

# Uma Revisão da Fog Computing e Seus Desafios de Pesquisas

**José dos Santos Machado**

*Departamento de Computação, Universidade  
Federal de Sergipe – UFS – Brasil  
jsmac18@hotmail.com*

**Admilson de Ribamar Lima Ribeiro**

*Departamento de Computação, Universidade  
Federal de Sergipe – UFS – Brasil  
admilson@ufs.br*

**Edward David Moreno**

*Departamento de Computação, Universidade  
Federal de Sergipe – UFS – Brasil  
edwdavid@gmail.com*

**Resumo**—*Este trabalho faz uma revisão do novo paradigma da computação distribuída que é a Fog Computing, apresenta seu conceito, características e áreas de atuação. Realiza uma revisão da literatura sobre a problemática da sua implementação e analisa seus desafios de pesquisas como: questões de segurança; questões operacionais e sua padronização. Percebemos que faltam muitas questões a serem investigadas no meio acadêmico para que sua implementação seja uma realidade, porém ficou evidente que sua adesão é inevitável para a internet do futuro.*

**Palavras-chave:** *Fog Computing, Cloud Computing, Computação Distribuída, IoT, Integração Cloud à IoT, Desafios de Pesquisas.*

## I. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, observa-se que serviços de computação como armazenamento, processamento de dados e controle foram transferidos 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 na borda da rede é muitas vezes necessária [6]. 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 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 [28].

Para ultrapassar estas limitações, porções da capacidade de computação da nuvem podem ser deslocados 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 atende melhor às demandas emergentes [21].

A Fog Computing apresenta uma nova arquitetura que “leva processamento para os dados”, enquanto a nuvem “leva os dados para o processamento” [1]. 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 [11].

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 terá gateways de borda que têm mais capacidade de computação. Uma rede de sensores, incluindo sensores e atuadores, estará profundamente conectada aos gateways do “nevoeiro” e aos dispositivos móveis diretamente e, em seguida, faz 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 implantar, 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; entre outros.

Este trabalho apresenta uma revisão do novo paradigma da computação distribuída que é a Fog Computing, seu conceito, características e áreas de atuação são apresentados. Faz uma revisão da literatura sobre a problemática da sua implementação e analisa seus desafios de pesquisas.

O artigo está organizado em cinco seções, a seção 2 apresenta o conceito e características da Fog Computing, a seção 3 é dedicada a revisão da literatura, na seção 4 temos os desafios de pesquisas e por fim na seção 5 as conclusões e trabalho futuro.

## II. FOG COMPUTING

Nesta seção são apresentados e explicados o conceito, as características e as áreas de aplicação e atuação do novo paradigma da computação distribuídas que é a Fog Computing.

### II. I. CONCEITO DA FOG COMPUTING

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 [6].

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, segurança e privacidade dos aplicativos em área restrita geograficamente [31]. 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 [24].

Para isso, surgiu um novo diagrama, a *Fog Computing*. O conceito de computação em Fog foi adotado pela *Cisco Systems* como um novo paradigma em 2012 [11]. A *Fog Computing* é a computação em nuvem que distribuirá 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 [14]. A figura 1 mostra a localização entre *Fog Computing* e *Cloud Computing*.

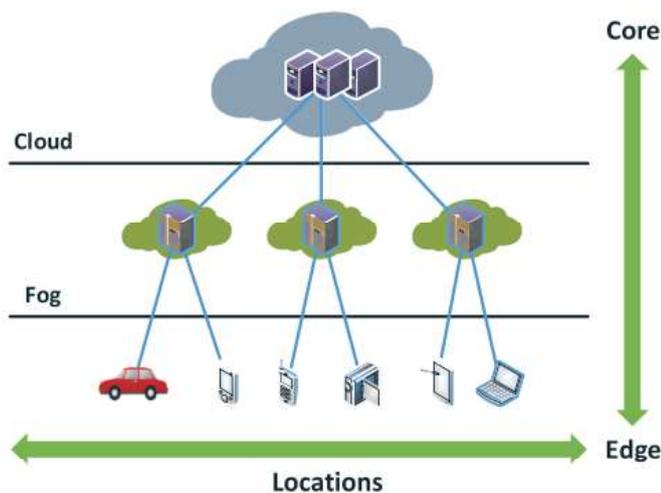


Fig. 1 - Fog localizada entre borda e nuvem [28]

A computação em *Fog* oferece muitas vantagens desejadas pelas aplicações de hoje, como processamento em tempo real, rápida escalabilidade e compartilhamento de recursos e armazenamento local. Como tal, a computação em *Fog* 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 [17].

