pouco preciso.

Neste sentido, nota-se neste trabalho que na avaliação e no experimento da implementação de uma *Fog Computing* para fornecer o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), utilizando o sistema FogSys com o dispositivo de sistemas embarcados Raspberry 3 Pi, foi realizado com êxito e podendo satisfazer as expectativas para as aplicações classificadas em aplicações quase em tempo real e introduzida na rede, não sendo adequada para as aplicações classificadas como aplicações em tempo real, devido as implementações nos dispositivos de sistemas embarcados obterem valores muito elevados nas métricas de desvio padrão, tornando o serviço pouco preciso.

Portanto percebe-se que a implementação desse serviço em dispositivos de sistemas embarcados pode ser uma boa alternativa para reduzir um desses problemas, no caso, o armazenamento de dados, que atinge hoje os dispositivos IoT, servindo como *Fog Computing* para armazenar dados desses dispositivos e enviar à *Cloud Computing*, com segurança e eficiência no transporte dos dados entre as redes, e sendo implementado num dispositivo de

plataforma embarcada de baixo custo, em vez de usar potentes e caros servidores para exercer essa função.

7.1 Artigos publicados

Com o resultado deste trabalho foram publicados os seguintes artigos:

- Uma Revisão da Fog Computing e Seus Desafios de Pesquisas - **Journal on Advances in Theoretical and Applied Informatics** – 2017;
- Avaliação de Performance para Fornecer StaaS a Dispositivos IoT em Ambiente Fog Computing - **XIX Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho** – (WSCAD 2018);
- A Survey on Fog Computing and Its Research Challenges - **International Journal of Grid and Utility Computing** – 2019.

7.2 Trabalhos futuros

Com a finalidade e o desejo em dar continuidade ao projeto de implementação de *Fog Computing* utilizando dispositivos de sistemas embarcados, acredita-se que esse trabalho abriu vários cenários para novos trabalhos futuros pela comunidade acadêmica científica.

O desempenho das cinco implementações abordados neste trabalho foram avaliados com a finalidade de encontrar a melhor combinação de *software* e *hardware* para disponibilizar o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*). Não obstante, novos dispositivos embarcados, assim como novas tecnologias, surgirão. Dessa forma, amplia-se a possibilidade de estender este trabalho, sendo:

- Analisar o serviço de armazenamento StaaS (*Storage*

as a Service), com diferentes plataformas de dispositivos de sistemas embarcados não utilizados neste trabalho e utilizando o *benchmark* Smashbox;

- Analisar o serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), com diferentes plataformas de serviço de armazenamento em nuvem, caso do sistema Seafile utilizando o *benchmark* Smashbox;
- Analisar mais profundamente o *hardware* (como processamento, memória e rede) dos dispositivos de sistemas embarcados para descobrir o fato dos seus resultados nas avaliações do fornecimento do serviço de armazenamento StaaS (*Storage as a Service*), obterem uma enorme discrepância no valor do desvio padrão;
- Realizar a mesma avaliação e experimento utilizando *cluster* com dispositivos de sistemas embarcados, usando a virtualização DOCKER *Container* e comparar os resultados obtidos com deste trabalho;
- Implementar a *Fog Computing* com o sistema FogSys utilizando sensores reais;
- Desenvolver novas funções para o sistema FogSys que se adequem aos futuros dispositivos de sensores do mundo IoT.

Além das técnicas de medições apresentadas é possível acoplar novas técnicas e assim substituí-las ou até mesmo aperfeiçoá-las. Realizar testes com técnicas diferentes é importante para definir a técnica que possui melhor resultado.

References

AL-DOGHMAN, Firas et al. A review on Fog Computing technology. In: **Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2016 IEEE International Conference on.** IEEE, 2016. p. 001525-001530.

ALRAWAIS, Arwa et al. Fog Computing for the Internet of Things: Security and Privacy Issues. **IEEE Internet Computing**, v. 21, n. 2, p. 34-42, 2017.

ANTONI, Marco; VIVIAN, Gláucio Ricardo; PREUSS, Evandro. Implementação de uma nuvem de armazenamento privada usando Owncloud e Raspberry PI. **Anais do EATI - Encontro Anual de Tecnologia da Informação e Semana Acadêmica de Tecnologia da Informação**, 2015, Ano 5 n. 1, pp. 55-62.

BABU, Shaik Masthan; LAKSHMI, A. Jaya; RAO, B. Thirumala. A study on cloud based internet of things: Cloudiot. In: **Communication Technologies (GCCT), 2015 Global Conference on.** IEEE, 2015. p. 60-65.

BOTTA, Alessio et al. Integration of cloud computing and internet of things: a survey. **Future Generation Computer Systems**, v. 56, p. 684-700, 2016.

BPI-M3 Octa-core Development Board. Disponível em: http://www.banana-pi.org/m3.html. Acesso outubro 2017.

CHEN, Songqing; ZHANG, Tao; SHI, Weisong. Fog Computing. **IEEE Internet Computing**, v. 21, n. 2, p. 4-6, 2017.

CHIANG, Mung et al. Clarifying Fog Computing and Networking: 10 Questions and Answers. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, n. 4, p. 18-20, 2017.

CRACIUNESCU, Razvan et al. Implementation of Fog computing for reliable E-health applications. In: **Signals, Systems and Computers, 2015 49th Asilomar Conference on**. IEEE, 2015. p. 459-463.

DALLE VACCHE, Andrea; LEE, Stefano Kewan. **Zabbix**

network monitoring essentials. Packt Publishing Ltd, 2015.

