



# Implementação de protocolo OPC UA para controle de uma célula de manufatura, utilizando framework Web voltado para Indústria 4.0

*Implementation of the OPC UA protocol for a manufacturing cell control, using a Web framework for Industry 4.0*

**Marco Antônio Fumagalli** ([pro15969@cefsa.edu.br](mailto:pro15969@cefsa.edu.br))  
Doutor em Engineering Science pelo Institut für Robotik (IFR) e professor da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

**Augusto Afonso Castelo Branco** ([augustoacbranco@live.com.br](mailto:augustoacbranco@live.com.br))  
Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

**Wellington Santana Dias** ([well.santanasft@gmail.com](mailto:well.santanasft@gmail.com))  
Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

## Resumo

Um dos principais desafios encontrados pelas indústrias é a aquisição confiável de dados e a utilização desses dados para a efetiva otimização e controle de processos. Devido à globalização, as empresas têm que produzir itens de forma competitiva, exigindo menos recursos para sua produção, maior qualidade e, conseqüentemente, reduzindo custos. Nesse cenário, as indústrias vêm investindo cada vez mais na aplicação de tecnologias da informação e comunicação (TIC) para aquisição de dados e controle de processos, sendo a internet a principal tecnologia empregada para essa função. Analisando essa nova perspectiva, implementou-se uma solução de software customizada, a qual, através de uma interface de acesso remoto *web*, permite a realização do monitoramento, supervisão e operação remota dos equipamentos presentes em uma célula de manufatura didática, a fim de dar início aos estudos sobre a Indústria 4.0 na Faculdade de Tecnologia Termomecanica. Foram utilizadas tecnologias de código aberto como o *framework* Node.js e o protocolo de comunicação OPC UA para a integração entre máquinas CNC, sistema supervisorio e teleoperação dos equipamentos. O uso dessas tecnologias permite e facilita a troca de informações em todos os níveis da pirâmide da automação, permitindo assim a integração de equipamentos de conectividade limitada à Indústria 4.0.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. OPC UA. *Open-Source*. Internet das Coisas.

## Abstract

One of the main challenges faced by the industries is the reliable acquisition of data and the use of this data for the effective optimization and control of processes. Due to globalization, companies have to produce items competitively, requiring fewer resources for their production, higher quality and, consequently, reducing of costs. In this scenario, the companies are investing more and more in the application of information and communication technologies (ICT) for data acquisition and process control, with the internet being the main technology used for this function. Analyzing this new perspective, a customized software solution was implemented, in which, through a remote web access interface, it allows the monitoring, supervision and remote operation of the equipment present in a didactic manufacturing cell, in order to begin the studies on Industry 4.0 at the Faculdade de Tecnologia Termomecanica. Open source technologies were used, such as the Node.js framework and the OPC UA communication protocol for the integration between CNC machines, supervisory systems and equipment operation. The use of these technologies allows and facilitates the exchange of information at all levels of the automation pyramid, thus allowing the integration of limited connectivity equipment to the Industry 4.0.

**Keywords:** Industry 4.0. OPC UA. Open-Source. Internet of Things.

# Introdução

## Indústria 4.0

A forma como o homem se relaciona com o trabalho e o realiza vem sofrendo alterações desde os primórdios de nossa história. Durante a Revolução Agrícola, passamos de nômades a agricultores, com a domesticação de animais para a realização de certas atividades, seguido da invenção dos moinhos; a relação do homem com o trabalho se manteve em constante alteração, porém em um ritmo extremamente lento (SCHWAB, 2016). Porém, em 1760 ocorreria uma quebra de paradigma, através da chamada Primeira Revolução Industrial, que durou até 1840, com a invenção do tear mecânico e da máquina a vapor, que viabilizaram o nascimento da indústria através da substituição da força humana e animal pela força mecânica de máquinas e equipamentos (SCHWAB, 2016).

A Segunda Revolução Industrial ocorreu no final do século 19 e início do século 20, com a criação da eletricidade e dos motores de combustão interna, aliados ao método de produção em linha, de Henry Ford, possibilitando o advento da produção em massa, seguida da Terceira Revolução Industrial, que teve início em 1960 e ficou conhecida como a Revolução Digital, uma vez que durante esse período foram criadas as principais tecnologias que redefiniriam o funcionamento do mundo, como: os semicondutores e a computação *mainframe*, durante a década de 1960; os computadores pessoais (PCs) entre 1970 e 1980, e a *internet* em 1990 (SCHWAB, 2016). Foi através desta Revolução que os sistemas produtivos atuais se tornaram baseados na utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), Sistemas Embarcados e na Robotização.