## II.II. CARACTERÍSTICAS DA FOG COMPUTING

A computação *Fog* é um paradigma inovador que realiza computação distribuída, serviços de rede e armazenamento, além da comunicação entre *Cloud Computing Data Centers* até os dispositivos ao longo da borda da rede. Essa comunicação amplia as operações e serviços inerentes à computação em nuvem, permitindo assim uma nova geração de aplicativos [24]. A principal função é filtrar e agregar dados para os centros de dados da Cloud e aplicar inteligência lógica a dispositivos finais. A figura 2 apresenta arquitetura da *Fog Computing* com a sua localização.

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.

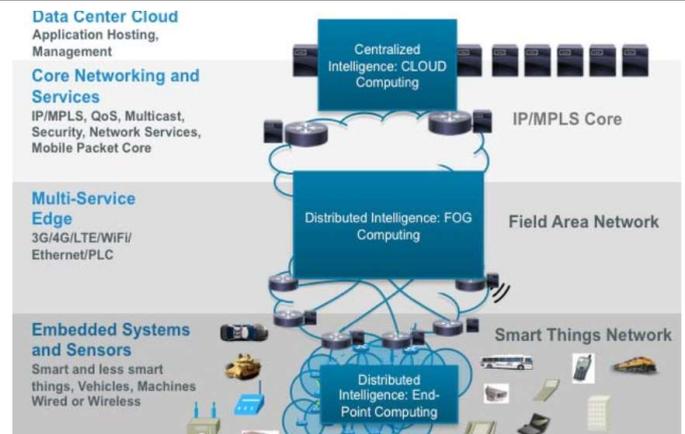


Fig. 2 - Arquitetura da Fog Computing [31]

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 computação em *Fog* 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 de computação em *Fog* 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 mobilidade:** O suporte à mobilidade é essencial para muitos aplicativos de computação em *Fog*, 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;
- **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;
- **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;
- **Interoperabilidade:** Os componentes de *Fog* devem ser capazes de interoperar para garantir suporte para ampla gama de serviços, como transmissão de dados.

*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 [7]. 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 [1].

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 [1]. A tabela 1 mostra a 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 segundo	3 segundos
Tráfego de internet	75 Kbps	10 Kbps
Hardware usado	Amazon Web Server	Sistemas embarcados, a exemplo do Raspberry PI

Tabela 1 - Resultados entre a Cloud e a Fog [1]

### II. III. ÁREAS DE APLICAÇÃO E ATUAÇÃO

Diferentes aplicações de computação em *Fog* foram sugeridas na literatura. Segundo OSANAIYE *et al.* (2017) [24], as categorias das aplicações de computação em *Fog* são divididas em: (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 aplicações que não necessitem 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 computação em *Fog*, que incluem conhecimento de localização, baixa latência, suporte para mobilidade e análise 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 jogos 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 os 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, 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, engenharia, de comunidades de pesquisa e de profissionais, como um meio para superar os desafios associados ao rápido crescimento urbano.

#### f) *Veículos inteligentes*

O advento da computação em nuvem para dispositivo móvel exigiu 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 e na possibilidade de um custo 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 recebidos.

#### 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 de computação em *Fog* 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.

As aplicações atuais e futuras que exigem a computação em Fog 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 [6].

**III. REVISÃO DA LITERATURA**

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 [3,4,5,9,13,30].

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 de computação de *Fog*, melhorando gradualmente oportunidades produtivas em vários 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.

*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 [27].

