

Uma Revisão Sistemática sobre Avaliação do Consumo de Energia em Nuvem das Coisas

A Systematic Review on Strategies for Evaluate Energy Consumption in Cloud of Things

Emerson S. O. R. Ferreira^{1*}, Erica T. G. Sousa²

Resumo: IoT devices are used in many types of vertical industries and consumer markets. In 2020 there were around 8 billion devices connected around the world, and the forecast for 2030 is to have more than 25 billion devices connected. Furthermore, the world market for IoT devices in the government area alone will transact around \$21 billion in 2022, where more than 50% of that amount will be for external surveillance equipment. Which represents a 36% increase in comparison with 2020. Nowadays, research is heading towards the integration of Cloud Computing and the Internet of Things (IoT), thus creating the concept of Cloud of Things (CoT). CoT aims to offer computational resources in a pervasive and ubiquitous way, in which IoT characteristics are available as services through Cloud Computing. In CoT, Cloud acts as a middleware that makes the interaction between objects (Things) and users/applications in a transparent way, eliminating the complexity which facilitates the development of applications that interact with smart objects, which facilitate their utilization in areas as Healthcare, Smart Cities, Smart Home, Video Surveillance, Smart Mobility, Smart Energy and others. In CoT environments, a large amount of communication and data transmission affected by IoT devices degrade the energy efficiency of these environments, affecting the quality of services. In this way, this work describes a systematic review the strategies for evaluating the energy consumption in Cloud of Things. This systematic review aims to bring together published studies related to energy consumption assessment in IoT and Cloud of Things, for an analysis of the methodologies employed in these works and proposition of future work, about cloud of things energy consumption assessment.

Keywords: Revisão Sistemática — Nuvem das Coisas — Consumo de Energia

Resumo: Dispositivos IoT são usados em vários tipos de indústrias verticais e mercados de consumo. Em 2020 haviam cerca de 8 bilhões dispositivos conectados ao redor do mundo, onde a previsão para 2030 é ter mais de 25 bilhões de dispositivos conectados. Além disso, o mercado mundial de dispositivos IoT na área governamental irá transacionar por volta de \$21 bilhões de dólares em 2022, onde mais de 50% desse montante será por equipamentos de vigilância externa. O que representa um aumento de 36% em comparação com 2020. Nos dias atuais, uma grande tendência de pesquisa é a combinação de *Cloud Computing* e *Internet of Things* (IoT) assim criando assim o conceito de *Cloud of Things* (CoT). CoT tem como objetivo oferecer recursos computacionais de maneira difusa e ubíqua, em que as características de IoT são oferecidas como serviços através da *Cloud Computing*. Deste modo CoT atua como um *middleware* que faz interação entre as coisas (*Things*) e usuários/aplicações de forma transparente, eliminando a complexidade o que facilita o desenvolvimento de aplicações que interagem com objetos inteligentes, podendo ser utilizada em áreas como *Healthcare*, *Smart Cities*, *Smart Home*, *Video Surveillance*, *Smart Mobility*, *Smart Energy*, entre outros. Nos ambientes de CoT, a grande quantidade de comunicação e transmissão de dados efetivadas por dispositivos IoT, degradam a eficiência energética desses ambientes, afetando a qualidade dos serviços. Desta forma, este trabalho descreve uma revisão sistemática sobre a estratégias para avaliação do consumo de energia em nuvem das coisas. Essa revisão sistemática tem como objetivo reunir estudos publicados relacionados a avaliação de consumo de energia em IoT e nuvem das coisas, para uma análise das metodologias empregadas nesses trabalhos e proposição de trabalhos futuros sobre avaliação de consumo de energia de nuvem das coisas.

Palavras-Chave: Revisão Sistemática — Nuvem das Coisas — Consumo de Energia

¹ Departamento de Computação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

² Departamento de Computação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

*Corresponding author: emerson.rferreira@ufrpe.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.22456/2175-2745.XXXX> • Received: dd/mm/yyyy • Accepted: dd/mm/yyyy

CC BY-NC-ND 4.0 - This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

1. Introdução

Com o rápido avanço das tecnologias de rede e o movimento do mundo em direção a uma sociedade global, as tecnologias de computação em nuvem e IoT se tornaram muito populares [1]. Com esta tendência, dispositivos IoT são usados em todos os tipos de indústrias verticais e mercados de consumo. Em 2020 havia cerca de 8 bilhões de dispositivos conectados ao redor do mundo, onde a previsão para 2030 é ter mais de 25 bilhões de dispositivos conectados [2]. Além disso, o mercado mundial de dispositivos IoT na área governamental gerará por volta de \$21 bilhões de dólares em 2022, onde mais de 50% desse montante será por equipamentos de vigilância externa, o que representa um aumento de 36% em comparação com 2020 [3].

Atualmente, as pesquisas nesta área caminham para a integração de *Cloud Computing* e *Internet of Things* (IoT) [4], surgindo um novo paradigma chamado *Cloud of Things* (CoT) (Nuvem das Coisas em uma tradução livre). CoT é um novo paradigma que explora a integração de duas tecnologias diferentes e populares - a Internet das Coisas e a Computação em nuvem. Embora a IoT e a nuvem sejam duas tecnologias diferentes e independentes, é necessário integrá-las para que essas tecnologias possam se complementar e assim oferecer recursos computacionais de maneira difusa e ubíqua, em que as características de IoT são oferecidas como serviços através da *Cloud Computing*.

O consumo de energia é um dos grandes problemas enfrentados pela área de IoT, devido às suas limitações de recursos [5]. Em ambientes de nuvem das coisas ocorre uma grande quantidade de comunicação e transmissão de dados efetivadas entre dispositivos IoT e a infraestrutura de nuvem, causando assim uma degradação no consumo de energia e consequentemente afetando a qualidade do serviço [6]. Como uma grande parte desses dispositivos funcionam sendo energizados por uma bateria, soluções eficazes que minimizem o consumo de energia tanto para *Cloud* como na parte de IoT são necessárias.