Para Schwab (2016), a contínua evolução das tecnologias provenientes da Terceira Revolução Industrial está culminando na denominada “Indústria 4.0”, sendo caracterizada por uma internet muito mais onipresente e móvel, por sensores menores e mais potentes que se tornaram mais baratos e pela inteligência artificial e aprendizado de máquina. Viabilizando as denominadas “Fábricas Inteligentes”, a Indústria 4.0 cria um mundo onde os sistemas físicos e digitais trabalham de forma conjunta, gerando avanços sem precedentes nas mais diversas áreas, de sequenciamento genético à nanotecnologia, de materiais renováveis à computação quântica, viabilizando um processo produtivo com foco em customização e não somente na produção em massa. A união destas tecnologias e o seu impacto na forma como os sistemas físicos, digitais e biológicos se inter-relacionam é o que define e diferencia a Quarta Revolução Industrial das demais.

## Protocolo OPC UA

A arquitetura *Open Platform Communications* (OPC) foi criada em 1996, utilizando tecnologias COM/DCOM, tecnologias essas pertencentes à Microsoft. O grande objetivo alcançado por esta arquitetura foi a padronização da interface de comunicação de dispositivos de diferentes fabricantes. O primeiro e mais bem-sucedido padrão OPC – OPC Data Access – foi desenvolvido como uma interface para drivers de comunicação, permitindo um padrão de leitura e escrita de dados em dispositivos de automação (MAHNKE et al., 2009). A principal limitação do OPC clássico é a dependência da arquitetura COM/DCOM, não podendo ser utilizado em todos níveis de automação devido a restrições de compatibilidade com sistemas operacionais ou às limitações de acesso remoto impostas pelo uso da arquitetura DCOM. A OPC *Unified Architecture* (UA) (IEC 62541) foi desenvolvida com o objetivo de substituir todas as especificações baseadas em COM/DCOM, sem perder qualquer característica ou performance. Esta poderosa arquitetura permite o transporte de dados do nível de campo (sensores e atuadores) até os níveis mais altos de controle

(SCADA, MES) de forma segura, confiável e independente do fabricante do equipamento (MAHNKE et al., 2009).

Em conjunto tais características, como definido por National Instruments (2019), o OPC UA é baseado em uma SOA (Arquitetura Orientada a Serviços) independente de plataforma ou de sistema operacional, o qual expande a segurança e a funcionalidade encontradas no OPC Clássico, suportando dois protocolos de dados: um protocolo binário, de fácil ativação por meio de um firewall e que utiliza recursos computacionais mínimos, e um protocolo de serviço da web (SOAP), que usa portas HTTP / HTTPS padrão (*Hypertext Transfer Protocol/ Hypertext Transfer Protocol Secure*). Devido aos benefícios que o OPC UA apresenta, mais e mais aplicações industriais adotaram-no no ambiente de automação industrial.

A Figura 1 ilustra a aplicabilidade do protocolo OPC UA nos diversos níveis da pirâmide da automação, utilizando-se de suas características de flexibilidade e robustez para viabilizar a comunicação entre os mais diversos equipamentos.

