

Adílio Vitor de Oliveira Júnior

**Desenvolvimento de sistema *SCADA* para aplicações industriais
e *IoT***

Goiânia

2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC nº 1204/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG):

Nome completo do autor: *Adílio Vitor de Oliveira Júnior*

Título do trabalho: *Desenvolvimento de Sistema SCADA para aplicações industriais, IOT*

2. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF do TCCG.

Adílio Vitor de Oliveira Júnior

(Nome completo do autor)²

Adílio Vitor de Oliveira Júnior

Ciente e de acordo:

Singor Geronato de Araújo
(Nome completo do orientador)²
Singor Geronato de Araújo

Data: 20 / 12 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² As assinaturas devem ser originais sendo assinadas no próprio documento, imagens coladas não serão aceitas.

Adílio Vitor de Oliveira Júnior

Desenvolvimento de sistemas *SCADA* para aplicações industriais e *IoT*

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia de
Computação da Escola de Engenharia Elétrica,
Mecânica e de Computação da Universidade
Federal de Goiás, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Universidade Federal de Goiás – UFG
Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação.

Orientador: Sérgio Granato de Araújo

Goiânia
2019

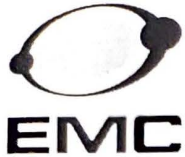
Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Júnior, Adílio
Desenvolvimento de Sistema SCADA para aplicações industriais e IoT [manuscrito] / Adílio Júnior. - 2019.
xxi, 21 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Granato.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Engenharia da Computação, Goiânia, 2019.

1. Indústria 4.0. 2. Internet of Things. 3. SCADA. I. Granato, Sérgio, orient. II. Título.

CDU 621.3



ATA DE AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL

CURSO

() Eng. Elétrica () Eng. Mecânica () Eng. de Computação
 () Projeto Final 1 () Projeto Final II

AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL

Título do projeto: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SEMA PARA APLI-
 CAÇÕES INDUSTRIAIS E IOT

BANCA AVALIADORA

Membro 1: SÉRGIO MANATO DE AMORIM

Membro 2: MARCELO STEHLING DE CASTRO

Membro 3: GUSTAVO DIAS DE OLIVEIRA

ESTUDANTES

Matrícula	Nome
201200975	ARLINDO VITOR DE OLIVEIRA JÚNIOR

NOTAS

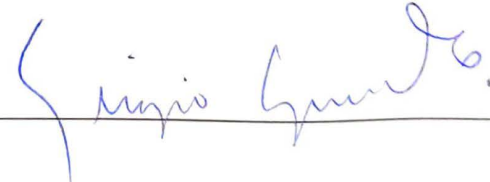
Matrícula	Membro 1				Membro 2				Membro 3				Média
	NPT	NTE	NAA	NF	NPT	NTE	NAA	NF	NPT	NTE	NAA	NF	
201200975	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5

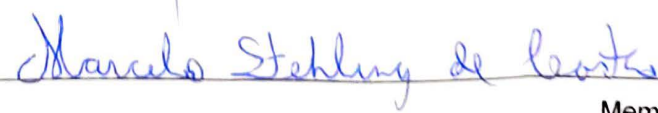
NPT – Nota plano de trabalho; NTE – Nota do trabalho escrito; NAA – Nota de apresentação e arguição


Para Eng. Elétrica, Mecânica e PFC2 da Eng. Da Computação: $NF = 0,1 \times NPT + 0,45 \times NTE + 0,45 \times NAA$

Para PFC1 da Eng. Da Computação: $NF = 0,3 \times NPT + 0,7 \times NAA$

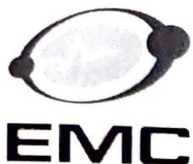
Goiânia, 13 de DEZEMBRO de 2019.



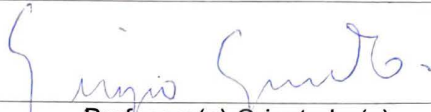
 Membro 1


 Membro 2


 Membro 3



FREQUÊNCIA – a ser preenchido pelo orientador(a)	
Nome do(a) estudante	Frequência (%)
Amílrio Wilson de Oliveira Júnior	100%



Professor(a) Orientador(a)

ATA DE AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL - Observações

Preencher com modificações solicitadas, caso existam. Em caso de reprovação, informar a justificativa.

Handwritten blue scribble covering the observation area.

Desenvolvimento de sistema *SCADA* para aplicações industriais e *IoT* (Dezembro 2019)

Adílio Vitor de Oliveira Júnior, *Universidade Federal de Goiás*

Resumo – Apesar de já existirem dispositivos que adquiriam e transmitiam informações antes de 1999, foi nesse ano que Kevin Ashton utilizou a expressão “*Internet of things*”, a fim de descrever um sistema composto por sensores e/ou atuadores que é conectado à internet.

Em 2018 a revista *Forbes* divulgou o resultado de um estudo realizado com 700 executivos de diferentes empresas. De acordo com os dados obtidos, 53% das empresas de telecomunicações utilizam *IoT* em seus processos ou em suas áreas de negócio. Ainda de acordo com esse estudo, 47% das empresas de energia (geração/distribuição) utilizam *IoT* em áreas de negócio ou estão em processo de implantação.

Com a popularização do *IoT* no mundo industrial, a demanda pela integração desses dispositivos com os já consolidados sistemas *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*) também está aumentando. Com o advento da Indústria 4.0, a aquisição e disponibilização, em tempo real, de mais informações a respeito de uma linha de produção se tornou crítica.

Esse trabalho se propõe a estudar os impactos da popularização do *IoT* nas plantas industriais. Além disso, estudaremos uma arquitetura de um sistema *SCADA* que permita a integração de equipamentos industriais e dispositivos *IoT*.

Palavras chave – Indústria 4.0, *Internet of Things*, *SCADA*.

Abstract – Although there were already devices that acquired and transmitted information before 1999, it was that year that Kevin Ashton used the expression “*Internet of things*” to describe a system composed of sensors and / or actuators that is connected to the internet.

In 2018 *Forbes* magazine reported the results of a study of 700 executives from different companies. According to the data obtained, 53% of telecommunications companies use *IoT* in their processes or in their business areas. Also according to this study, 47% of energy companies (generation / distribution) use *IoT* in business areas or are being implemented.

With the popularization of *IoT* in the industrial world, the demand for integrating these devices with the already consolidated *Supervisory Control and Data Acquisition* (*SCADA*) systems is also increasing. With the advent of Industry 4.0, the acquisition and real-time availability of

more information about a production line has become critical.

This paper aims to study the impacts of the popularization of *IoT* on industrial plants. In addition, we will study an architecture of a *SCADA* system that allows the integration of industrial equipment and *IoT* devices

Index Terms – Industry 4.0, *IoT*, *SCADA*.

I. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

Ao longo da história, a humanidade já passou por três revoluções industriais. Atualmente, estamos passando pela quarta grande revolução, conhecida também como “Indústria 4.0”.

A primeira revolução industrial, ocorrida no final do século XVIII, consistiu na descoberta das “máquinas a vapor”, utilizando o carvão como fonte de energia. A segunda revolução industrial ocorreu entre o fim do século XIX e o início do século XX, trazendo os primeiros motores a combustão de combustão interna, utilizando petróleo, os primeiros fornos de produção de aço e a descoberta da energia elétrica.

II. TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

No meio do século XX, iniciou-se a terceira revolução industrial, também conhecida como “Revolução Digital”. Foi nessa revolução que houve uma grande evolução na eletrônica, por meio dos transistores, que permitiu o desenvolvimento dos microprocessadores na década de 70 e o desenvolvimento dos microcomputadores. Além disso, durante essa revolução foram lançados os alicerces da *Internet*, com o desenvolvimento da *ARPANET*, que era uma rede de comunicação que interligava universidades americanas e centros de pesquisa americanos.

Com o desenvolvimento da eletrônica e o início do desenvolvimento dos microprocessadores, foi aberto o caminho para o desenvolvimento de um novo tipo de dispositivo, conhecido como *PLC* (*Programmable logic controller*). Esses dispositivos consistem em um controlador que pode ter a sua lógica programada para tomar decisões e realizar ações automáticas baseadas em uma ou mais condições. Para interagir com o “mundo físico”, esses dispositivos possuem “entradas e saídas”, que são conectores que permitem que eles enviem e

recebam sinais de dispositivos externos, como sensores e atuadores.

Através dos *PLCs*, as plantas industriais começaram a expandir suas automações. Esses dispositivos permitiram várias automações, outrora realizadas através de uma rede de relés interligados, também conhecida como *Hardwired Relay Logic*. Essa evolução nas automações realizadas em plantas industriais permitiu o desenvolvimento de lógicas de automação mais complexas.