Detalhes do Servidor DELL PowerEdge T410 em: http://www1.la.dell.com/ br/pt/corp/Servidores/server-poweredge-t410. Acesso maio 2018.

DÍAZ, Manuel; MARTÍN, Cristian; RUBIO, Bartolomé. State-of-the-art, challenges, and open issues in the integration of Internet of things and cloud computing. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 67, p. 99-117, 2016.

FAN, Chih-Tien et al. Web Resource Cacheable Edge Device in Fog Computing. In: **Parallel and Distributed Computing (ISPDC), 2016 15th International Symposium on**. IEEE, 2016. p. 432-439.

GENG, Xiaolin et al. An Novel Architecture and Inter-process Communication Scheme to Adapt Chromium Based on Docker Container. **Procedia Computer Science**, v. 107, p. 691-696, 2017.

HAJIBABA, Majid; GORGIN, Saeid. A review on modern distributed computing paradigms: Cloud computing, jungle computing and fog computing. **CIT. Journal of Computing and Information Technology**, v. 22, n. 2, p. 69-84, 2014.

HAO, Zijiang et al. Challenges and Software Architecture for Fog Computing. **IEEE Internet Computing**, v. 21, n. 2, p. 44-53, 2017.

HUO, Jiuyuan; QU, Hong; WU, Ling. Design and implementation of private cloud storage platform based on OpenStack. In: **Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity), 2015 IEEE International Conference on**. IEEE, 2015. p. 1098-1101.

JAIN, Akshay; SINGHAL, Priyank. Fog computing: Driving force behind the emergence of edge computing. In: **System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), International Conference**. IEEE, 2016. p. 294-297.

JAIN, Raj. **The Art of Computer Systems Performance Analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling.** 1991.

KITCHENHAM, Barbara. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004.

KUMAR, Praveen; ZAIDI, Nabeel; CHOUDHURY, Tanupriya. Fog computing: Common security issues and proposed countermeasures. In: **System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), International Conference**. IEEE, 2016. p. 311-315.

LI, Songze; MADDAH-ALI, Mohammad Ali; AVESTIMEHR, A. Salman. Coding for Distributed Fog Computing. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, n. 4, p. 34-40, 2017.

LINTHICUM, David S. Connecting Fog and Cloud Computing. **IEEE Cloud Computing**, v. 4, n. 2, p. 18-20, 2017.

LONGO, Francesco et al. Stack4things: An openstack-based framework for iot. In: **Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2015 3rd International Conference on**. IEEE, 2015. p. 204-211.

MACHADO, José dos Santos; MORENO, Edward David; RIBEIRO, Admilson de Ribamar Lima. A Review of Computing Fog and its Research Challenges. **Journal on Advances in Theoretical and Applied Informatics**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 32-39, dec. 2017. ISSN 2447-5033.

MARTINI, Ben; CHOO, Kim-Kwang Raymond. Cloud storage forensics: ownCloud as a case study. **Digital Investigation**, v. 10, n. 4, p. 287-299, 2013.

MCMILLIN, Bruce; ZHANG, Tao. Fog Computing for Smart Living. **Computer**, v. 50, n. 2, p. 5-5, 2017.

MRÓWCZYNSKI, Piotr et al. Benchmarking and monitoring framework for interconnected file synchronization and sharing services. **Future Generation Computer Systems**, 2017.

Nextcloud 12 Server Administration Manual. Disponível em: https://docs.nextcloud.com/ server/12/admin_manual/index.html. Acesso outubro 2017.

NWOBODO, Ikechukwu (2015). A Comparison of Cloud

Computing Platforms. **International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)**. Lisbon, Portugal, 24-27 May 2015. Atlantis Press.

OSANAIYE, Opeyemi et al. From cloud to fog computing: A review and a conceptual live VM migration framework. **IEEE Access**, 2017.

POPENTIU-VLADICESCU, Florin; ALBEANU, Grigore. Software reliability in the fog computing. In: **Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT), 2017 International Conference on**. IEEE, 2017. p. 1-4.

PRINCY, S. Emima; NIGEL, K. Gerard Joe. Implementation of cloud server for real time data storage using Raspberry Pi. In: **Green Engineering and Technologies (IC-GET), 2015 Online International Conference on**. IEEE, 2015. p. 1-4.

Seafile Server Manual. Disponível em: https://manual.seafile.com/overview/ components.html. Acesso outubro 2017.

STEINER, Wilfried; POLEDNA, Stefan. Fog computing as enabler for the Industrial Internet of Things. **e & i Elektrotechnik und Informationstechnik**, v. 133, n. 7, p. 310-314, 2016.

STOJMENOVIC, Ivan et al. An overview of Fog computing and its security issues. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, 2015.

VERBA, Nandor et al. Platform as a service gateway for the Fog of Things. **Advanced Engineering Informatics**, 2016.

WHAT IS DOCKER em: https://www.docker.com/what-docker. Acesso maio 2018.

ZHANG, Qi; CHENG, Lu; BOUTABA, Raouf. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. **Journal of internet services and applications**, v. 1, n. 1, p. 7-18, 2010.

ZHU, Jiang et al. Improving web sites performance using edge servers in fog computing architecture. In: **Service Oriented System Engineering (SOSE), 2013 IEEE 7th International Symposium on**. IEEE, 2013. p. 320-323.

EDITORA IFS

INSTITUTO FEDERAL
Sergipe

PROPEX
Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão