

## Virtual Setup - Virtualização automática de plantas industriais

Hitalo Perseu de O. Rosas\* Italo de M. Saldanha\*  
Vinicius M. B. Pereira\* Caíque V. L. Muniz\* Guido S. Machado\*  
Renan L. P. de Medeiros\* Vicente F. L. Junior\*

\* Departamento de Eletrônica e Computação, Faculdade de Tecnologia,  
Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil,  
(e-mails: hitaloperseu@super.ufam.edu.br,  
italosaldanha@super.ufam.edu.br, viniciuspereira@super.ufam.edu.br,  
caiqueveiga@super.ufam.edu.br, guidomachado@super.ufam.edu.br,  
renan@super.ufam.edu.br, vicente@super.ufam.edu.br).

**Abstract:** The ability to monitor information from an industrial plant has become highly necessary due to the amount of existing data and the control of sensors and actuators present in the industrial process. That's why this article brings a system with the application of the technique of a Digital Twin and communication technologies that help to have an automatic virtualization of a real plant. The Virtual Setup system is composed of an architecture of three elements: Real Plant, Data Acquisition Module and Virtualization Platform. Its operation consists of collecting data from the sensors and actuators of the Real plant to be sent to the data acquisition module, and this module periodically makes data updates available to a virtualization platform. This platform generates a graphic model to show the events that are taking place in Real Plant. However, this system favors process monitoring and real-time data visualization.

### Resumo:

A capacidade de monitorar informações de uma planta industrial se tornou um requisito importante devido a necessidade de coletar dados de controle dos sensores e atuadores presentes no processo manufatureiro. Por isso este artigo traz um sistema com a aplicação da técnica de um Gêmeo Digital e tecnologias de comunicação que auxiliam para que haja uma virtualização automática de uma planta real da indústria. O sistema Virtual Setup é composto por uma arquitetura de três elementos: Planta Real, Módulo de Aquisição de Dados e Plataforma de Virtualização. Seu funcionamento consiste em coletar os dados dos sensores e atuadores da Planta Real para que sejam enviados para o Módulo de Aquisição de Dados e este módulo disponibiliza periodicamente a atualização dos dados para a Plataforma de Virtualização. Esta plataforma gera um modelo gráfico para mostrar os eventos que estão acontecendo na Planta Real. Portanto, este sistema favorece ao acompanhamento do processo e a visualização de dados em tempo real.

**Keywords:** Industry 4.0; Digital Twin; Virtualization; Industrial processes; Node-RED; Framework YII.

**Palavras-chaves:** Indústria 4.0; Gêmeo digital; Virtualização; Processos industriais; Node-RED; Framework YII.

### 1. INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial já pode ser vivenciada nos dias atuais por meio do surgimento de novos pilares tecnológicos que estão facilitando o funcionamento de novos processos na indústria e em outros setores.

Os pilares tecnológicos envolvidos na Indústria 4.0 são os sistemas ciber-físicos (CPS), a Realidade Virtual (VR), a Realidade Aumentada (RA), a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), o Gêmeo Digital (GD), entre outros (Vaidya et al., 2018).

Gêmeo Digital é uma revolução para os processos de manufatura atuais. Um Gêmeo Digital pode ser definido como uma duplicação de objetos ou sistemas reais para um sistema virtual, tendo a capacidade de transportar dados, funções e modelos para o contexto digital (Negri et al., 2017).

Neste artigo será apresentado um sistema chamado Virtual Setup. Este sistema tem o objetivo de virtualizar de forma automática plantas reais em plantas virtuais, no qual, será realizado o aprendizado do funcionamento de uma planta industrial com as respectivas etapas do seu funcionamento, sendo que os dispositivos de entrada e saída que fazem parte dessa Planta Real serão transformados em uma virtualização gráfica, possibilitando supervisionar o sistema como um todo e mostrar um modelo virtual que permita a rastreabilidade do produto manufaturado.

Para criação desse sistema de virtualização, foram aplicados alguns conceitos teóricos e ferramentas modernas que contribuíram para o desenvolvimento dessa evolução. Os conceitos teóricos aplicados são: processos industriais, a Linguagem Ladder, o Gêmeo Digital, o Node-RED e o Framework YII.

O processo industrial é composto por sensores e atuadores que auxiliam na operação e avaliação do processo, onde os sensores correspondem à entradas digitais ou analógicas

do processo que são conectadas nas entradas de um CLP (Controlador Lógico Programável) e os atuadores são responsáveis por atuar no processo industrial de acordo com os sinais elétricos emitidos pela saídas do CLP.

O CLP é um "equipamento eletrônico digital compatível com as aplicações industriais, que utiliza uma memória programável para armazenar internamente as instruções de processos industriais e pode implementar funções específicas, tais como: lógica booleana, sequenciamento, temporização, contagem e operações aritméticas, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas vários tipos de máquinas ou processos"(Zancan, 2011). A linguagem Ladder é uma linguagem de programação utilizada em CLP também conhecida como diagrama Ladder, onde segundo a Norma IEC 61131-3 é caracterizada como uma linguagem gráfica, pois faz uso de elementos gráficos para representar um determinado fluxo lógico (Vilela and Vidal, 2003; VILLANUEVA, 2016).

Para realizar a comunicação entre o CLP e o sistema de virtualização foi utilizado o Node-RED, uma ferramenta gráfica onde são utilizados vários nós programáveis em JavaScript que são conectados em fluxos dinâmicos a partir da estrutura NodeJS. É uma ferramenta de programação baseada em navegador que permite conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online. Com isso, a facilidade de conexão e programação torna o Node-RED adequado para dispositivos embarcados e protótipos de Iot (Rolle et al., 2020).

Para o desenvolvimento da plataforma de virtualização foi utilizado o Framework YII (*Yes It Is*), sendo um framework criado em PHP que oferece um desenvolvimento rápido, simples e moderno para aplicações web. Para isso, esse framework utiliza uma organização de códigos com o padrão de MVC (*Model View Controller*), escritos de maneira simples e elegante (Xue et al., 2021).

A evolução do projeto ocorreu com o estudo de alguns trabalhos relacionados, sendo que em (Melo, 2020) há uma proposta da criação de um sistema modular para monitoramento e virtualização da planta de transporte em uma linha de produção. Dessa forma, os elementos deste processo são as linhas de transporte e o Raspberry Pi, estes elementos são interligados e o sistema embarcado realizará a transmissão dos dados em tempo real utilizando o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) para a plataforma de virtualização Node-RED. Com esses dados recebidos no Node-RED, torna-se possível a consulta desses dados obtidos naquela linha de transporte em tempo real, para a verificação da situação dos motores interligados nessa planta.

Em (Ayani et al., 2018), é aplicado o conceito de digital twin em um estudo de caso, no qual utiliza-se a virtualização dos elementos industriais. A construção dessa virtualização ocorre por intermédio de softwares de simulação dedicados, onde os sensores e atuadores são listados para serem separados em suas entradas e saídas. Com isso, um processo de análise é realizado para verificar aqueles elementos da listagem, para que posteriormente todos os objetos sejam reconicionados, isto é, seja recuperado o seu estado físico para o ambiente virtual.

Utilizando o Node-RED para monitoramento, o artigo de Souza (2020) propõe um sistema de manufatura flexível, onde existem os cenários físicos e digitais, sendo que cenário físico é composto por várias esteiras e um robô manipulador, já cenário digital é criado por meio de softwares de simulação, contudo, o funcionamento desse processo é supervisionado por meio da tecnologia RF-ID

(*Radio frequency identification*) e os dados são enviados para um repositório por meio do protocolo MQTT para que ocorra a integração do físico ao meio digital.

Em Halenar et al. (2019) é proposto um sistema de visualização da linha de produção de maneira mais simplificada para aplicação do *digital twin*, de modo a verificar onde cada elemento pode ser encontrado em determinada parte da planta. A parte física é uma planta real da Festo e todo o processo é representado esquematicamente, o que pode também ser uma maneira de fazer o monitoramento do processo industrial em tempo real e esses dados monitorados são armazenadas em um banco de dados.

Em Rabelo et al. (2020), a implementação do processo é esquematizado e separado em suas partes físicas e digitais. Também é realizado uma visualização gráfica da mesma planta, além de um método de virtualização que permite a realização de pausar ou iniciar o sistema.

Com isso, este artigo mostrará a descrição do problema que será solucionado com este sistema, a arquitetura do sistema de virtualização Virtual Setup, a forma de implementação com a utilização de plantas industriais simuladas e o seu funcionamento a partir do experimento proposto, no qual, poderemos visualizar as virtualizações desejadas para o sistema.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

As plantas industriais necessitam de um monitoramento eficiente e ágil, por isso o *digital twin* é uma alternativa para a aquisição das informações relevantes do processo industrial. Esses dados geralmente são o estado das entradas e saídas do controlador da planta. Para que haja essa aquisição seria necessário que o CLP exportasse os dados de forma automática por algum meio ou sistema. Para um melhor entendimento, considere a situação que numa esteira passe uma quantidade X de produtos que estão sendo produzidos e desses X produtos, tem-se o tipo A, B e C. Neste cenário, como saber quais os sensores e atuadores estão sendo acionados para a produção dos produtos do tipo A, B ou C?, em que ponto cada produto estar? e será que ocorreu algum problema durante a produção?. O problema abordado neste trabalho pode ser formalizado com a seguinte pergunta: como monitorar os dados de uma planta industrial de forma automática?

Este trabalho propõe um sistema para solucionar o problema de monitoramento de uma planta industrial que não consegue fazer a aquisição dos estados das entradas e saídas de uma planta de forma automática. Este sistema coleta os dados das entradas e saídas gerando uma planta gráfica que pode mostrar o estado do processo de forma automática, neste momento utilizando as entradas e saídas digitais de plantas industriais que possuem o CLP com protocolo Modbus.

## 3. ARQUITETURA DO VIRTUAL SETUP

Para o sistema proposto foi desenvolvido uma arquitetura com os seguintes componentes: Planta Real, Módulo de Aquisição de Dados e Plataforma de Virtualização, a Figura 1 apresenta como os elementos desta arquitetura estão interligados.

### 3.1 Planta Real

A Planta Real é qualquer processo industrial que possui um módulo de entrada interligada no controlador e que atualiza o processo por meio do módulo de saída.

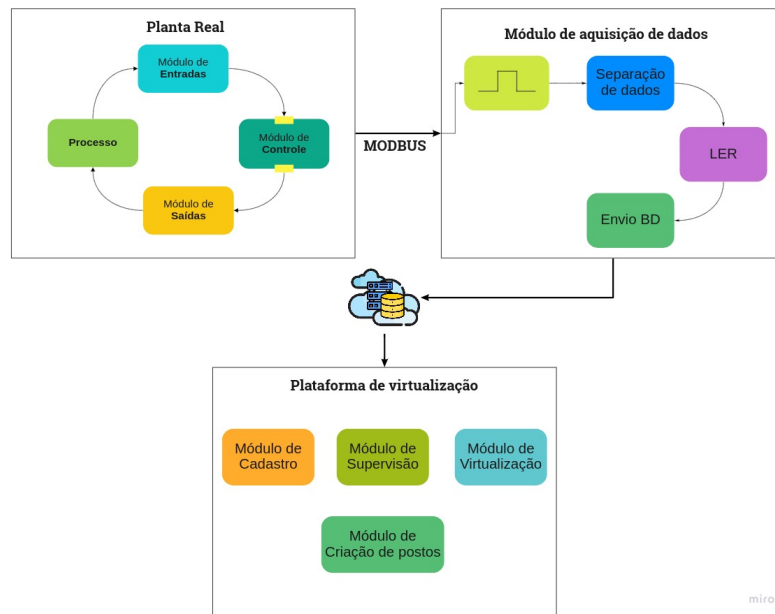


Figura 1. Arquitetura do Virtual Setup.

Em uma Planta Real é possível ter máquinas industriais dotadas de elementos de entradas e saídas, além de CLPs que normalmente controlam os processos. Por isso para este sistema a Planta Real será dividida nos seguintes elementos: Módulo de Entradas, Módulo de Saídas e Módulo de Controle.

(A) Módulo de Entradas

Consiste no conjunto de sensores, botões e outros dispositivos conectados com as entradas do CLP da planta real. Então o Módulo de Entradas é todo elemento que possa enviar sinais digitais ou analógicos para o controlador.

No caso das entradas digitais, o CLP avalia apenas dois tipos de sinais: 0 (0VCC) ou 1 (24VCC) e no caso de sinais analógicos o CLP avalia um range de tensão elétrica de 0V a 10V ou de corrente de 0 a 20mA.

(B) Módulo de Saídas

Consiste no conjunto de atuadores e outros dispositivos conectados a saída do CLP da planta real. O Módulo de Saída pode enviar sinais digitais que trabalhará de maneira binária, estado 0 (desligado) ou estado 1 (ligado) ou de forma analógica com range de 0 a 10V ou corrente de 0 a 20mA.

(C) Módulo de Controle

É um programa em linguagem Ladder desenvolvido de maneira estrutural e organizada que utiliza uma saída lógica para cada entrada e saída física da Planta Real com o objetivo de monitorar os estados da planta e envia-los ao Módulo de Aquisição de Dados via protocolo Modbus e o CLP é responsável, além de controlar o processo, por executar o programa do Módulo de Controle.

3.2 Módulo de Aquisição de Dados

Inicialmente, o Módulo de Aquisição de Dados coleta informações do cadastro realizado na Plataforma de Virtualização para realizar conexão na rede do sistema. Esse cadastro realizado na plataforma é obrigatório para que este módulo consiga fazer a conexão inicial com o banco de dados do sistema.

A partir de uma conexão estabelecida o Módulo de Aquisição de Dados é responsável por coletar e guardar os estados das entradas e saídas que foram enviados pelo Módulo de Controle, ou seja, os dados do Módulo de Entrada e do Módulo de Saída obtidos na Planta Real foram enviados pelo Módulo de Controle via o protocolo Modbus para o Módulo de Aquisição de Dados. Ao chegar os dados nesse módulo, eles são encaminhados para modificar o banco de dados do sistema. Cada modificação que ocorra na Planta Real é detectada, pois é realizada uma varredura que atualiza os dados periodicamente, matendo o banco de dados do sistema sempre atualizado.

3.3 Plataforma de Virtualização

Esta plataforma é um componente essencial para o funcionamento do sistema, pois tem o objetivo de ser uma Interface Homem Máquina moderna e de fácil acesso para o usuário, além de ser responsável pelos módulos de Cadastro, de Virtualização, Supervisão, Criação e Visualização de Postos.

(A) Módulo de Cadastro

Responsável por armazenar as características da planta real como nome da planta, IP do controlador, porta de comunicação e os elementos dos módulos de entradas e saídas. Esses dados são obtidos por meio de um formulário preenchido pelo responsável técnico da planta e enviado para o banco de dados do sistema. Toda planta tem o seu cadastro obrigatório, pois esses dados serão utilizados como parâmetros para iniciar conexão e virtualização automática das plantas reais.

(B) Módulo de Supervisão

É a área da plataforma responsável por realizar o monitoramento dos estados dos módulos de entradas e saídas da planta real. Esse monitoramento ocorre a partir do cadastro realizado anteriormente, sendo possível supervisionar as informações de entradas e saídas do CLP. Sempre que uma entrada ou saída do módulo de controle se modifica na planta real essa informação seguirá via Modbus para o módulo de aquisição de dados e este mudará o estado do seu respectivo endereço na tabela do banco de dados. A

plataforma de virtualização se encarrega de atualizar esses dados periodicamente numa tabela disponível para o usuário na página do módulo de supervisão.

(C) Módulo de Virtualização

É a ferramenta responsável por criar a representação gráfica dos módulos de entradas e saídas da planta real por meio de elementos 2D, onde podem ser identificados pela modificação dos estados a partir da cor desses elementos.

(D) Módulo de Criação de Postos

Este módulo será criado com objetivo de aprender as etapas do processo produtivo e acompanhar a localização do produto que está sendo fabricado na Planta Real. Esse monitoramento é feito acompanhando o estado do Módulo de Saídas, uma vez que este está associado aos atuadores presentes na planta cadastrada, onde são responsáveis por proporcionar movimento ao produto.

A partir da proposta de acompanhar o movimento por meio dos estados das saídas foi criado o conceito de posto. Um posto é um estágio de produção ou do processo produtivo em uma planta, podendo ser definido por quais saídas estão ativas naquele dado momento, ou seja, quais atuadores estão agindo. Um processo produtivo terá uma sequência de acionamentos e desacionamentos de motores, válvulas, esteiras dentre outros atuadores, com isso, sabendo quais atuadores são ativados e em qual sequência é possível acompanhar os produtos no processo.

Portanto, o módulo de criação de postos tem como objetivo aprender os estágios da produção e criar os postos equivalentes, armazenando o estado das saídas nessas situações para posterior visualização. Tal identificação é feita monitorando em tempo real o Módulo de Saídas à espera de uma mudança nos estados das saídas, ao se detectar uma mudança os estados de todas as saídas da planta real são armazenados e é gerado um posto de trabalho.

(E) Módulo de Visualização de Postos

Este módulo consiste de um acompanhamento visual do processo produtivo. Após se identificar os estágios atuais da produção, com o Módulo de Criação de Postos, este módulo atualiza aonde estar a produção. Este módulo só deve ser executado após a criação dos postos, com isso será possível comparar o estado atual da planta com os postos salvos e determinar em qual posto o produto estar.

## 4. IMPLEMENTAÇÃO

A seguir é apresentada a implementação do Virtual Setup e seus módulos internos. O primeiro elemento do sistema, a Planta Real, é um elemento externo a plataforma, podendo ser uma planta física ou uma planta virtual, a ser cadastrada posteriormente. Os demais módulos do Virtual Setup estão descritos nos próximos tópicos.

### 4.1 Módulo de Aquisição de Dados

O Módulo de Aquisição de Dados foi implementado com um algoritmo na ferramenta Node-RED, realizando a interligação da planta real com a Plataforma de Virtualização do Sistema. Ao ser solicitado, esse módulo irá acessar o endereço de IP da planta cadastrada a cada 250ms, realizando a leitura das entradas e saídas do CLP por meio do protocolo Modbus TCP/IP. A cada ciclo de leitura os dados obtidos são salvos no banco de dados MySQL da plataforma Virtual Setup, onde ficarão acessíveis para os demais módulos da Plataforma de Virtualização.

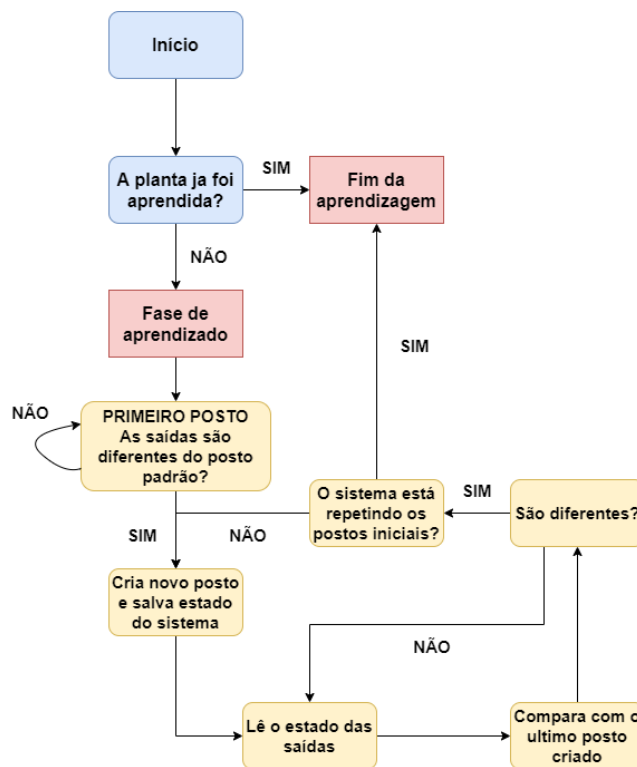


Figura 2. Algoritmo de criação de postos.

### 4.2 Plataforma de Virtualização

A Plataforma de Virtualização corresponde a um site que permite o acesso remoto a suas funcionalidades. Ela foi desenvolvida nas linguagens PHP e Javascript, utilizando como base o framework Yes It Is (Yii). Com isso, os módulos da plataforma são acessíveis por meio de botões na página principal.

**Módulo de Cadastro** Para o Módulo de Cadastro foi configurado o banco de dados para armazenar o nome, endereço de IP e porta da planta a ser cadastrada. Além disso, há um campo para o nome de cada entrada e saída pertencente a Planta Real, bem como um campo para armazenar o valor atual de cada variável. O framework utilizado já possui uma integração com o banco de dados e possui uma tela padrão para criação de novas linhas no banco e oferece funções básicas de leitura, pesquisa, criação e exclusão dos dados.

**Módulo de Supervisão** Essa supervisão consiste numa tabela que permite ao usuário visualizar o estado atual de cada entrada e saída cadastrada, apresentando os valores em tempo real.

**Módulo de Virtualização** Este módulo apresenta uma representação visual do estado atual de cada entrada e saída da planta. As entradas são apresentadas como quadrados e as saídas como triângulos. A cor vermelha e roxa significam os estados ligado/desligado das entradas, enquanto amarelo e azul claro significam os estados ligado/desligado das saídas. Essa visualização foi implementada por meio de um canvas em javascript na Plataforma do Virtual Setup, como será mostrado na Figura 5.

**Módulo de Criação de Postos** O Módulo de Criação de Postos realiza um aprendizado da planta e divisão das etapas. Para executar o aprendizado dos postos foi

desenvolvido o algoritmo da Figura 2, representando o processo completo de detecção e criação de postos. A implementação desse módulo utiliza uma tabela no banco de dados para acompanhar e armazenar os postos criados, sendo que cada linha corresponde a um posto, no qual os valores das saídas são salvos em campos que correspondem ao estados de cada saída no momento atual do processo. Durante a execução do módulo, será feita inicialmente a comparação com um posto padrão para se criar o primeiro posto, com isso os próximos postos são linhas a serem adicionadas na tabela ao se detectar uma mudança no Módulo de Saídas. Esse processo se repete até que a planta retorne ao mesmo estado do posto 1, significando que o processo já estar se repetindo e não existem mais postos a serem aprendidos. Após todas as etapas possíveis a serem determinadas, a criação de postos é finalizada e uma mensagem avisa o usuário da conclusão.

*Módulo de Visualização de Postos* O Módulo de Visualização de postos é composto por uma tela que permite acompanhar o estado atual da produção. Nesse módulo são apresentados quadrados da cor laranja representando cada posto identificado da planta e um círculo azul correspondendo a situação atual da planta. Essa visualização foi implementada por meio de um canvas em *javascript* na Plataforma do Virtualização.

## 5. EXPERIMENTO PROPOSTO

Afim de demonstrar e comprovar o funcionamento do sistema proposto, foi executado um teste de virtualização de uma planta com o Virtual Setup, os tópicos seguintes apresentam os detalhes de cada passo do experimento realizado.

### 5.1 Planta

Para testar a plataforma desenvolvida foi utilizada uma planta virtual. Este cenário virtual foi criado no software Factory IO para simular a Planta Real e a programação em Ladder foi realizada no software SoMachine Basic. A planta utilizada tem um processo sequencial, tendo uma transferência de um produto entre duas esteiras por meio de um manipulador. Essa planta, apresentada na Figura 3, consiste de duas esteiras e um manipulador de Pick & Place, além disso possui como entrada os botões de Start e Stop, dois sensores ópticos difusos para o posicionamento do produto e dois sensores de movimento do manipulador.

Após acionar o botão de Start, o produto é inserido no início da primeira esteira e esta é ativada, ela permanece ativada até o produto atingir o primeiro sensor, momento no qual o manipulador agarra a peça e a transfere para a segunda esteira. Após finalizada a transferência a segunda esteira é ligada para deslocar o produto até a rampa.

### 5.2 Cadastro

A planta proposta foi cadastrada na Plataforma de Virtualização, especificando o IP de loopback, pois se trata de uma simulação no computador local, com a porta 502, sendo a porta padrão Modbus utilizada pelo SoMachine Basic. Em seguida foram cadastrados os nomes das entradas e saídas da Planta Real nos campos correspondentes.

### 5.3 Supervisão

O Módulo de Supervisão aplicado a planta criada é apresentado na Figura 4, nela é possível verificar as entradas e saídas cadastradas em conjunto com o estado atual de cada uma delas.

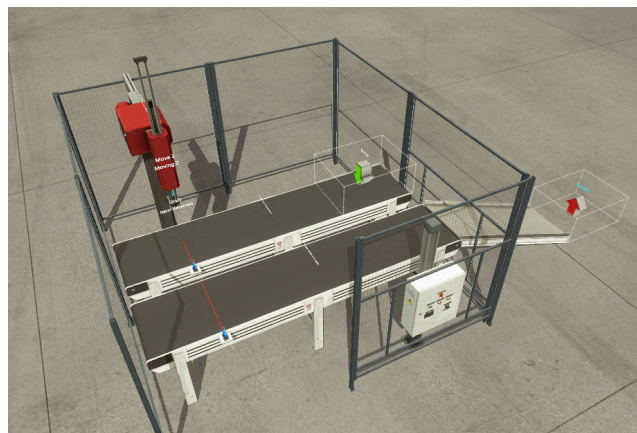


Figura 3. Planta teste.

Entrada 0	Item na entrada
Status M100	1
Entrada 1	Item na saída
Status M101	0
Entrada 2	Movendo em x
Status M102	0
Entrada 3	Movendo em z
Status M103	0
Entrada 4	Item detectado
Status M104	1
Entrada 5	Start
Status M105	0
Entrada 6	Stop
Status M106	1
Saída 0	Esteira de entrada
Status M120	0
Saída 1	Esteira de saída
Status M121	0
Saída 2	Mover em x
Status M122	0
Saída 3	Mover em z
Status M123	1
Saída 4	Agarrar
Status M124	1

Figura 4. Tela de supervisão da planta.



Figura 5. Tela de virtualização da planta.

### 5.4 Virtualização

O Módulo de Virtualização aplicado a planta criada é apresentado na Figura 5, nela é possível verificar os retângulos representando as entradas e os triângulos representando as saídas, com colorações diferentes para o estado ligado e desligado. Também é possível observar que as entradas e saídas cadastradas foram virtualizadas de forma automática e cada uma delas está sendo modificada de acordo com os acionamentos do processo da Planta Real.

### 5.5 Criação e Visualização de Postos

Por fim, após executar o Módulo de Criação de postos, a visualização dos postos criados é apresentada na Figura 6. Nela é possível verificar que foram criados 11 postos para

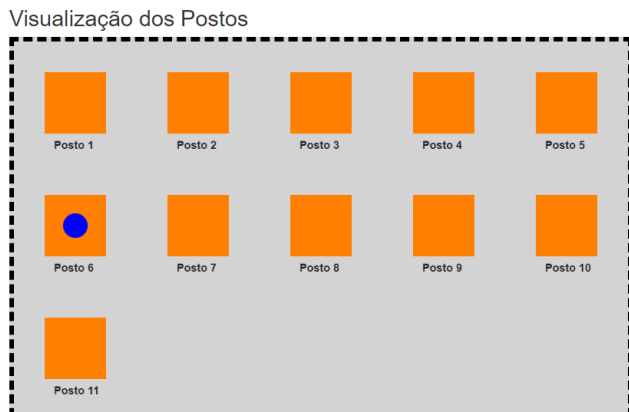


Figura 6. Tela de visualização de postos.

a planta proposta, sendo o primeiro posto equivalente ao estado desligado com todas as saídas em nível baixo.