Figura 1 – *Hardwired relay logic*.

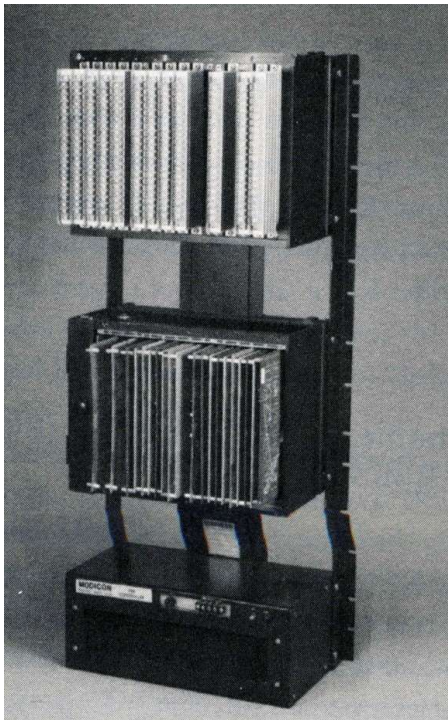


Figura 2 - *MODICON 084, primeiro PLC desenvolvido.*

Com o desenvolvimento dos *PLCs* e sua grande utilização nas plantas industriais, surgiu a necessidade de um mecanismo que permitisse uma interação maior entre o homem e esses dispositivos. Devido a essa necessidade, foram desenvolvidas as primeiras “interfaces homem-máquina”, conhecidas pela sigla *IHM*. Essas interfaces permitem interagir e visualizar as informações providas pelos *PLCs*. Na sua forma mais simples, essa interface era composta por botões e luzes.



Figura 3 – *Exemplo de IHM composta por luzes e botões.*

Conforme as indústrias foram se desenvolvendo e implantando processos cada vez mais complexos, os *PLCs* também foram evoluindo, a fim de suprirem as novas necessidades industriais. Assim, processos industriais distintos começaram a ser dependentes entre si, o que acarretou na necessidade da interligação dos *PLCs*. Para se adaptarem à nova realidade dos processos industriais, esses dispositivos começaram a implementar formas de comunicarem entre si e com o mundo externo. A primeira forma de comunicação adotada foi a comunicação serial, através do padrão *RS-232*, desenvolvido em 1960.

Paralelo ao desenvolvimento dos *PLCs*, ocorreu a construção de computadores que permitissem o monitoramento e o controle manual de plantas industriais, através de painéis analógicos e botões. Com o crescimento das indústrias e a necessidade de controlar equipamentos a distâncias maiores, começou-se a utilizar esses “terminais de controle” em conjunto com as *hardwired relay logic* para oferecer-se alguma funcionalidade de automação. Com a evolução dos *PLCs*, através do desenvolvimento de *IHMs* e de formas de comunicação com o mundo externo, e com a popularização do uso de computadores nas plantas industriais, ocorreu uma convergência de ideias que deu origem a um tipo de sistema de computador.

Com a difusão do uso de computadores, *PLCs*, sensores e atuadores, na indústria, surgiu a necessidade de concentrar as informações recebidas desses dispositivos em um único local. Além disso, com o crescimento físico das indústrias e a instalação de equipamentos em locais remotos, surgiu a necessidade da possibilidade de se efetuar operações remotamente nesses dispositivos. Dadas essas necessidades e a

evolução da computação e da telecomunicação, surgiu uma novo, tipo de sistema, conhecido como *SCADA*. A sigla *SCADA* significa *Supervisory Control and Data Acquisition*, e reflete exatamente o objetivo desse tipo de sistema: adquirir informações dos dispositivos instalados em uma planta industrial e permitir algum tipo de controle sobre esses dispositivos.

Assim, informações que antes estavam disponíveis apenas através de luzes ou telas analógicas, instaladas em painéis, e controles que antes só eram possíveis através de botões físicos, agora estavam disponíveis em um sistema de computação. Isso permitiu não somente melhorias nas automações das plantas industriais, mas também a possibilidade de as operar remotamente.

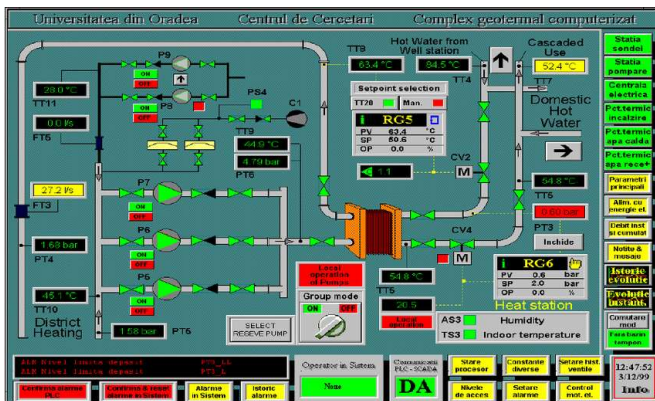


Figura 4 – Exemplo de um *SCADA* utilizado numa estação de tratamento de água.

Com o desenvolvimento da comunicação entre os *PLCs* e com o mundo externo, e a implantação dos sistemas *SCADA* para supervisionar e controlar plantas industriais remotamente, surgiu a necessidade da criação de “protocolos”, que permitissem que os diferentes dispositivos de diferentes fabricantes pudessem comunicar entre si e com os recém desenvolvidos sistemas *SCADA*. Assim, foram desenvolvidos vários protocolos de comunicação que permitiram a integração de diversos tipos de dispositivos em um mesmo ambiente. Além disso, instituições internacionais como *IEEE* começaram a contribuir com desenvolvimento desses protocolos, através da definição de padrões.

Devido ao crescimento do uso de *PLCs* e de diversos sensores e atuadores, e da integração desses dispositivos com algum sistema *SCADA*, surgiu a necessidade de dispositivos que pudessem concentrar a informação enviada por esses dispositivos e enviá-las ao *SCADA*. Assim, surgiram as chamadas *RTUs*, ou *Remote Terminal Unit*. Essas *RTUs* podem intermediar a comunicação entre os dispositivos da planta industrial (*PLCs*, sensores e atuadores) e o sistema *SCADA*, já que muitos desses dispositivos (principalmente sensores e atuadores) não possuem uma forma “inteligente” de comunicação com o mundo externo, como comunicação *serial* ou *ethernet*.

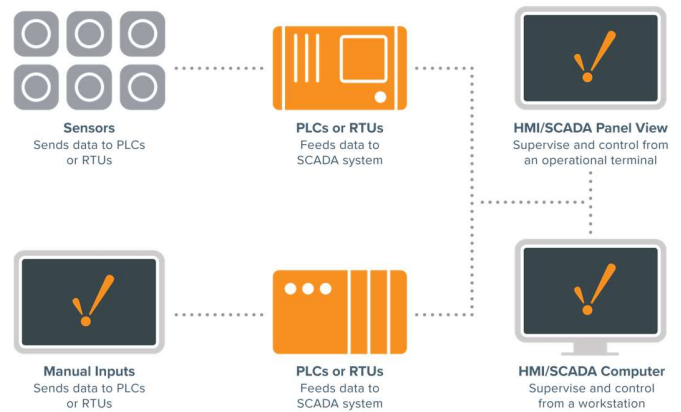


Figura 5 – Topologia básica de um sistema *SCADA*.

Assim, surgiram as “redes de controles industriais”, compostas por sensores, atuadores, *PLCs* e outros dispositivos, todos integrados em um mesmo ambiente através dos sistemas *SCADA*. A topologia do controle de uma planta industrial permaneceu a mesma durante muitos anos. Porém, isso mudou com a ascensão do *IoT*, que, juntamente com novas tecnologias, tais como *Cloud Computing* e *Machine Learning*, está mudando a topologia de controle de uma planta industrial. Essa mudança está sendo chamada de “quarta revolução industrial” ou “*Indústria 4.0*”.

III. INDÚSTRIA 4.0

Conforme exposto anteriormente, a humanidade já passou por três grandes revoluções industriais. Atualmente, estamos passando pela quarta, que também é conhecida como “*Indústria 4.0*”. Essa revolução consiste em “digitalizar” as indústrias, aumentando a quantidade de dados adquiridos dos processos industriais. Além disso, essa digitalização também consiste na análise em tempo real dos dados obtidos, a fim de obter informações sobre a “saúde” de um processo industrial e realizar ações (executar algum controle), caso necessário. Em alguns casos, esse controle pode ser exercido de forma automática. Em todo esse processo de digitalização, o *IoT*, exerce um papel fundamental, principalmente na parte de aquisição de dados.

