

Interface IoT - *Thingable!* da Planta Didática 3 - *Smar*

1st Lucas Tavares Machado
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
lucas.tavares@ufv.br

2nd André Gomes Torres
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
angoto@ufv.br

Resumo—Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma interface intuitiva e simples que permite ao operador realizar modificações no funcionamento de uma planta industrial de forma imediata, simulando a experiência de um ambiente industrial real. Para isso, foi implementada uma comunicação por meio do protocolo *MQTT*, utilizado para a transmissão dos dados. Por intermédio da interface *low-code Node-RED*, foi realizada a interconexão entre o servidor *OPC* do controlador da planta e a plataforma IoT *Thingable!*, na qual foi criada a *dashboard* em nuvem acessível por meio de computadores e aparelhos móveis com conexão à internet. A partir dessa interface de monitoramento e controle, foi possível enviar comandos em tempo real para a planta, além de receber alertas e notificações por e-mail.

Palavras chave—Automação Industrial, controle de processos, Internet das Coisas, Protocolo *MQTT*, *Node-RED*, *dashboard*.

I. INTRODUÇÃO

Desde meados do século XX, o uso disseminado da Internet, aliado à rápida evolução tecnológica, resultou na redução do custo dos dispositivos eletrônicos, tornando-os mais acessíveis e de fácil utilização. Nesse contexto de constante inovação, a indústria e a comunidade científica passaram a aplicar avanços provenientes de anos de pesquisa e investimento.

As transformações decorrentes desse processo têm provocado impactos significativos na sociedade contemporânea, influenciando dimensões sociais, culturais e econômicas. Trata-se de uma revolução digital e tecnológica sem precedentes, caracterizada pela crescente adoção de soluções tecnológicas voltadas à facilitação das atividades cotidianas [1].

Nesse sentido, com o advento da Internet, tornou-se necessária a criação de protocolos capazes de estabelecer a comunicação entre emissores e receptores de informações. Dentre esses, destaca-se o *Protocolo de Transferência de Hipertexto* (HTTP), atualmente consolidado como o protocolo de aplicação mais utilizado na Internet. O HTTP define a estrutura e as regras de transmissão das mensagens trocadas entre cliente e servidor, possibilitando a solicitação e entrega de conteúdos em uma arquitetura cliente-servidor [2].

A automação industrial surgiu com o propósito de aprimorar o trabalho humano por meio de máquinas e sistemas de controle, otimizando e monitorando processos produtivos. Essa abordagem visa elevar a eficiência e a qualidade dos produtos. A partir da década de 1980, o conceito expandiu-se para

o contexto residencial e predial, proporcionando benefícios como maior segurança, conforto e eficiência energética [3].

No ambiente industrial, o estudo apresentado por Albuquerque e Silva [4] analisa as vantagens da automação nos processos produtivos, destacando seus principais componentes: sistemas de controle, supervisão, controladores lógicos programáveis (CLPs) e redes de comunicação industrial.

Com o avanço tecnológico, a automação vem sendo constantemente aprimorada. Em paralelo, o conceito de *Internet das Coisas* (IoT) ganhou relevância, propondo a conexão de dispositivos eletrônicos cotidianos à Internet ou a bancos de dados por meio de redes de sensores. Essa integração possibilita o processamento e o compartilhamento de informações, proporcionando benefícios diretos aos usuários [5].

A incorporação da IoT à automação industrial impulsionou o surgimento de ambientes produtivos inteligentes, baseados em tecnologias como *inteligência artificial* e *computação em nuvem*. Essa combinação permite a troca de dados em tempo real e a tomada de decisões autônomas, reduzindo a necessidade de intervenção humana. Sensores e atuadores conectados são integrados a todas as etapas da cadeia produtiva, formando uma rede dinâmica que amplia a visibilidade e o controle dos processos [6].

O trabalho de Marques [7] evidencia que a integração entre automação e os princípios da *Indústria 4.0* resulta em ganhos expressivos de produtividade. De acordo com os resultados apresentados, a eficiência dos processos produtivos pode ser ampliada em aproximadamente 23%.

No contexto da conectividade, Pimentel e Munaro [8] propõe um sistema de monitoramento de plantas industriais baseado em *computação em nuvem*, demonstrando as vantagens da interface de controle remoto sobre o controle local. A abordagem remota oferece maior capacidade de processamento e viabiliza o treinamento de algoritmos de detecção de falhas com maior precisão.

Somado a isso, Bezerra [9] apresenta o uso da ferramenta *Node-RED* como solução *low-code* para integração de dados em tempo real. O estudo destaca a facilidade de utilização da plataforma, que permite a troca de informações entre dispositivos sem a necessidade de conhecimento avançado em programação.

Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de supervisão para uma planta industrial didática (PD3), da Nova Smar S/A, integrando dados em nuvem com base nos conceitos de IoT. O sistema utiliza sensores e atuadores interconectados e uma *dashboard* desenvolvida na plataforma IoT *Thingable!*, permitindo a comunicação direta com a planta por meio do protocolo *MQTT*. A solução possibilita o recebimento de dados em tempo real, o monitoramento das variáveis do processo e o envio de comandos com execução imediata, além da configuração de alarmes e do envio automático de notificações por e-mail, garantindo maior segurança operacional e confiabilidade no monitoramento remoto.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Planta didática 3 (PD3)

Como objeto de estudo para a automação, a planta didática 3 (PD3), do fabricante *Smar* (Figura 1), disponibiliza aos instrutores e aprendizes todos os componentes de um sistema de controle e automação, permitindo sua manipulação e monitoramento. A planta oferece processos de controle e supervisão em um sistema compacto, porém fiel à realidade da automação industrial.

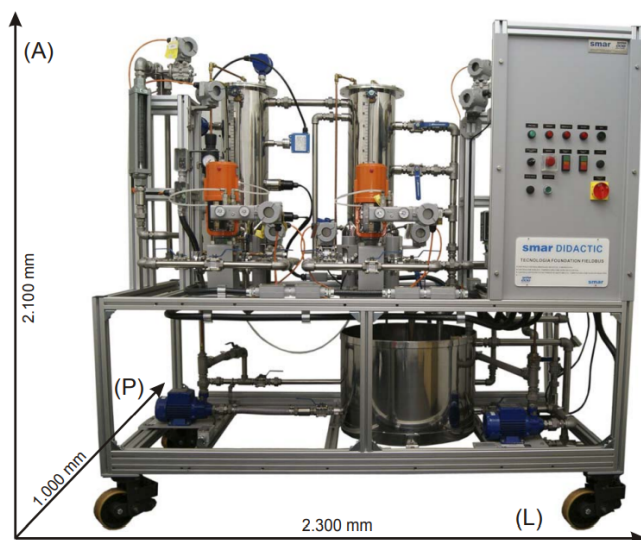


Figura 1. Planta didática PD3 (*Smar*). Fonte: [10].

As malhas de controle da planta reproduzem as mesmas condições de campo encontradas por profissionais experientes em instrumentação, oferecendo acesso à tecnologia de ponta disponível no mercado [10]. A planta está localizada no *Laboratório de Pesquisa de Processos Industriais e Padrões de Movimentos e Acústica (LEPP)*, vinculado ao Departamento de Engenharia Elétrica da *UFV*. São dez variáveis a serem controladas — oito analógicas e duas digitais — distribuídas da seguinte forma: duas vazões (para os tanques de aquecimento e mistura), nível do tanque de aquecimento, duas temperaturas dos tanques, duas posições de válvulas pneumáticas, duas bombas d'água e o sinal de 4 a 20 mA do aquecedor.

Para a medição e atuação dessas variáveis, a planta conta com dispositivos-chave: TT302 (*transmissor de temperatura*), LD302 (*transmissor de vazão e pressão*) e FY302 (*posicionador de válvulas*). Todos esses componentes podem ser visualizados na Figura 2.

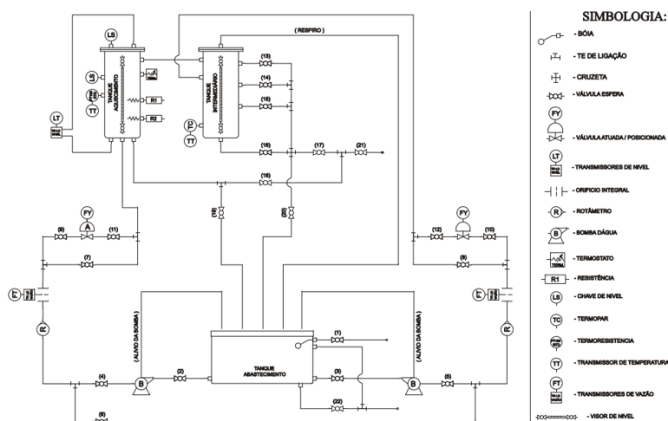


Figura 2. Esquema da planta didática PD3 (*Smar*). Fonte: [10].

A planta usa a tecnologia *Foundation Fieldbus* na comunicação entre os dispositivos e o *CLP (Controlador Lógico Programável)*. O *CLP* utilizado é o DFI302, da própria fabricante, um dispositivo modular e flexível responsável por intermediar a comunicação com a planta. O *OPC (Open Platform Communications)* é um padrão amplamente adotado na indústria para comunicação entre controladores, dispositivos de campo e sistemas de monitoramento, independentemente do fabricante.

Neste trabalho, o servidor *OPC* do controlador DFI302 fornece as variáveis de processo para a plataforma *Node-RED*, que atua como cliente *OPC*, permitindo a integração com a plataforma *Thingable!* para monitoramento e controle em um ambiente IoT.

B. Protocolo MQTT

A comunicação entre a planta didática e o sistema supervisor é realizada por meio do protocolo *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)*. Amplamente empregado em aplicações de *Internet das Coisas*, esse protocolo adota a arquitetura *publicador/assinante*. As informações são transmitidas e recebidas por tópicos, gerenciados por um servidor intermediário denominado *broker*. Diversos tópicos podem ser utilizados simultaneamente sem interferência entre mensagens. Um mesmo cliente pode atuar como *publicador*, enviando dados a um tópico, e como *assinante*, recebendo dados dos tópicos aos quais está vinculado. A popularidade do *MQTT* deve-se, principalmente, ao baixo consumo de energia e à simplicidade de configuração e uso [11].

