

# SISTEMA DE TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS E COMPUTAÇÃO EM NUVEM PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE DE ÁREAS AGRÍCOLAS

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Mateus Rodrigues de Barros**

<https://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K1702735Y6>

### **Antonio Newton Licciardi Jr**

<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4782606D9>

Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Elétrica, EE, UPM, São Paulo, 2021.

**RESUMO:** Ao longo dos anos a agricultura tem sido parte fundamental da composição do produto interno bruto do Brasil. Devido a transformação digital, é esperado que haja um forte crescimento tecnológico neste seguimento. A internet das coisas ou *IoT* tem o potencial de auxiliar este processo através do monitoramento dos dados físicos permitindo a prática da agricultura de precisão, entretanto os dispositivos *IoT* possuem a característica de baixa capacidade de processamento de dados. A Computação em nuvem possui capacidade de processamento virtualmente ilimitada. A integração do *IoT* ao *Cloud Computing* constitui uma ferramenta versátil

e importante para o crescimento do setor agrícola Brasileiro. Este trabalho enfoca o desenvolvimento, projeto e otimização de um sistema *IoT* e computação em nuvem para monitoração de plantações de pequenos e médios agricultores. Evidencia-se todos os aspectos de ferramentas de desenvolvimento usadas, custos e análise de desempenho, que viabilizam os corretos critérios de decisão das potenciais abordagens.

**PALAVRAS-CHAVE:** *IoT, Cloud Computing, Agricultura, LPWAN, Sigfox, MQTTS, HTTPS.*

## SYSTEM USING INTERNET OF THINGS AND CLOUD COMPUTING TO INCREASE THE PRODUCTIVITY AGRICULTURA AREAS

**ABSTRACT:** Over the years, the agriculture has been a fundamental part of the composition of Brazil's gross domestic product. Due to the digital transformation, it is expected that there will be strong technological growth in this segment. The Internet of Things or *IoT* has the potential to help this process through the monitoring of physical data allowing the practice of precision agriculture, however *IoT* devices have the characteristic of low

data processing capacity. Cloud computing has virtually unlimited processing power. The integration of IoT to Cloud Computing is a versatile and important tool for the growth of the Brazilian agricultural sector. This work focuses on the development, design and optimization of an IoT and cloud computing system for monitoring small and medium farmers' plantations. It highlights all aspects of development tools used, costs and performance analysis, which enable the correct decision criteria for potential approaches.

**KEYWORDS:** IoT, Cloud Computing, Agricultura, LPWAN, Sigfox, Lorawan, MQTTS, HTTPS.

## 1 | INTRODUÇÃO

O *Cloud Computing* ou Computação em Nuvem, e o *IoT* (*Internet of Things*), Internet das coisas), são dois sistemas independentes entre si, que quando combinados transformam-se em uma importante ferramenta para o futuro (SADEEQ et al., 2021).

A Internet das Coisas pode ser definida como uma rede de objetos sejam, físicos ou lógicos, que conseguem interagir e se comunicar entre si através da internet. O termo “coisas” compõem o a sigla *IoT*, devido aos diversos objetos e dispositivos que podem integrar a rede, como exemplo podemos citar sensores, carros, dispositivos residenciais (MASCARENHAS et al., 2021).

*Cloud Computing* (CC) é definido da seguinte forma (PIERLEONI et al., 2019, p.1):

CC é um modelo que permite o acesso a um conjunto de recursos de computação compartilhados e configuráveis (por exemplo, redes, servidores, estruturas de armazenamento, aplicativos) oferecidos como serviços. Esses recursos podem ser rapidamente solicitados, gerenciados e usados em um modelo de repartição, de forma que o usuário pague pela quantidade de uso efetivo de um recurso. O CC também é independente de localização, permitindo o acesso do usuário aos serviços em nuvem de qualquer local e com qualquer dispositivo por meio da conexão com a internet.

O estudo do *McKinsey Global Institute* solicitado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e Comunicações (MCTIC), a respeito do uso do *IoT*, estima que no Brasil o impacto econômico chegue à 200 bilhões de dólares até 2025 (MCKINSEY, 2017).

Para 41% dos participantes do estudo, o foco principal de *IoT* deve se concentrar em como aumentar a produtividade agrícola e para 24% o crescimento econômico (MCKINSEY, 2017). Neste estudo foram apontadas as verticais para utilização de aplicações *IoT* no Brasil.

A vertical Rural recebeu nota 7.4 para o critério de Competitividade do Brasil no ambiente de aplicação de *IoT*, e nota 10 para o critério de Facilidade de desenvolver Inovação e Ambiente de negócios.

Segundo o ranking do Observatório de Complexidade Econômica do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), no ano de 2019 o Brasil obteve cerca de US\$ 230 bilhões de dólares americanos com exportações (MIT, 2021).

Os itens com maior parcela de contribuição para o valor obtido com exportações, foram a soja (11.4%), o milho (3.21%) e o café (2.05%) (MIT, 2021).

Dado a matriz de exportações do Brasil, desenvolver aplicações em setores nos quais é referência mundial, como agronegócio de fato torna-se estratégico.

Segundo projeções da Gartner consultoria, a expectativa é que o mercado mundial de serviço de *Cloud Computing* movimentará US\$ 362,263 bilhões de dólares americanos em 2022 (GARTNER, 2020).

Com o contexto e dados apresentados, observa-se que o setor da Agricultura tem grande relevância para a economia do Brasil. Com alto potencial de crescimento produtivo e ambiente propício para desenvolvimento de inovações tecnológicas, o Brasil pode se beneficiar de soluções que integrem *Cloud Computing* e *IoT*.

O estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) destaca os maiores desafios para o setor de agricultura no Brasil, sendo eles a coleta e o processamento de dados sobre umidade, monitoramento do ar e luz solar (EMBRAPA, 2017 apud MCKINSEY, 2017).

Dado o nível limitado de processamento de um dispositivo *IoT* e a alta capacidade de processamento encontrada em *CC*, a integração entre as duas ferramentas se tornam estratégica (NGUYEN et al., 2020). A esta integração, este autor denomina *Cloud of Things*, Nuvem das coisas.

Em 2020, a EMBRAPA realizou uma pesquisa com mais de 750 participantes tais como produtores rurais, empresas e prestadores de serviço do ramo, para mapear o retrato da agricultura digital brasileira (EMBRAPA, 2020).

Segundo a pesquisa, para 40,9% dos produtores rurais a falta de conhecimento sobre quais as tecnologias mais apropriadas é uma dificuldade. Ainda, de acordo com o estudo, existe a visão de que essas novas tendências são acessíveis para produtores de grande porte e alta capacidade de investimento.

## 1.1 Objetivo geral

Este trabalho compreende a análise das melhores soluções de *Cloud Computing* em termos de custo e usabilidade, e *IoT* em termos de disponibilidade e eficiência energética, que contribuam para a melhoria da produtividade das principais culturas agrícolas dos pequenos produtores do Brasil. Por principais culturas entenda as que compõem os itens de exportação relevantes: soja, milho e café (MIT, 2021).

## 1.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo deste trabalho seja atingido é necessário o desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos:

- 1 - Especificar quais são as melhores práticas de computação para área agrícola em termos de computação em nuvem e de borda.
- 2 - Dadas as dimensões e localização de uma propriedade agrícola, é importante determinar os dispositivos de telecomunicações que viabilizam a implementação de sensores e atuadores com ótima eficiência energética e baixo custo.
- 3 - Analisar e determinar quais são os engenhos necessários para fazer a interface e integração dos dispositivos com o ambiente de computação em nuvem.
- 4 - Desenvolvimento de um protótipo *IoT*, ou identificação no mercado de solução apropriada (custo, funcionalidade), com processamento em nuvem para validação das características e estimativas itens 1, 2 e 3.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia do trabalho está dividida em etapas que atendem os objetivos detalhados na Subseção 1.2.2. A seguir, estas são apresentadas.