IV. INTERNET OF THINGS

Internet of Things, ou *IoT*, são basicamente dispositivos que possuem algum tipo de sensor e/ou atuador, podem comunicar entre si e são conectados à internet (ou alguma outra rede de comunicação) de alguma forma. Nessa definição, não é levada em consideração o tamanho do dispositivo, podendo ser desde dispositivos menores que um telefone celular a veículos inteligentes. Para se comunicarem com outros dispositivos e com a internet, esses dispositivos podem utilizar uma série de tecnologias, como *bluetooth*, *Wi-Fi*, rede celular, comunicações por radiofrequência e várias outras.



Figura 6 – Sensor de bateria industrial.

As aplicações para dispositivos *IoT* são extremamente vastas: automação residencial, aplicações médicas, transporte e logística, *smart cities*, aplicações industriais e várias outras. As aplicações iniciais de *IoT* eram principalmente o uso de etiquetas *RFID*, que são *transponders* de identificação, para a identificação e controle de materiais e objetos em estoques. Após isso, várias outras áreas comerciais começaram a utilizar o *IoT* para auxiliar no controle de seus processos, como aplicações de transporte, vigilância e segurança, gerenciamento de documentos e várias outras.

V. INTERNET OF THINGS – CASES DE SUCESSO

Em 2012, ocorreu a implantação de um projeto de *IoT*, voltado para o uso eficiente da iluminação pública, na cidade de Barcelona. Esse projeto consistia em, além de substituir todas as lâmpadas da iluminação pública por lâmpadas de leds, instalar sensores em todos os postes com iluminação na cidade, de forma que as lâmpada só seriam acesas no período noturno e na presença de pessoas. Como resultado, estima-se uma economia de 37 milhões de dólares aos cofres públicos.

Nas indústrias, o *IoT* também está desenvolvendo um papel crucial. Através dele, é possível que máquinas “burras” transmitam informações operacionais, permitindo um maior gerenciamento da planta industrial e aumentando o nível de automação naquela planta industrial. Além disso, através desse dispositivo é possível realizar o monitoramento das instalações industriais, medindo e reportando informações como temperatura, pressão e vibração. Esse tipo de informação é extremamente útil quando a indústria possui algum maquinário que precisa estar em uma condição operativa específica para evitar danos ao equipamento.

Um outro caso de sucesso do uso de *IoT* no ambiente industrial foi uma parceria realizada entre uma empresa de energia que utiliza Óleo e Gás e a Cisco. O problema reportado pela empresa era a demora em localizar os vazamentos de gás, o que impactava o tempo de manutenção e no tempo de evacuação dos trabalhadores. Como resultado da parceria, foram instalados vários sensores de gás nas refinarias,

conectados entre si através de uma rede wireless, o que permitiu que houvesse uma economia anual de 1.5 milhões de dólares, devido a identificação rápida dos vazamentos de gás e de um trabalho de manutenção preventiva, baseado nas informações coletadas pelos sensores.

Uma aplicação recente de *IoT* ocorreu no Distrito Federal, onde a concessionária de saneamento (CAESB) implantou 6000 dispositivos de telemetria em milhares de clientes. Através desses dispositivos, é possível acompanhar, através de uma plataforma digital, o consumo de água diário e o histórico de consumo. Assim, os clientes podem verificar seu consumo e, tanto o cliente quanto a concessionária, podem identificar algum problema de vazamento na instalação assim que o problema ocorrer.

VI. INTERNET OF THINGS E INDÚSTRIA 4.0 EM NÚMEROS

De acordo com um estudo realizado pela empresa *IoT Analytics*, especialista estudos de mercado para *IoT*, em 2017 havia 7 bilhões de dispositivos instalados em todo o mundo. Ainda de acordo com esse estudo, o número de dispositivos instalados em 2025 chegará a 21.5 bilhões. Esse estudo levou em consideração apenas a projeção de dispositivos que estarão ativos, e não o montante total de adquirido.

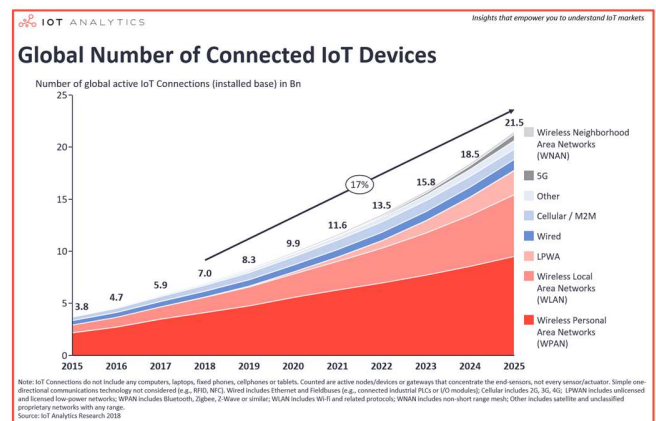


Figura 7 – Projeção de dispositivos *IoT* ativos.

Ainda sobre o estudo realizado pela *IoT Analytics*, em 2017 foram gastos \$151 bilhões com dispositivos *IoT* (Softwares/Plataformas, gastos com conectividade e com hardware). A expectativa é que em 2025 esse número chegue a \$1.567 bilhões. Do ponto de vista industrial, esse estudo revelou que as soluções da Indústria 4.0, que envolvem *IoT* e as ferramentas de análise dos dados providos por esses dispositivos, irão movimentar \$310 bilhões de dólares em 2023.

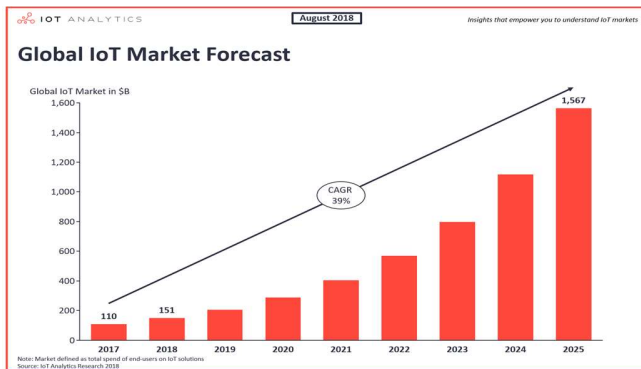


Figura 8 – Projeção do mercado global de IoT

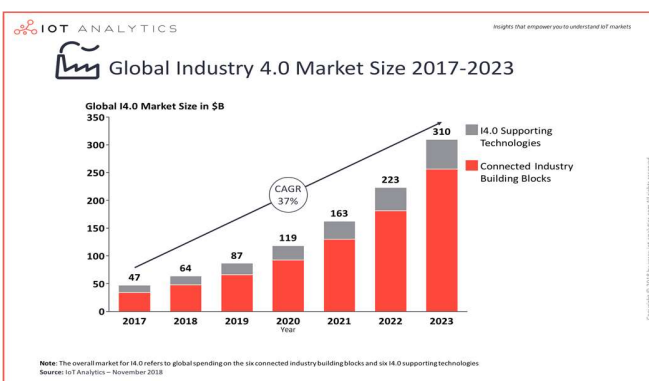


Figura 9 – Projeção do mercado na Indústria 4.0

VII. INTERNET OF THINGS X SCADA

Com a ascensão do *IoT*, se tem debatido a respeito da relação desses dispositivos com os tradicionais sistemas *SCADA*. O *IoT* reinventou a forma de se adquirir dados de diferentes processos industriais, permitindo que dados sejam adquiridos de lugares onde antes não era possível, principalmente por questões de tamanho do dispositivo que adquire, já que se tem dispositivos *IoT* cada vez menores. Além disso, com a integração natural desses dispositivos com a internet, surgiu a possibilidade de enviar todos os dados coletados por esses dispositivos para uma “nuvem”, onde esses dados serão processados e poderão fornecer informações em tempo real a respeito de vários processos de uma indústria. Assim, em alguns casos, o *IoT* consegue realizar uma das funções cruciais dos sistemas *SCADA*, que é a aquisição de dados dos *PLCs*, sensores e atuadores.

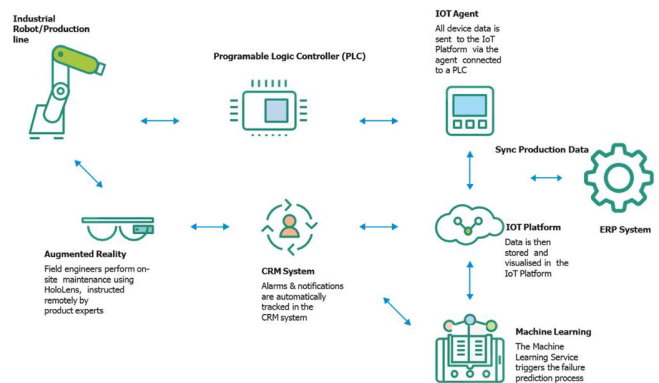


Figura 9 – Topologia de uma planta industrial com IoT.

Apesar desse cenário, onde os *IoTs* estão em ascensão e fazem, em partes, o papel que antes era realizado pelos sistemas *SCADAs* (aquisição de dados), a expectativa para esse tipo de sistema não é ruim: estima-se um gasto de \$11 bilhões no ano de 2019 e projeta-se um gasto de \$15.2 bilhões em 2024, gasto esse dividido entre softwares *SCADA*, *PLCs*, *RTUs* e comunicações entre esses dispositivos. Assim, apesar de ser um crescimento mais modesto, o mercado dos sistemas *SCADA* não está “ameaçado”. Porém, a expectativa é que esse tipo de sistema evolua para se adequar a essa nova realidade.

Em setores industriais onde não se tem somente um monitoramento da planta industrial, mas também se tem a necessidade de operar a planta remotamente, os tradicionais sistemas *SCADA* ainda são extremamente importantes. Afinal, esses sistemas foram concebidos com a proposta de monitorar e operar os processos industriais remotamente. Assim, em muitas indústrias, que possuem processos extremamente rígidos e padronizados, os sistemas *SCADA* continuarão sendo utilizados. Logo, dada as novas possibilidades apresentadas pelo *IoT*, o melhor caminho é a integração entre essas duas filosofias.

VIII. CASOS DE ESTUDO

A fim de ilustrar algumas possibilidades industriais em uma solução adotando *IoT* e sistemas *SCADA*, utilizaremos dois casos do setor elétrico, sendo um voltado para a PCHs e outro para a distribuição de energia.

Caso de estudo 1: PCHs

Uma PCH, ou “Pequena Central Hidrelétrica”, é uma usina hidrelétrica de pequeno porte, com capacidade de geração entre 3 e 30 MW. Esse tipo de usina utiliza do desnível e da vazão dos rios para gerar energia. Além disso, ela não demanda um represamento muito grande de água (no máximo 3 km²), minimizando os impactos ambientais associados a esse tipo de geração de energia.

Na geração e distribuição de energia elétrica, é comum o uso de sistemas *SCADA* para a supervisão e controle dos geradores

e dos alimentadores (saídas de subestações) de distribuição. Da mesma forma, após adquiridos os equipamentos necessários, podemos supervisionar toda a PCH, desde a geração de energia até a entrega da energia a subestação mais próxima.

Utilizando *IoT*, podemos supervisionar, de forma barata e simples, mais aspectos dessa PCH, como por exemplo o nível da represa a montante da PCH, a vazão do rio, o nível do rio a jusante da PCH. Em ambientes rurais, muitas outras informações poderiam ser úteis ao responsável pela operação da PCH.

Poderíamos supor que, junto com essa PCH, o proprietário dessa usina também disponha de uma central de geração fotovoltaica. Utilizando sensores instalados junto com as placas fotovoltaicas, o sistema *SCADA* poderia implementar automatismos, diminuindo a geração hidrelétrica quando houvesse uma alta incidência solar, a fim de poupar a represa de água para o período noturno.

Uma vez que, em zonas rurais, não se tem uma boa infraestrutura de telecomunicações, os vários dispositivos *IoT* poderiam comunicar entre si utilizando radiofrequência ou *Wi-Fi*. Então, o sistema *SCADA* receberia uma comunicação por rede de celular ou satélite, e enviaria os dados para alguma plataforma na nuvem. Com isso, toda a infraestrutura dessa PCH estaria supervisionada, inclusive, remotamente.

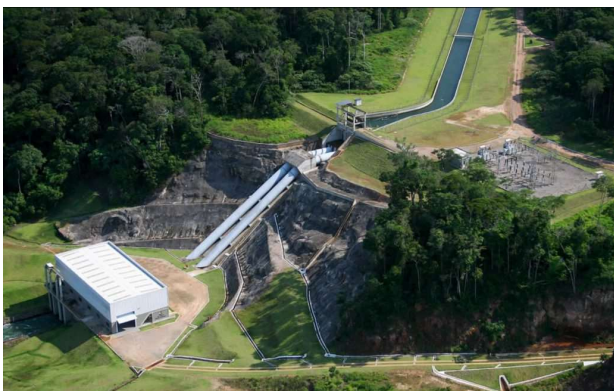


Figura 10 – PCH Alto Jauru.

Caso de estudo 2: Detecção de faltas de alta impedância

Hoje, a distribuição de energia elétrica sofre com um problema conhecido como “Faltas de alta impedância”, ou a sigla *HIF* (*High Impedance Fault*) em inglês. Esse problema consiste no rompimento de um condutor energizado, que, ao cair no solo, encontra uma impedância alta, fazendo com que não haja uma variação drástica na corrente, impedindo a detecção desse rompimento por parte dos dispositivos de proteção, como chaves fusíveis e relés de sobre corrente. Dentre muitas outras consequências, esse tipo de falta gera um risco muito grande para a população, uma vez que o condutor continua energizado, e, geralmente, fica “chicoteando” no solo, devido a passagem da corrente.

Para auxiliar a detecção desse tipo de falta, podemos instalar vários dispositivos sensores de tensão ao longo da rede elétrica. Esses dispositivos enviariam para o sistema *SCADA* a informação da presença ou não de tensão no ponto que eles estiverem instalados. Assim, se um dispositivo a jusante de um ponto reportar que está sem tensão, porém um dispositivo a montante desse ponto reporta que está com tensão, esse pode ser um indicativo que ocorreu ali uma falta de alta impedância.

Assim, podemos implementar uma lógica no sistema *SCADA* para que, caso ele encontrasse a situação acima, ele automaticamente comandasse a abertura do equipamento de seccionamento telecomandável a montante mais próximo da falta detectada, a fim de interromper a corrente e isolar a falta.

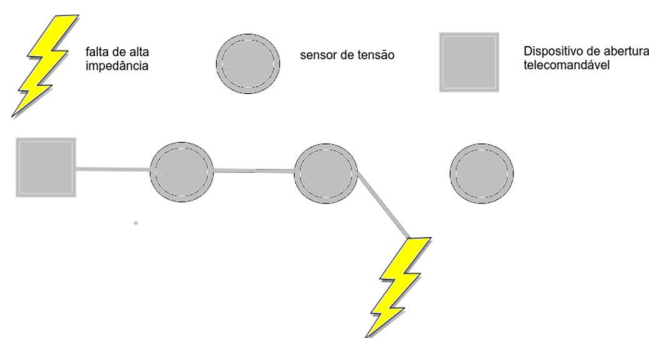


Figura 11 – Exemplo de ocorrência de uma HIF em uma rede com sensores de tensão.

Assim, é possível verificar que há uma grande aplicabilidade de um sistema *SCADA* com integrações diretas com dispositivos *IoT*. Apesar dos dois exemplos citados serem voltados para o setor elétrico, todas as demais indústrias que utilizam sistemas *SCADA*, serão beneficiadas com as vantagens de um sistema *SCADA* integrado com suas soluções *IoT*. Além disso, essa evolução dos sistemas *SCADA*, a fim de integrarem os dispositivos *IoT* em suas plataformas, abre o caminho para a manutenção e evolução desses sistemas na Indústria 4.0.

IX. INTEGRAÇÃO SCADA X IOT

A “pirâmide da automação industrial” estabelece 5 níveis hierárquicos, a fim de organizar os níveis de controle de uma indústria e o relacionamento das tecnologias envolvidas. Do ponto de vista desse trabalho, podemos nos ater apenas aos três primeiros níveis:

1. *Field level*: nesse nível estão os equipamentos, sensores e atuadores. São os equipamentos que realizam o trabalho físico e realizam o monitoramento da planta industrial.
2. *Control level*: nesse nível estão os *PLCs*, controladores (como *PID* etc.) e outros dispositivos de controle. São os dispositivos responsáveis por realizar algum tipo de controle sobre os dispositivos do nível anterior.

3. *Supervisory level*: nesse nível está basicamente o *SCADA*. Conforme dito anteriormente, o *SCADA* adquire os dados dos dispositivos que estão nos níveis inferiores e permite que algum operador efetue algum tipo de controle sobre esses dispositivos, caso eles tenham algum tipo de controle.