**III. I. 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 [15].

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 auditoragem.

Assim, a RS teve o seu foco na caracterização dos processos de desenvolvimento de solução para implementação da *Fog Computing*.

Foram identificados 825 artigos (gráfico 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).

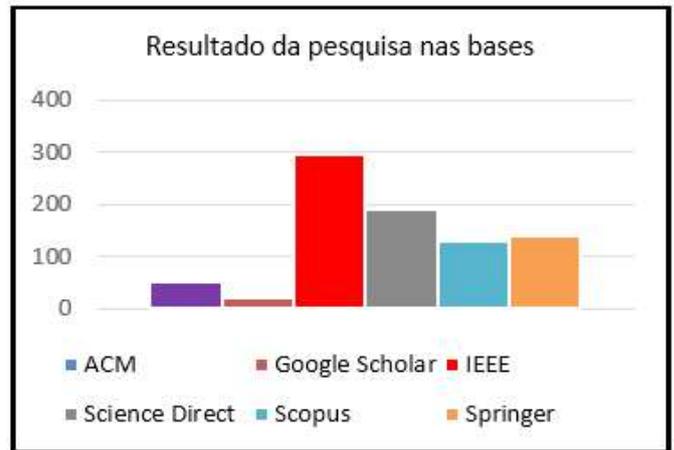


Gráfico 1 - Artigos identificados  
 Fonte: Própria do autor (2017)

Nesse momento, houve o julgamento dos critérios de exclusão 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 de exclusão (trabalhos que não apresentaram texto completo; trabalhos onde os termos de busca não se apresentam nos campos: título, resumo e palavras-chave e trabalhos de conclusão de curso) e 258 trabalhos excluídos (gráfico 2) por estar duplicados quando da exportação dos resultados de consultas das bases.

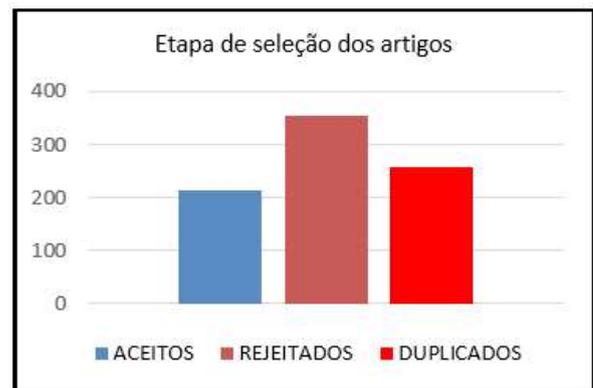


Gráfico 2 - Resultado da etapa de seleção dos artigos  
 Fonte: Própria do autor (2017)

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.

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 e fazem parte das minhas referências bibliográficas.

**III.II. TRABALHOS ANALISADOS**

Um total de oito artigos foram identificados na implementação da *Fog Computing*, para melhorar alguns dos serviços da integração entre a *Cloud* e os dispositivos IoT, apresentaremos seus resultados e seus respectivos trabalhos futuros de pesquisas.

ZHU *et al.* (2013) [31], apresentaram a otimização da web dentro do contexto *Fog Computing*. Aplicaram 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*). Como trabalho futuro sinalizaram aplicar seus conceitos propostos para desenvolver um sistema de prova de conceito.

No trabalho de CRACIUNESCU *et al.* (2015) [8], apresentaram 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. Como trabalho futuro sinalizaram adicionar mais sensores e mais dispositivos *off-the-shelf*, que são atualmente *mainstream*, e os dados de fusão desses dispositivos.

Em [29] VERBA *et al.* (2016), analisaram 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. E sinalizaram como trabalho futuro desenvolver um ambiente de laboratório inteligente com diversos dispositivos mais complexos e cenários de controle para testar completamente o sistema.

FAN *et al.* (2016) [10], apresentaram 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. Como trabalho futuro sinalizaram adicionar mais funcionalidades ao dispositivo de borda, como a segurança e implementar o trabalho no mundo real.