Etapa 1- Entendimento das três maiores plataformas de *Cloud Computing* no Brasil, e suas soluções típicas de mercado *IoT*.

É realizado estudo das três maiores plataformas de *Cloud Computing* no Brasil, a saber: *Amazon Web Services*, *Microsoft Azure* e *Google Cloud Platform* (INFONOVA, 2021). Por meio de artigos científicos publicados, livros e blogs, é feita uma pesquisa documental, em busca do entendimento e da apresentação de como soluções típicas destas empresas e suas respectivas plataformas para o mercado de *IoT*. Além disso, como cada plataforma pode atender aos requisitos básicos de fazendas inteligentes tais como: custeio, capacidade de carga, facilidade de implementação, manutenção e operação de sistema. Para os pequenos agricultores, tem-se ainda os requisitos mínimos: intuitividade de uso, baixo custo operacional requerido sem perder confiabilidade e eficiência.

Após a identificação de quais soluções de plataformas atendem os requisitos, são feitas análises comparativas entre estes, para a identificação de qual solução poderia atender da melhor maneira, implementações de soluções *IoT*, para o pequeno produtor brasileiro.

Etapa 2 - Estudo de possíveis soluções de telecomunicações viáveis no Brasil de baixo consumo (*LPWAN*). Levantamento de sensores, atuadores, microcontroladores de baixo consumo energético.

Esta etapa consiste na pesquisa de informações, do estudo, entendimento e levantamento das características de operação de redes de telecomunicações de baixo consumo energético, disponíveis para implementações de dispositivos de *IoT*. O levantamento das informações é realizado por pesquisa na Internet, em materiais técnicos disponíveis em bases científicas como a do IEEE (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos) (2021). É realizado um mapeamento das redes viáveis e homologadas pela

ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) (2021), cobertura do território, custos operacionais existentes, consumo de rádio transmissores e confiabilidade destes. Os custos, facilidade de aquisição de radiotransmissores para montagem de dispositivos *IoT* e de operação são levantados, estudados, descritos e classificados. Para tal pretende-se utilizar materiais disponíveis em bases da Internet, como a do IEEE (2021) e de fabricantes como o da Sigfox (2021).

O Arrolamento e estudo de sensores, usuais em aplicação de *IoT* para monitoração e suporte a agricultura (EMBRAPA, 2017), é realizado junto a empresas fabricantes ou de importação, com informações disponíveis na Internet, por exemplo a MOUSER (2021), ou através de contatos diretos com estes.

São ainda estudados os microcontroladores usuais para aplicação em *IoT* através de materiais científicos e técnicos disponíveis nas bases de consulta, estes últimos como GIALELIS et al. (2020). Dentro da disponibilidade de telecomunicações adotada para maior cobertura do território nacional, é determinado o microcontrolador viável, sendo ponderados custos de aquisição no Brasil, consumo energético e possibilidades de programação.

Etapas 3 – Interface e integração dos dispositivos com o ambiente de computação em nuvem.

A partir dos resultados obtidos nas Etapas 1 e 2, e fundamentado em artigos e coletâneas técnicas e científicas apresentadas na Seção 3, pretende-se entender e descrever a melhor arquitetura do ambiente que precisará ser implementada. Dois aspectos precisam ser atentados na etapa: a segurança das comunicações e, se necessário, os *gateways* com os dispositivos *IoT* em campo. Para o tratamento da segurança, são trabalhadas as soluções que preferencialmente respeitem os princípios do *MQTT*, protocolo apresentado na Seção 3. O levantamento da infra de internet possível, pode ser identificado pelo endereço da localidade rural, utilizando-se de mapas do CGI, Comitê Gestor da Internet no Brasil, como o do SIMET (2021).

Etapas 4 - Desenvolvimento ou identificação no mercado de uma solução *IoT* com processamento em nuvem, apropriada para áreas agrícolas do Brasil

Esta etapa consiste no desenvolvimento ou identificação no mercado, de protótipo *IoT*, *gateway*, com processamento em nuvem para validação das métricas, características e estimativas trabalhados nas etapas metodológicas. O processamento do protótipo ou solução encontrada no mercado, deve utilizar a plataforma dos três maiores provedores de serviços de computação em nuvem no Brasil, solução de sensores e atuadores, microcontroladores e softwares de integração identificados/detalhados. O ensaio prático ou em laboratório permite validar as métricas e cálculos levantados nas demais etapas de estudo/projeto.

## 3 | REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas ou *Internet of Things (IoT)* é um paradigma baseado na Internet e pode ser definida como uma rede de objetos sejam, físicos ou lógicos, que conseguem interagir e se comunicar entre si através da internet (MASCARENHAS et al., 2021).

Segundo a pesquisa realizada pela EMBRAPA, as áreas mais interessantes para o uso de novas tecnologias digitais são: planejamento das atividades, gestão da propriedade e controle de deficiências nutricionais do solo (GALINARI et al., 2021). Dentro dessas vertentes os dispositivos *IoT*s, tem o potencial de ajudar o agricultor.

### 3.2 Computação em Nuvem

Devido às limitações do *IoT*, e a capacidade virtualmente ilimitada de processamento e armazenamento do *Cloud Computing*, as integrações entre *CC* e dispositivos *IoT* constituem uma robusta ferramenta complementar entre si (PIERLEONI et al., 2019).

O termo Computação em Nuvem ou *Cloud Computing* se tornou popular a partir de 2006, após ser utilizado por Eric Schmidt, CEO da Google no ano em questão, em uma conferência para explicar como feito o gerenciamento dos data centers da empresa (DARWISH et al., 2017).

Em 2011 o Instituto Nacional de Normas e Tecnologia dos Estados Unidos definiu *Cloud Computing* (NIST, 2011):

A computação em nuvem é um modelo para permitir acesso onipresente, conveniente e sob demanda à rede a um pool compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com mínimo esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços. Este modelo de nuvem é composto por cinco características essenciais, três modelos de serviço e quatro modelos de implantação.

### 3.3 Protocolo MQTT

Criado e desenvolvido pela IBM no final dos anos 90, o *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)*, é um protocolo aberto de mensagens com suporte para realizar comunicação assíncrona (IBM, 2017).

O protocolo *MQTT* define duas entidades na rede: um *message broker* e os clientes. O *broker* é um servidor que recebe todas as mensagens dos clientes e, em seguida, distribui essas mensagens para os clientes de destino.

Conforme o trabalho de PIERLEONI et al., (2019), o *MQTT* obtém os melhores resultados em termos de atraso fim a fim e consumo de largura de banda.

Conforme Yuan (2017), o *MQTT* é um protocolo de rede flexível e leve. A característica de leveza, permite a implementação em hardware e redes de largura da banda limitada e de alta latência.

### 3.4 Protocolo *HTTPS*

O protocolo *HTTPS* (*Hypertext Transfer Protocol Secure*) é um protocolo de comunicação, projetado para manipulação de mensagens web de forma segura, que pode também ser utilizado nas redes de comunicação *IoT* (BALBINOT, 2019).

Fazendo uso do método de requisição e respostas e de métodos previamente definidos no protocolo, o cliente *HTTPS* realiza uma chamada e obtém um arquivo de resposta com o status de sucesso ou erro da chamada, bem como a resposta desejada no corpo da mensagem.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo as etapas descritas na Seção 2, realizou-se as seguintes atividades:

### 4.1 Arquitetura idealizada para os ambientes em nuvem

Em conformidade com a etapa 1 descrita na metodologia, realizou-se o estudo documental das plataformas de *cloud* e identificação de quais soluções destas, atendem os requisitos mencionado.

Foi feita uma análise comparativa entre os recursos e serviços para a identificação de qual solução poderia atender da melhor maneira, implementações de soluções *IoT*, para o pequeno produtor brasileiro.

Para melhor entendimento foi proposto um sistema genérico para representação dos itens que compõem uma solução com uso de um *IoT* e integrado as *clouds*.

A Figura 1 exhibe o referido sistema genérico.

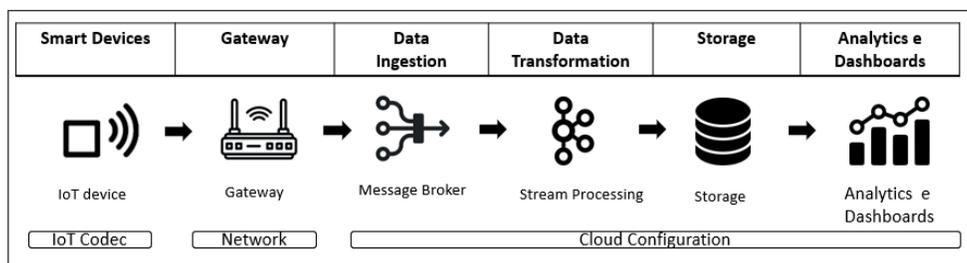


Figura 1 – Sistema Generalizado

Fonte: Próprio Autor

O Quadro 1 contém os serviços utilizados para o sistema genérico e sua respectiva descrição.

Serviço	<i>Smart Devices</i>	<i>Gateway</i>	<i>Data Ingestion</i>	<i>Data Transformation</i>	<i>Storage</i>	<i>Analytics e Dashboards</i>
Descrição	Dispositivos IoT	Comunicação entre ambientes	Serviço que recebe as mensagens	Orquestra os dados na infraestrutura	Armazena os dados	Análises e exibição de dados

Quadro 1 – Descrição dos serviços do sistema generalizado

Fonte: Próprio autor

Elencou-se que os três provedores de serviços de *cloud* observados possuem soluções similares para o uso com ambientes de IoT.

O Quadro 2 contém as categorias de serviços similares oferecidos pelos provedores *Amazon Web Services*, *Microsoft Azure* e *Google Cloud Platform*.

Categoria do serviço	Tipo do serviço	Oferta AWS	Oferta Microsoft Azure	Oferta GCP
Análise de dados	<i>Business Intelligence</i>	<i>Amazon QuickSight</i>	<i>Microsoft Power BI</i>	<i>Looker</i>
Internet das Coisas (IoT)	Plataforma de IoT	<i>AWS IoT Core</i>	<i>Hub IoT do Azure</i>	<i>Cloud IoT</i>
Banco de dados	Armazenamento de dados	<i>Amazon DynamoDB</i>	<i>Azure Cosmos DB</i>	<i>Datastore</i>
Análise de dados	Processamento de código aberto	<i>Amazon S3</i>	<i>Azure Data Lake</i>	<i>Dataproc</i>
Análise de dados	Orquestração de fluxo de dados	<i>AWS IoT Analytics</i>	<i>Azure Stream Analytics</i>	<i>Dataflow</i>
<i>Compute</i>	<i>Serveless</i>	<i>AWS Lambda</i>	<i>Azure Functions</i>	<i>Cloud Functions</i>

Quadro 2 – Serviços Similares oferecidos pelos provedores de *Cloud*

Fonte: Modificado de GOOGLE CLOUD PLATFORM (2021)

Observa-se na tabela 2 a categoria e tipo dos serviços entregues pelas três plataformas bem como os serviços equivalentes entre si, do ponto de vista conceitual.

## 4.2 Tecnologias LPWAN

Referente a etapa 2 da Subseção 2, conforme o estudo realizado das principais tecnologias LPWAN destacam-se a rede Sigfox e Lorawan (MEKKI, K. et al., 2019).

O estudo realizado pela Teleco Inteligência em Telecomunicações (TELECO, 2021), mostra a evolução dos municípios e porcentagem de população cobertos pelas tecnologias LPWAN no Brasil em setembro de 2021.

Segundo o estudo, a rede Sigfox possui cobertura de 492 municípios, cobertura esta que abrange 51.3% da população, enquanto a rede Lorawan possui cobertura de 262

municípios, cobertura esta que abrange 50.0% da população nacional.

O Quadro 3 descreve as características de operação das soluções *LPWAN* observadas pelo autor.

	<b>Sigfox</b>	<b>Lorawan</b>
<b>Modulação</b>	<b>BPSK</b>	<b>CSS</b>
<b>Frequência</b>	Bandas ISM não licenciadas (868 MHz na Europa, 915 MHz na América do Norte e 433 MHz na Ásia)	Bandas ISM não licenciadas (868 MHz na Europa, 915 MHz na América do Norte e 433 MHz na Ásia)
<b>Largura de banda</b>	100 Hz	250 kHz e 125 kHz
<b>Taxa máxima de dados</b>	100 bps	50 kbps
<b>Bidirecional</b>	Limitada / Half-duplex	Sim / Half-duplex
<b>Máximo de mensagens/dia</b>	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado
<b>Comprimento máximo do payload</b>	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes
<b>Cobertura da rede</b>	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20 km (rural)
<b>Imunidade a interferências</b>	Muito Alta	Muito Alta
<b>Autenticação e criptografia</b>	Não suportado	SIM (AES 128b)
<b>Taxa de dados adaptável</b>	Não	Sim
<b>Handover</b>	Os dispositivos finais não se unem a uma única estação base	Os dispositivos finais não se unem a uma única estação base
<b>Geo Localização</b>	Sim (RSSI)	Sim (TDOA)
<b>Permitir rede privada</b>	Não	Sim
<b>Normas</b>	A empresa Sigfox está colaborando com a ETSI na padronização da rede baseada em Sigfox	LoRa-Alliance

Quadro 3 – Comparação serviços *LPWAN*

Fonte: MEKKI, K. et al. (2019)

Dentre as duas soluções optou-se pelo uso da rede Sigfox devido ao maior raio de cobertura no ambiente rural, variando de 10 a 40 km, *backend* robusto que possibilita a integração do dispositivo com o ambiente de nuvem em geral sem a necessidade de uso de um *gateway* físico.

A tecnologia da rede Sigfox pode ser descrita como um protocolo de rede voltado para aplicações *IoT* sem a utilização de fios e trabalhando em baixa potência (DATEM, 2021).

Algumas das vantagens da utilização dessa tecnologia são: baixo consumo de energia e preço padronizado mundialmente - a assinatura anual para envio de duas mensagens por dia por dispositivo é de US\$0,50 (NOVIDA, 2019).

### 4.3 Gateway

A função de um *gateway IoT* é realizar a comunicação entre os dispositivos e assim formar uma rede, para compartilhamento de recursos, informações e tornando possível a intercomunicação dos equipamentos que possuam diferentes protocolos de comunicação (RAMÍREZ et al., 2019). O *gateway* é a ponte que realiza o fluxo de dados entre os sensores sem fio e redes de comunicações locais ou Internet (JUNIOR et al., 2018). Um possível cenário de uso para um *gateway* físico no contexto deste trabalho, seria a utilização de dispositivos Sigfox em ambientes fora da zona de cobertura informada no site. Através do uso do *gateway* é possível criar um repetidor da rede para a cobertura desta localidade. Para a rede Sigfox existem soluções prontas disponíveis para a implementação dos mesmos, como descrito em MATURIX (2021).

### 4.4 Protótipo IoT

Alinhado a etapa 4 da Subseção 2, após conclusão das pesquisas para desenvolvimento ou identificação no mercado de um protótipo *IoT*, optou-se pela aquisição e utilização de produto encontrado no mercado. Tal produto possui o melhor custo encontrado no território nacional, permite desenvolvimentos em diversas plataformas e com diversos sensores e tem as características técnicas descritas a seguir.

#### 4.4.1 Características do protótipo utilizado

A solução para uso neste trabalho foi o devkit de desenvolvimento Sigfox com módulo Wisol Thinxtra, ou Sigfox Developer Xkit (THINXTRA, 2021).

O kit de desenvolvimento é composto pelos seguintes itens:

- a- *Shield* suportando as redes Sigfox RCZ2 (Brasil, EUA e México);
- b- Placa Arduino uno r3.
- c- Sensores de temperatura, pressão, luminosidade, magnético (*reed switch*) e acelerômetro de 3 eixos;
- d- Licença de 1 ano de conectividade Sigfox, pacote Sigfox Platinum, 140 mensagens de upload e 4 de download.

A placa Arduino uno r3 que acompanha o devkit está pré-carregada com uma aplicação demo que envia informação do sensor de temperatura, tensão de saída do sensor foto-elétrico, valor da pressão e acelerômetro.

Estes dados são enviados nas seguintes condições:

- a- A cada 10 minutos;
- b- Caso o botão SW1 do módulo Sigfox seja pressionado;
- c- Se houver proximidade de um ímã ao sensor magnético (*reed switch*).

Visando o desenvolvimento do protótipo para o ambiente agrícola, foi acrescentado o sensor de umidade DHT 22 e o código original pré-carregado ao devkit foi modificado de acordo.

Uma bateria de Lítio Ion de 4.8 Ah para uso com o *IoT* foi usada para o fornecimento de energia ao dispositivo.

Para acomodação do *hardware* do *IoT* foi criado um case físico e impresso em 3D no laboratório da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Na Figura 2, observa-se a lista dos materiais utilizados para desenvolvimento do projeto



Figura 2 – Lista de Materiais Utilizados

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 3, temos uma fotografia do hardware projeto finalizado.



Figura 3 – Protótipo

Fonte: Próprio Autor

#### 4.5 Decodificação dos dados

Os dados medidos pelos sensores do devkit são exibidos na base hexadecimal (Sigfox, 2021).

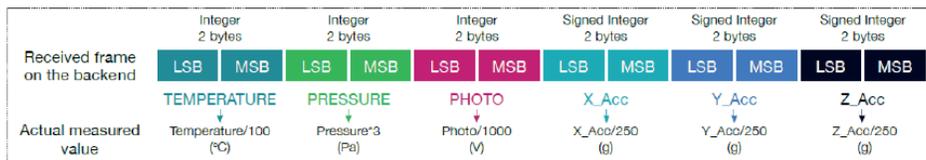
Para leitura mais amigável dos dados, é necessário realizar a decodificação do *payload* da base hexadecimal para base decimal e adequação da unidade para o sistema

internacional (S.I).

Conforme a documentação do devkit informa, a decodificação do *payload* pode ser realizada manualmente (THINXTRA, 2021).

Na Figura 4, apresenta-se o processo de decodificação manual.

A mensagem é enviada com 12 bytes, conforme padrão Sigfox. Ela é enviada em hexadecimal conforme estrutura abaixo:



Exemplo de mensagem recebida: f7096679b3050c009900c100

Para facilitar podemos separar os caracteres: **f7** **09** **66** **79** **b3** **05** **0c** **00** **99** **00** **c1** **00**

#### Extração dos dados:

##### Temperatura:

LSB (less significant bit = bit menos significativo) = f7

MSB (most significant bit = bit mais significativo) = 09

Temperature em hexadecimal = 09f7

Conversão de hexadecimal para decimal =  $0 \times 16^3 + 9 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 7 \times 16^0 = 2551$

Conforme a estrutura mencionada este valor deve ser dividido por 100 para resultar na temperatura em °C, logo a temperatura é 25,51°C

Figura 4 – Decodificação manual

Fonte: THINXTRA (2021)

Para realização da decodificação do *payload* há a possibilidade da criação de uma função em determinada linguagem de programação para operação em serviços *serverless* tais como *AWS Lambda*, *Microsoft Azure Functions* e *GCP Functions* (GIL, 2021).

Foram desenvolvidas funções para este fim e o código encontra-se no repositório do Github (DOI:10.5281/zenodo.5648126) (RODRIGUES, 2021).

Visando tornar simples a implementação para usuário com menor nível técnico, foi feita uma pesquisa de quais ferramentas teriam a capacidade de facilitar o processo de decodificação.

Após pesquisa documental com base em fóruns, foi encontrada uma aplicação *de SaaS - software* como serviço chamada Bitdecoder fornecida pela empresa de monitoração de dados, *Paessler* (PAESSLER BITDECODER, 2021). A versão utilizada no corrente trabalho é a beta sem custos.

Com o uso da ferramenta destacada, pode-se realizar a decodificação dos dados advindos diretamente do ambiente Sigfox e realizar a entrega destes dados, já convertidos, para a nuvem de interesse.

De acordo como o manual da ferramenta, o processo de decodificação dentro da plataforma pode ser realizado via código ou de forma visual (PAESSLER BITDECODER,

2021).

Dentro da plataforma *Paessler Bitdecoder* existe a possibilidade de integração direta com o ambiente *AWS IoT Core* e *Microsoft IoT Hub* (PAESSLER BITDECODER, 2021).

Para a utilização das demais nuvens, tais como *GCP*, há a possibilidade de utilização do *MQTT Broker*.

Na Figura 5, há a representação do funcionamento da ferramenta destacada, com a chegada dos dados vindos da *Sigfox Cloud*, conversão do pacote e entrega dos dados as *clouds* requeridas.

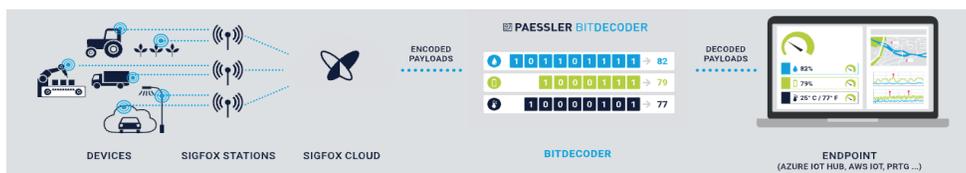


Figura 5 – Funcionamento *Paessler Bitdecoder*

Fonte: PAESSLER BITDECODER (2021)

## 4.6 Ambiente de *Cloud Computing*

Cada ambiente de computação em nuvem e seus respectivos cenários de operação são descritos a seguir.

### 4.6.1 *Sigfox Cloud*

Os dados coletados pelos sensores, são enviados para estações rádio base da rede Sigfox e após esse processo, é feito o *upload* dos dados para a nuvem da rede Sigfox e após essa etapa pode-se fazer a integração com as *clouds* (LAVRIC et al., 2019).

A *Sigfox Cloud* pode encaminhar automaticamente para outras *clouds*, usando serviços de retorno de chamadas, denominado *callbacks* (SIGFOX, 2021). Este serviço utiliza protocolo *HTTPS*.

A Figura 6 ilustra a arquitetura da rede Sigfox.



Figura 6 – *Sigfox Network Architecture*

Fonte: SIGFOX (2021)

É possível a configuração de *callbacks* para *AWS* e *AZURE* de forma simplificada e

a criação de *callbacks* customizadas para integração com demais nuvens (SIGFOX, 2021).

## 4.7 Integração com nuvens públicas

Com o objetivo de simular o uso da integração com nuvens públicas, dois cenários foram elaborados: um obedecendo as recomendações básicas do provedor e outro de segurança, incrementada através do protocolo *MQTTS* e aperfeiçoamento do *dashboard*.

### 4.7.1 Primeiro Cenário

Utilizando *callbacks* nativas e protocolo *HTTPS*: os dados lidos pelos sensores são enviados do Sigfox *cloud* para as nuvens *AWS*, *Microsoft Azure* e *GCP*.

Com a chegada do dado ao ambiente de nuvem, este é armazenado ainda em formato original (hexadecimal), sendo o cenário mais simples.

A integração com *AWS* e *AZURE* é realizada através de *wizard* (assistente) presente no *backend* Sigfox *cloud*.

Já a integração com o *GCP* é realizada através de *callback* desenvolvida para conexão do *backend* Sigfox *cloud*.

Os provedores dos ambientes *AWS*, *AZURE* e *GCP* possuem documentação que auxilia no processo descrito (GARCIA, 2017; LIU, 2018; LEPISTO, 2020a, 2020b).

Na Figura 7, observam-se as *callbacks* utilizadas para este trabalho.



Downlink	Enable	Channel	Subtype	Batch	Information
	<input checked="" type="checkbox"/>		BIDIR	<input type="checkbox"/>	[POST] <a href="https://asia-northeast1-sigfoxgcp2.cloudfunctions.net/callback_date">https://asia-northeast1-sigfoxgcp2.cloudfunctions.net/callback_date</a>
	<input checked="" type="checkbox"/>		UPLINK	<input type="checkbox"/>	[POST] <a href="https://iot-hub-sigfox-w01.azure-devices.net/devices/{device}/messages/events?api-version=2018-06-30">https://iot-hub-sigfox-w01.azure-devices.net/devices/{device}/messages/events?api-version=2018-06-30</a>
	<input checked="" type="checkbox"/>		UPLINK	<input type="checkbox"/>	[POST] <a href="https://a3fm4actketbwz-ats.iot.us-east-1.amazonaws.com/topics/sigfox?qos=1">https://a3fm4actketbwz-ats.iot.us-east-1.amazonaws.com/topics/sigfox?qos=1</a>

Figura 7 – *Callbacks*

Fonte: Próprio Autor

### 4.7.2 Segundo Cenário

Os dados lidos pelos sensores do *IoT* são enviados do *backend* Sigfox para a ferramenta *Paessler Bitdecoder* e protocolo *MQTTS*. Após a conversão, o *payload* com dados convertidos é encaminhado aos serviços de *endpoint* das nuvens *AWS* e *Microsoft Azure*. Como *endpoints* entenda os serviços de *Message broker* cuja representação gráfica encontra-se na Figura 1.

Para o *Google Cloud Platform* optou-se pelo não desenvolvimento do 2º cenário no trabalho em função de complexidades de conexão para o desenvolvimento de um *gateway*.

### 4.7.3 Arquitetura de integração.

Nas Figura 8, observa-se os elementos pertinentes as arquiteturas de integração

entre o backend Sigfox *cloud* e as nuvens *AWS*, *Microsoft Azure* e *GCP* para o primeiro cenário, no qual os dados trafegam por protocolo *HTTPS* e são armazenados sem decodificação.

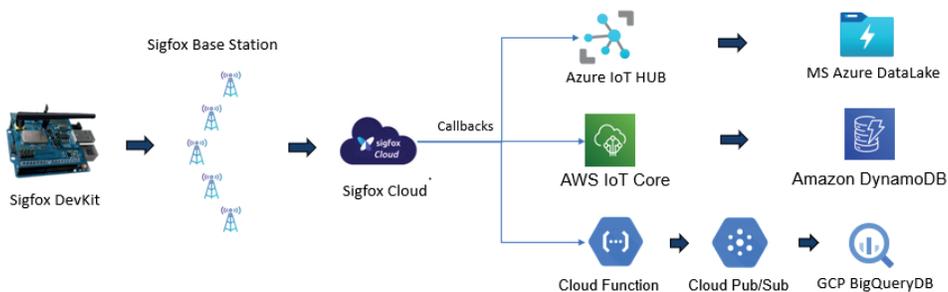


Figura 8 – Arquitetura de integração Sigfox e *Clouds* para 1º cenário

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 9 observam-se os elementos pertinentes as arquiteturas de integração entre o *backend* Sigfox *cloud* e as nuvens *AWS*, *Microsoft Azure* no segundo cenário. Neste cenário os dados trafegam por protocolo *MQTTS*, são decodificados pelo *Paessler Bitdecoder*, armazenados em bancos de dados e posteriormente exibidos em *dashboards*,

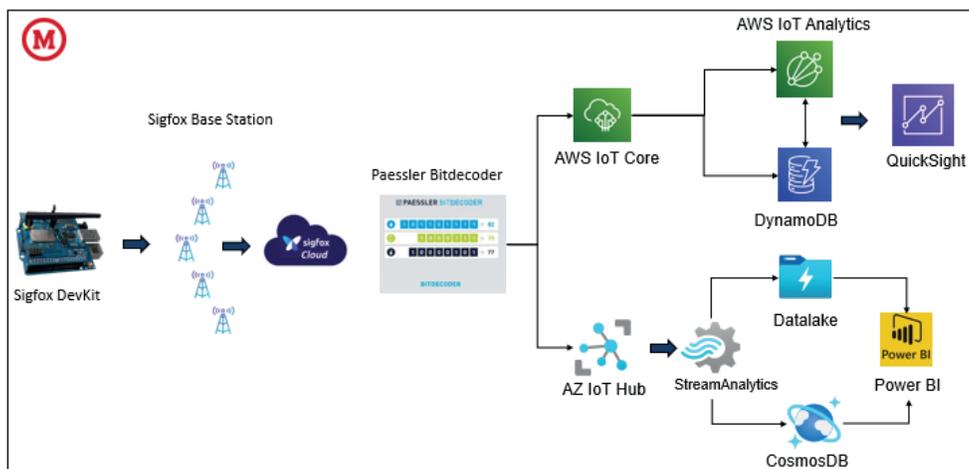


Figura 9 – Arquitetura do segundo cenário no ambiente *AWS* e *AZURE* respectivamente

Fonte: Próprio Autor

## 4.8 Funcionamento do sistema

Como o funcionamento como um todo depende de inúmeras camadas de aplicação, além da presente Subseção, um vídeo explicativo é proposto em RODRIGUES (2021).

A fim de documentar o processo de fluxo de dado do Cenário 1, as etapas relevantes são apresentadas nas Figuras 10, 11, 12 e 13. A Figura 10, contém um exemplo de

mensagem sequencial apresentada no ambiente Sigfox *cloud*.



Figura 10 – Mensagem 2002 no ambiente Sigfox Cloud

Fonte: Próprio Autor

A Figura 11 exibe um registro do banco de dados *DynamoDB*, tal qual é apresentado na interface do ambiente *AWS*. Pode-se observar informações do registro como data, número sequência da mensagem e um número hexadecimal que representa os valores medidos pelos sensores do dispositivo e transmitidos a nuvem.

deviceTypeId	60ec9c4e988a375ce2bc315b
seqNumber	2002
time	1635122953
data	070a6e791101020000005200

Figura 11 – Amazon *DynamoDB* Original Data

Fonte: Próprio Autor

A Figura 12 contém a imagem de um registro do banco de dados *CosmosDB*, similar a apresentação na interface do ambiente *Microsoft Azure*. A direita pode-se observar os metadados e as informações de um registro que foi acessado no dia 25/10/2021.

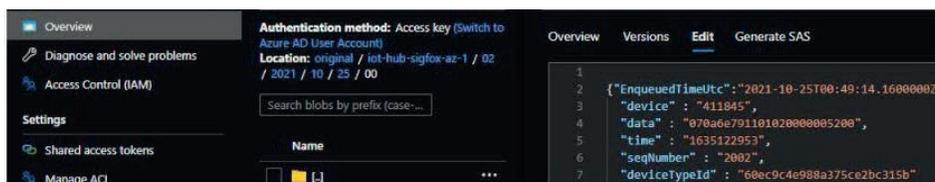


Figura 12 – Microsoft *Azure* Datalake

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 13 existe um *print screen* de tela com informações de do *payload* carregado no banco de dados *BigQueryDB*, semelhante a visualização na interface do ambiente *Google Cloud Platform*.

	id	device	time	data	deviceTypeId
121	IoT-Agriculture	411845	2021-10-24 22:57:03 UTC	470a3b79f90017001	470a3b79f90017001
122	IoT-Agriculture	411845	2021-10-24 23:07:03 UTC	480a3c79f90017001	480a3c79f90017001
123	IoT-Agriculture	411845	2021-10-24 23:17:03 UTC	450a4679f90017001	450a4679f90017001
124	IoT-Agriculture	411845	2021-10-24 23:27:03 UTC	430a4d79f90016001	430a4d79f90016001
125	IoT-Agriculture	411845	2021-10-24 23:37:03 UTC	410a5679f90017001	410a5679f90017001
126	IoT-Agriculture	411845	2021-10-24 23:47:03 UTC	3a0a6179f90016001	3a0a6179f90016001

Resulta...nresulta SALVAR RESU

```
{
  "deviceType": "IoT-Agriculture",
  "device": "411845",
  "time": "2021-10-25 00:49:13 UTC",
  "data": "070a6e791101020000005200",
  "seqNumber": "2002",
  "deviceTypeId": "60ec9c4e988a375ce2bc315b"
}
```

Figura 13 - Google *BigQuery*

Fonte: Próprio Autor

Com a finalidade de documentar o processo de fluxo de dados do cenário 2 de acordo com a Subseção 4.7.2.

Na Figura 14, a mensagem de número sequencial 2034, é apresentada no ambiente *Sigfox*.



Figura 14 – Mensagem 2034 no ambiente *Sigfox cloud*

Fonte: Próprio Autor

Já na Figura 15, observa-se um sumário das integrações realizadas entre a ferramenta *Paessler Bitdecoder* e os *endpoints AWS IoT Core* e *Microsoft IoT Hub*.

Name	Connection	Template	Endpoint	Actions
AWS	SigfoxDevKit	→ Thinxtra Dev Kit - Sigfox	→	
Microsoft Azure	SigfoxDevKit	→ Thinxtra Dev Kit - Sigfox	→	

Figura 15 – *Paessler Bitdecoder* integrações com *endpoints*

Fonte: Próprio Autor

A seguir na Figura 16, apresenta-se a mensagem 2034 armazenada no banco de dados *AWS DynamoDB* após o processo de decodificação. Pode-se observar os valores de temperatura, pressão e umidade de um pacote já decodificados corretamente usando a ferramenta.

Y_Acc	0.004	Number
Temperature	26.59	Number
Photo	0.317	Number
Pressure	93153	Number
X_Acc	0.0008	Number
Humidity	82	Number

Figura 16 – *Amazon DynamoDB Converted Data*

Fonte: Próprio Autor

Os dados armazenados no banco de dados são apresentados nas diversas ferramentas através de dashboards criados, o que facilita a interpretação pelo usuário, e trabalha as questões de IHM, ou seja, a interface homem máquina.

A cópia de uma tela de um *dashboard* montado em ambiente *AWS* é exibida na Figura 17.



Figura 17 – AWS *QuickSight* com os dashboards dos dados

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 18, observa-se a mensagem 2034 armazenada no outro ambiente de *cloud* elaborado no *Microsoft Azure* com o registro no *CosmosDB* após o processo de decodificação semelhante ao apresentado da Figura 19.



Figura 18 – *Microsoft CosmosDB Converted Data*

Fonte: Próprio Autor

Um *print screen* de uma tela de um dashboard montado em ambiente *Microsoft Azure* é exibida na Figura 19.



Figura 19 – *Dashboards* dos dados no *Microsoft Power BI*

Fonte: Próprio Autor

## 4.9 Tempo de computação em nuvem

A corrente Subseção destaca as métricas de tempo observadas no corrente trabalho.

### 4.9.1 *Tempo no cenário 1*

Utilizando as ferramentas que registram os logs de serviços de cada plataforma de *cloud*, foram observadas as seguintes métricas quanto ao tempo de recepção dos dados advindos do *Sigfox cloud* e posteriormente armazenamento no banco de dados.

As ferramentas de registro de logs utilizadas são as disponíveis nos devidos sistemas, a saber: *AWS CloudWatch*, *Microsoft Azure Monitor* e *Google Cloud Log*.

O Quadro 4, contém os tempos mensurados pelas aplicações, desde a chegada

do *payload* ao ambiente de nuvem e seu armazenamento no banco de dados de cada fornecedor de serviços de *cloud* para os 2 cenários propostos.

Tempo em <i>Cloud</i> (ms)		
	1° cenário	2° cenário
<i>Amazon Web Services</i>	195	193
<i>Microsoft Azure</i>	213	548
<i>Google Cloud Platform</i>	508	X

Quadro 4 – Descrição dos serviços

Fonte: Próprio Autor

Pode-se observar que o ambiente *AWS* é 2,5 mais rápido nas recepções para o cenário 2 do que o ambiente *AZURE*. Já para o cenário 1, o ambiente do *AWS* e *AZURE* possuem tempos de respostas semelhantes, apenas o *GCP* apresenta latência de 2,5 maior.

#### 4.10 Autonomia da bateria

O cálculo da autônima é realizado com base na equação em (1).

Para o protótipo finalizado aferiu-se o consumo de 12.3mA utilizando a bateria de 3.7V e 4.8Ah.

Com base na equação apresentada em (1), a autonomia da bateria é de 390 horas ou 16 dias.

$$Autonomia(h) = \frac{Capacidadedabateria(Ah)}{Correnteconsumida(A)} \quad (1)$$

$$Autonomia(h) = \frac{4.8(Ah)}{0.0123(A)} = 390.24h \quad (2)$$

Na Figura 20, há a exibição da leitura de corrente consumida pelo dispositivo *IoT* desenvolvido no corrente trabalho.



Figura 20 – Corrente consumida pelo dispositivo *IoT*

Fonte: Próprio Autor

## 4.11 Custos

A seguir, estão descritos todos os custos do projeto, sejam relacionados ao *hardware* ou *software* ou desenvolvimento.

### 4.11.1 Custos do hardware

- Kit de desenvolvimento Sigfox com módulo Wisol, placa Arduino e sensores XKIT1-2 - R\$731,40 (SMARTCORE, 2021).
- Dht22 Sensor De Temperatura E Umidade – R\$ 25,14 (MOUSER, 2021).
- Bateria 3,7v – 4.8 Ah Li-Ion Recarregável – R\$ 18,00 (MERCADO LIVRE, 2021).
- Case físico – Impresso gratuitamente no Laboratório de Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

O total dos custos relacionados ao hardware do projeto foi: R\$774,54.

### 4.11.2 Custos do ambiente em nuvem

Para este trabalho foram utilizadas apenas contas de avaliação, que permitem a utilização de créditos para consumo dos serviços em nuvem. Não houve custos recorrentes, que dependam de uma assinatura mensal.

Os custos relacionados a cada plataforma de computação em nuvem a seguir estão descritos no Quadro 5.

Custos das nuvens (R\$)	
<i>AWS</i>	6,56
<i>AZURE</i>	110,03
<i>GCP</i>	0

Quadro 5 – Descrição dos serviços

Fonte: Próprio Autor

Conforme apontamento no Quadro 5, para execução deste trabalho, não houve custos relacionados ao *Google Cloud Platform*. Todo o processamento registrado ficou dentro da camada gratuita e os créditos da conta de estudante não foram utilizados.

## 4.12 Sobre a implementação do ambiente

Em termos de facilidade de implementação do projeto, evidenciou-se que a operação do devkit Sigfox se mostrou simples devido a utilização da *IDE* da placa Arduino e ampla documentação.

Referente as plataformas de computação em nuvem, destacam-se nos quesitos

de facilidade e documentação os provedores *AWS* e *Microsoft Azure* se mostram de fácil manuseio e contam com documentação de boa qualidade.

Quanto ao *Google Cloud Platform*, constatou-se que requer maior conhecimento técnico e a documentação encontrada no site, é menos detalhada se comparada com as demais plataformas.

Para a implementação de ambiente de computação em nuvem é possível a utilização de ferramentas de *IaC* – Infraestrutura como código, para este trabalho utilizou-se da conhecida ferramenta Terraform. Tal ferramenta permite a automação da criação de cenários de aplicações em nuvem.

#### 4.13 Desempenho das nuvens segundo as métricas definidas para o trabalho

A Tabela 1 contém as notas atribuídas a cada plataforma de nuvem segundo as métricas descritas no corrente trabalho.

Métricas	<i>Amazon Web Service</i>	<i>Microsoft Azure</i>	<i>Google Cloud Platform</i>
Tempo de operação	10	8	4
Custo agregado	9	4	10
Facilidade de implementação	8,5	10	5
Qualidade de documentação	10	9	7
Total	37,5	31	26

Tabela 1 – Desempenho das plataformas de *Cloud*

Fonte: Próprio Autor

O *Amazon Web Service* ofereceu o serviço mais satisfatório, de acordo com a classificação apresentada na Tabela 1.

O *Microsoft Azure* possui facilidade de implementação e atende a demanda dos dois cenários, todavia o custo agregado para o uso constitui um fator a ser considerado pelo pequeno e médio produtor rural.

Com respeito ao *Google Cloud Platform* destacou-se que em termos de custo, possui a plataforma mais adequada ao produtor rural de pequeno porte, todavia requer maior conhecimento técnico para operação e documentação mais restrita.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos primeiros estágios do projeto, considerou-se a substituição da placa Arduino Uno R3 pela placa Arduino Mega 2560 para aumento de quantidade de portas digitais (ALL3DP, 2020).

Com a placa Arduino Mega e os sensores especificados na lista de materiais, foi medido o consumo de corrente elétrica do projeto em 80 mA. Tal consumo gera o tempo de autonomia da bateria para 60 horas. Devido a esse fator optou-se pela utilização em definitivo da placa Arduino Uno R3, com esta placa o consumo observado foi o descrito na Subseção 4.8.

Para melhorias futuras são indicados trabalhos voltados para otimização bateria e consumo energético.

Existe a possibilidade de integração dos bancos de dados alocados na nuvem com assistentes de voz tais como *Amazon Alexa* ou *Google Assistente*, o que pode facilitar a utilização para o usuário final (DZONE, 2020).

Com os dados armazenados e usando técnicas de análise de dados, pode-se realizar predições e encontrar correlações que interessem ao usuário (REDHAT, 2021).

Conforme estimativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa, através do uso da tecnologia o Valor Bruto da Produção (VBP) da Agropecuária crescer 9,6% – equivalente um aumento de R\$ 101,47 bilhões sobre o atual R\$ 1,057 trilhão (MAPA, 2021).

## 6 | CONCLUSÃO

Este trabalho tem o objetivo de evidenciar a melhor solução possível para um desenvolvimento de dispositivo *IoT* e sua respectiva integração ao ambiente de *cloud*, visando o menor custo e melhor performance de forma a beneficiar o pequeno e médio produtor rural do Brasil.

Conforme estudos de empresas como a EMBRAPA e instituições como os Ministérios da Agricultura, Comunicações e Ciência e tecnologia, o uso destas soluções aumentará o desempenho da safra Brasileira e otimizará o uso de recursos no campo.

De acordo com os nossos melhores estudos até o término deste artigo, o dispositivo desenvolvido apresenta desempenho que poderia auxiliar o pequeno e médio produtor rural com um custo baixo dadas as capacidades de retorno de ganho através da prática da agricultura de precisão.

Quanto as plataformas de computação em nuvem, foi observado que cada plataforma fornece um ponto de acesso à nuvem por meio do qual dispositivos físicos podem se conectar de forma segura e privada. Após conexão autorizada, os dispositivos podem começar a enviar seus dados para a nuvem: o protocolo mais utilizado é o *MQTT*.

Os resultados evidenciam como as plataformas, mesmo com tempos de serviço diferentes, atuam de forma uniforme com níveis de desempenho satisfatório. A análise feita com relação aos custos das plataformas, entrega ao leitor mais um elemento de comparação para fazer a sua escolha, ainda que seja possível realizar o mesmo trabalho com o *AWS*, *Microsoft Azure* e *GCP*.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conduzir e abençoar em todas as coisas; a minha família e amigos em especial minha mãe Maria da Paz, minha esposa Giovanna Martins (Engenheira de Estruturas) e meu amigo Yuri Novaes (Engenheiro de Software), pelo apoio ao projeto. Agradeço ao professor Newton pelo auxílio, tempo e atenção em mim investido, ao professor Frank, pelo empenho no case 3D e a todo o IPM e UPM pelos anos em que fui funcionário e aluno destes.

## REFERÊNCIAS

4566 Adafruit I Mouser. Disponível em: <<https://br.mouser.com/ProductDetail/485-4566>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ACESSDAT4WP18. **Lora e Sigfox - Datatem**, [s.d.]. Disponível em: <<https://datatem.com.br/blog/lora-e-sigfox-conheca/>>. Acesso em: 31 out. 2021

**Alexa Skill With Local DynamoDB - DZone Database**. Disponível em: <<https://dzone.com/articles/alexa-skill-with-local-dynamodb>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações**. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br>. Acesso em: 11 de abril de 2021.

**Arduino Uno vs Mega vs Due: The Differences**. Disponível em: <<https://all3dp.com/2/arduino-mega-vs-uno-vs-due-differences/>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

**AttachInterrupt() - Documentação de Referência do Arduino**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/external-interrupts/attachinterrupt/>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

**Bateria Recarregável Li-ion 18650 4800mah 3.7v Lanterna Led - R\$ 18**. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1962332374-bateria-recarregavel-li-ion-18650-4800mah-37v-lanterna-led-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1962332374-bateria-recarregavel-li-ion-18650-4800mah-37v-lanterna-led-_JM)>. Acesso em: 22 nov. 2021.

**Brazil (BRA) Exports, Imports, and Trade Partners | OEC**. Disponível em: <<https://app-bee.oec.world/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

BALBINOT, D. C. Proposta e implementação de uma solução para automação residencial. 5 dez. 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/6357>>. Acesso em: 26 out. 2021.

**Compare os serviços da AWS e do Azure com o Google Cloud**. Disponível em: <<https://cloud.google.com/free/docs/aws-azure-gcp-service-comparison?hl=pt-br>>. Acesso em: 14 out. 2021.

**Conhecendo o MQTT – IBM Developer**. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/br/technologies/iot/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot>>. Acesso em: 13 maio. 2021

**Connecting devices to AWS IoT - AWS IoT Core**. Disponível em: <<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/iot-connect-devices.html>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

**Crie sua conta gratuita do Azure hoje | Microsoft Azure.** Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/free/>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

DARWISH, A. et al. The impact of the hybrid platform of internet of things and cloud computing on healthcare systems: opportunities, challenges, and open problems. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 10, n. 10, p. 4151–4166, 1 out. 2019. Acesso em: 26 out. 2021.

Distribuidor de Componentes Eletrônicos - **Mouser Electronics Brasil.** Disponível em: <<https://br.mouser.com/>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

GALINARI, Graziella; RODRIGUES, Nadir; SILVA, Joana. **Pesquisa mostra o retrato da agricultura digital brasileira.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54770717/pesquisa-mostra-o-retrato-da-agricultura-digital-brasileira>. Acesso em: 02 maio 2021.

GARCIA, Michael. **Connect your devices to AWS IoT using the Sigfox network.** 2017. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/blogs/iot/connect-your-devices-to-aws-iot-using-the-sigfox-network/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

**Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud End-User Spending to Grow 18% in 2021.** Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-11-17-gartner-forecasts-worldwide-public-cloud-end-user-spending-to-grow-18-percent-in-2021>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

**Getting Started | Sigfox Resources.** Disponível em: <<https://support.Sigfox.com/docs/callbacks-documentation>>. Acesso em: 31 out. 2021.

GIALELIS, John et al. A Low Cost Energy Efficient IoT Node Utilized in the Agricultural Field. In: **2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO).** IEEE, 2020. p. 1-6. Disponível em: [https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9134184?casa\\_token=Acwh8OmF1B4AAAAA:gpCtguvgtE\\_ZEqcTsrokbRhOcN42viy8tQc-Qa-o-m5EZ2xZ6YaetAa5f5hIMcvyXbR-VReKr49S](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9134184?casa_token=Acwh8OmF1B4AAAAA:gpCtguvgtE_ZEqcTsrokbRhOcN42viy8tQc-Qa-o-m5EZ2xZ6YaetAa5f5hIMcvyXbR-VReKr49S). Acesso em: 07 maio 2021

GILL, Navdeep Singh. Serverless Solutions and Architecture for Big Data, and Data Lake. 2021. Disponível em: <https://www.xenonstack.com/blog/serverless-data>. Acesso em: 28 out. 2021.

IEEE. **Base de artigos e conferências do IEEE – Xplore.** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. Acesso em: 28 de março de 2021.

INFONOVA. **Principais provedores de nuvem no Brasil.** Disponível em: <https://www.infonova.com.br/cloud/principais-provedores-de-nuvem/>. Acesso em 10 maio 2021.

**Introduction to the Sigfox Gateway.** Maturix, [s.d.]. Disponível em: <<https://maturix.com/help/introduction-to-the-sigfox-gateway/>>. Acesso em: 3 dez. 2021

JUNIOR, D. A. F. et al. Implantação de múltiplos gateways IoT definido por software e virtualizado para campus inteligente. **D. A.**, n. 25, p. 17, 2020. Acesso em: 26 out. 2021.

**Kit de desenvolvimento Sigfox com módulo Wisol, placa Arduino e sensores (XKIT1-2).** Disponível em: <<https://loja.smartcore.com.br/xkit1-2-kit-de-desenvolvimento-Sigfox>>. Acesso em: 15 out. 2021.

LAVRIC, A.; PETRARIU, A. I.; POPA, V. **Sigfox Communication Protocol: The New Era of IoT?** 2019 International Conference on Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI). **Anais...** In: 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSING AND INSTRUMENTATION IN IOT ERA (ISSI). ago. 2019. Acesso em: 26 out. 2021.

LEPISTO, Markku. **Integrating Sigfox IoT network with Google Cloud**. 2020. Disponível em: <<https://cloud.google.com/community/tutorials/sigfox-gw>>. Acesso em: 26 out. 2021.

LEPISTO, Markku. **Using Sigfox Sens'it with Google Cloud**. 2020. Disponível em: <<https://cloud.google.com/community/tutorials/sigfox-sensit>>. Acesso em: 26 out. 2021.

LIU, Vivian. **Connect devices from other IoT clouds to Azure IoT Central**. 2018. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/blog/connect-devices-from-other-iot-clouds-to-azure-iot-central/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

MASCARENHAS, Ana Patrícia Fontes Magalhães et al. Desenvolvimento de produtos IOT. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4711-4724, 2021. Acesso em: 23 de abril de 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23059>. Acesso em: 23 de abril de 2021.

MCKINSEY, McKinsey Global Intitute. Produto 8: Relatório do Plano de Ação: iniciativas e projetos mobilizadores. Brasília: 2017. Acesso em: 23 de abril de 2021.

MEKKI, K. et al. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. **ICT Express**, v. 5, n. 1, p. 1–7, 1 mar. 2019. Acesso em: 26 out. 2021.

**Ministério da Agricultura vai ampliar a conectividade no campo. Sociedade Nacional de Agricultura**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/ministerio-da-agricultura-vai-ampliar-a-conectividade-no-campo/>>. Acesso em: 8 nov. 2021.

NGUYEN, Dinh C. et al. Integration of blockchain and cloud of things: Architecture, applications and challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 4, p. 2521-2549, 2020. Disponível em: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3639063](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3639063). Acesso em: 27 abr. 2021

NIST, S. P. 800-145: The NIST definition of cloud computing. 2012.. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

**O que é data lake?** Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/data-storage/what-is-a-data-lake>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

**Paessler BitDecoder - Visual Payload Decoding of Sigfox data**. Disponível em: <<https://www.paessler.com/tools/bitdecoder>>. Acesso em: 20 out. 2021.

**Payload I Sigfox build**. Disponível em: <<https://build.Sigfox.com>>. Acesso em: 31 out. 2021.

PIERLEONI, Paola et al. Amazon, Google and Microsoft solutions for *IoT*: architectures and a performance comparison. **IEEE Access**, v. 8, p. 5455-5470, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8938723>. Acesso em: 23 abr. 2021.

**Project: Example using a RTC to wake-up an Arduino Data Logger.** Disponível em: <<https://theurks.net/blog/2018/2/5/wakeup-rtc-datalogger>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

**Publishing over the MQTT bridge | Cloud IoT Core Documentation.** Disponível em: <<https://cloud.google.com/iot/docs/how-tos/mqtt-bridge?hl=pt-br>>. Acesso em: 2 nov. 2021.

**Rede Sigfox: o que é e onde aplicar? Novidá,** 21 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.novida.com.br/blog/Sigfox/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

RODRIGUES, MATEUS. **IoT + Cloud Computing (Sigfox + AWS, AZURE and GCP)**, 7 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=DWesvJ7yAVg>>. Acesso em: 8 nov. 2021

RODRIGUES, M. mtsrodrigues4991/IoT\_Cloud\_Final\_Paper\_Graduation: [s.l.] Zenodo, 2021. Disponível em: <<https://zenodo.org/badge/latestdoi/424968769>>. Acesso em: 05 nov. 2021.

SADEEQ, M.M., Abdulkareem, N.M., Zeebaree, S.R., Ahmed, D.M., Sami, A.S. and Zebari, R.R., 2021. **IoT and Cloud Computing issues, challenges and opportunities: A review.** Qubahan Academic Journal, 1(2), pp.1-7, 2021. Disponível em: <https://journal.qubahan.com/index.php/qaj/article/view/36>. Acesso em: 02 maio. 2021.

SIMET. Mapa de Cobertura e Disponibilidade da Internet Brasileira. Disponível em: <https://simet.nic.br/mapas/>. Acesso em: 20 abril de 2021.

**SIGFOX.COM.** Disponível em: <<https://www.Sigfox.com/en>>. Acesso em: 15 out. 2021.

TECA - INTERNET DE LAS COSAS. **Integrando Sigfox con Azure - Teca**, 26 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=AjB08kUhbOM>>. Acesso em: 26 out. 2021.

**teleco.com.br.** Disponível em: <[https://www.teleco.com.br/lpwa\\_cobertura.asp](https://www.teleco.com.br/lpwa_cobertura.asp)>. Acesso em: 19 out. 2021.

**Thinextra Sigfox Developer Xkit.** Disponível em: <<https://thinextra.com/iot-connectivity/xkit/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

ZOLETT, D.; RAMIREZ, A. R. G. Desenvolvimento de uma Interface de Monitoração Remota para o Sistema Robótico ROBIX, Integrando o Protocolo MQTT e oROS. **Anais do Computer on the Beach**, v. 11, n. 1, p. 405–412, 4 set. 2020. Acesso em: 26 out. 2021.