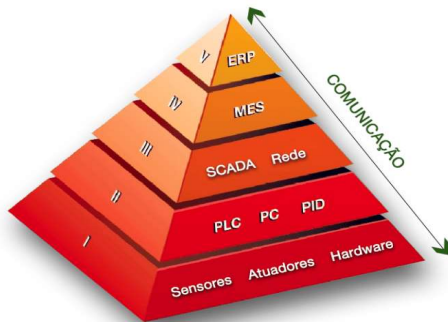


Figura 12 – Pirâmide da automação industrial.

Seguindo a hierarquia exposta acima, os dispositivos *IoT* poderiam se enquadrar nos dois primeiros níveis. Poderíamos utilizar esses dispositivos para a aquisição de dados de maquinários ou de outros sensores. Além disso, também poderíamos utilizar esses dispositivos para realizar algum tipo de controle sobre atuadores e outros dispositivos no nível um da hierarquia.

Assim, para completar a integração dos dispositivos *IoT* com a arquitetura de automação industrial, é necessário o desenvolvimento de uma integração entre esses dispositivos e os sistemas *SCADA*. Conforme foi exposto anteriormente, para se comunicar com os equipamentos industriais, os sistemas *SCADA* utilizam protocolos de comunicação. Com o crescimento do *IoT*, foram desenvolvidos vários protocolos de comunicação para esses dispositivos, como *MQTT*, *AMQP*, *DDS*, *CoAP* e vários outros. Como esses protocolos são mais simples, se comparados aos protocolos tradicionais utilizados na indústria, podemos implementar esses protocolos do lado do sistema *SCADA*. Assim, podemos integrar um ou mais dispositivos *IoT* na nossa planta industrial e supervisioná-los como os demais equipamentos instalados na planta industrial.

X. MODELAGEM DE UM SISTEMA *SCADA* COM *IOT*

Atualmente, os sistemas *SCADAs* utilizam arquiteturas de software semelhantes. As funcionalidades “básicas” de um sistema *SCADA* são:

1. *IHM* – Interface Homem-máquina: são as “telas” onde o sistema *SCADA* disponibiliza os dados adquiridos dos equipamentos supervisionados (*PLCs*, *RTUs*, *IoT*s, sensores e atuadores) e permite que seja realizado algum

tipo de comando sobre esses equipamentos, caso disponível. Geralmente, essas telas são “criadas” pelos usuários do sistema.

2. Aquisição/Envio de dados: é a parte do sistema *SCADA* responsável por comunicar com os equipamentos supervisionados, através dos meios de conexão disponíveis (intranet ou internet). É nessa funcionalidade que ocorre a “conversão” dos dados enviados pelo *SCADA* aos equipamentos para um protocolo de comunicação específico. Da mesma forma, toda informação recebida dos equipamentos é “traduzida” do protocolo utilizado para o formato do *SCADA* e enviada para a funcionalidade de “Controle”.
3. Controle: é a parte do sistema *SCADA* responsável por solicitar os dados dos equipamentos, efetuar os controles solicitados pelos usuários do sistema ou os controles automáticos configurados. Além disso, essa é a funcionalidade responsável por gerar os “alarmes” configurados, como violação do valor máximo ou mínimo de uma medida, alteração da posição (aberto/fechado) de um equipamento e vários outros tipos de alarmes.

Conforme citado acima, é na parte de aquisição de dados que há a tradução da comunicação entre os equipamentos para os protocolos de comunicação. Os protocolos de comunicação utilizados dependem de qual o tipo de indústria para qual o sistema *SCADA* foi concebido. No setor elétrico, os principais protocolos utilizados são:

- *DNP3*
- *IEC 101*
- *IEC 103*
- *IEC 104*
- *ICCP*
- *IEC 61850*
- *MODBUS*

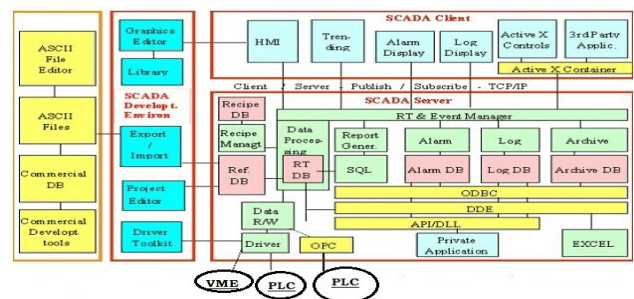


Figura 13 – Arquitetura de software de um sistema *SCADA*

Além das funcionalidades básicas descritas acima, praticamente todos os sistemas *SCADA* armazenam os logs de eventos, medições e outras informações, de alguma forma. Geralmente, são utilizados arquivos de texto e/ou banco de

dados (SQL ou *NoSQL*). Ao integrar dispositivos *IoT* em um sistema *SCADA*, dependendo da quantidade de dispositivos e dados instalados, o uso de um banco de dados *NoSQL* pode ser interessante, uma vez que esse tipo de banco lida melhor com um alto volume de dados.

Após expormos as principais funcionalidades de um *SCADA*, podemos sugerir qual seria uma arquitetura de software que permitiria a integração dos dispositivos *IoT* nesse tipo de sistema, de forma fácil e eficiente. Interpretando os *IoT* como mais um equipamento industrial, como os *PLCs*, sensores e atuadores, esses dispositivos poderiam ser integrados ao sistema *SCADA* implementando os protocolos de dados utilizados nesses dispositivos.

Atualmente, alguns protocolos de dados vêm sendo bastante utilizados para comunicação com dispositivos *IoT*, como o *MQTT*, *CoAP* e *AMQP*. Enquanto o protocolo *CoAP* utiliza a api REST para prover seus serviços de comunicação, o *MQTT* e o *AMQP* utilizam o modelo *Publisher/Subscriber* (o protocolo *CoAP* também possui implementação *Publisher/Subscriber*, porém não é o foco do protocolo). Como esses protocolos não implementam o formato da mensagem enviada (i.e não implementam especificamente os conteúdos de uma mensagem, como os protocolos utilizados no setor elétrico supracitados implementam) há a necessidade de definição de um ou mais formatos da mensagem, a fim de que o sistema *SCADA* consiga interpretar o dado recebido pelos dispositivos *IoT* e saiba como requisitar alguma informação ou efetuar algum comando nesses dispositivos.

Assim, para integrarmos os dispositivos *IoT* em um sistema *SCADA*, precisamos, além de implementar um protocolo de dados padrão, necessitamos também de implementar “mensagens padrão”, tanto para a requisição de informações quanto para efetuar algum tipo de “controle” sobre esses dispositivos. Implementando os requisitos acima, a nova arquitetura de software do sistema *SCADA* ficaria da seguinte forma:

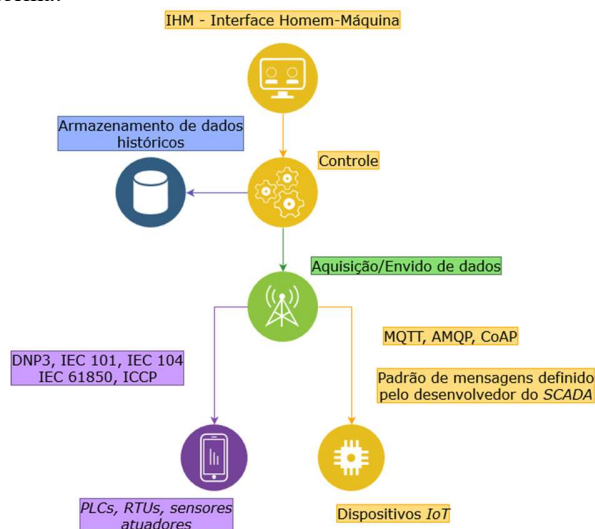


Figura 14 – Arquitetura simplificada de um sistema *SCADA* com *IoT*

XI. PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO

Conforme o estudo realizado, a implementação de um sistema *SCADA*, com integração nativa com dispositivos *IoT* é promissora. Assim, implementaremos um protótipo de um sistema *SCADA* que atenderá aos requisitos definidos na figura 14. Para tal, escolheremos as seguintes tecnologias/protocolos para utilização no protótipo:

- Node JS – linguagem utilizada no desenvolvimento do protótipo
- HTML + JavaScript + Bootstrap + SocketIO – desenvolvimento do IHM Web
- DNP3 – protocolo implementado para equipamentos industriais
- MQTT – protocolo implementado para dispositivos *IoT*
- Mosquitto – broker MQTT a ser utilizado

Node JS: Node JS é um *runtime* de JavaScript, construído em cima do interpretador de JavaScript do navegador *Chrome*, “V8”, que permite que código JavaScript seja executado do lado do servidor, em vez de somente no lado do cliente (uma página web, por exemplo). Além de possuir um conjunto de bibliotecas que permitem realizar *I/O* de dados em várias formas (comunicação via TCP/IP ou UDP, leitura e escrita em bancos de dados) e várias outras funcionalidades, o Node JS tem como característica principal a sua execução assíncrona de blocos de código, isso é, uma operação que demanda a ação de algum componente externo do sistema, como ler um arquivo no disco ou enviar algum *frame* via internet, não bloqueiam a execução das instruções seguintes. Graças a isso, o Node JS é utilizado hoje em ambientes onde há um grande volume de entrada de saída de dados. Empresas como a Netflix, que trabalha com um volume enorme de dados sendo transmitidos a todo momento, já mudaram sua plataforma de serviços para o Node JS. Como um sistema *SCADA*, principalmente um com implementação para comunicar também com dispositivos *IoT* (que geralmente são milhares), também possui uma entrada e saída de dados muito grande, escolhemos essa tecnologia para desenvolver o protótipo.