No trabalho de HAO *et al.* (2017) [12], apresentaram um design do WM-FOG, uma estrutura de computação para ambientes *Fog*, que engloba essa arquitetura de software e avalia seu protótipo do sistema. Como trabalho futuro sinalizaram adicionar mais recursos ao WM-FOG para melhor atender às aplicações de computação em *Fog*.

Em [17] LI *et al.* (2017), discutiram dois conceitos de codificação recentemente propostos, códigos de mínima largura de banda e códigos mínima latência, e ilustram seus impactos na computação em *Fog*, também analisaram uma estrutura de codificação unificada que inclui as duas técnicas de codificação acima descritas. Como trabalho futuro sinalizaram a necessidade de pesquisar 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*.

OSANAIYE *et al.* (2017) [24], apresentaram uma abordagem conceitual de migração em tempo real de pré cópia para a migração de VM e sinalizou como trabalho futuro a implantação do *framework* no mundo real ou ambiente de teste, com o objetivo de sua validação.

E por fim, POPENTIU-VLADICESCU *et al.* (2017) [25], analisaram os modelos de 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. Como trabalho futuro sinalizaram resolver problemas técnicos e de algoritmos no paradigma de *Fog Computing*.

A análise dos estudos apresentados permitiu identificar que, a produção científica sobre a implementação da *Fog Computing* ainda é escassa. 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 segurança e velocidade na transmissão dos dados entre a *Cloud* e IoT.

Na tabela 2 os dados dos artigos analisados são sumarizados e apresentados, foram organizados na ordem crescente cronologicamente para demonstrar a evolução em relação ao tema *Fog Computing*. Os artigos foram comparados quanto a implementação da *Fog Computing*, a utilização de plataforma de *Cloud*, utilização de dispositivo embarcado e uso de técnicas ou métodos de avaliação (Benchmark).

Artigo	Fog Computing	Plataforma Cloud	Dispositivo Embarcado	Benchmark
[31] ZHU (2013)	✓			
[8] CRACIUNESCU (2015)	✓	✓	✓	
[29] VERBA (2016)	✓	✓	✓	✓
[10] FAN (2016)	✓			✓
[12] HAO (2017)	✓	✓		✓
[17] LI (2017)	✓			✓
[24] OSANAIYE (2017)	✓			
[25] POPENTIU-VLADICESCU (2017)	✓			

Tabela 2 – Comparação entre os trabalhos

Fonte: Própria do autor (2017)

#### IV. DESAFIOS DE PESQUISAS

*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* [10,14].

Em [5] os autores fizeram 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 [16]. 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 afirma-se em [28], 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.

#### IV. I. QUESTÕES DE SEGURANÇA

Como uma “pequena nuvem” perto dos usuários finais, os dispositivos de Fog podem enfrentar desafios de segurança de sistema e deverão ser implementados em locais de vigilância e proteção rigorosas. A fim de proteger dos objetivos de mal-intencionados, como a espionagem e o sequestro de dados. Os ataques tradicionais tornam-se disponíveis para comprometer o sistema de dispositivos de Fog [28]. Nesta seção, discutiremos os problemas de segurança do sistema em *Fog Computing*.

##### a) Técnicas de detecção de intrusão

As técnicas de detecção de intrusão também podem ser aplicadas na computação de Fog. A intrusão em redes inteligentes pode ser detectada usando um método baseado em assinatura, no qual os padrões de comportamento são observados e verificados em um banco de dados. A intrusão também pode ser capturada usando um método baseado em anomalia em que um comportamento observado é comparado com o comportamento esperado para verificar se há um desvio de conduta.

Em [28], os autores apresentam um exemplo de ataque de homem no meio. O ataque homem no meio tem potencial para se tornar um ataque típico na computação em Fog. Neste ataque, os *gateways* que servem como dispositivos de Fog podem ser comprometidos ou substituídos por falsos. Exemplos são os clientes KFC ou da *Star Bar* que se conectam a pontos de acesso maliciosos que fornecem identificadores de conjunto de serviços enganosos como legítimos. A comunicação privada das vítimas será sequestrada uma vez que os atacantes assumam o controle dos *gateways*.