Existem alguns trabalhos que realizaram *surveys* na área de IoT e CoT com o foco em avaliação de consumo de energia. O trabalho de Hasan *et al.* [5] apresenta sete modelos para melhorar o consumo de energia em IoT em vários ambientes de nuvem, onde cada modelo foi apresentado com a arquitetura e configuração do experimento, bem como a discussão sobre os resultados de cada modelo. O trabalho de Mahmoud *et al.* [7] pesquisou as arquiteturas, plataformas e a implementação de CoT no contexto da saúde. A análise desses trabalhos mostrou que a maioria das propostas não se preocupou com a avaliação do consumo de energia no tratamento de cenários de CoT.

O objetivo deste trabalho é realizar uma Revisão Sistemática (RS) sobre a avaliação do consumo de energia na nuvem das coisas. Por meio desta RS será possível identificar e analisar o atual estado da arte em relação a este tema por meio de um processo formalizado e repetível. O trabalho está estruturado da seguinte maneira: A Seção 2 detalha o conceito de *Cloud of Things*. A Seção 3 apresenta estudos secundários e

define a hierarquia dos estudos. A Seção 4 mostra o método de pesquisa utilizado e as etapas da Revisão Sistemática utilizadas neste trabalho. A Seção 5 expõe a condução da revisão e os trabalhos obtidos por meio da Revisão Sistemática. A Seção 6 apresenta os resultados e discussões. Por fim, a Seção 7 apresenta a conclusão desta revisão sistemática.

2. Cloud of Things

A Internet of Things (IoT) ou (Internet das coisas em uma tradução livre) é um paradigma que lida com a conexão de objetos (sendo eles físicos ou virtuais) através da Internet com funções de sensoriamento/atuação para coleta de dados. Essas “coisas” (objetos inteligentes) podem inserir, armazenar, processar dados, compartilhar informações e coordenar decisões em uma interação máquina-máquina auto configurável [6].

O termo Internet das Coisas foi citado pela primeira vez por Kevin Ashton em 1999, ele disse “*Internet of Things has the potential to change the world just as the Internet did, maybe even more so* [8]”. IoT pode ser aplicado em vários cenários assim como indústria, meio ambiente e sociedade. A rede de sensores é uma rede interconectada de nós sensores utilizando uma interface com ou sem fio, a rede é um componente importante do paradigma de IoT [9]. Dispositivos IoT possuem suas capacidades reduzidas, principalmente em termos de processamento, armazenamento e consumo de energia [10]. Para se alcançar um melhor consumo de energia, muitos desses dispositivos necessitam de técnicas e algoritmos para otimizar o poder de processamento do nó e sua comunicação com o nó sorvedouro.

Em contrapartida, a computação em nuvem é um paradigma que possui um modelo para acesso conveniente, sob demanda, e de qualquer localização, a uma rede compartilhada de recursos de computação (isto é, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que possam ser rapidamente provisionados e liberados com mínimo esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços [11]. Além disso a computação em nuvem preserva as capacidades ubíquas da computação, especialmente em termos de capacidade de armazenamento, processamento e consumo de energia [12], podendo de um ponto de vista complementar, resolver as principais desvantagens do paradigma de IoT.

Cloud of Things (CoT) (Nuvem das coisas em uma tradução livre) é um paradigma que visa trazer a Internet das coisas para a computação em nuvem [11], onde todos os dispositivos IoT e suas funcionalidades podem ser acessados como um serviço através da nuvem (por exemplo, *Sensing as a Service* - SenaaS) [6]. Essencialmente, a computação em nuvem atua como uma interface de *middleware* entre dispositivos e aplicativos que usam objetos inteligentes [13]. Dessa forma, os dispositivos IoT podem virtualmente se beneficiar das capacidades e recursos que vieram da computação em nuvem, para compensar principalmente seus problemas com armazenamento, processamento e energia. Por sua vez, a IoT permite que a computação em nuvem estenda seus serviços, gerenciando problemas do mundo real de forma mais

dinâmica e distribuída, conseqüentemente entregando novos serviços para uma grande quantidade de cenários do mundo real [14].

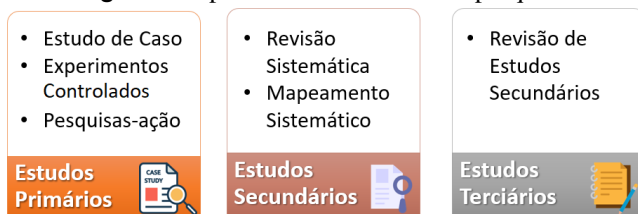
Esforços têm sido feitos para promover essa integração, um dos mais importantes desses esforços é o *Sensor-Cloud*. Trata-se de colocar sensores no *Data Center* e fornecer acesso orientado a serviços, aos dados e recursos do sensor [6] [15]. Muitos benefícios podem ser citados ao aproveitar as vantagens da integração entre a computação em nuvem e Internet das coisas, alguns desses benefícios são citados a seguir:

- A integração com a nuvem aprimora as capacidades de IoT, adicionando mais recursos de processamento e economia de energia ao habilitar o descarregamento de tarefas [16].
- A IoT tem muitas limitações em áreas como escalabilidade, interoperabilidade e eficiência devido à alta diversidade de tecnologias, protocolos e dispositivos. Além do baixo custo de implantação e processamento de dados complexos, a nuvem também facilita a coleta de dados e o processamento de dispositivos IoT [12].
- Em termos de escopo, CoT promove novos serviços e aplicativos baseados no aprimoramento da nuvem por meio de IoT, o que abre novas oportunidades. [12] [14].

3. Estudos secundários

As investigações acadêmicas podem corresponder a estudos primários, secundários ou terciários. Estudos primários são investigações empíricas que investigam uma questão de pesquisa específica. Alguns exemplos de estudos primários são os estudos de caso, experimentos controlados, pesquisas-ação, entre outros. Estudos secundários tem como objetivo integrar ou estabelecer conclusões a partir dos resultados de estudos primários relacionadas à questão de pesquisa. São exemplos de estudos secundários as revisões sistemáticas, o mapeamento sistemático e a revisão narrativa da literatura. Estudos terciários é uma revisão de estudos secundários relacionados à mesma questão de pesquisa. Um exemplo de estudo terciário seria um estudo que integra os resultados de várias revisões sistemáticas a respeito de um tópico de pesquisa. A Figura 1 ilustra o conjunto de estudos primários, secundários e terciários.

Figura 1. Tipos de estudo na área de pesquisa.



Uma revisão sistemática (RS) tem como objetivo identificar, analisar e interpretar evidências disponíveis a respeito de

uma questão de pesquisa específica, de maneira imparcial e que seja repetível [17]. Estudos secundários permitem obter e avaliar um conjunto de evidências pertencentes a um contexto específico, além de enfatizar a descoberta de problemas gerais, fornecendo orientações para a elaboração de novas pesquisas na área de estudo especificada.

4. Método de Pesquisa

Nossa pesquisa usou o método de revisão sistemática [18], que é um processo formalizado para interpretar e avaliar toda a pesquisa relacionada a uma questão específica de pesquisa. Uma revisão sistemática possui três fases principais: O planejamento da revisão, a condução da revisão e a divulgação da revisão.

4.1 Planejamento

O Planejamento é a fase que envolve a identificação do tema e questões de pesquisa, definição dos critérios de inclusão e exclusão de trabalhos, e o método de busca que será utilizado para pesquisar os trabalhos.

4.1.1 Identificando Tema e Questões de Pesquisa

A primeira fase tem como foco a identificação do tema da revisão sistemática e das questões de pesquisa. Esta revisão sistemática tem como objetivo o seguinte tema:

- Identificar e analisar o estado da arte em relação a estratégias adotadas para a Avaliação do Consumo de Energia na nuvem das coisas.

A Tabela 1 apresenta as questões desenvolvidas durante o processo de identificação do tema e questões de pesquisa.

Tabela 1. Questões de Pesquisa e motivações.

Questões de Pesquisa
1. Quais são os métodos e as técnicas existentes para avaliar o consumo de energia ou eficiência energética em CoT?
2. Quais desses métodos e técnicas, são empregados para avaliar o consumo de energia de serviços na CoT?

O consumo de energia é um dos grandes problemas enfrentados pela nuvem das coisas [12]. Um dos principais influenciadores desse problema é a falta de padrões tanto de modelos de IoT como em computação em nuvem [6]. Esta falta de padronização, faz com que a complexidade de desenvolvimento de soluções para CoT seja alta, diminuindo assim o ritmo de surgimento de novas soluções [6]. Por esta razão, mais estudos que propõem soluções que efetivamente reduzem o consumo de energia tanto para IoT tanto para nuvem

são necessários. Responder as questões de pesquisa apresentadas na Tabela 1, faz com que esta revisão identifique e avalie um conjunto de estudos já finalizados que abordam este tema, fazendo com que ela seja utilizada como uma fonte futura na pesquisa de abordagens relevantes sobre o consumo de energia em CoT.

4.1.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Essa fase consiste na formulação dos critérios de inclusão e exclusão, que esta revisão usará para avaliar os trabalhos científicos encontrados ao realizar pesquisas nos principais motores de busca de publicação científica. A Tabela 2 mostra os critérios de inclusão e exclusão utilizados nesta RS.

Tabela 2. Critérios de Inclusão e Exclusão.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
(a) Trabalhos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicas ou em versões impressas.	(a) Trabalhos que avaliam o consumo de energia ou eficiência energética fora dos ambientes de CoT, IoT e Cloud.
(b) Trabalhos publicados a partir de 2016 que já possuem aprovação pela comunidade científica.	(b) Trabalhos publicados como pôsteres e resumos.
(c) Trabalhos que abordem avaliação de consumo de energia ou eficiência energética em ambientes de CoT, IoT ou Cloud.	(c) Trabalhos que apresentem avaliações sem apresentar o método utilizado.

4.1.3 Método de Busca de Trabalhos

Esta fase é relacionada a *string* de busca que está sendo usada para pesquisar os trabalhos. A Tabela 3 mostra as palavras-chave e as *strings* de busca definitivas que foram utilizadas ao consultar as bases científicas. As *strings* de busca definitivas foram aplicadas nas 3 bases científicas.

Foram considerados como fonte de pesquisa as seguintes bases científicas a seguir:

- Biblioteca Digital do IEEE;
- Biblioteca Digital da ACM;
- Biblioteca Digital da *ScienceDirect*.

Resumidamente, para realizar uma revisão sistemática, é necessário realizar as seguintes atividades descritas por Demerval *et al.* [19], também ilustradas na Figura 2:

- Especificar um protocolo de pesquisa contemplando a questão de pesquisa, o procedimento de busca e seleção dos estudos primários, o instrumento de avaliação de qualidade, o formulário de extração de dados e a estratégia de síntese e análise dos dados;

Tabela 3. Palavras-chave e Strings de busca utilizadas.

Palavras-chave	Strings de busca
<i>Cloud of Things</i>	"Cloud of Things"AND "Energy consumption" AND evaluation.
<i>Energy Consumption</i>	"Cloud of Things"AND "Energy efficiency" AND evaluation.
<i>Energy efficiency</i>	"Cloud of Things"AND "Energy efficiency" AND measurement.
<i>Evaluation</i>	"Cloud of Things"AND "Energy consumption" AND measurement.

Figura 2. Fluxograma de atividades para executar um revisão sistemática da literatura.



Fonte: Imagem adaptada do trabalho de Demerval *et al.* [19]

- Executar a busca nas bases digitais relevantes para o tema de pesquisa e exportar os resultados;
- Filtrar os artigos com base nos critérios de exclusão e inclusão (I/E);
- Realizar a avaliação de qualidade dos artigos incluídos;
- Extrair os dados dos artigos para responder às questões de pesquisa;
- Sintetizar os dados e analisar os resultados da revisão;
- Escrever relato da revisão (relatório/artigo científico) sobre a revisão.

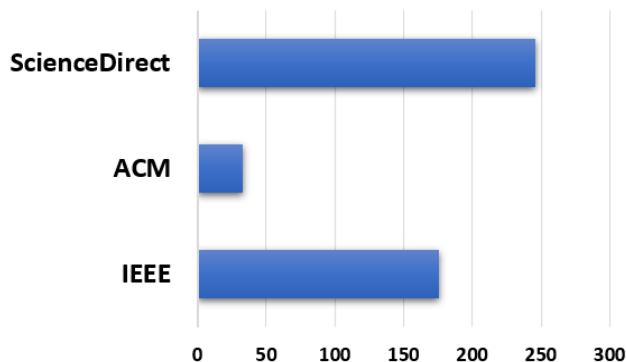
5. Condução da Revisão

Nesta fase, os trabalhos foram extraídos através de *strings* de busca expostas na Seção 6.1.3 e posteriormente analisados considerando os fatores de inclusão e exclusão expostos na Seção 6.1.2.

5.1 Extração de dados

A utilização das *strings* de busca nas bases científicas, resultou em um total de 455 trabalhos encontrados. A Figura 3 mostra a quantidade de artigos encontrados em cada base científica.

Figura 3. Número de trabalhos encontrados.



A base com o maior número de trabalhos encontrados foi a *ScienceDirect* com 246 artigos, seguido de IEEE com 176 artigos e por último ACM com 33 artigos.

O próximo passo consistiu de uma triagem inicial, onde os artigos foram analisados pelo seu título, resumo e palavras-chave. Os trabalhos selecionados nessa triagem inicial, foram submetidos a uma leitura completa para garantir que o conteúdo tinha relação com as questões de pesquisa abordados nesta revisão. O resultado deste processo foi a seleção de 14 trabalhos que passaram pelos critérios de inclusão e exclusão.

Os trabalhos selecionados avaliam o consumo de energia de sistemas baseados em IoT e *Cloud Computing*, utilizando a técnica de medição. Outros abordam o desenvolvimento de uma arquitetura energeticamente eficiente para reduzir e avaliar o consumo de energia em IoT e CoT e apenas alguns trabalhos utilizam algoritmos para alcançar a eficiência energética nesses ambientes.

5.2 Avaliação de consumo de energia em Nuvem das Coisas

O trabalho proposto por Fulk *et al.* [20] tem o objetivo de desenvolver um sistema de baixo custo baseado em IoT e computação em nuvem para o monitoramento do consumo de energia. O sistema chamado de *WattsOn* consiste em sensores distribuídos em várias áreas de um determinado ambiente. Os dados coletados por esses sensores foram enviados a um *Raspberry Pi Unit*, que era responsável por enviar esses dados para um banco de dados na infraestrutura de nuvem pública. Dentro desse banco de dados, os dados eram analisados e exibidos através de um *dashboard* por meio de um aplicativo móvel. O estudo mostrou que através do sistema é possível verificar por qual dispositivo, onde e quando estava ocorrendo o consumo de energia, tendo essa informação de maneira simples e intuitiva, os usuários conseguiram diminuir o seu consumo de energia e seu gasto financeiro.

O estudo de Al-Ali *et al.* [21] propôs o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia para *Smart Homes*. Neste sistema cada residência possuía uma interface IoT com um IP único, onde esta interface era responsável por coletar todos os dados gerados pelos sensores dentro do ambiente. Todos os dados coletados pela interface IoT eram enviados a um banco de dados na infraestrutura de nuvem privada, onde eram processados e analisados com técnicas de *Business Intelligence* (BI). Com este sistema os usuários podiam monitorar, controlar seus dispositivos remotamente e gerar a prévia da sua conta de energia através do aplicativo móvel.

O trabalho apresentado por Chaudhari *et al.* [22] tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de consumo de energia baseado em IoT chamado *SmartPlug*. Sensores de corrente ACS712 conectados em cada dispositivo permitiram a coleta de dados sobre o consumo de energia de cada um deles. Esses dados eram enviados para um *Raspberry pi*, que por sua vez enviava os dados para um banco de dados na infraestrutura de nuvem privada. Neste banco de dados, os dados eram analisados e disponibilizados para o usuário final através de um *website*. Neste *website* os usuários podem consultar seu consumo de energia, tanto por dispositivo ou de forma total, além de poder gerar uma prévia da sua conta de energia baseado nas taxas da concessionária de energia local. O estudo mostrou que o sistema é eficiente e que pode ser utilizado tanto em ambientes residenciais como em industriais. O sistema também pode ser usado para ligar e desligar dispositivos remotamente, para isso basta adicionar em sua arquitetura um relê de comando para cada dispositivo.

O estudo de Sunny *et al.* [23] tem por objetivo propor uma arquitetura que proporciona uma melhora no consumo de energia para indústrias 4.0 que tem como principal ferramenta de linha de produção uma impressora 3D. A arquitetura realiza a medição do consumo de energia usando um dispositivo baseado em CoT. Um sensor de corrente não invasivo conectado a impressora 3D realizou a coleta dos dados de consumo de energia do dispositivo. Os dados coletados eram

enviados a um banco de dados na infraestrutura de nuvem privada através de um microcontrolador *AT-mega 382p*. Após analisados, os dados do consumo de energia eram exibidos para o usuário através de um *dashboard*. No estudo de caso realizado, os resultados mostraram que a economia atingida chegou por volta de 40%. Além disso, a arquitetura pode ser utilizada para indústrias de pequeno, médio e grande porte e os dados coletados por ela podem ser utilizados para automatizar o ajuste fino entre o consumo de energia e qualidade da impressão, para assim atingir a produção máxima com utilização mínima de energia.