HTML+ JavaScript + Bootstrap + SocketIO: Com o passar do tempo, as aplicações desktop estão sendo substituídas por aplicações Web, onde não há a necessidade de instalação de nenhum software (a não ser o navegador para acesso a página) e o conteúdo pode ser acessado de todos os dispositivos que dispõem de um navegador e de conexão com a rede (internet ou intranet). Assim, nossa proposta é que o IHM utilizado no nosso protótipo seja completamente Web e acessível de vários tipos de dispositivos diferentes. Assim, utilizaremos também a biblioteca Bootstrap, desenvolvida pelo Twitter, que permite que as páginas sejam responsivas a dispositivos com telas de diferentes tamanhos. Utilizaremos também a biblioteca SocketIO para estabelecer uma comunicação em tempo real entre a página e o nosso protótipo, de forma que as informações sejam atualizadas em tempo real.

DNP3: O DNP3 é um protocolo de comunicação desenvolvido para comunicação entre os *PLCs* (também conhecidos como *IED – Intelligent Electronic Device*) e as *RTUs* e os sistemas *SCADA*. A primeira versão do protocolo foi desenvolvida em 1993, com o propósito de permitir a comunicação com equipamentos de automação nas indústrias de energia e de água. Mesmo sendo um protocolo “antigo”, ele foi padronizado pelo *IEEE* em 2010 e, desde então, recebeu algumas melhorias e novas funcionalidades, principalmente de segurança. Ainda hoje, é amplamente utilizado na indústria, devido a sua ampla aceitação por parte dos fabricantes de equipamentos. Como é um protocolo bastante comum na indústria, utilizaremos ele para implementação do nosso protótipo.

MQTT: O MQTT é um protocolo de mensagens, extremamente leve e simples, que trabalha no modelo *Publisher/Subscriber*: um “consumidor” de conteúdo se inscreve em um “tópico” e todo conteúdo publicado naquele tópico é encaminhado para quem se inscreveu nele; um “produtor” publica alguma mensagem em algum tópico e todos os *subscribers* recebem a mensagem publicada. Para fazer esse controle, o MQTT precisa de um *Broker*, que é um agente que recebe todas as mensagens e cuida de encaminhá-las a quem for de interesse. O MQTT, que foi criado em 1999, foi concebido com a proposta de ser um protocolo de comunicação que funcionasse em dispositivos de baixa potência e através de redes de baixa banda, alta latência e de pouca confiabilidade. Por isso, conforme o gráfico abaixo, gerado no *Google Trends*, podemos ver claramente que a procura pelo MQTT tem aumentado bastante nos últimos anos, comparando com outros protocolos voltados para *IoT*:



Figura 15 – Google Trends com a quantidade de pesquisa sobre mqtt, amqp e coop.

Assim, escolheremos o MQTT como protocolo para *IoT*, na implementação do protótipo.

Mosquitto: o Mosquitto é um broker MQTT *Open Source* desenvolvido pela fundação *Eclipse*. Ele foi desenvolvido para ser otimizado o suficiente para funcionar até mesmo em equipamentos embarcados, como os *IoTs*. Escolhemos ele como nosso broker pelo fato dele ser *Open Source* e bastante otimizado.

Para a arquitetura da aplicação, nós nos inspiramos no modelo *Component-based Software Engineering* (CBSE). Nesse modelo de arquitetura, as funcionalidades de um sistema deverão ser segregadas em módulos independentes e de baixo acoplamento. Esse tipo de implementação “reduz o tempo e os custos de desenvolvimento, melhora a mantabilidade, confiabilidade e a qualidade geral dos sistemas de software” (CAI; LYU; WONG; KO, 2000). Um outro benefício da modularização do sistema, que se aplica especificamente em nosso caso, é o fato da tecnologia Node JS ser single thread, isso é, todo o código executado por um processo da aplicação é executado somente em uma única thread. Logo, modularizando o sistema em várias instâncias, cada processo será executado em uma thread diferente, o que significa que os diferentes módulos do sistema serão executados em paralelo, caso o computador que esteja executando o sistema possua mais de uma thread no seu processador.

A comunicação entre os módulos do sistema será feita através do *Interprocess Communication* (IPC), que é um mecanismo do sistema operacional que permite que diferentes processos compartilhem dados entre si. Na nossa implementação, utilizaremos sockets unix para a implementação do IPC. Além de sockets unix, a implementação modular do protótipo permite que o IPC seja utilizado através de sockets de rede, o que viabilizaria o uso desse protótipo como um Sistema Distribuído, com os módulos sendo executados em computadores (ou servidores) diferentes, conectados através de internet (ou intranet).

Baseado na arquitetura de um *SCADA* para *IoT* que nós definimos, o nosso protótipo será modularizado em 5 partes:

1. ACS: Módulo de aquisição e controle, responsável por iniciar os demais módulos e manter a informação do estado de todos os pontos (entradas digitais, entradas analógicas etc.) configurados no sistema, manter o módulo IHM (será discutido posteriormente) com as informações dos pontos atualizadas, validar os pedidos de comando realizados pelo usuário via IHM e controlar os demais módulos do sistema.
2. COM: Módulo responsável por estabelecer todas as conexões TCP/IP do sistema. Como também utilizamos um *broker* MQTT, esse módulo também é responsável por ativar o *broker* e verificar seu funcionamento. Todos os dados recebidos das conexões TCP/IP são encaminhados por esse módulo para o interpretador de protocolo correspondente (DNP3, MQTT etc.) à essa conexão. Da mesma forma, toda mensagem que se deseja enviar para os equipamentos é encaminhada pelos interpretadores de protocolo para então ocorrer a transmissão da mensagem.
3. DNP3: Interpretador do protocolo DNP3. Realiza a leitura da configuração dos equipamentos configurados para o protocolo DNP3, recebe e interpreta todas as mensagens oriundas de equipamentos configurados nesse protocolo e envia todas as mensagens necessárias para o estabelecimento da comunicação a nível de

protocolo. Quando há alguma alteração de valor em algum ponto de um equipamento, o próprio interpretador envia ao ACS a alteração do valor do ponto.

4. MQTT: Realiza a leitura da configuração dos *IoTs* configurados. Realiza a “inscrição” nos tópicos relativos aos dispositivos configurados. Recebe e interpreta as mensagens oriundas dos dispositivos e, caso haja alteração de valor em algum ponto configurado, envia a alteração para o ACS.
5. IHM: Provém a interface web para acesso a supervisão dos equipamentos e dispositivos configurados. Permite a realização dos comandos configurados nos dispositivos. Recebe as atualizações dos valores dos pontos configurados no sistema e atualiza na interface web em tempo real.

módulo WiFi ESP8266-01. Assim, o arduino enviava os dados novos através da rede WiFi criada para a demonstração.

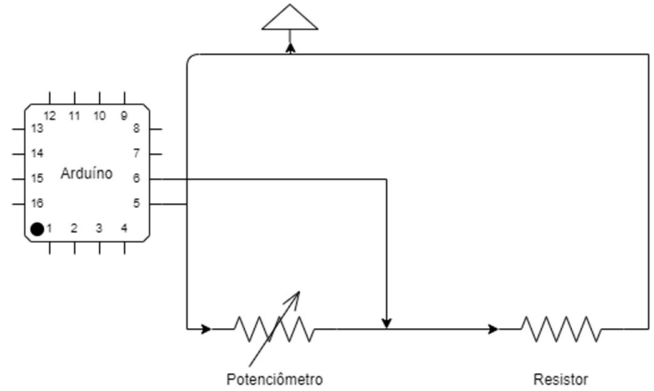


Figura 17 – Esquema do circuito utilizado para demonstração.

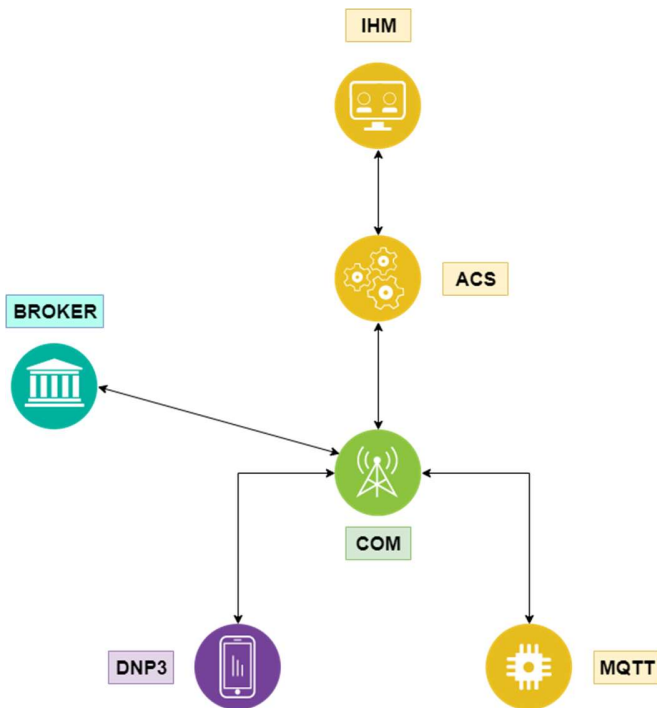


Figura 16 – Diagrama do protótipo implementado

XII. PROTÓTIPO IMPLEMENTADO

Para demonstrar o protótipo implementado (que utiliza a arquitetura e as tecnologias supracitadas), nós utilizamos um arduino para o *IoT* e um simulador DNP3 para simular os dispositivos conectados.

O arduino utilizado foi um ATmega 2560, onde ligamos um divisor de tensão com um potenciômetro, para que, conforme a posição do potenciômetro fosse alterada, o valor de tensão medido variasse e fosse enviado para o *SCADA*. Para prover a comunicação entre o arduino e o *SCADA*, utilizamos um

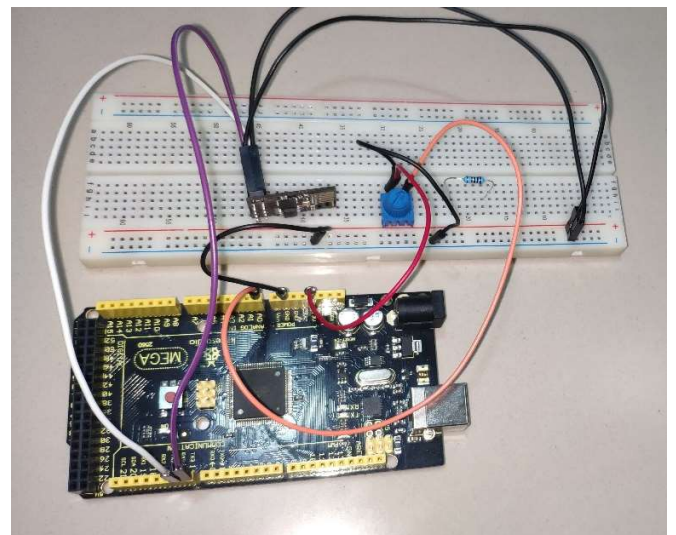


Figura 18 – Circuito de demonstração

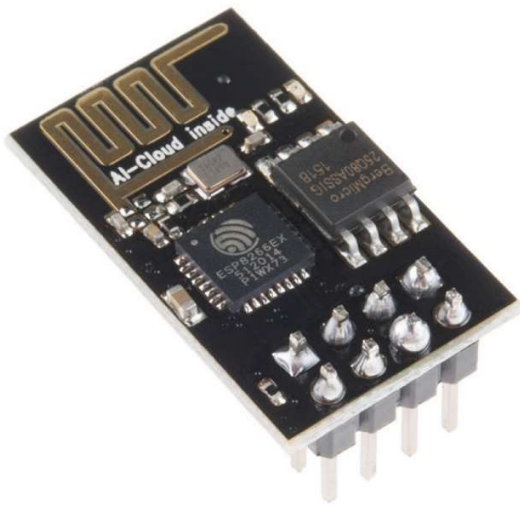


Figura 19 – Módulo WiFi ES266-01

Para a simulação de um equipamento industrial (*PLC, IED etc.*), nós utilizamos um simulador DNP3 chamado OpenDNP3. Nesse simulador, é possível simular pontos digitais (estados binários) e valores analógicos (medições de tensão, corrente, pressão, velocidade etc.). Para a demonstração, nós configuramos um ponto digital para simular um contato aberto/fechado.

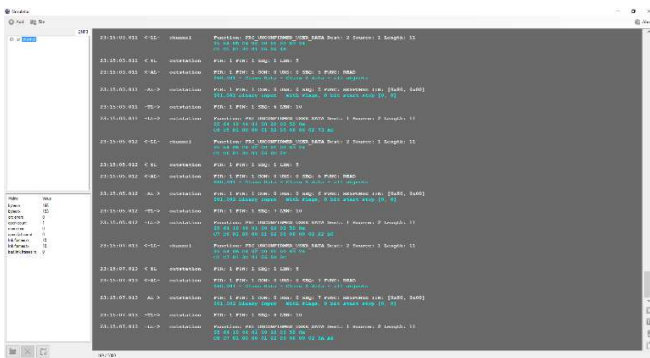


Figura 20 – Simulador DNP3

Com os dois dispositivos conectados ao *SCADA*, nós utilizamos o IHM, que é uma interface WEB desenvolvida para visualizar os dados recebidos desses dispositivos e efetuar comandos nesses dispositivos, caso disponível.



Figura 21 – IHM Desenvolvido

Assim, realizamos a demonstração do nosso protótipo, com os dados sendo atualizados em tempo real. Como o *IHM* é

WEB, ele pôde ser acessado inclusive por *smartphones*, mantendo sua característica de atualização dos dados em tempo real.

XIII. CONCLUSÃO

Conforme discutido durante esse trabalho, as indústrias estão passando por uma nova revolução, graças aos avanços da tecnologia nos últimos anos. Enquanto algumas tecnologias vão ficando obsoletas, e outras vão surgindo, algumas tecnologias já consolidadas poderão usufruir dessa revolução.

Os sistemas *SCADA* ainda tem um longo caminho pela frente, porém, possuem agora uma oportunidade de se renovarem e se permitirem integrar com novas tecnologias, que aumentaram a qualidade do monitoramento dos processos industriais e, conseqüentemente, a qualidade do produto gerado.

Novas tecnologias como *Digital Twins, Big Data, Analytics, IoT* e várias outras, que permitirão uma gestão melhor sobre a planta industrial, e uma ação preditiva sobre possíveis problemas futuros, serão fundamentais para uma indústria se manter competitiva nos próximos.

Uma possível continuidade desse trabalho seria a implementação de novos protocolos de comunicação (como o MODBUS, que é muito utilizado em sistemas fotovoltaicos) e o desenvolvimento de *analytics* para os dados históricos gerados. Com o desenvolvimento de uma análise automática dos dados recebidos dos diversos sensores na planta industrial, é possível identificar anomalias e corrigi-las antes que elas se tornem uma falha crítica, que acarretará na interrupção da planta.

Referências

- [1] INTERNET OF THINGS DEFINITION. IOT-ANALYTICS. Disponível em: <<https://iot-analytics.com/internet-of-things-definition/>>. Acesso em: 10/05/2019.
- [2] HOW IOT IS IMPACTING 7 KEY INDUSTRIES TODAY. FORBES. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/insights-inteliot/2018/08/24/how-iot-is-impacting-7-key-industries-today/#3cb0f6b41a84>>. Acesso em: 10/05/2019.
- [3] INTERNET OF THINGS HISTORY. POSTSCAPES. Disponível em: <<https://www.postscapes.com/internet-of-things-history/>>. Acesso em: 10/05/2019.
- [4] SCADA AND IOT THE PERFECT MATCH. RICKSCLOUD. Disponível em: <<https://rickscloud.com/scada-and-iot-the-perfect-match/>>. Acesso em: 10/05/2019.