##### b) Autenticação e autorização

As questões de autenticação e autorização não foram estudadas no contexto da computação em Fog. Elas foram estudadas no contexto de redes inteligentes e comunicação máquina a máquina [28]. Existem soluções de segurança para computação em nuvem. No entanto, elas podem não se adequar à computação em Fog, porque os dispositivos de Fog funcionam na extremidade das redes. O ambiente de trabalho dos dispositivos Fog enfrentará muitas ameaças que não existem em uma nuvem bem gerenciada.

Os dispositivos de Fog geralmente possuem algum tipo de conectividade com o servidor de autenticação remoto da Nuvem, que pode ser usado para distribuir informações de autenticação e coletar logs de auditoria, mas essa conectividade pode ser muito lenta em certos ambientes.

Além disso, a dependência dos servidores de autenticação central da *Cloud* não é o ideal, porque a autenticação deve continuar a ser aplicada para a pessoa que acessa os dispositivos localmente, quando a comunicação do servidor de autenticação remota estiver desativada. Uma provisão para garantir que o acesso necessário esteja disponível em situações de emergência pode ser importante, mesmo que isso signifique ignorar o controle de acesso normal, mas com um certo controle de auditoria.

##### c) Segurança de rede

O desenvolvimento de tecnologia sem fio levou ao aumento de problemas de segurança. A computação em Fog é afetada de maneiras semelhantes, como outras tecnologias sem fio. Vários exemplos de tais ataques são *sniffer*, *spoofing*, *jamming*, etc. Esses ataques normalmente ocorrem entre o nó de Fog e o sistema de nuvem centralizado. Geralmente, costuma-se confiar nas configurações definidas pelo sistema central da rede, que separa o tráfego de dados normal da rede do cliente. Por este motivo sobrecarrega muito o gerenciador de rede. Além disso, os nós de

neblina estão na borda da rede, o que aumenta o processamento do gerenciador de rede. SDN (*Software Defined Networking*) pode ser usado como uma abordagem para o gerenciador de rede para trabalhar no baixo nível de abstração para os serviços de rede [16]. Pode ajudar no gerenciamento, aumentar a escalabilidade da rede e reduzir o custo com referência à computação em Fog.

##### d) Segurança dos dados

Na *Fog Computing* o controle do usuário para os dados é transmitido pelo nó de Fog, daí os mesmos problemas de segurança surgem da computação em nuvem. A integridade dos dados não poderá ser mantida quando os dados forem perdidos ou também modificados. Os dados que são carregados para o nó de Fog também podem ser usados por terceiro. Existem várias técnicas que podem ser usadas para fornecer integridade de dados, confidencialidade e veracidade, como a combinação de criptografia *homomorphic* e criptografia *searchable* [16]. Essas técnicas garantem que o cliente não armazene dados no servidor não confiável. Também os dados podem ser recuperados de maneira muito mais rápida, e portanto, o custo da comunicação se torna baixo. Sempre haverá novos desafios na computação em Fog, relacionados ao sistema de armazenamento que pode lidar com as operações dinâmicas de uma maneira muito mais rápida e ocupar menos espaço.

##### e) Privacidade

A privacidade do usuário é fator primordial em qualquer sistema de computação, essa questão é de grande preocupação também na computação em Fog. Não só o prestador de serviços, mas o fato de que o governo também está envolvido torna-o mais desafiador. Na verdade, torna-se ainda mais fácil para o terceiro ter acesso aos dados privados do usuário, localização e etc. E portanto, o usuário se torna propenso a ataques. Devido à entrega de dados na borda do nó de Fog, torna-se muito mais fácil coletar todas as informações importantes dos usuários. Este é um dos problemas mais desafiadores na *Fog Computing*, preservar a privacidade dos usuários [16].