## 6. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentado um sistema de virtualização automática de plantas chamado Virtual Setup que possibilitou supervisionar plantas industriais, além de verificar mudanças de estado nos Módulos de Entrada/Saída e que permitiu a criação de postos que identificam a localização do produto.

O sistema Virtual Setup foi aplicado a uma Planta Real sem interferir na programação em diagrama Ladder atual do processo, isso ocorreu devido a utilização do Módulo de Controle que realizava a entrega dos dados por meio de variáveis booleanas do protocolo Modbus. Este sistema mostrou que pode virtualizar de forma automática o processo de uma Planta Real e que pode aprender os estados de acionamento e desacionamento das entradas e saídas do processo que estar sendo executado.

Os resultados desse trabalho mostram que é possível acompanhar um processo industrial pelo conceito de Postos do processo e que o sistema apresentou eficiência na virtualização automática da Planta Real, onde esta plataforma pode ser utilizada para aplicações de supervisão e acompanhamento da produção. Para trabalhos futuros, este acompanhamento pode ser utilizado para aplicações como: manutenção preditiva e preventiva das plantas reais da indústria.

## AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi realizada no âmbito do Projeto Samsung UFAM para Educação e Pesquisa (SUPER), nos termos do artigo 48 do Decreto no 6.008/2006 (SUFRAMA), foi financiada pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., nos termos da Lei Federal número 8.387/1991, por meio do convênio 001/2020, firmado com a Universidade Federal do Amazonas e a FAEPI, Brasil. Por isso os agradecimentos por este trabalho ficam inteiramente para as instituições envolvidas neste grandioso projeto.

## REFERÊNCIAS

Ayani, M., Ganebäck, M., and Ng, A.H. (2018). Digital twin: Applying emulation for machine reconditioning. *Procedia CIRP*, 72, 243–248. doi:https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.139. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems.

Halenar, I., Juhas, M., Juhasova, B., and Borkin, D. (2019). Virtualization of production using digital twin technology. In *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 1–5. doi:10.1109/CarpathianCC.2019.8765940.

Melo, V.C.d.A. (2020). Virtualization and monitoring of a modular and self-organized multi-agent conveyor system.

Negri, E., Fumagalli, L., and Macchi, M. (2017). A review of the roles of digital twin in cps-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939–948. doi:https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304067>. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

Rabelo, R.J., Magalhães, L.C., and Cabral, F.G. (2020). Uma proposta de arquitetura de referência de gêmeo digital para sistemas ciberfísicos em um cenário de indústria 4.0. In *Sociedade Brasileira de Automática - SBA*, volume 2, 1–8.

Rolle, R., Martucci, V., and Godoy, E. (2020). Architecture for digital twin implementation focusing on industry 4.0. *IEEE Latin America Transactions*, 18(05), 889–898. doi:10.1109/TLA.2020.9082917.

Souza, M.L.F.R.T.M. (2020). Otimização de um sistema flexível de fabrico usando virtualização num contexto de digital twin.

Vaidya, S., Ambad, P., and Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. doi:https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918300672>. 2nd International Conference on Materials, Manufacturing and Design Engineering (iCMMD2017), 11-12 December 2017, MIT Aurangabad, Maharashtra, INDIA.

Vilela, P.C. and Vidal, F.T. (2003). Automação industrial. VILLANUEVA, J. (2016). Controladores lógicos programáveis. URL <http://www.cear.ufpb.br/~%juan/wp-content/uploads/2016/08/Aula-3a-CLPIntrodução.pdf>.

Xue, Q., Makarov, A., Brandt, C., and Paul, K. (2021). Guia definitivo para yii 2.0. URL <https://www.yiiframework.com/doc/guide/2.0/pt-br>.

Zancan, M.D. (2011). Controladores programáveis. Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria.