



FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

## APLICAÇÃO DO PROTOCOLO MQTT PARA INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS IIOT A SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EM UM AMBIENTE DE TESTES

### APPLICATION OF THE MQTT PROTOCOL FOR INTEGRATING IIOT DEVICES IN INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS IN A TESTING ENVIRONMENT

Rodrigo Silvério da Silveira<sup>1, i</sup>  
 Thiago Tadeu Amici<sup>2, ii</sup>  
 José Roberto dos Santos<sup>3, iii</sup>  
 Cláudio Luís Magalhães Fernandes<sup>4, iv</sup>  
 Leonardo do Espírito Santo<sup>5, v</sup>

#### RESUMO

Com o objetivo de obter melhores resultados nos seus negócios, as empresas têm buscado aumentar a integração e o controle da produtividade industrial através dos conceitos da quarta revolução industrial denominada Indústria 4.0. Para isso utilizam-se de tecnologias habilitadoras, como *Cloud Computing*, *Big Data e Analytics* e *Internet of Things* (IoT). Diante do crescente uso destas tecnologias, este artigo apresenta uma aplicação em um *software Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) com o objetivo de simplificar e agilizar os testes de integração de dispositivos com tecnologia *Industrial Internet of Things* (IIoT) para sistemas de automação industrial. Para a validação, foi utilizado um sistema composto pelo *software* SCADA Blue Plant, o microcontrolador ESP32, o Controlador Programável (CP) S7-1500 da SIEMENS e um *smartphone*. Todos estes dispositivos foram conectados a um Broker hospedado na nuvem que compartilha as informações através do protocolo comunicação *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT). Os resultados demonstraram que o sistema construído permite ao usuário efetuar testes de integração de seus dispositivos ou aplicações de maneira rápida e eficiente antes de uma aplicação final em um ambiente industrial.

#### ABSTRACT

In order to obtain better results in their businesses, companies have sought to increase the integration and control of industrial productivity through the concepts of the fourth industrial

---

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Mecânica e Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: rodrigo.silveira@sp.senai.br

<sup>2</sup> Docente e Mestre em Automação e Controle de Processos da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: thiago.amici@sp.senai.br

<sup>3</sup> Especialista em Segurança da Informação da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: joseroberto@sp.senai.br

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia Mecânica e coordenador da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: claudio.fernandes@sp.senai.br

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Mecânica e Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: leonardo.santo@sp.senai.br

revolution called Industry 4.0. For this, they use enabling technologies, such as Cloud Computing, *Big Data e Analytics* and Internet of Things (IOT). In view of the increasing use of these technologies, this paper presents an application in Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) software to simplify and streamline the integration tests of devices with Industrial Internet of Things (IIOT) technology to industrial automation systems. For validation, a system composed of the Blue Plant SCADA software, the ESP32 microcontroller, the Programmable Controller (PC) S7-1500 from SIEMENS and the smartphone was used. All these devices were connected to a Broker hosted in the cloud that shares the information through the Message Queue Telemetry Transport Communication Protocol (MQTT). The results showed that the system built allows the user to perform integration tests of their devices or applications quickly and efficiently before a final application in an industrial environment.

## 1 INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial denominada de Indústria 4.0, vem se tornando uma realidade para diversas empresas, pois o aumento da demanda de produtos personalizados aliado a queda no ciclo de vida do produto, requerem maiores transformações nas estruturas das indústrias (SILVEIRA e LOPES, 2016). Dessa forma, as grandes organizações estão percebendo que para obter maior eficiência no seu processo produtivo e atender níveis de produção mais elevados para uma demanda de clientes cada vez mais exigentes é necessário incorporar novas tecnologias ao seu negócio (INSTITUTO EUVALDO LODI, 2018).

Um importante pilar da indústria 4.0 é a *Internet of Things* (IoT), cuja característica é comunicar dispositivos (ou coisas) através da Internet, possibilitando que estes interajam ou até mesmo cooperem entre si para atingir um objetivo (SINGH et al., 2014). A aplicação da IoT dentro da indústria é conceituada como *Industrial Internet of Things* (IIoT) e utiliza os mesmos conceitos do IoT só que aplicado a dispositivos como sensores ou atuadores integrados ao processo industrial, capazes de enviar e receber dados em tempo real, oferecendo informações da planta direto para os níveis mais altos de automação, o que proporciona a empresa uma maior aquisição de dados em menor tempo e com maior eficiência (BARROS, 2015).

Diante deste cenário e considerando as perspectivas do crescente desenvolvimento de da IIoT, este artigo tem como objetivo geral construir uma aplicação utilizando um *software* SCADA capaz de integrar novos dispositivos IIoT a um sistema de automação industrial, utilizando como base o protocolo de comunicação MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). O objetivo específico é disponibilizar ao usuário uma plataforma de testes do seu IIoT para comunicação com um determinado tipo de CP. Desta forma o gasto de tempo em realizar os *links* de comunicação será reduzido, o que irá permitir ao usuário concentrar os seus estudos em observar a interação do seu dispositivo IIoT com o CP e ou outros recursos industriais conectados a este.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Pilares e Paradigmas da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 tem como característica utilizar tecnologias que empregam a Internet para integrar os diversos equipamentos e sistemas dentro de uma fábrica, possibilitando com que todo o processo de produção funcione de maneira mais eficiente, autônoma e até mesmo “inteligente” (ALCÁCER e CRUZ-MACHADO, 2019). As técnicas cada vez mais avançadas de automação aliadas a área da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), possibilitam oferecer muito mais do que a integração de máquinas e dispositivos, mas também a integração de várias etapas da cadeia de valor, desde o desenvolvimento de produto, passando por insumos, produção, customização, marketing, pós-venda e até mesmo manutenção de máquinas (CORREA et al., 2016).