- [1] SUPERVISORY CONTROL DATA ACQUISITION. MARKETSandMARKETS. Disponível em:<<https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/supervisory-control-data-acquisition.asp>>. Acesso em 11/05/2019.
- [2] SCADA AND IOT WATER AND WASTEWATER AND ELETRIC CAR. SMARTWATERMAGAZINE. Disponível em:<<https://smartwatermagazine.com/blogs/william-moulton/scada-and-iot-water-and-wastewater-and-electric-car>>. Acesso em: 11/05/2019.
- [3] IOT OR SCADA. IOTNXT. Disponível em:<<https://www.iotnxt.com/2018/07/18/iot-or-scada/>>. Acesso em: 11/05/2019.
- [4] SCADA VS IOT ROLE SCADA SYSTEMS MANUFACTURINGS INDUSTRY 4.0. ICONICS UK. Disponível em:<<http://www.iconics-uk.com/scada-vs-iot-role-scada-systems-manufacturings-industry-40>>. Acesso em: 11/05/2019.
- [5] IOT SCADA COMPLEMENTARY TECHNOLOGIES. ALTIZON. Disponível em:<<https://altizon.com/iot-scada-complementary-technologies/>>. Acesso em 11/05/2019.
- [6] INDUSTRIAL REVOLUTION. BRITANNICA. Disponível em:<<https://www.britannica.com/event/Industrial-Revolution>>. Acesso em: 13/05/2019.
- [7] SECOND INDUSTRIAL REVOLUTION. WIKIPEDIA. Disponível em:<https://en.wikipedia.org/wiki/Second_Industrial_Revolution>. Acesso em: 13/05/2019.
- [8] PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER. WIKIPEDIA. Disponível em:<https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller>. Acesso em 13/05/2019.
- [9] PLC. ENGPROCESS. Disponível em:<<https://engprocess.com.br/plc/>>. Acesso em: 14/05/2019.
- [10] WHAT IS SCADA. INDUCTIVE AUTOMATION. Disponível em:<<https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>>. Acesso em 16/05/2019.
- [11] IHM. CITI SYSTEMS. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/ihm/>>. Acesso em 16/05/2019.
- [12] HOW SMART CITY BARCELONA BROUGHT THE INTERNET OF THINGS TO LIFE. DATASmart. Disponível em:<<https://datasmart.ash.harvard.edu/news/article/how-smart-city-barcelona-brought-the-internet-of-things-to-life-789>>. Acesso em: 22/05/2019.
- [13] 8 USES APPLICATIONS AND BENEFITS OS INDUSTRIAL IOT IN MANUFACTURING. NEWGENAPPS. Disponível em:<<https://www.newgenapps.com/blog/8-uses-applications-and-benefits-of-industrial-iot-in-manufacturing>>. Acesso em 22/05/2019.
- [14] CISCO KINETIC FOR OIL AND GAS REFINERIES AND PLANTS. IOTONE. Disponível em:<<https://www.iotone.com/casestudy/cisco-kinetic-for-oil-and-gas-refineries-and-plants/c965>>. Acesso em: 22/05/2019.
- [15] NUMBER OF IOT DEVICES NOW. IOT ANALYTICS. Disponível em:<<https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>>. Acesso em: 23/05/2019.
- [16] INDUSTRY 4.0 AND SMART MANUFACTURING. IOT ANALYTICS. Disponível em:<<https://iot-analytics.com/industry-4-0-and-smart-manufacturing/>>. Acesso em 23/05/2019.
- [17] INTERNET OF THINGS FORECASTS AND MARKET ESTIMATES. FORBES. Disponível em:<<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2018/12/13/2018-roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates/#6e911ea17d83>>. Acesso em 26/05/2019.
- [18] WESTER, craig. HIGH INPEDANCE FAULT DETECTION ON DISTRIBUTION SYSTEMS. Disponível em:<<https://store.gegridsolutions.com/FAQ/Documents/DFP200/GER-3993.pdf>>. Acesso em 27/05/2019.
- [19] SCADA SYSTEM COMPONENTS ARCHITECTURE. ELECTRICALFUNDABLOG. Disponível em:<<https://electricalfundablog.com/scada-system-components-architecture/>>. Acesso em: 29/05/2019.
- [20] KEY TRENDS IOT DEVELOPER SURVEY. BENJAMIN-CABE. Disponível em:<<https://blog.benjamin-cabe.com/2018/04/17/key-trends-iot-developer-survey-2018>>. Acesso em: 29/05/2019;
- [21] RABBITMQ AMQP MQTT. MEDIUM. Disponível em:<<https://medium.com/codersgarage/rabbitmq>>

- amqp-mqtt-rest-of-the-world-74433c5ff8c7>. Acesso em 01/06/2019.
- [22] WATER SECURITY THE ROLE OF SCADA SYSTEM. AUTOMATION. Disponível em:<<https://www.automation.com/library/articles-white-papers/hmi-and-scada-software-technologies/water-security-the-role-of-the-scada-system>>. Acesso em 15/11/2019.
- [23] IOT BRASILIA. NEORADAR. Disponível em:<<https://neoradar.uai.com.br/iot-brasil>>. Acesso em 15/11/2019.
- [24] IOT CAESB. CAESB. Disponível em:<<https://caesb.df.gov.br/novos-equipamentos/8-portal/noticias.html>>. Acesso em 17/11/2019.
- [25] COMMUNICATION IN SMART WATER NETWORKS. SWAN. Disponível em:<https://www.swan-forum.com/wp-content/uploads/sites/218/2016/06/SWAN-White-Paper_Communication-Protocols.pdf>. Acesso em: 17/09/2019.
- [26] HOW IOT SOLUTIONS IS DISRUPTING WATER UTILITIES. IOTSWORLDCONGRESS. Disponível em:<<https://www.iotsworldcongress.com/how-iot-solutions-is-disrupting-water-utilities/>>. Acesso em: 21/11/2019.
- [27] MQTT. DZONE. Disponível em:<<https://dzone.com/articles/why-mqtt-has-become-the-de-facto-iot-standard>>. Acesso em 02/12/2019.
- [28] DNP3. WIKIPEDIA. Disponível em:<<https://en.wikipedia.org/wiki/DNP3>>. Acesso em: 02/12/2019.
- [29] MOSQUITTO. MOSQUITTO. Disponível em:<<https://mosquitto.org/>>. Acesso em: 04/12/2019.
- [30] NODE JS. NODE JS. Disponível em:<<https://nodejs.org/en/>>. Acesso em: 10/04/2019.
- [31] BOOTSTRAP. GETBOOTSTRAP. Disponível em:<<https://getbootstrap.com/>>. Acesso em 04/12/2019.
- [32] INTER-PROCESS COMMUNICATION. WIKIPEDIA. Disponível em:<https://en.wikipedia.org/wiki/Inter-process_communication>. Acesso em: 10/11/2019.
- [33] COMPONENT-BASED SOFTWARE ENGINEERING. IEEE. Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/896722/references#references>>. Acesso em: 23/11/2019.
- [34] FIGURA 1. Disponível em:<<https://slideplayer.com/slide/12634327/76/images/5/Hardwired+Relay+and+Switch.jpg>>. Acessado em 16/05/2019.
- [35] FIGURA 2. Disponível em:<<https://www.rs-online.com/designspark/rel-ssets/dsauto/temp/uploaded/ib2.jpg?w=815>>. Acesso em: 16/05/2019.
- [36] FIGURA 3. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/wpcontent/uploads/2016/07/IHM.jpg>>. Acesso em: 19/05/2019.
- [37] FIGURA 4. Disponível em:<https://www.researchgate.net/figure/SCADA-system-Heat-station_fig2_268414768>. Acesso em: 19/05/2019.
- [38] FIGURA 5. Disponível em:<<https://inductiveautomation.com/blog/sites/default/files/inline-images/BasicSCADADiagram%402x.png>>. Acesso em 16/05/2019.
- [39] FIGURA 6. Disponível em:<<https://images.idgesg.net/images/article/2019/01/industrial-iot-sensor-battery-100784076-large.jpg>>. Acesso em 23/05/2019.
- [40] FIGURA 7. Disponível em:<<https://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2018/08/Number-of-IoT-devices-worldwide-2015-2025-Aug-2018-min.png>>. Acesso em 23/05/2019.
- [41] FIGURA 8. Disponível em:<<https://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2018/08/Global-IoT-Market-Forecast-2017-2025.png>>. Acesso em 23/05/2019.
- [42] FIGURA 9. Disponível em:<<https://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2018/11/Industry-4.0-and-Smart-Manufacturing-Market.png>>. Acesso em 23/05/2019.
- [43] FIGURA 12. Disponível em:<<https://i0.wp.com/www.logiquesistemas.com.br/wp-content/uploads/2017/07/piramide-automacao.png?ssl=1>>. Acesso em: 29/05/2019.

[44] FIGURA 13. Disponível em: <<https://www.elprocus.com/wp-content/uploads/2013/10/Architecture-of-SCADA-system.png>>. Acesso em: 29/05/2019.