C. Node-RED

O *Node-RED* é fundamental para o envio e recebimento de dados entre a planta e o sistema de supervisão. Por meio dele, foi realizada a interconexão entre o servidor *OPC*

do controlador e o *broker MQTT*. A Figura 3 ilustra essa comunicação.

Os nós da interface podem ser classificados em três categorias: entrada, processamento e saída, que, quando interligados, formam um fluxo de dados. Neste projeto, os nós de entrada e saída utilizados foram, respectivamente, *mqtt in* e *mqtt out*. O nó *mqtt in* recebe (ou “assina”) as informações enviadas ao sistema, enquanto o nó *mqtt out* publica esses dados em um tópico específico do servidor *MQTT*. Os nós de processamento ajustam e formatam os dados recebidos ou transmitidos, conforme as estruturas previamente definidas [12].

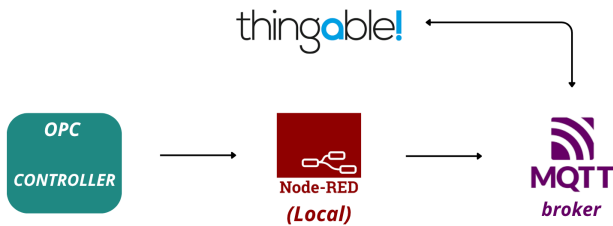


Figura 3. Comunicação via *Node-RED*.

D. Plataforma *Thingable!*

A plataforma IoT *Thingable!* é responsável pela exposição dos dados da planta ao operador, bem como pela execução dos comandos em tempo real. Uma das vantagens de sua utilização é a integração com dispositivos *mobile*, ampliando o alcance e a acessibilidade da aplicação.

Para criar uma aplicação na *Thingable!*, é necessário definir duas entidades: “Tipos” e “Dispositivos”. Os “Tipos” agrupam “Dispositivos” com características em comum, enquanto os “Dispositivos” representam os objetos a serem controlados e monitorados [12]. Neste trabalho, os “Dispositivos” correspondem à planta didática e aos seus processos.

Com o auxílio do *Logic Builder* (módulo da plataforma que integra a interface do *Node-RED*), foi desenvolvida uma *dashboard* voltada à experiência do usuário, garantindo melhor interação entre o operador e a interface supervisória.

III. DESENVOLVIMENTO

A. Comunicação servidor OPC - *Thingable!*

Inicialmente, foi estabelecida a comunicação entre o servidor *OPC* do controlador (DFI 302) e a plataforma *Thingable!* por meio da interface *low-code Node-RED*, intermediada pelo *broker MQTT*. A comunicação entre os elementos é ilustrada na Figura 4, permitindo a atualização dos dados, em tempo real, que são injetados na plataforma IoT. Neste fluxo, os dados dos dispositivos da planta são lidos do servidor *OPC DA* do *CLP* e são relacionados às tags referentes a cada instrumento transdutor pelo nó “*opcda-read*”. São transformados em objetos *JSON* (*JavaScript Object Notation*) pelo nó “*function - MQTT JSON*” e enviados ao *broker* (servidor *MQTT*) pelo último nó desse fluxo - *mqtt out*. O primeiro nó serve para gerar uma mensagem de disparo periodicamente, sendo que a cada ativação, solicita uma leitura de dados *OPC*.

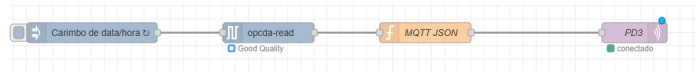


Figura 4. Nós de comunicação entre *OPC* e *Thingable!*.

Dentro da plataforma (*Thingable!*), os dados foram tratados da seguinte forma:

Como ponto de partida, é necessário a criação de um “Tipo” que será relacionado a um “Dispositivo” dentro do site. Nas definições do Tipo, na guia “Schema” são atualizados as tags que serão armazenadas na base de dados com as variáveis instanciadas. Na Figura 5 fica evidente esta configuração.

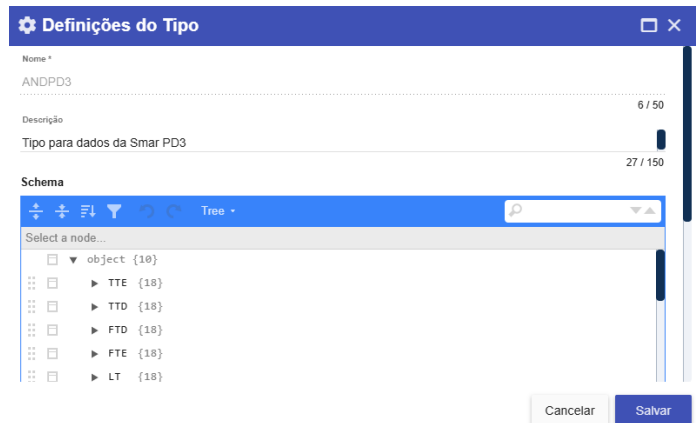


Figura 5. Definições do “Tipo” na *Thingable!*.

Os pacotes *JSON* de cada instrumento da planta são recebidos pela plataforma com suas informações relevantes, sendo cada instrumento registrado como uma *tag* na base de dados do *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*), podendo ser analógica ou digital. Com os dados catalogados, torna-se possível o tratamento e monitoramento das informações recebidas.

Após a criação do dispositivo, faz-se necessária a criação do aplicativo, que atuará como a interface responsável por suportar e organizar a *dashboard*, desenvolvida a partir dos dados recebidos da planta industrial. Esse aplicativo tem a função de centralizar as informações provenientes do controlador da planta, permitindo a visualização em tempo real, análise histórica e monitoramento do desempenho do sistema por meio de indicadores gráficos e painéis interativos.

B. Comandos

Em relação aos comandos da interface de controle foram criados nós no *Logic Builder* da plataforma, utilizando a biblioteca “*mdashboard*” do *Node-RED*. Com a inserção de nós de botões e controles deslizantes, foram implementados comandos de ligar/desligar as bombas 1 e 2, controle de abertura das válvulas e ajuste do sinal do aquecedor. Estes nós de comandos podem ser visualizados na Figura 6.

Na Figura 7 vê-se com mais detalhes a função representada no fluxo da Figura 6 que tem como objetivo atualizar o valor

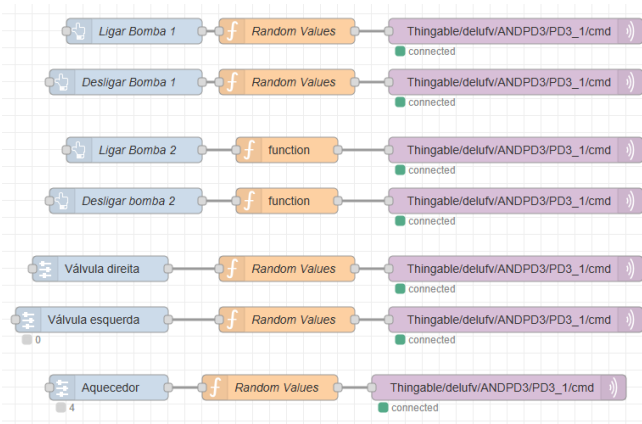


Figura 6. Nós de comandos no *Logic Builder* da *Thingable!*.

de uma variável na base de dados da plataforma, enviando uma mensagem no formato *JSON*. Nela, são definidos o tipo e o identificador do dispositivo, além do *payload*, que contém as variáveis monitoradas, como no exemplo, a variável *MOT2*. A função também coleta o carimbo de data e hora do momento da execução, representado pela variável *dt*, permitindo que as informações enviadas sejam associadas ao tempo de aquisição. Dessa forma, a função atua como um mecanismo de atualização e sincronização dos dados do dispositivo com o sistema de supervisão, garantindo que a base de dados reflita o estado atual da planta em tempo real.

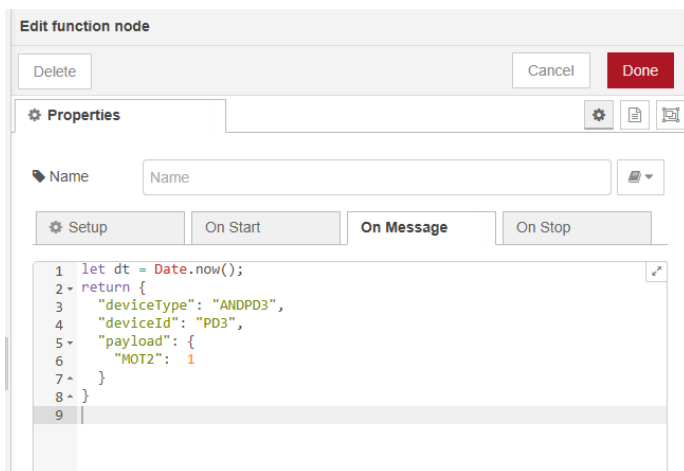


Figura 7. Função de mudança de valor da variável no fluxo de comandos.

Os sinais de comando configurados na plataforma IoT são processados pelo *Node-RED* local, que se comunica diretamente com o servidor *OPC* do controlador, conforme a Figura 8. Neste fluxo, os sinais são recebidos pelo nó *mqtt in* "CMD PD3" e passam por nós interruptores que direcionam os comandos às variáveis específicas da planta. Os nós de função executam os comandos, transferindo as alterações de estado até o servidor *OPC*.