Petrolo *et al.* [24] propôs uma arquitetura de um *gateway* para nuvem das coisas com base em tecnologia de virtualização que não exige muitos recursos computacionais. O *gateway* pode gerenciar coisas (*things*) e trabalhar como um *middleware* entre os dados gerados em tempo real e as aplicações que consomem esses dados. Além disso, o *gateway* usa um algoritmo de predição nos dados gerados para eliminar comunicações desnecessárias entre o *gateway* e as coisas, o que reduz o consumo de energia. Os resultados mostram que o aproveitamento da combinação dessas tecnologias melhora a implantação do serviço, o seu gerenciamento e a alocação de recursos. Entretanto, o estudo também mostra que é necessário adotar futuras melhorias no algoritmo de predição que atua sob os dados gerados, para diminuir ainda mais a comunicação desnecessária entre o *gateway* e as coisas.

Li *et al.* [25] utilizou uma arquitetura de um sistema de três camadas, composta da camada de IoT, *Fog* e *Cloud*. A camada de *Fog* é responsável por trazer o processamento e armazenamento mais próximo da camada de IoT o que reduz a sobrecarga da comunicação. O objetivo da arquitetura é diminuir a latência da transmissão e a sobrecarga da largura de banda, utilizando *Fog Computing* como um *middleware* entre a nuvem e IoT. Os resultados mostram o efeito positivo da utilização da *Fog* na obtenção de uma arquitetura de sistema CoT eficiente em relação ao desempenho, latência de comunicação e consumo de energia.

O artigo apresentado por Ahmed *et al.* [1] apresenta um sistema de CoT baseado em um algoritmo genético (AG) para otimizar o consumo de energia neste ambiente. O AG é implementado utilizando a plataforma C++ integrada ao modelo de simulação. A simulação avalia o desempenho da técnica proposta por meio de diferentes instâncias, como operadores de algoritmos genéticos (crossover, mutação e número de geração). Em seguida, é realizada uma simulação generalizada para validar a eficácia desse mecanismo em comparação com o algoritmo ETCORA. Resultados de simulações são investigados para avaliar o desempenho da técnica proposta com parâmetros ótimos. Os resultados também mostraram que a abordagem proposta otimiza o consumo de energia em CoT, visto que a abordagem proposta reduz o consumo de energia em 51,2% para 16 tarefas e 22,3% para 32 tarefas em comparação com o algoritmo ETCORA.

O estudo proposto por Soudan *et al.* [26] tem como objetivo um sistema baseado em IoT de monitoramento de con-

sumo de energia de uma residência. O sistema é composto de um microcontrolador, um sensor de corrente e um relê de comando. O sensor foi responsável por coletar dados de consumo de energia do dispositivo em tempo real e enviar para o microcontrolador. O microcontrolador enviava esses dados para uma plataforma de *Cloud service: Google Firebase*. No *Firebase*, os dados eram analisados, avaliados e disponibilizados para o usuário através de um aplicativo móvel. O estudo também mostrou que além de gerenciar o consumo de energia, os usuários podiam remotamente ligar e desligar o dispositivo, provendo uma redução considerável de até 50% do consumo de energia.

5.3 Avaliação de consumo de energia em sistemas IoT

O trabalho de Wasoontarajoen [27] propôs o desenvolvimento de um dispositivo de IoT para monitorar o consumo de energia de um prédio. O prédio era alimentado por quatro condutores que formavam um sistema trifásico mais um neutro. Um módulo de Monitoramento Elétrico Multifunção *PZEM-004T* conectado a cada uma das fases do prédio permitiu a coleta e o envio dos dados de consumo de energia para um *Arduino Mini*, que a cada quinze segundos enviava esses dados para um módulo *ESP8266* conectado a ele. O módulo *ESP8266* enviava os dados para a plataforma de IoT *ThingSpeak*. Essa plataforma funcionava como um banco de dados online, onde os dados eram analisados e mostrados ao usuário através de um *website*. O dispositivo se mostrou bastante eficiente na ajuda do gerenciamento de consumo de energia, ajudando na economia de até 5kWh por dia [27].

O trabalho proposto por Comito *et al.* [28] tem por objetivo propor uma arquitetura baseada em IoT, que permite coletar e analisar uma grande quantidade de dados clínicos. Esses dados clínicos estão relacionados ao estado de saúde dos pacientes e proporcionaram o suporte para tomada de decisões clínicas. Com essa abordagem foi possível enfrentar o desafio das restrições de energia, geralmente enfrentadas em ambientes de IoT. Cada paciente era interpretado pelo sistema como um “Paciente digital”, onde ele possuía uma determinada quantidade de dispositivos inteligentes monitorando seu estado de saúde (sensores de movimento, respiração, cardíaco, entre outros) e enviando grandes quantidades de dados para serem analisados. Para se alcançar este objetivo, um dos requisitos principais foi garantir a redução do consumo de energia de dispositivos móveis que são operados por bateria. O elemento principal no design da arquitetura, foi a adoção de uma estratégia baseada em balanceamento de consumo de energia entre o maior número possível de dispositivos conectados a nuvem privada. A estratégia melhora o consumo de energia fazendo a distribuição da carga computacional entre os dispositivos conectados, baseado em suas capacidades computacionais e nível da bateria, e se necessário parte do processamento era realizado na nuvem privada. O estudo de caso apresentado mostrou que a estratégia conseguiu economizar energia.

O estudo de Soh *et al.* [29] tem como objetivo propor um sistema de monitoramento de consumo de energia, que foi conectado a um sensor de corrente ACS712 para enviar os dados para um microcontrolador Intel Edison, e posteriormente esses dados eram enviados, armazenados e avaliados por uma plataforma de IoT chamada *Ubidots*. Os resultados eram exibidos através de um *dashboard* via *website*. Neste *website* os usuários também podiam configurar um limite de consumo de energia, que quando ultrapassado, o sistema alertava o usuário via e-mail, *Telegram* e SMS, para o ajuste do consumo de energia de acordo com a nova demanda.