Para que tudo isso aconteça, a Indústria 4.0 é sustentada por pilares (MOTYL et al., 2017), também chamado de tecnologias habilitadoras, sendo que as principais podem ser observadas na figura 1.

Figura 1 – Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0



Fonte: Kozák et al. (2018).

A Indústria 4.0 possui como base seis paradigmas (LEE et al., 2015):

- a) Virtualização: Possui a característica no desenvolvimento de um “gêmeo virtual” (ou cópia) de uma fábrica inteligente.
- b) Descentralização: Possui a característica de fazer com que as máquinas executem operações e controle de maneira autônoma e inteligente, otimizando assim a produção.

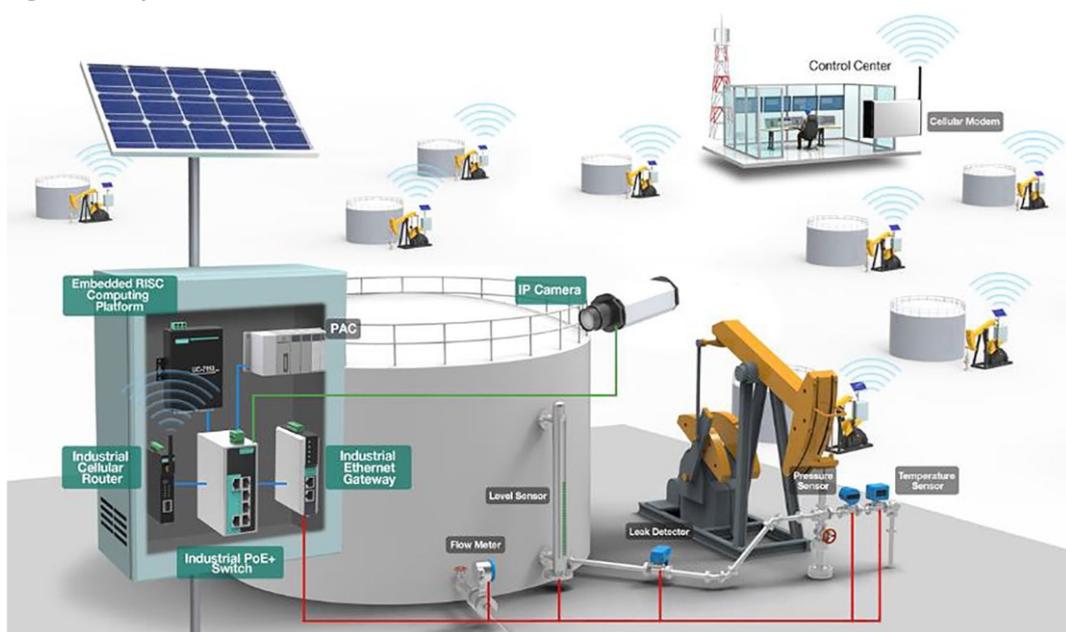
- c) Coleta e análise de dados em tempo real: Com base nos dados coletados do processo, são usados métodos inteligentes para a tomada de decisão de maneira instantânea.
- d) Modularidade e reconfigurabilidade: Característica da infraestrutura poder ser reconfigurada de maneira flexível as necessidades da produção.
- e) Comunicação orientada a serviços e troca de informações: Utiliza-se principalmente a IoT, para disponibilizar informações a outros setores de serviços da empresa.
- f) Interoperabilidade: É forma de realizar a integração e cooperação de máquinas denominadas de inteligentes, técnicas inteligentes e pessoas para se comunicar dentro de um sistema de IoT, IIoT e Internet dos Serviços (IoS).

Dentro das tecnologias habilitadoras e dos paradigmas da Indústria 4.0, este trabalho tem um enfoque na interoperabilidade industrial com a utilização da IIoT, a qual veremos mais informações a seguir.

## 2.2 Indústria 4.0 e IIoT

A IIoT dentro da Indústria 4.0 tem como conceito conectar de maneira descentralizada grande parte dos ativos industriais, como máquinas, redes elétricas, controladores programáveis e sensores a um serviço de nuvem através de uma rede (BOYES et al., 2018). Dessa forma os dispositivos podem coletar, monitorar, compartilhar, analisar e até mesmo agir de maneira inteligente de modo a otimizar o valor da produção, permitindo por exemplo uma melhora na entrega de produtos ou serviços, elevação da produtividade, redução dos custos de mão-de-obra e redução no consumo de insumos (ALCÁCER e CRUZ-MACHADO, 2019). Na figura 4 pode-se observar um exemplo de integração dos diversos dispositivos IIoT em uma planta industrial.

Figura 2 – Típica rede IIoT



Fonte: Medium Corporation (2017)

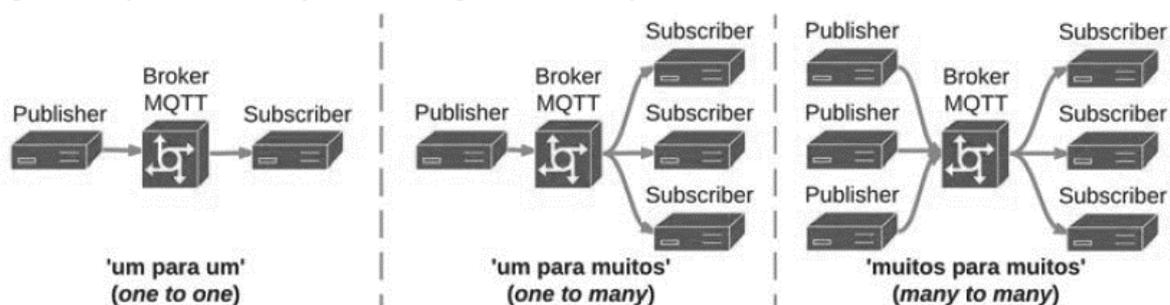
## 2.3 Protocolo de Comunicação MQTT

O protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) é o mais utilizado atualmente para comunicação de dispositivos IoT e foi criado em 1999 pela IBM com o objetivo de comunicar máquinas entre si no conceito *Machine to Machine* (M2M) (TORRES et al., 2016). O protocolo MQTT está localizado na mesma camada OSI que o *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), porém o MQTT possui a vantagem em relação ao HTTP, principalmente por ter um tamanho de mensagem (*payload*) menor, além de ser mais seguro, contemplar mais níveis de serviço e ser menos complexo (SOUZA, 2018).

O protocolo MQTT utiliza a arquitetura de mensagens *Publisher/Subscriber*. Neste padrão a comunicação ocorre de maneira assíncrona, no qual as mensagens (*Payload*) são publicadas através de um tópico em um intermediário (*Broker*) e este fica responsável por distribuir as mensagens aos clientes (*Subscribers*) que assinam o tópico (YACCHIREMA et al., 2016).

O padrão de comunicação do MQTT possui a vantagem de que o dispositivo de publicação (*Publisher*) não necessita de informações sobre quem solicita os dados (*Subscriber*) e vice-versa. Neste tipo de estrutura é possível desconectar o emissor do cliente, dessa forma, somente o endereço do broker necessita ser conhecido, o que permite uma comunicação dos tipos um para um (*one-to-one*), um para muitos (*one-to-many*) ou até mesmo muitos para muitos (*many-to-many*), conforme mostra a figura 3.

Figura 3 – Tipos de Distribuição de Mensagens realizadas pelo MQTT



Fonte: Torres et al. (2016)

A qualidade da comunicação na troca de mensagens é obtida através do *Quality of Service* (QoS) que é dividida nos seguintes níveis (LEE et al., 2013):

- QoS 0 (*at most once*): denominado como *best effort*, ou melhor esforço. Este QoS pode ser comparado com UDP (*User Datagram Protocol*) no qual não há confirmação da entrega da mensagem.
- QoS 1 (*at least once*): neste nível há uma confirmação de entrega de no mínimo uma mensagem com o armazenamento da mensagem por parte de quem enviou, para em casos de falha no envio da mensagem.
- QoS 2 (*exactly once*): este nível permite ter a certeza da entrega de uma mensagem, com as confirmações de recebimento, além das confirmações dessas confirmações. Se a mensagem não é confirmada, ela é mantida por quem deseja enviar até o instante que se receba uma confirmação. Processo bem semelhante ao que é feito no protocolo TCP.

Com base no conteúdo apresentado até aqui, é possível perceber que há uma forte tendência de surgimento de novos dispositivos IIoT para suprir a nova demanda industrial de

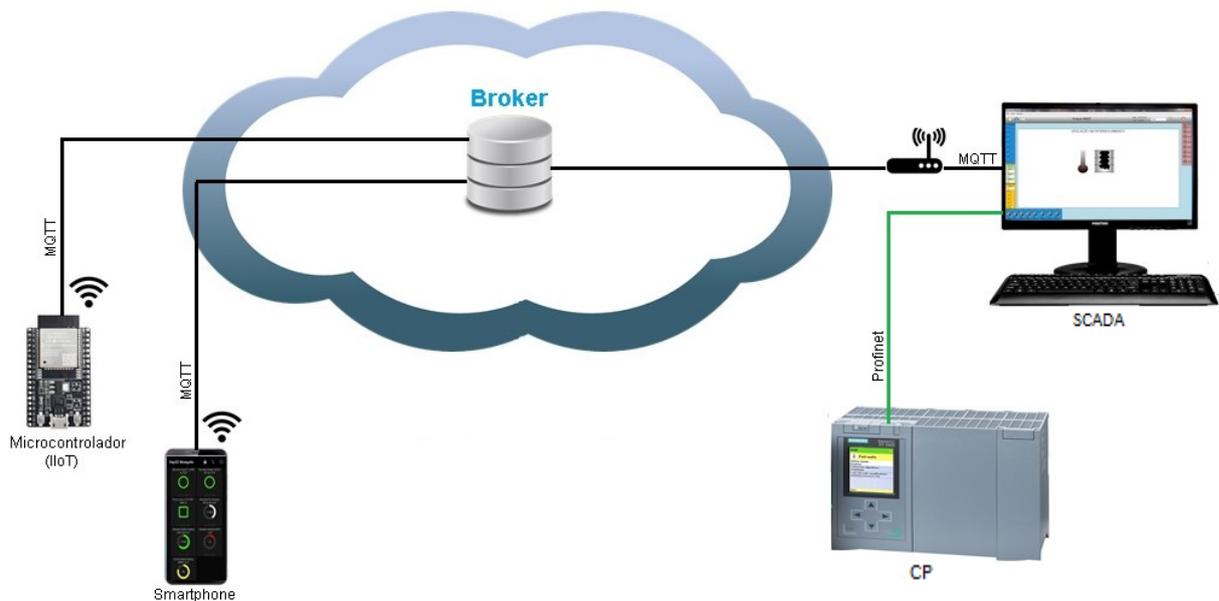
integração destes as células de manufatura. Diante deste cenário, com o objetivo de simplificar a integração entre os dispositivos IIoT e os sistemas de Automação Industrial, na sequência deste trabalho será possível acompanhar a construção de uma aplicação com um software SCADA para realizar testes de integração entre estes dispositivos.

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Infraestrutura para comunicação MQTT

A infraestrutura da aplicação foi implementada dentro de um ambiente de testes com os seguintes elementos: um Controlador Programável (CP), que via Profinet se comunica com o *software* SCADA, e este, por sua vez, se comunica com um roteador; um Microcontrolador ESP32 (IIoT); e um smartphone. Todos estão conectados via Wi-Fi ao Broker hospedado em um serviço de nuvem. A infraestrutura pode ser vista na figura 4.

Figura 4 - Infraestrutura da aplicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *software* SCADA utilizado é o *Blue Plant* do fabricante Altus. Sua função é realizar a *interface* de comunicação entre o *Broker* e o CP. Dessa forma o SCADA funciona como um elemento *Publisher/Subscriber* para o CP, pois nesta aplicação ele é quem comunica com o *Broker* através do protocolo MQTT. A tela principal, mostrada na figura 5, foi construída com o intuito de proporcionar para o integrador um ambiente gráfico amigável de modo a permitir que ajustes sejam realizados de maneira dinâmica, sendo possível visualizar as entradas e saídas do CP sem grandes configurações. A tela principal é composta nas suas laterais por objetos gráficos de sinalização e chaves que recebem e enviam os sinais de entradas e saídas do CP. A interface também permite enviar para o CP dados analógicos e digitais provenientes de outros dispositivos *Publishers* conectados através de tópicos em comum. No centro da tela

foi disponibilizado um espaço onde usuário poderá desenvolver a sua aplicação gráfica de integração dos elementos IIoT com o CP.

**Figura 5 – Tela Principal do SCADA**



Fonte: Elaborado pelo autor.

O CP utilizado neste trabalho é do fabricante SIEMENS, modelo S7-1500, composto por uma Fonte de Alimentação, uma Unidade Central de Processamento, um Módulo de Entrada Digital, um Módulo de Saída Digital, além dos Módulos de Entrada e Saída Analógica. O *software* de programação é o *Totally Integrated Automation (TIA) PORTAL V12* e a comunicação do CP com SCADA é feita via protocolo Profinet.

O *Broker* utilizado para o desenvolvimento da aplicação é o Mosquito MQTT, hospedado no servidor “mqtt.eclipse.org”, que é disponibilizado gratuitamente para a comunidade realizar testes. A escolha deste *Broker* foi por ele ser distribuído com licença *OpenSource* (código-aberto), o que significa, que pode ser utilizado para qualquer fim.

O dispositivo IIoT utilizado para integrar com o CP é o microcontrolador ESP32, que é atualmente muito utilizado em aplicações deste tipo, principalmente por possuir muitos recursos integrados como Wi-Fi, o que é de fundamental importância para a comunicação via MQTT. A Interface de Desenvolvimento (IDE) utilizada é a Arduino 1.8.13 disponibilizada gratuitamente.

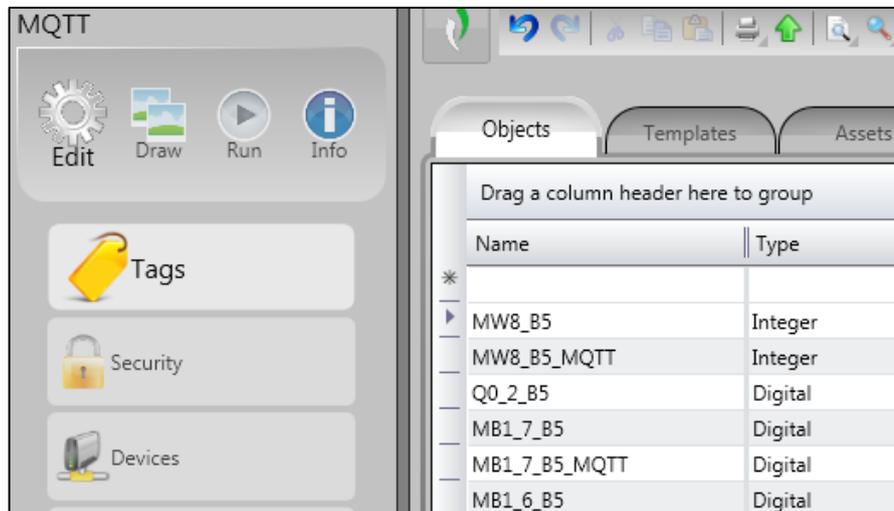
Para a interface remota foi utilizado um *smartphone* com o aplicativo MQTT DASH para Android. Este permite criar um *Dashboard* “amigável” capaz de receber ou enviar informações via MQTT, o que torna o *smartphone* um *Publisher/Subscriber* após as configurações do *Broker* e dos tópicos.

## 3.2 Configuração da Comunicação

### 3.2.1 Comunicação com o software SCADA e CP

A configuração da comunicação no *software* SCADA, foi feita inicialmente com a criação de *tags*, que nesta aplicação são os responsáveis por publicar ou assinar tópicos no *Broker*. Na figura 6 são mostrados algumas *tags* criados, bem como com os tipos de variáveis utilizadas, sendo estas do tipo inteira para os dados analógicos e digital para os dados digitais.

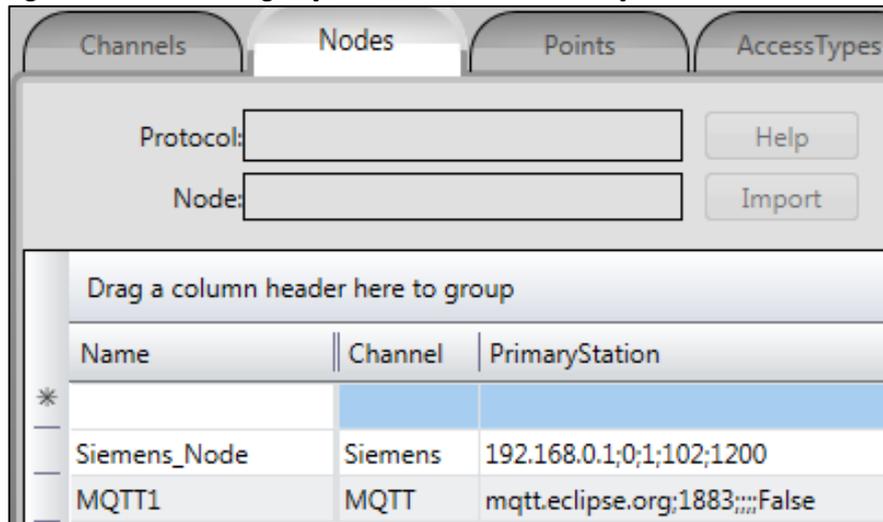
Figura 6 – Tela de Criação de *Tags*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida dois canais de comunicação foram criados. Um denominado “Siemens”, responsável por receber e enviar os dados do CP e o outro canal denominado “MQTT” responsável pela comunicação com o *Broker* Mosquito. Observe na figura 7, que na coluna *PrimaryStation* foi inserido os endereços IP correspondentes ao CP e outro referente ao servidor que hospeda o *Broker* Mosquito.

Figura 7 – Tela de configuração dos canais de comunicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 8 é possível observar na coluna *Address*, alguns dos tópicos que foram criados. Estes são associados aos *tags* na coluna *TagName* com os mesmos nomes, de modo a facilitar a compreensão para a utilização destes endereços na programação no CP. A QOS

utilizada para a troca de mensagens foi a QOS 0 (*At Most Once*), podendo esta ser facilmente alterado de acordo com a necessidade da aplicação.

**Figura 8 – Tela de Criação dos Tópicos**

| TagName       | Node  | Address                  |
|---------------|-------|--------------------------|
| *             |       |                          |
| I1_7_B5_MQTT  | MQTT1 | I1_7_B5_MQTT:AtMostOnce  |
| I1_6_B5_MQTT  | MQTT1 | I1_6_B5_MQTT:AtMostOnce  |
| I1_5_B5_MQTT  | MQTT1 | I1_5_B5_MQTT:AtMostOnce  |
| I1_4_B5_MQTT  | MQTT1 | I1_4_B5_MQTT:AtMostOnce  |
| I1_3_B5_MQTT  | MQTT1 | I1_3_B5_MQTT:AtMostOnce  |
| I1_2_B5_MQTT  | MQTT1 | I1_2_B5_MQTT:AtMostOnce  |
| I1_1_B5_MQTT  | MQTT1 | I1_1_B5_MQTT:AtMostOnce  |
| MW8_B5_MQTT   | MQTT1 | MW8_B5_MQTT:AtMostOnce   |
| MB1_7_B5_MQTT | MQTT1 | MB1_7_B5_MQTT:AtMostOnce |
| MB1_6_B5_MQTT | MQTT1 | MB1_6_B5_MQTT:AtMostOnce |
| MB1_5_B5_MQTT | MQTT1 | MB1_5_B5_MQTT:AtMostOnce |
| MB1_4_B5_MQTT | MQTT1 | MB1_4_B5_MQTT:AtMostOnce |
| MB1_3_B5_MQTT | MQTT1 | MB1_3_B5_MQTT:AtMostOnce |
| MB1_2_B5_MQTT | MQTT1 | MB1_2_B5_MQTT:AtMostOnce |
| MB1_1_B5_MQTT | MQTT1 | MB1_1_B5_MQTT:AtMostOnce |

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.2 Comunicação do microcontrolador ESP32 via MQTT

Nesta aplicação utilizou-se o microcontrolador ESP32 na condição de *Publisher*, e para efeito de testes, foi instalado um botão na entrada digital 5. O ESP32 ao se conectar à rede Wi-Fi, aguarda o botão ser pressionado para publicar o valor 1 no tópico MB1\_0\_B5\_MQTT dentro *Broker* Mosquito. Desta forma, o SCADA ao assinar o mesmo tópico recebe o dado e o envia para o CP que poderá acionar um dispositivo conectado na sua saída. As principais configurações de comunicação do ESP32 com o *Broker* podem ser observadas na figura 9.

**Figura 9 – Programação da IDE do microcontrolador**

```
MQTT_2_Publisher$
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

#define pinBotaol 5 //D5

//WiFi
const char* SSID = "XXXXXXXX"; // SSID / nome da rede WiFi que deseja se conectar
const char* PASSWORD = "XXXXXXXX"; // Senha da rede WiFi que deseja se conectar
WiFiClient wifiClient;

//MQTT Server
const char* BROKER_MQTT = "mqtt.eclipse.org"; //URL do broker MQTT que se deseja utilizar//
int BROKER_PORT = 1883; // Porta do Broker MQTT

#define ID_MQTT "CHAVEB5" //Informe um ID unico e seu.
#define TOPIC_PUBLISH "MB1_0_B5_MQTT" //Informe um Tópico único.
PubSubClient MQTT(wifiClient); // Instancia o Cliente MQTT passando o objeto espClient

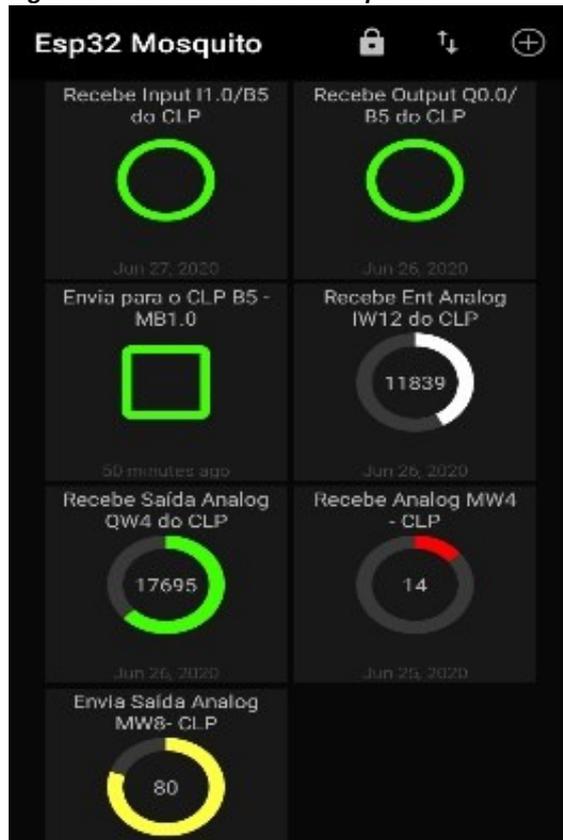
//Declaração das Funções
void mantemConexoes(); //Garante que as conexoes com WiFi e MQTT Broker se mantenham ativas
void conectaWiFi(); //Faz conexão com WiFi
void conectaMQTT(); //Faz conexão com Broker MQTT
void enviaPacote(); // Envia Pacote
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.3 Comunicação do smartphone via MQTT

Para o controle e monitoramento de maneira remota, foi configurado um *Dashboard* em um *Smartphone*, tornando-o em um Publisher/Subscriber, conforme mostra a figura 10. Para cada objeto da tela foi configurado um tópico. Um dado ao ser publicado por outro *Publisher* como o SCADA, permite ao *smartphone* após a sua assinatura, a sinalização dele no *Dashboard* do aplicativo. O inverso também pode ser executado, ou seja, é possível publicar um dado analógico ou digital via *smartphone* para os outros dispositivos como o SCADA receberem quando assinarem o mesmo tópico.

Figura 10 – Dashboard do Smartphone



Fonte: Elaborado pelo autor.

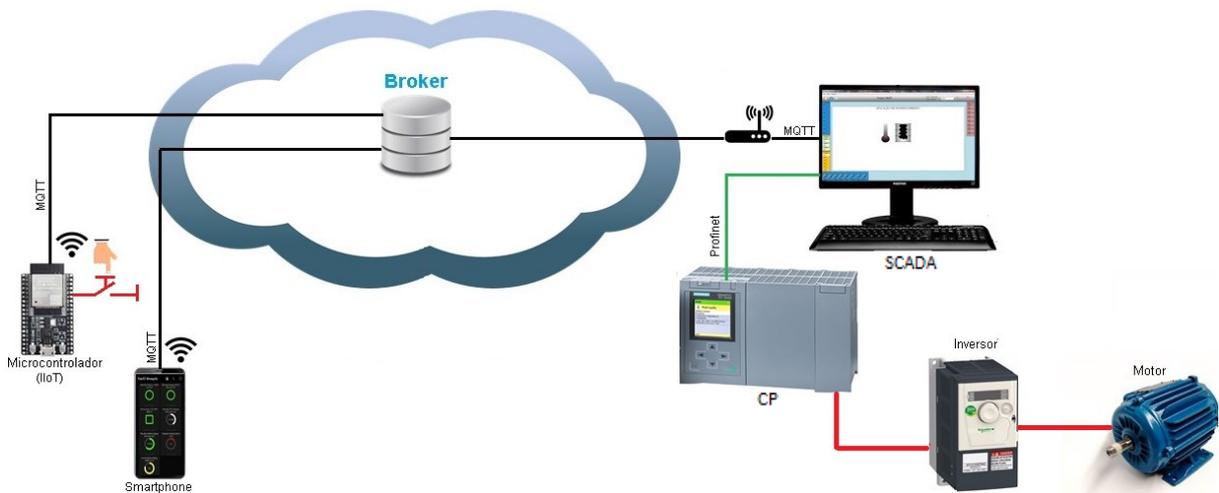
#### 4 RESULTADOS

O teste de validação da aplicação iniciou-se pela comunicação do CP com o SCADA via Profinet que aconteceu após a configuração de *hardware* sem nenhuma anormalidade. Em seguida criou-se no software TIA PORTAL V12 um programa em linguagem *Ladder* para efetuar os testes de envio e recebimento de dados entre o SCADA e o CP.

O próximo passo foi energizar o ESP32 que já estava configurado com o SSID e senha da rede Wi-Fi, o que demonstrou uma conexão praticamente imediata. O teste inicial da comunicação MQTT foi feito enviando o dado do ESP32 através acionamento do botão para o SCADA, onde na sua tela principal foi possível perceber que o dado foi recebido quase que instantaneamente.

A validação final foi feita através da integração completa de todos os dispositivos propostos neste trabalho e para melhor análise dos resultados, foi conectado a uma saída digital e outra analógica do CP, um inversor de frequência conectado a um motor de indução trifásico, conforme é possível observar na figura 11.

Figura 10 – Testes de Validação Final



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao pressionar o botão no ESP32, um tópico foi publicado com valor 1 no *Broker*. O SCADA assinou este tópico, que por sua vez se encarregou de enviar para o CP, que partiu o motor através do inversor de frequência. O mesmo resultado foi obtido ao efetuar o acionamento digital pelo botão do aplicativo no *smartphone*. Por este também foi realizado a troca de dados analógicos com o CP via MQTT, sendo feito o controle de velocidade do motor através do inversor. Na tela do SCADA e do *smartphone* também foi possível ter o feedback variação de 0 a 100% dos dados analógicos provenientes do CP.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a construção de uma aplicação para comunicação via MQTT de dispositivos IIoT com sistemas de automação industrial. O objetivo foi simplificar a integração desses em um ambiente de testes, antes de uma implementação final. Os resultados se mostraram satisfatórios, pois a comunicação ocorreu praticamente sem falhas e com pouco atraso entre a publicação e assinatura dos tópicos por parte dos dispositivos, mesmo fazendo uso de um serviço de *Broker* gratuito.

Vale ressaltar alguns aspectos importantes que também podem ser levados como perspectivas para trabalhos futuros. O primeiro é a possibilidade de fazer diferentes configurações de criptografia na comunicação MQTT de acordo com a necessidade da aplicação. Outro aspecto é a possibilidade de conectar o CP diretamente ao *Broker* independente de um software SCADA. Porém, neste trabalho preferiu-se utilizar o nível de supervisão, que na pirâmide da automação industrial está acima do nível de controle. Além disso, esta integração iria requerer configurações mais específicas de blocos dentro do CP que não eram a proposta deste artigo, visto que o objetivo principal é a simplificação de integração do IIoT e os sistemas de automação.

Enfim, verifica-se que a aplicação desenvolvida neste trabalho realmente contribuiu para integração dos dispositivos IIoT com os sistemas de automação industrial dentro de ambientes de testes, além de permitir uma abertura para que outros trabalhos futuros sejam realizados dentro dos conceitos da Indústria 4.0.

## REFERÊNCIAS

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: a literature review on technologies for manufacturing systems. **Engineering Science and Technology International Journal**, v22, n. 3, p. 899-919, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.iestch.2019.01.006>. Acesso em: 15 ago. 2020.

BARROS, M. **MQTT – Protocolos para IoT**. 2015. Disponível em:

<http://www.embarcados.com.br/mqtt-protocolos-para-iot/>. Acesso em: 14 de ago. 2020.

BOYES, Hugh; HALLAQ, Bil; CUNNINGHAM, Joe; WATSON, Tim. The industrial internet of things (IIoT): an analysis framework. **Computers in Industry**, v. 101, p. 1-12. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>. Acesso em: 15 ago. 2020.

CORREA, R. P. S.; CUNHA, M. J.; ALMEIDA, M. B.; MORAES, J. S. **Simulação de aplicações utilizando o protocolo de comunicação MQTT com aplicações em ambientes industriais**. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENERGIA ELÉTRICA, 14, 2016, Uberlândia. **Anais...** [ ]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2016. Disponível em:

[https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2016/ceel2016\\_artigo108\\_r01.pdf](https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2016/ceel2016_artigo108_r01.pdf). Acesso em: 14 ago. 2020

INSTITUTO EUVALDO LODI. **Síntese dos resultados**: construindo o futuro da indústria brasileira. Brasília: IEL/NC, 2018. 276 p.

KOZÁK, Š.; RUŽICKÝ, E.; ŠTEFANOVIČ, J.; SCHINDLER, F. Research and education for industry 4.0: present development. **CYBERNETICS & INFORMATICS (K&I)**, p. 1-8, 2018.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing. **Manufacturing Letters**, v. 3, p. 18–23, Jan. 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221384631400025X>. Acesso em: 14 ago. 2021.

LEE, S.; Kim, H.; Hong, D.K.; Ju, H. Correlation analysis of MQTT loss and delay according to QoS level. **International Conference on Information Networking**, pp. 714–717, 2013. DOI: [10.1109/ICOIN.2013.6496715](https://doi.org/10.1109/ICOIN.2013.6496715). Acesso em: 14 ago. 2021.

MEDIUM CORPORATION. **Industrial Internet of Things**. 2017. Disponível em: [https://medium.com/@jaydev\\_21091/industrial-internet-of-things-74a4ffb44679](https://medium.com/@jaydev_21091/industrial-internet-of-things-74a4ffb44679). Acesso em: 12.dez. 2019.

MOTYL, B.; BARONIO, G.; UBERTI, S.; SPERANZA, D.; FILIPPI, S. How will change the future engineer’s skills in the Industry 4.0 framework? A questionnaire survey. **Procedia manufacturing**, v 11, p. 1501–1509, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304900>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SILVEIRA, C. B.; LOPES, G. C. **O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. 2016. Disponível em: <http://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 15 de ago. 2020.

SINGH, D.; TRIPATHI, G.; JARA, A. J. A survey of Internet-of-Things: future vision, architecture, challenges and services. **IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)**. p.287–292, 2014.

SOUZA, D. S. **Estudo da aplicação de um sistema IoT baseado no protocolo de comunicação MQTT a área da robótica industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. 63 p. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24847/3/EstudoAplicacaoSistema.pdf> . Acesso em: 14 de ago. 2020.

TORRES, A. B. B.; ROCHA, A. R.; SOUZA, J. N. Análise de desempenho de Brokers MQTT em sistema de baixo custo. In: **CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO**, 26. Fortaleza, 2016.

YACCHIREMA, D.; PALAU, C.; ESTEVE, M. Smart IoT Gateway For Heterogeneous Devices Interoperability. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 8, p. 3900-3906, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7786378>. Acesso em: 14 ago. 2020.

#### Sobre os autores:

#### <sup>i</sup> RODRIGO SILVÉRIO DA SILVEIRA (Aluno)



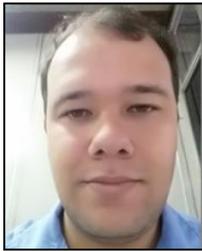
Possui graduação em Tecnologia de Automação Industrial pelo Instituto Federal de São Paulo (2007). Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Manutenção Industrial pela Universidade Paulista (2012), Pós-Graduação Lato Sensu em Docência na Educação Profissional e Tecnológica pela Faculdade SENAI CETIQT (2015), Pós-Graduação Lato Sensu em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI SP (em andamento) e Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica com área de concentração em Automação e Controle de Processos pela Universidade Santa Cecília (2018). Atualmente é professor do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI - Departamento Regional de São Paulo, Professor da Escola e Faculdade Fortec e Professor da Universidade Católica de Santos. Possui experiência na área de automação de máquinas industriais, atuando em linhas de pesquisas, na área de Inteligência Artificial voltadas a técnicas de Aprendizagem e Desaprendizagem por Demonstração, utilizando conceitos das Lógicas Não-Clássicas, com ênfase na LPA2V (Lógica Paraconsistente Anotada de dois Valores).

#### <sup>ii</sup> THIAGO TADEU AMICI (Orientador)



Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 e na graduação em Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 7 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnicos de Mecatrônica, Automação Industrial, Eletrônica e Eletroeletrônica, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados ao CLP da Siemens. Possui mestrado em Automação e Controle e Processos pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de SP (IFSP - 2018), graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (2012), graduação em Tecnologia em Automação Industrial pelo IFSP (2009) e ensino profissionalizante em Eletrônica pela Instituição Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo (2002). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Automação Industrial, Mecatrônica, Robótica e Indústria 4.0. Experiência internacional na aprovação de linha de produção (Cavemil) em Milão na Itália e sua instalação no Brasil. Participou do desenvolvimento do projeto, programação, montagem e apresentação da Linha de Manufatura Avançada Industrial 4.0 realizada em parceria entre o SENAI-SP e a ABIMAQ, que foi exposta na FEIMEC 2018 e da linha de Confeção 4.0, em parceria entre o SENAI-SP e a ABIT.

### iii JOSÉ ROBERTO DOS SANTOS (Banca)



Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 e na graduação em Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 9 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnico em eletroeletrônica, cursos de aprendizagem industrial eletricitista de manutenção e mecânico de usinagem, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados a área de redes de computadores e programação, possui treinamento de Linux, Cisco e Microsoft. Possui Pós-graduação na área de segurança da informação pela Uninove (2016), graduação em tecnologia da informação e bacharel em sistema da informação (2009), além de superior em Automação industrial. Tem experiência na área de Segurança da informação, administração de ambientes de redes Windows e Linux, e automação industrial.

### iv CLÁUDIO LUÍS MAGALHÃES FERNANDES (Banca)



Possui graduação em Engenharia Elétrica Modalidade Eletrônica com Ênfase em Computação pela Universidade Santa Cecília (2006), Pós-graduação Lato Sensu em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2010), Pós-Graduação Lato Sensu em Docência na Educação Profissional, pelo SENAI CETIQT (2015) e Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2012). Atualmente é Coordenador da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Armando de Arruda Pereira em São Caetano do Sul, Professor da Faculdade de Tecnologia São Vicente dos cursos Tecnólogo em Automação Industrial, Bacharelado em Sistemas de Informação, Engenharia Elétrica. Atua na Universidade Santa Cecília - UNISANTA como docente e pesquisador de técnicas de Inteligência Artificial que fazem uso dos conceitos das Lógicas Não-Clássicas, com ênfase na LPA2V (Lógica Paraconsistente Anotada de dois Valores) e Lógica Fuzzy, aplicadas a sistemas Robóticos e no Controle de Processos Industriais.

### v LEONARDO DO ESPIRITO SANTO



Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2018), Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Produção pela Universidade Santa Cecília (2011), Pós-Graduação Lato Sensu em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2021), Graduação em Tecnologia em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia de São Vicente (2008), Practitioner em Programação Neurolinguística pelo Instituto Nacional de Excelência Humana - INEXH (2012). Instrutor no Curso Técnico em Eletroeletrônica e Tutor no Curso Técnico a Distância em Eletroeletrônica do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI - SP, Professor da Faculdade de Tecnologia de São Vicente dos cursos de Engenharia Elétrica, Tecnólogo em Automação Industrial, Bacharelado em Sistema de Informação e do Bacharelado em Administração.