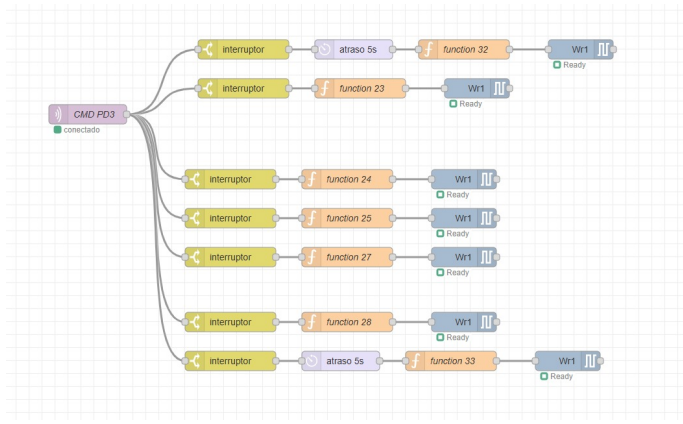


Figura 8. Fluxo de comandos no *Node-RED* até o servidor *OPC*.

C. Alarmes

O *widget* de alarmes foi configurado no *Logic Builder*. O fluxo da configuração é apresentado na Figura 9. Esse fluxo tem a função de configurar e atualizar os alarmes das variáveis monitoradas. O nó *inject* é responsável por iniciar o processo, enviando o comando de execução de forma manual ou em intervalos programados. Em seguida, o nó *function* atualiza o banco de dados do *SCADA*, implementando faixas de operação de cada *tag*, limites máximos e mínimos, e condições de alarme — informações que serão utilizadas pela plataforma para exibição e controle na interface da *dashboard*.

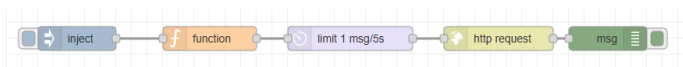


Figura 9. Fluxo de alarmes.

Cada variável é organizada em um formato padronizado, com campos como *path*, *type*, *tag*, *description*, *max*, *min* e *alarm_ranges*. Além disso, há o campo *metafields*, que adiciona o *timestamp*, registrando o instante exato da medição, e o campo *history*, que define o armazenamento histórico na base de dados.

Ao final, o nó *function* retorna uma mensagem com o identificador do dispositivo (*deviceId*), o tipo de dispositivo (*deviceType*) e o *payload* contendo o objeto de dados, que será transmitido para a *API* da plataforma. Uma parte do código do nó pode ser visualizado na Figura 10.

O nó "limit 1 msg/5s" atua como um regulador, impedindo o envio excessivo de mensagens para evitar sobrecarga na comunicação. O nó *http request* realiza o envio dos dados gerados para a *API* da *Thingable!*, atualizando o banco de dados com os valores e parâmetros definidos. Por fim, o nó "msg" exibe o retorno da requisição, confirmando o sucesso da atualização das variáveis e dos alarmes no sistema.

D. Notificação de alarmes por e-mail

O fluxo apresentado na Figura 11 tem como objetivo realizar o monitoramento das variáveis publicadas pela plataforma *Thingable!* e a partir daí, fazer o envio automático

```

dados = {
  "points": [
    {
      "path": "TTE",
      "type": "number",
      "tag": "58_AI_0001",
      "description": "Temperatura do tanque 01",
      "metafields": [
        {
          "path": "timestamp",
          "title": "timestamp",
          "ref": "*",
          "type": "string"
        }
      ]
    },
    {
      "history": {
        "bucket": "default"
      }
    },
    {
      "max": 80,
      "min": -0.1,
      "alarm_ranges": [
        {
          "max": 70,
          "min": 50,
          "description": "Temperatura alta!"
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Figura 10. Nó *function* do fluxo de alarmes.

de notificações por e-mail quando condições de alarme são detectadas. O nó inicial, identificado como “*Thingable/delufv/ANDPD3/PD3_1/evt*”, é responsável por receber os dados provenientes da planta. A partir desse nó, os dados são encaminhados para dois ramos paralelos, cada um iniciando com um nó *switch*. Esses nós têm a função de analisar o conteúdo da mensagem recebida, comparando os valores das variáveis com limites pré-definidos, a fim de identificar situações anormais, como temperatura elevada ou nível de tanque baixo. Quando uma condição de alarme é satisfeita, a mensagem é direcionada para o nó *function*, que realiza o processamento dos dados e formata o texto descritivo do evento detectado.

O nó *html* transforma o conteúdo em um formato visualmente estruturado, adequado para envio por e-mail. Por fim, o nó e-mail consolida as mensagens recebidas e realiza o envio automático das notificações para o endereço previamente configurado. Esse nó utiliza o protocolo *SMTP* (*Simple Mail Transfer Protocol*) para realizar a comunicação com o servidor de e-mails, permitindo o envio de mensagens de forma segura e automatizada.

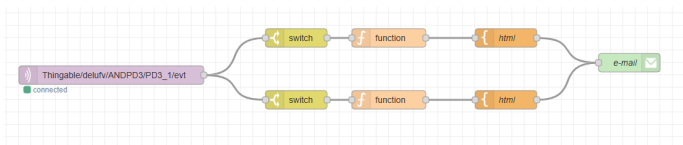


Figura 11. Fluxo de notificação de alarmes via e-mail.

Na configuração mostrada pela Figura 12, o campo *To* define o endereço do destinatário que receberá os alertas, enquanto o campo *Server* especifica o servidor utilizado pelo provedor de e-mail — neste caso, o servidor do Gmail (*smtp.gmail.com*). A porta 465 é utilizada em conjunto com a opção de conexão segura (*Use secure connection*), garantindo a transmissão

criptografada das informações. A autenticação é feita no modo *Basic*, em que são informados o nome de usuário e a senha da conta responsável pelo envio das mensagens, configurados nos campos *Userid* e *Password*. A opção *TLS option* é habilitada para assegurar a validação do certificado do servidor, reforçando a segurança da comunicação.

Figura 12. Nó de configuração de e-mail.

Para o envio de notificações via e-mail no ambiente *Logic Builder* da *Thingable!*, foi necessário configurar o nó e-mail utilizando uma senha de aplicativo do Google. Para isso, primeiramente acessou-se a conta Google que irá enviar a notificação por meio do endereço <https://myaccount.google.com>. Em seguida, na aba de segurança, foi ativada a verificação em duas etapas, condição obrigatória para o uso de senhas de app. Após essa etapa, habilitou-se a opção “Senhas de app”, na qual foi criada uma nova senha específica para o *Node-RED*. Durante a criação, selecionou-se “E-mail” como aplicativo e “Outro (*Node-RED*)” como dispositivo. O Google, então, gerou uma senha composta por 16 caracteres, que substitui a senha pessoal na configuração do nó de e-mail, garantindo a autenticação segura do envio das notificações.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a criação dos fluxos de comunicação e dos comandos no *Logic Builder* da plataforma *Thingable!* e o estabelecimento da comunicação entre a planta e a plataforma, desenvolveu-se a interface de acesso do usuário, a *dashboard*, associando cada *widget* à sua respectiva *tag*. A Figura 13 apresenta algumas informações coletadas da planta didática contidas no aplicativo: temperaturas dos tanques de aquecimento e mistura (parte superior esquerda); vazões das bombas (ao lado dos *widgets* de temperatura); gráfico de tendência do nível do

tanque de aquecimento (parte superior esquerda); gráfico de tendência das temperaturas dos tanques de aquecimento e mistura (logo abaixo do gráfico de nível); dois *gauges* que indicam a abertura das válvulas (parte superior central); área de Comandos e Sinalizadores (canto superior direito), gráfico de tendência das vazões para os tanques (abaixo da área de comandos e sinalizadores), e por fim, na parte inferior os alarmes.



Figura 13. Widgets na dashboard.