O trabalho proposto por Wankhade, N. e Choudhari, D. [30] é um protocolo de escolha modificado chamado (PEGA-SIS). O objetivo do protocolo é alcançar um melhor consumo de energia para o aumento do tempo de vida de uma rede de sensores sem fio. Com o protocolo, nós sorvedouros podiam decidir qual nós sensores poderiam ser *Cluster Heads* (CHs) baseados em seu nível de energia, energia restante e sua localização. Além disso, os CHs se comunicavam com o nó sorvedouro utilizando o caminho mais curto baseado em um link.

O estudo de Mishra *et al.* [31] tem como objetivo criar um medidor de energia inteligente baseado em IoT. Uma pequena modificação no medidor de energia fornecido pela concessionária de energia foi realizada, para obtenção de informações sobre o consumo de energia de uma residência individual sem qualquer intervenção manual. Toda vez que o medidor piscava a luz vermelha, um sensor captava esse pulso e enviava para um *Raspberry Pi*, que por sua vez enviava para uma plataforma de IoT chamada *ThingSpeak*. Os dados podiam ser acessados através de um *website*, aplicativo móvel ou notificações através de SMS. O estudo também mostrou que os medidores poderiam ser facilmente ligados e desligados.

Alduais *et al.* [32] apresenta um estudo que tem como objetivo a redução do tempo e tamanho das transmissões de dados em redes de sensores sem fio baseadas em IoT. A abordagem beneficia o fato que em redes de sensores sem fio, a transmissão de dados degrada o consumo de energia muito mais do que o processamento de instruções. Para contornar essa situação, foi proposto um método para controlar a transmissão (ON/OFF) de rádio frequência tomando como base o último e o atual estado. Além disso, um algoritmo baseado nas diferenças relativas entre o valor atual e o último valor coletado dos sensores é proposto para minimizar o número de pacotes de dados transmitidos. O estudo de caso mostrou que esta abordagem aumentou o desempenho, melhorou o consumo de energia e aumentou o tempo de vida da rede.

6. Resultados e Discussões

Apesar dos benefícios e oportunidades que o CoT oferece para os novos serviços inteligentes, muitos problemas em aberto também surgiram. Esses problemas, conforme ilustrado em [33], [34], [35] são consumo de energia, segurança e privacidade, falta de arquiteturas e serviços padronizados, e análises sofisticadas e escalabilidade. No entanto, este artigo

se concentra apenas na investigação da questão da avaliação do consumo de energia. A Tabela 4 mostra uma comparação dos trabalhos mostrando seu método utilizado, descrição, benefícios e limitações.

Os trabalhos Fulk *et al.* [20], Al-Ali *et al.* [21], Sunny *et al.* [23] realizam avaliação de consumo de energia em CoT, por meio de um dispositivo baseado em IoT e uma infraestrutura em nuvem. O trabalho de Soudan *et al.* [26] propõe uma arquitetura baseada em CoT para avaliação do consumo de energia e o trabalho de Ahmed *et al.* [1] adota um algoritmo genético para otimizar o consumo de energia neste ambiente.

Os trabalhos Soh *et al.* [29], Mishra *et al.* [31] e Wasoon-tarajaroen [27] realizam a avaliação de consumo de energia em IoT por meio de um dispositivo de IoT, utilizando a técnica de medição. Já o trabalho Comito *et al.* [28] propõe uma arquitetura baseada em IoT para realizar a avaliação do consumo de energia.

O trabalho Petrolo *et al.* [24] avalia o consumo de energia através de uma arquitetura de uma *gateway* para CoT e o artigo Li *et al.* [25] utiliza uma arquitetura baseada em IoT e *Fog computing* para prover a avaliação do consumo de energia. Já o trabalho Wankhade, N. e Choudhari, D. [30] adota protocolos para que nós sorvedouros possam decidir quais nós sensores poderiam ser *Cluster Heads* (CHs) baseados em seu nível de energia, energia restante e sua localização. Por fim, o trabalho Alduais *et al.* [32] reduz o tempo e tamanho das transmissões de dados em RSSF baseadas em IoT para alcançar a uma economia do consumo de energia nesse ambiente.

Conforme a Tabela 4, podemos evidenciar que a maioria dos trabalhos utilizam a CoT, IoT e computação em nuvem para redução ou gerenciamento do consumo de energia de um determinado ambiente. Entretanto, não há trabalhos que tratam da avaliação do consumo de energia em serviços/aplicações na CoT, sendo esta uma possibilidade de trabalho futuro.

7. Conclusão

Nesta revisão sistemática foram mostrados os principais métodos e técnicas existentes para avaliar o consumo de energia em nuvem das coisas. Fazendo com que esta revisão, possa ser utilizada como uma fonte, na pesquisa de abordagens relevantes sobre o consumo de energia neste ambiente.

Os resultados da revisão sistemática mostram que futuros esforços são necessários para se obter uma melhor avaliação do consumo de energia em nuvem das coisas. Trabalhos que têm como objetivo a avaliação de consumo de energia de serviços na nuvem das coisas também são necessários.

Como trabalhos futuros a avaliação do consumo de energia em serviços na nuvem pode ser implementada, uma vez que os trabalhos apresentados não avaliam o consumo de energia utilizado pela infraestrutura de nuvem das coisas para o fornecimento de seus serviços/aplicações. A aplicação de técnicas de modelagem e simulação podem ser adotadas para avaliar o impacto de diferentes parâmetros no consumo de energia da nuvem das coisas.

Tabela 4. Comparação dos trabalhos analisados.

Referência	Método	Descrição	Benefícios	Limitações
Fulk <i>et al.</i> [20]	Sistema de baixo custo baseado em IoT e Computação em Nuvem.	Consiste em sensores distribuídos em várias áreas de um determinado ambiente, coletando dados	Fornecer um serviço acessível, eficiente e fácil de usar que pode ajudar os usuários finais a reduzir o consumo de energia.	O sistema é um protótipo e mais pesquisas precisam ser feitas para garantir que o sistema funcione com maior precisão com o mínimo possível de falsos positivos.
Al-Ali <i>et al.</i> [21]	Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia para Smart Homes.	O sistema coleta dados de consumo de energia de cada dispositivo da casa inteligente e os transmite a um servidor centralizado para posterior processamento e análise.	O sistema permite que os usuários monitorem e controlem remotamente os dispositivos e a geração de contas on-line por meio de um aplicativo móvel.	O sistema é um protótipo.
Chaudhari <i>et al.</i> [22]	Sistema de gerenciamento de consumo de energia baseado em IoT.	Consiste em sensores de corrente conectados em cada dispositivo, para coletar dados sobre o consumo de energia de cada um deles, os dados coletados foram enviados para um Raspberry pi, que era responsável por enviar os dados para um banco de dados na nuvem.	Permite ao usuário visualizar detalhes de seu consumo de energia.	Durante o estudo de caso não foi considerado o uso do relê de comando.
Sunny <i>et al.</i> [23]	Uma arquitetura baseada em Cloud e IoT para análise de consumo de energia.	A arquitetura proposta mede o consumo de energia de impressoras 3D usando a tecnologia de Cloud IoT, adotando um dispositivo de medição de energia não invasivo.	A arquitetura é compacta, fácil de implementar e econômica para indústrias de pequeno, médio e grande porte.	Projetado para ser utilizado somente em indústrias.

Referência	Método	Descrição	Benefícios	Limitações
Wasoontarajoen [27]	Dispositivo de IoT para monitorar o consumo de energia de um prédio.	Um módulo de Monitoramento Elétrico Multi-função PZEM-004T foi conectado a cada uma das fases do prédio, para gerenciar o consumo de energia.	Fornecer um bom gerenciamento do consumo de energia.	Não considerou a transmissão de dados para a nuvem.
Comito <i>et al.</i> [28]	Arquitetura baseada em IoT para coletar e analisar uma grande quantidade de dados clínicos.	Estratégia para aumentar a eficiência energética baseada em balanceamento de carga de energia para manter o maior número de dispositivos operados por energia envolvidos nas tarefas computacionais.	Melhora o consumo de energia fazendo a distribuição da carga computacional entre os dispositivos conectados.	Desenvolvimento de aplicações de AI para melhorar a solução é necessário.
Soh <i>et al.</i> [29]	Sistema de monitoramento de consumo de energia baseado em IoT.	O sistema utiliza um módulo sensor (ACS712) conectado com Microcontrolador para coletar e avaliar o consumo de energia.	Ajudou a reduzir o consumo de energia.	Sem opção de visualizar prévia do consumo de energia.
Soudan <i>et al.</i> [26]	Sistema de monitoramento de consumo de energia de uma residência baseado em IoT.	O sensor responsável por coletar dados de consumo de energia do dispositivo em tempo real e enviar para o microcontrolador.	Gerenciar o consumo de energia. Ligar e desligar dispositivos remotamente.	O controlador precisa ser conectado a uma fonte de alimentação todo o tempo para o sistema funcionar.
Petrolo <i>et al.</i> [24]	Arquitetura de Gateway.	O gateway é baseado na combinação de tecnologias de virtualização e algoritmos de predição na produção de dados gerados por dispositivos de IoT.	Gerenciamento e alocação de serviços baseados em CoT com eficiência energética.	Outras adoções em algoritmos de predição na produção de dados para diminuir a comunicação entre o gateway e as coisas, são necessários.

Referência	Método	Descrição	Benefícios	Limitações
Li <i>et al.</i> [25]	Arquitetura de um sistema CoT de 3 camadas .	A arquitetura teve como objetivo diminuir a latência de transmissão e a sobrecarga de largura de banda usando Fog como um middleware entre a nuvem e a IoT.	A arquitetura teve como objetivo diminuir a latência de transmissão e a sobrecarga de largura de banda usando Fog como um middleware entre a nuvem e a IoT.	A arquitetura se concentra apenas na redução da sobrecarga de comunicação e ignora o processo de coleta de dados na parte IoT da arquitetura.
Wankhade, N. e Choudhari, D. [30]	(PEGASIS) Protocolo para se obter uma melhor eficiência energética.	O protocolo (PEGASIS) permite que os nós sorvedouros escolham os CHs de acordo com critérios específicos. Além disso, os nós de coletor se comunicam com os CHs usando o caminho mais curto.	O roteamento com eficiência energética em RSSF aumenta a vida útil da rede.	Outras melhorias para obter eficiência energética em toda a rede IoT no que diz respeito à transmissão e processamento de dados, ainda são necessárias.
Alduais <i>et al.</i> [32]	Um método para reduzir o número de transmissões de pacotes e seu tamanho em RSSF baseada em IoT.	Uma abordagem baseada em diferenças relativas entre os valores atuais dos sensores e os últimos valores coletados para alternar a transmissão de RF para ON / OFF.	Melhora a eficiência energética e o desempenho, bem como o tempo de vida da rede.	Não considerou a transmissão de dados para a nuvem.
Ahmed <i>et al.</i> [1]	Sistema de CoT baseado em um algoritmo genético (AG).	Utilizou técnicas de simulação para avaliar o desempenho da técnica proposta.	Abordagem proposta otimiza o consumo de energia em CoT.	Testes não realizados em ambiente real.
Mishra <i>et al.</i> [31]	Medidor de energia inteligente baseado em IoT.	Sensores usados para captar os dados de consumo de energia.	Medidores podem ser facilmente ligados e desligados.	O sistema é um protótipo.