##### f) Protocolos seguros e eficientes

Muitos protocolos existentes, são baseados em tempo sincronização e transmissões de pacotes em redes sem fio e não são adequados para dispositivos IoT com recursos limitados em computação em Fog. As transmissões sem fio e os cálculos de segurança consomem uma fração significativa da capacidade de energia [2]. O principal desafio é como projetar esquemas seguros e eficazes no IoT sem sacrificar o desempenho e consumir uma alta taxa energia.

##### g) Verificação de localização

Em ambientes hostis como veículos e ferrovias, os dispositivos IoT em um ambiente de Fog podem se mover de forma rápida e dinâmica, o que dificulta a verificação da localização. O principal desafio é como projetar um esquema de verificação de localização seguro e preciso em ambientes tão volátil e, ao mesmo tempo, o esquema deve ser adequado para dispositivos IoT com recursos limitados.

#### IV.II. QUESTÕES OPERACIONAIS

Em [12], os autores apresentam uma série de questionamentos sobre o funcionamento da *Fog Computing*, como questões a serem pesquisadas e definidas.

(i) Para nós de Fog com hardware heterogêneo, é aceitável trocar eficiência energética por latência reduzida?

- (ii) Um processo em um nó de Fog deve ser interrompido quando o usuário se mover em direção a outro nó de Fog?
- (iii) Como as tarefas devem ser agendadas considerando latência, consumo de energia, mobilidade e carga de trabalho existente?
- (iv) Onde o programa de agendamento deve ser executado?
- (v) Quais são os benefícios das tarefas conjuntas de agendamento?
- (vi) Quando os serviços devem ser iniciados e interrompidos?
- (vii) Qual a melhor forma de equilibrar a carga de trabalho?
- (viii) A virtualização que deverá ser usada será baseada em VM ou baseada em contêiner?
- (ix) Quais metodologias devem ser usadas para provisionar serviços eficientemente para centenas, milhares e milhões de usuários?
- (x) Qual é a melhor maneira de dividir a carga de trabalho,

para serviços que agregam informações de dispositivos clientes próximos em relação à eficiência energética do lado do cliente?

Na computação em nuvem, a consistência dos dados pode ser conseguida coordenando os servidores da nuvem nos centros de dados onde a nuvem é implantada. Na computação em *Fog*, no entanto, as coisas se tornam complicadas. Ao implementar objetos de dados em um ambiente de *Fog*, é necessário não só coordenar os servidores de nuvem de *back-end*, mas também validar os dados em cache nos nós de *Fog*, bem como nos dispositivos clientes, se for necessária uma forte consistência de dados [12]. Isso pode resultar em um desempenho de gravação deteriorado, o que enfraquece os benefícios do uso de nós de *Fog* como os servidores de cache de gravação. Por outro lado, a computação em *Fog* também oferece oportunidades para alcançar a consistência dos dados de forma mais eficiente do que a computação em nuvem.

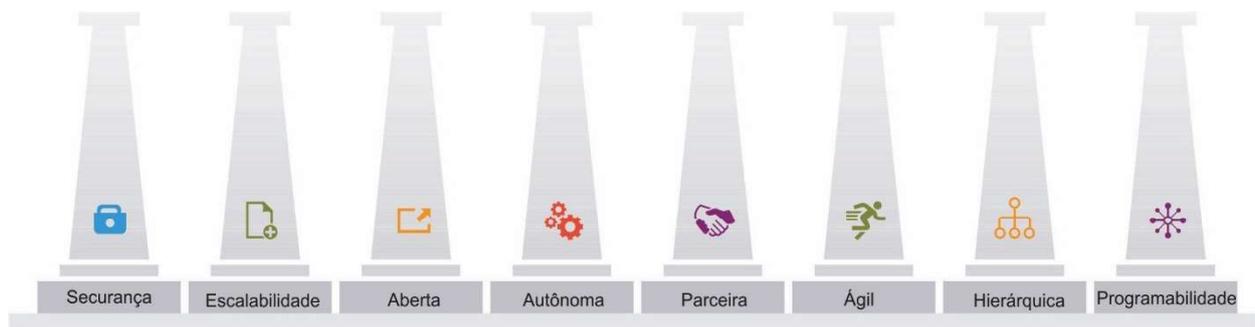


Fig. 3 - Arquitetura de referência OpenFog [18]

É necessária uma arquitetura aberta para desenvolver um ambiente de vida inteligente com potencialmente milhares de fornecedores [21]. O Consórcio *OpenFog* é formado pelas empresas EDGE Lab da Cisco, Dell, Intel, Microsoft e Princeton para acelerar a adoção da computação em *Fog* ([www.openfogconsortium.org](http://www.openfogconsortium.org)) e está tomando medidas para criar uma arquitetura de referência comum, que cobre plataforma de *hardware* e *software* com recursos altamente sofisticados.

## V. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

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 à *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.

Este trabalho realizou uma revisão do novo paradigma da computação distribuída que é a *Fog Computing*, apresentou seu conceito, características e áreas de atuação. Fez uma revisão da literatura sobre a problemática da sua implementação e analisou seus desafios de pesquisas como: questões de segurança; questões operacionais e sua padronização.

Percebemos que faltam muitas questões a serem investigadas no meio acadêmico, para que sua implementação seja uma realidade, porém ficou evidente que sua adesão é inevitável para a internet do futuro.

Para novos trabalhos futuros pretendemos propor a implementação e análise de uma *Fog Computing*, para fornecer *StaaS (Storage as a Service)*, a dispositivos IoT utilizando uma plataforma embarcada baseada em *Raspberry PI*. 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. Utilizando sistemas embarcados em plataforma de dispositivo de baixo custo, em vez de usar potentes e caros servidores para exercer essa função.

## REFERÊNCIAS

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] BABU, Shaik Masthan; LAKSHMI, A. Jaya; RAO, B. Thirumala. A study on cloud based internet of things: Clouidiot. In: *Communication Technologies (GCCT), 2015 Global Conference on. IEEE, 2015. p. 60-65.*
- [5] BOTTA, Alessio et al. Integration of cloud computing and internet of things: a survey. *Future Generation Computer Systems*, v. 56, p. 684-700, 2016.
- [6] CHEN, Songqing; ZHANG, Tao; SHI, Weisong. Fog Computing. *IEEE Internet Computing*, v. 21, n. 2, p. 4-6, 2017.
- [7] CHIANG, Mung et al. Clarifying Fog Computing and Networking: 10 Questions and Answers. *IEEE Communications Magazine*, v. 55, n. 4, p. 18-20, 2017.
- [8] 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.*
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] HAO, Zijiang et al. Challenges and Software Architecture for Fog Computing. *IEEE Internet Computing*, v. 21, n. 2, p. 44-53, 2017.
- [13] [13] 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.
- [14] 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.
- [15] KITCHENHAM, Barbara. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] LINTHICUM, David S. Connecting Fog and Cloud Computing. *IEEE Cloud Computing*, v. 4, n. 2, p. 18-20, 2017.
- [19] 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.
- [20] MARTINI, Ben; CHOO, Kim-Kwang Raymond. Cloud storage forensics: ownCloud as a case study. *Digital Investigation*, v. 10, n. 4, p. 287-299, 2013.
- [21] MCMILLIN, Bruce; ZHANG, Tao. Fog Computing for Smart Living. *Computer*, v. 50, n. 2, p. 5-5, 2017.
- [22] MRÓWCZYŃSKI, Piotr et al. Benchmarking and monitoring framework for interconnected file synchronization and sharing services. *Future Generation Computer Systems*, 2017.
- [23] NWOBODO, Ikechukwu (2015). A Comparison of Cloud Computing Platforms. *International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*. Lisbon, Portugal, 24-27 May 2015. Atlantis Press.
- [24] OSANAIYE, Opeyemi et al. From cloud to fog computing: A review and a conceptual live VM migration framework. *IEEE Access*, 2017.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] STOJMENOVIC, Ivan et al. An overview of Fog computing and its security issues. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2015.
- [29] VERBA, Nandor et al. Platform as a service gateway for the Fog of Things. *Advanced Engineering Informatics*, 2016.
- [30] 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.
- [31] 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.