A Figura 14 apresenta a interface de comandos e sinalizadores desenvolvida no painel supervisorio da planta didática. Na seção denominada Comandos, o operador possui controle direto sobre os atuadores do sistema, podendo acionar ou desligar as bombas 1 e 2, bem como ajustar o nível de atuação do aquecedor e a abertura das válvulas direita (vazão para tanque de aquecimento) e esquerda (vazão para tanque de mistura), por meio de controles deslizantes (*sliders*). Esses elementos enviam, via protocolo *MQTT*, os comandos ao controlador lógico programável (CLP), permitindo a operação remota e em tempo real do processo. Já a seção Sinalizadores exibe o estado atual de cada equipamento, como o status das bombas (ligadas ou desligadas), a porcentagem de abertura das válvulas e a corrente de saída do aquecedor em miliampères (mA). Dessa forma, o painel possibilita ao usuário supervisionar e controlar a planta de forma integrada, intuitiva e segura.

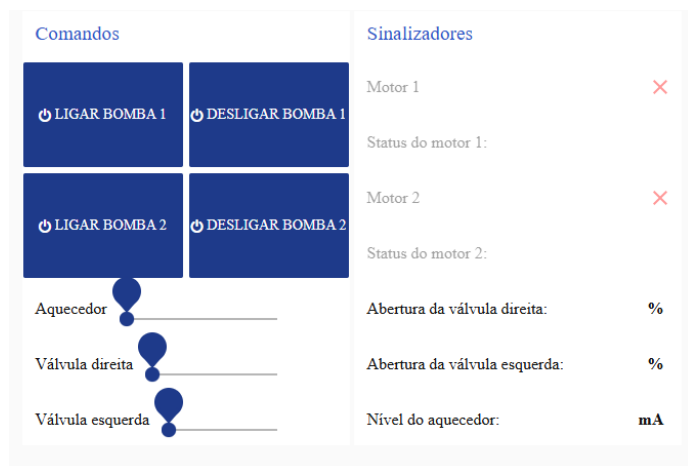


Figura 14. Comandos na dashboard.

Em relação a parte de alarmes, a Figura 15 apresenta o painel de atualização e monitoramento de alarmes do sistema supervisorio. Esse módulo foi implementado com o objetivo de registrar e exibir, em tempo real, o estado das variáveis monitoradas na planta didática. Cada linha da tabela exibe informações detalhadas, como data e hora da ocorrência, identificação da variável (*Tag*), valor medido, dispositivo associado, tipo e seu estado atual. O campo Estado indica a condição de operação da variável, podendo assumir diferentes níveis conforme a situação detectada. No exemplo mostrado, todas as variáveis encontram-se com o estado *Normalized*, representado em verde, indicando que o sistema está operando dentro dos limites normais. Esse recurso permite que o operador identifique rapidamente alterações de processo, falhas ou condições críticas, garantindo maior confiabilidade e rastreabilidade no controle e supervisão da planta.

Atualizações/Alarmes						
data/hora	Tag	Valor	Dispositivo	Tipo	Descrição	Estado
23/06/2025 11:25	SB_AL_0004	1.070,29	PD3_1	ANDPD3		Normalized
23/06/2025 10:59	SB_AL_0005	69,31	PD3_1	ANDPD3		Normalized
23/06/2025 10:41	SB_AL_0003	0,00	PD3_1	ANDPD3		Normalized
23/06/2025 10:28	SB_AI_0006	4,00	PD3_1	ANDPD3		Normalized

Figura 15. Widget de alarmes.

A Figura 16 apresenta um exemplo de notificação automática enviada por e-mail pelo sistema supervisorio. Essa funcionalidade foi desenvolvida com o objetivo de alertar o operador sobre condições anormais de operação, mesmo quando ele não estiver diretamente conectado à interface supervisorio. O envio da mensagem é realizado por meio do nó e-mail do *Node-RED*, configurado para utilizar o servidor *SMTP* do Gmail. Quando o valor de determinada variável ultrapassa o limite estabelecido no nó *function*, o sistema gera uma mensagem contendo o tipo de evento, o equipamento afetado e o valor atual do parâmetro medido. No exemplo mostrado, o alarme indica uma temperatura elevada no tanque de aquecimento (equipamento TTE), com valor de 60 °C. Esse recurso contribui significativamente para a segurança operacional e para a manutenção preventiva, permitindo uma resposta rápida a possíveis falhas ou sobreaquecimentos no processo.

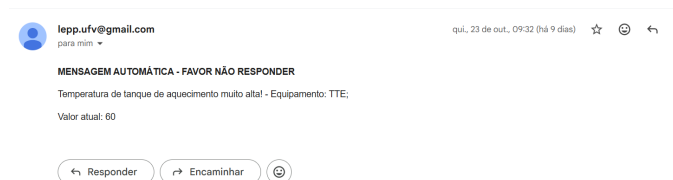


Figura 16. E-mail de notificação de alteração em variável.

A responsividade da *dashboard* foi verificada em diferentes dispositivos e tamanhos de tela, adaptando-se automaticamente a *layouts mobile* ou de computador (Figura 17). Além disso, a comunicação em tempo real entre os elementos foi confirmada, garantindo que comandos e leituras da planta ocorressem de forma síncrona.

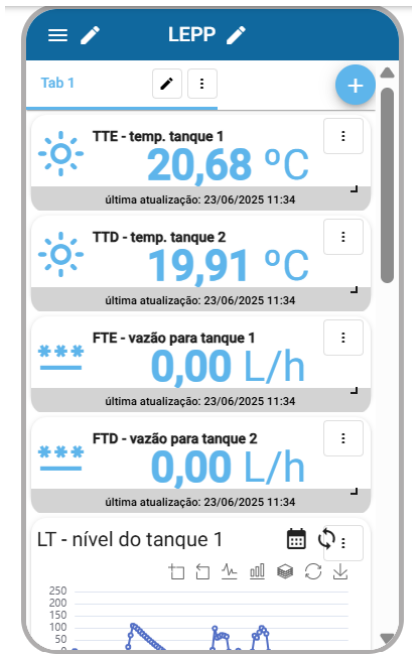


Figura 17. Dashboard mobile.

V. CONCLUSÃO

Ao final do desenvolvimento deste projeto, foi possível comprovar a viabilidade e a eficiência da solução proposta, que integrou a planta didática PD3 a uma interface gráfica moderna e acessível por meio da plataforma *Thingable!*. A comunicação utilizando o protocolo *MQTT* apresentou excelente desempenho, com baixa latência e alta confiabilidade na transmissão de dados entre a instalação física e o painel supervisor, assegurando o funcionamento contínuo e sincronizado do sistema.

A integração com o *Node-RED* mostrou-se fundamental para a criação de fluxos lógicos entre os dispositivos físicos e a nuvem, possibilitando o tratamento e a transferência eficiente das variáveis de processo. A configuração de nós para leitura, processamento, publicação e recebimento de comandos proporcionou um sistema flexível e modular, facilmente adaptável a futuras expansões ou à integração de novos equipamentos.

Além disso, a plataforma *Thingable!* demonstrou robustez e facilidade de uso, oferecendo recursos que atenderam plenamente às demandas do projeto, como visualização em tempo real, configuração de alarmes, envio de notificações automáticas e execução de comandos remotos. O módulo de alarmes implementado foi capaz de identificar variações críticas nas variáveis monitoradas e registrar os eventos em tempo real, permitindo rastreabilidade e histórico das ocorrências. Complementarmente, o sistema de envio de e-mails automáticos configurado no *Node-RED* garantiu a notificação imediata ao operador sempre que condições anormais de operação, como temperatura excessiva no tanque de aquecimento, foram detectadas. Essa funcionalidade ampliou a segurança operacional e a confiabilidade do sistema, mesmo em situações de monitoramento remoto.

Outro aspecto relevante foi a validação dos comandos executivos, incluindo o acionamento e desligamento de bombas, controle de válvulas e ajuste do aquecedor, os quais responderam prontamente às solicitações enviadas pelo painel supervisor, confirmando a precisão e a estabilidade esperadas em aplicações de automação industrial. A interface desenvolvida proporcionou ainda uma experiência de uso satisfatória, com um *design* intuitivo, responsivo e compatível com diferentes dispositivos, como computadores, tablets e smartphones.

Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se a incorporação de funcionalidades baseadas em *inteligência artificial*, como sistemas de previsão de falhas e otimização automática dos parâmetros de operação. Também é possível expandir o sistema para incluir históricos de dados mais detalhados e integração com *dashboards* gerenciais, além da implementação de um sistema de envio automático de relatórios por e-mail ao usuário, contendo informações detalhadas sobre o funcionamento da planta didática. Esses relatórios poderiam incluir dados históricos de temperatura, nível e vazão dos tanques, além de registros de alarmes e status dos atuadores. A funcionalidade teria como objetivo aprimorar o monitoramento remoto e a rastreabilidade das variáveis do processo, permitindo ao operador acompanhar o desempenho da planta de forma prática e segura, sem a necessidade de acesso direto à interface do *Thingable!* ou do *Node-RED*. Essa melhoria também possibilitaria a análise periódica dos dados, favorecendo ações preventivas e otimização do controle do sistema.

Dessa forma, conclui-se que a solução desenvolvida não apenas atendeu aos objetivos propostos, como também demonstrou potencial para aplicação em ambientes industriais reais, oferecendo uma alternativa de baixo custo, alta eficiência e fácil implementação para o monitoramento e controle de processos industriais por meio da *Internet das Coisas*.

REFERÊNCIAS

- [1] J. M. de Moraes, C. Quirino, R. M. de Almeida, and J. E. D. A. Neves, "Internet das Coisas (IoT): casa inteligente, definições e aplicações," **Revista Brasileira em Tecnologia da Informação**, vol. 4, no. 2, pp. 31–37, 2022.
- [2] R. P. Beock, C. F. Consone, L. R. Lima, and E. Petrica, "Protocolo HTTP," Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) – Colíder, 2022. [Online].
- [3] F. Q. Lena, A. M. de Oliveira, and S. Maria, "Utilização do protocolo MQTT para sistemas de IoT voltado para automação residencial," [Online].
- [4] A. C. M. L. de Albuquerque and D. R. C. Silva, **Introdução à Automação Industrial**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2021.
- [5] T. Wanzeler, H. Fulber, and B. Merlin, "Desenvolvimento de um sistema de automação residencial de baixo custo aliado ao conceito de Internet das Coisas (IoT)," in **XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações**, Santarém, PA, 2016, pp. 40–44.
- [6] F. E. Q. de Lima Filho and E. P. da Rocha, "Indústria 4.0: explorando a convergência entre IoT e computação em nuvem," 2024.
- [7] R. P. Marques, "Os impactos da Indústria 4.0 na automação industrial," 2022.
- [8] M. R. Pimentel and C. J. Munaro, "Sistema baseado em nuvem para o monitoramento de uma planta industrial," in **Congresso Brasileiro de Automática (CBA)**, vol. 3, no. 1, 2022.
- [9] D. S. Bezerra *et al.*, "Node-Red: low-code para resolver problemas de sistemas orientados a eventos," Universidade Federal de Campina Grande, 2022.

- [10] Smar Equipamentos Industriais Ltda., *PD3-P – Manual de Instruções, Operação e Manutenção*. São Carlos, Brasil, 2015. [Online]. Available: <http://www.smar.com.br>. Accessed: Jun. 13, 2025.
- [11] S. Quincozes, T. Emilio, and J. Kazienko, “MQTT protocol: fundamentals, tools and future directions,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 9, pp. 1439–1448, 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8931137.
- [12] J. V. M. A. Marques and A. G. Torres, “Desenvolvimento de um sistema supervisor web para automação residencial,” in *Anais da Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Engenharia Elétrica*, Viçosa, Brasil, 2024.


LUCAS TAVARES MACHADO

INTERFACE IOT - *THINGABLE!* DA PLANTA DIDÁTICA 3 - SMAR

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.


Aprovada em 18 de Novembro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ANDRE GOMES TORRES
Data: 26/11/2025 17:34:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. André Gomes Torres – Orientador

Universidade Federal de Viçosa

Documento assinado digitalmente
 VICTOR PELLANDA DARDENGO
Data: 03/12/2025 10:35:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Victor Pellanda Dardengo – Membro

Universidade Federal de Viçosa

Documento assinado digitalmente
 CELSO OLIVEIRA BARCELOS
Data: 01/12/2025 15:17:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Celso Oliveira Barcelos – Membro

Universidade Federal de Viçosa