Referências Bibliográficas

- [1] AHMED, Z. E. et al. Optimizing energy consumption for cloud internet of things. *Frontiers in Physics*, v. 8, p. 358, 2020. ISSN 2296-424X.
- [2] Arne Holst. *Statista | Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030*. 2021. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>>. Acesso em: 10 novembro 2021.
- [3] Laurence Goasduff. *Gartner | Gartner Says Global Government IoT Revenue for Endpoint Electronics and Communications to Total \$21 Billion in 2022*. 2021. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2021-06-30-gartner-global-government-iot-revenue-for-endpoint-electronics-and-communications-to-total-us-dollars-21-billion-in-2022>. Acesso em: 11 novembro 2021.
- [4] AAZAM, M. et al. Cloud of things: Integrating internet of things and cloud computing and the issues involved. In: . [S.l.: s.n.], 2014. p. 414–419. ISBN 978-1-4799-2319-9.
- [5] HASAN, W. K. A. et al. A survey of energy efficient iot network in cloud environment. In: *2019 Cybersecurity and Cyberforensics Conference (CCC)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 13–21.
- [6] MAHMOUD, M. M. E. et al. Enabling technologies on cloud of things for smart healthcare. *IEEE Access*, v. 6, p. 31950–31967, 2018.
- [7] MAHMOUD, M. M. E.; RODRIGUES, J. J. P. C.; SALEEM, K. Cloud of things for healthcare: A survey from energy efficiency perspective. In: *2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–7.
- [8] SABRY, S. S.; QARABASH, N. A.; OBAID, H. S. The road to the internet of things: a survey. In: *2019 9th Annual Information Technology, Electromechanical Engineering and Microelectronics Conference (IEMECON)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 290–296.
- [9] PERERA, C. et al. Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 16, n. 1, p. 414–454, 2014.
- [10] MARTÍN, C.; DÍAZ, M.; RUBIO, B. -coap: An internet of things and cloud computing integration based on the lambda architecture and coap. In: . [S.l.: s.n.], 2016. v. 163. ISBN 978-3-319-28909-0.
- [11] MELL, P.; GRANCE, T. et al. The nist definition of cloud computing. Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National . . . , 2011.
- [12] BOTTA, A. et al. Integration of cloud computing and internet of things: a survey. *Future generation computer systems*, Elsevier, v. 56, p. 684–700, 2016.
- [13] MAHMOUD, M. M. E.; RODRIGUES, J. J. P. C.; SALEEM, K. Cloud of things for healthcare: A survey from energy efficiency perspective. In: *2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–7.
- [14] BABU, S. M.; LAKSHMI, A. J.; RAO, B. T. A study on cloud based internet of things: Clouddot. In: *2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 60–65.
- [15] SUCIU, G.; SUCIU, V.; FRATU, O. Big data processing for e-health applications using a decentralized cloud m2m system. *Latest Trends Syst.*, v. 2, p. 232–237, 2013.
- [16] AAZAM, M. et al. Cloud of things: Integrating internet of things and cloud computing and the issues involved. In: *Proceedings of 2014 11th International Bhurban Conference on Applied Sciences Technology (IBCAST) Islamabad, Pakistan, 14th - 18th January, 2014*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 414–419.
- [17] KITCHENHAM, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering – a systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009. ISSN 0950-5849. Special Section - Most Cited Articles in 2002 and Regular Research Papers.
- [18] KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele Univ.*, v. 33, 08 2004.
- [19] DERMEVAL, D.; COELHO, J. A. d. M.; BITTENCOURT, I. I. Mapeamento sistemático e revisao sistemática da literatura em informática na educação. *JAQUES, Patrícia Augustin; PIMENTEL, Mariano; SIQUEIRA, Sean; BITTENCOURT, Ig.(Org.) Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa de Pesquisa. Porto Alegre: SBC, 2019.*
- [20] FULK, C. et al. Cloud-based low-cost energy monitoring system through internet of things. In: *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 322–327.
- [21] AL-ALI, A. et al. A smart home energy management system using iot and big data analytics approach. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 63, n. 4, p. 426–434, 2017.
- [22] CHAUDHARI, A.; RODRIGUES, B.; MORE, S. Automated iot based system for home automation and prediction of electricity usage and comparative analysis of various electricity providers: Smartplug. In: *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 390–392.
- [23] SUNNY, B. C. et al. Impact of printing parameters on energy consumption of 3d printers using iot cloud architecture. In: *2019 IEEE 16th India Council International Conference (INDICON)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–4.

- [24] PETROLO, R. et al. The design of the gateway for the cloud of things. *Annals of Telecommunications*, v. 72, 05 2016. 0140-3664. Internet of Things Research challenges and Solutions.
- [25] LI, W. et al. System modelling and performance evaluation of a three-tier cloud of things. *Future Generation Computer Systems*, v. 70, 07 2016.
- [26] SOUDAN, M. B. et al. Smart home energy management system: An exploration of iot use cases. In: *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–5.
- [27] WASOONTARAJAROEN, S.; PAWASAN, K.; CHAMNANPHRAI, V. Development of an iot device for monitoring electrical energy consumption. In: *2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–4.
- [28] COMITO, C.; FALCONE, D.; FORESTIERO, A. A power-aware approach for smart health monitoring and decision support. In: *2020 19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1389–1395.
- [29] SOH, Z. H. C. et al. Energy consumption monitoring and alert system via iot. In: *2019 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 265–269.
- [30] WANKHADE, N.; CHOUDHARI, D. Novel energy efficient election based routing algorithm for wireless sensor network. *Procedia Computer Science*, v. 79, p. 772–780, 2016. ISSN 1877-0509. Proceedings of International Conference on Communication, Computing and Virtualization (ICCCV) 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916002325>>.
- [31] MISHRA, J. K. et al. An iot based smart energy management system. In: *2018 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–3.
- [32] ALDUAIS, N. A. M. et al. An efficient data collection and dissemination for iot based wsn. In: *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6.
- [33] BOTTA, A. et al. Integration of cloud computing and internet of things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, v. 56, p. 684–700, 2016. ISSN 0167-739X.
- [34] DÍAZ, M.; MARTÍN, C.; RUBIO, B. 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. ISSN 1084-8045.
- [35] CAVALCANTE, E. et al. On the interplay of internet of things and cloud computing: A systematic mapping study. *Computer Communications*, v. 89-90, p. 17–33, 2016. ISSN