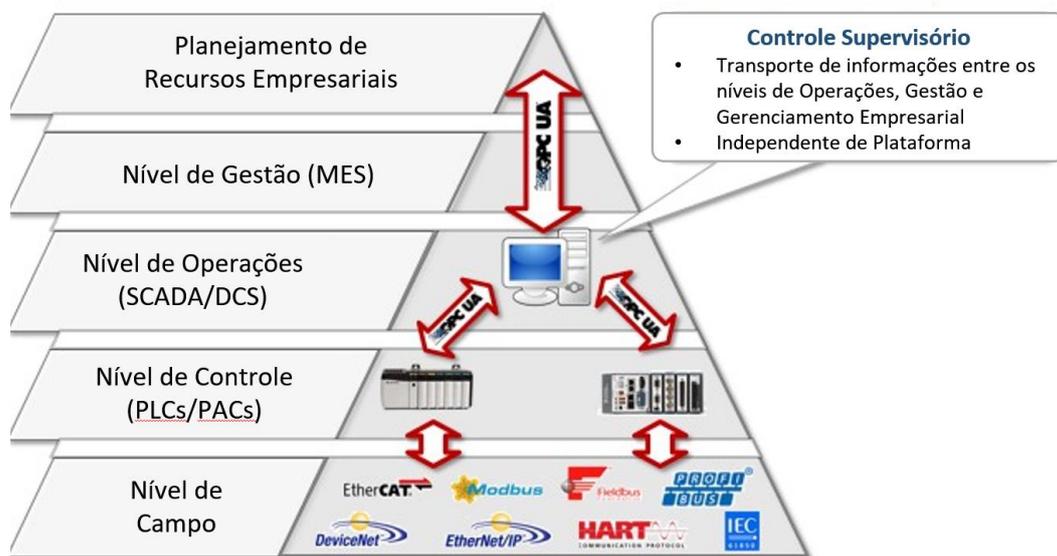


Figura 1: implementação do protocolo OPC UA em diversos níveis da pirâmide de automação.  
Fonte: National Instruments (2019).

Para este trabalho, duas características da arquitetura OPC UA foram determinantes: extensibilidade e o modelo de informação, viabilizando o modelamento das características da planta estudada de forma precisa, segura e flexível, justificando assim a escolha deste protocolo para a comunicação entre as máquinas.

## Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste na implantação do protocolo OPC UA em uma célula didática de Manufatura Integrada por Computador (CIM), de forma a possibilitar a aquisição de dados e controle de um braço robótico modelo Scorbot ER9 em conjunto com um centro de usinagem CNC (Controle Numérico Computadorizado) EMCO PC MILL 155.

A supervisão e aquisição de dados deve ser realizada através de um sistema supervisório executado em ambiente web estruturado sob protocolos e soluções *open source*, compatíveis com a Indústria 4.0., uma vez que tal estrutura torna desnecessário o desenvolvimento de soluções diferentes para

desktops ou dispositivos móveis. O sistema possui, também, a capacidade de realizar a integração com sistemas CAD/CAM (*Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing*), através do *upload* de programas gerados via software para a máquina CNC. Esta solução tem como seu ponto chave oferecer uma implementação totalmente baseada em *software*, sem a necessidade de modificar ou adicionar equipamentos à planta já existente.



Figura 2: Scorbot ER9 e EMCO PC Mill 155.  
Fonte: elaboração dos autores (2019).

## *Metodologia*

### *Definição da lógica e funcionalidade*

Primeiramente, foi definida uma sequência lógica dos eventos a serem realizados pelos elementos constituintes do sistema (braço robótico e máquina CNC), de forma a organizar o seu ciclo de trabalho. Tal sequência prevê a movimentação da matéria-prima pelo braço robótico, assim como o ciclo de trabalho da máquina CNC. O fluxograma abaixo ilustra tal sequência.

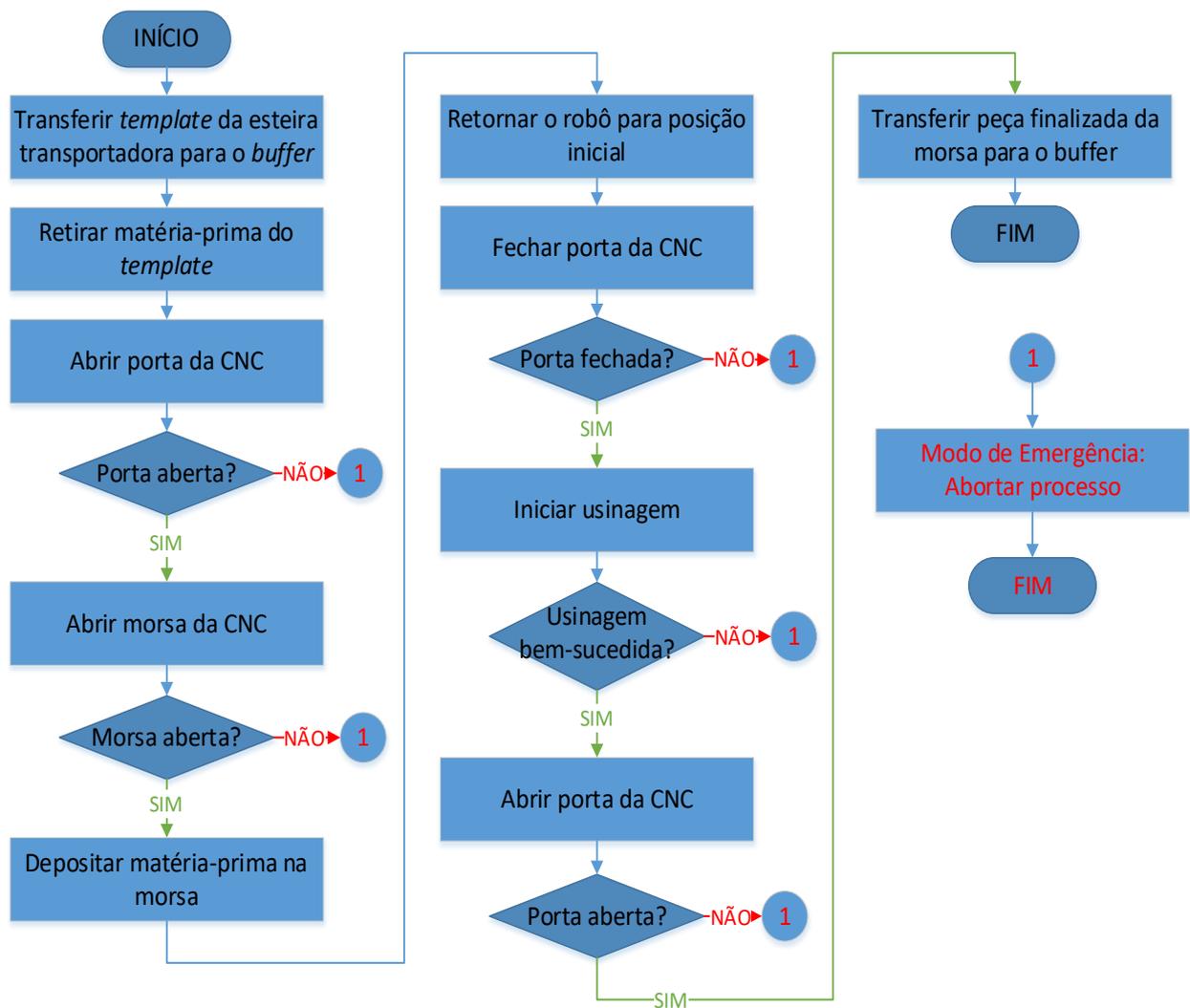


Figura 3: fluxo de processo do sistema.  
Fonte: elaboração dos autores (2019).

Tal sequência possibilitou a estruturação coerente dos *softwares* envolvidos além de tornar possível a prevenção de possíveis condições inseguras de operação e movimentação das máquinas.

### Posicionamento do braço robótico

De forma a viabilizar as ações descritas na Figura 2, fez-se necessário criar posições de trabalho para o braço robótico. Para esta tarefa foi utilizada a técnica *pick and place*, largamente implementada na indústria de automação, através da qual, para cada etapa de movimentação do braço robótico foram gravados pontos ou posições no espaço delimitado pelo envelope de trabalho do braço, de forma que o manipulador seguisse a trajetória definida por tais pontos durante a manipulação da matéria-prima.

### Comunicação serial

A comunicação serial, através do meio físico RS232-C, foi utilizada para estabelecer a troca de informações entre o servidor OPC UA e a unidade controladora do braço robótico, que, por sua vez, controla o centro de usinagem CNC. A tabela a seguir ilustra as funcionalidades de cada máquina do

sistema, assim como a instrução definida para a interpretação de cada ação pela unidade controladora.

Tabela 1: comandos relativos à operação do centro de usinagem e do braço robótico.

<b>FUNÇÃO</b>	<b>INSTRUÇÃO</b>	<b>REFERENTE A</b>
Referenciar eixos	RUN HOMES	Braço Robótico
Iniciar Controlador	RUN INITC	Unidade Controladora
Modo Automático	AUTO	Unidade Controladora
Cancelar Operação	A	Unidade Controladora
Iniciar Usinagem	RUN MAIN	CNC
Abrir Morsa	RUN OWISE	CNC
Fechar Morsa	RUN CWISE	CNC
Abrir Porta	RUN ODOOR	CNC
Fechar Porta	RUN CDOOR	CNC
Abrir Garra	OPEN	Braço Robótico
Fechar Garra	CLOSE	Braço Robótico

Fonte: elaboração dos autores (2019).

## *Par cliente-servidor OPC UA*

Como supracitado, o protocolo de comunicação OPC UA é baseado em 2 pontos, sendo que um possui a função de cliente, e o outro, de servidor. A ideia central do protocolo é o modelamento da informação através de técnicas orientadas a objetos, de forma que cada dispositivo, máquina ou equipamento presente no sistema seja(atue como) um servidor de dados, ou seja, contenha todas as possíveis informações que este equipamento possua, como por exemplo as ações ou rotinas que o equipamento possa exercer, o que também é chamado de métodos ou características atuais, dele, tais como temperatura ou velocidade, e exponha tais informações para os clientes que se conectem a ele (MAHNKE et al., 2009).

No que diz respeito ao cliente, ele se conecta através de uma rede ao servidor OPC UA e tem acesso a tais informações, podendo ler os dados provenientes do equipamento e até mesmo interagir com ele através dos métodos disponibilizados pelo servidor.

No ambiente estudado neste documento, o PC conectado à unidade controladora do braço robótico assume o papel de servidor OPC UA, expondo ao cliente as características referentes ao braço robótico e ao centro de usinagem CNC. Os métodos disponibilizados para o cliente foram definidos de acordo com os comandos ilustrados na Tabela 1, além dos possíveis alarmes gerados pelo sistema. A Figura 4 ilustra esta estrutura.

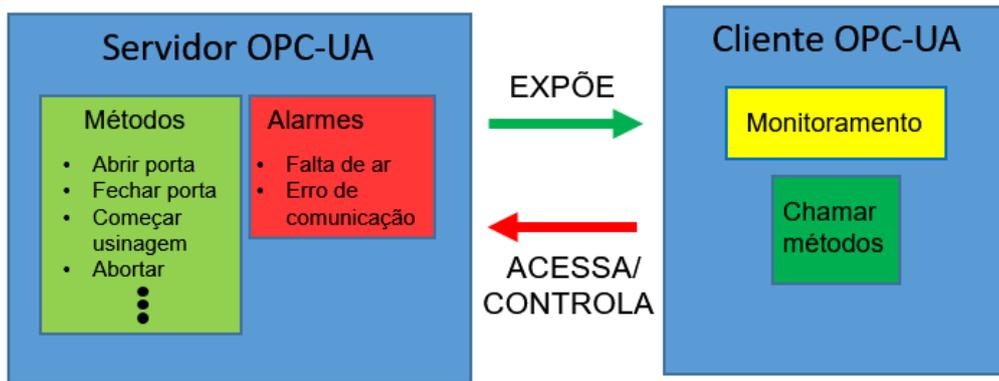


Figura 4: par cliente-servidor OPC UA.  
Fonte: elaboração dos autores (2019).

A construção de ambos os softwares, servidor e o cliente OPC UA, foi realizada totalmente através da utilização do *framework open-source* Node.JS, aliado à biblioteca consolidada *node-opcua*, criada por Etienne Rossignon. Essa poderosa biblioteca compreende todos os recursos necessários para a implementação do OPC UA em todas as camadas do sistema.

## Sistema supervisório

O sistema supervisório *web* visa atender um dos princípios da Indústria 4.0, que é a integração de sistemas cyberfísicos permitindo a operação de máquinas e a troca de informações através de um meio computacional. A premissa principal é de que o sistema deve ser *cross-platform*, ou seja, possa ser executado em diferentes dispositivos com diferentes sistemas operacionais. Por isso optou-se pela criação de uma *web service* na qual a parte gráfica faz a interface com a solução OPC UA rodando em segundo plano; assim o supervisório pode ser executado em diferentes dispositivos, incluindo dispositivos móveis, sem a necessidade de desenvolver uma solução personalizada para cada tipo de sistema.

O sistema supervisório é executado de forma paralela na máquina que funciona como o cliente OPC UA, e tem o seu funcionamento baseado nos eventos gerados pelo usuário ao pressionar os botões disponíveis na interface gráfica (Figura 5): quando qualquer botão da página é pressionado, um formulário HTML (*Hypertext Markup Language*) contendo a informação de qual botão foi pressionado é submetido ao software, que por sua vez traduz essa informação em um método disponibilizado ao cliente OPC UA; uma vez na posse dessa informação, o cliente OPC UA envia o comando de execução ao servidor OPC UA, que então executa a função requerida, seja esta uma ação física do braço robótico ou CNC, ou ainda o retorno de algum *status* do sistema.



Figura 5: sistema supervisório rodando em ambiente Windows.  
 Fonte: elaboração dos autores (2019).

O envio de programas ao centro de usinagem CNC segue uma estrutura de processamento parecida com a dos comandos oriundos dos botões, porém existem algumas diferenças no processamento por se tratar de um arquivo de texto vindo de formulário de *upload*. Após o usuário selecionar o arquivo desejado através do navegador de arquivos, o sistema realiza a leitura desse arquivo linha após linha, de forma que todo o conteúdo do arquivo seja resumido a um único pacote de informações, que é então enviado ao software para a tradução dessa informação em uma mensagem OPC UA, que, por sua vez, é enviada pelo cliente OPC UA ao servidor OPC UA conectado à CNC. Quando o servidor OPC UA recebe esse pacote de informações, ele os envia, através de uma rede Ethernet local, à CPU interna do Centro de Usinagem CNC, possibilitando assim a utilização do programa desejado durante o processo de usinagem.

## *Resultados e discussão*

Os testes realizados demonstram que o sistema atingiu seus objetivos com êxito, sendo capaz de prover ao usuário as funcionalidades planejadas. A Figura 6 ilustra a conexão bem-sucedida entre o cliente e o servidor OPC UA presente no computador do Centro de Usinagem CNC, bem como a inicialização do servidor WEB que provê a interface do sistema supervisório.

A Figura 7 demonstra o recebimento das instruções provenientes da interação do usuário com o sistema supervisório e posterior envio dos comandos ao braço robótico e centro de usinagem CNC através da comunicação serial. A transferência remota de rotinas de usinagem entre o sistema supervisório e o Centro de Usinagem CNC é demonstrada na Figura 8.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

C:\Documents and Settings\servidor\Desktop>cd SuperCIM_CNC

C:\Documents and Settings\servidor\Desktop\SuperCIM_CNC>node testServer
Servidor executando em: http://0.0.0.0:1406
Servidor iniciado
Servido Executando ... (CTRL+C para interromper)
Porta: 1407
Endereço do servidor: opc.tcp://MANAGER:1407/UA/FTTServer
Client connected with address = undefined port = 1039

```

Figura 6: conexão OPC UA bem-sucedida.  
Fonte: elaboração dos autores (2019).

```

C:\Documents and Settings\cin-pc2\Desktop\TesteSerial>node testeSerial
Port opened.Baud Rate: 9600
Data write completed
Data:RUN
Data:Done.
Data:>HOMES
Data:WAIT ?? homing...
Data:Homing (axis 2)...
Data:Homing (axis 3)...
Data:Homing (axis 4)...
Data:Homing (axis 5)...
Data:Homing (axis 1)...
Data:Homing complete
Data:>
Data:WAIT ?? homing...
Data:Homing complete

```

Figura 7: execução bem-sucedida do comando RUN HOMES através da comunicação serial.  
Fonte: elaboração dos autores (2019).

<pre> cncProgram = G54 TRANS Z40 T3D1 M6 S2000 M3 G0 X-10 Y-10 Z2 G1 Z-2 F800 X0 Y0 Y52 G2 X8 Y60 CR8 G1 X20 </pre>	<pre> X0 G0 Z2 X160 Y80 Z20 M30 </pre>
---	--

Programa enviado com sucesso!

Figura 8: recepção e gravação do programa CNC completo.  
Fonte: elaboração dos autores (2019)

## Considerações finais

Através da análise dos resultados obtidos é possível afirmar que o trabalho desenvolvido gerou benefícios, uma vez que foi possível observar que a solução proposta, em conjunto com a estrutura do CIM utilizado possui condições de implementação dos conceitos da Indústria 4.0 em seu ambiente didático, atuando com tecnologias de grande relevância no cenário atual da indústria.

Concluindo, pode-se afirmar que os objetivos do trabalho foram alcançados, com o desenvolvimento e implantação bem-sucedidos de uma solução de controle, supervisionamento e

comunicação para uma célula de manufatura do sistema CIM atual, sem a necessidade de realizar modificações ou adições nos equipamentos presentes atualmente na planta, sendo baseada em tecnologias *open-source*, como o protocolo OPC UA, garantindo, assim, características de flexibilidade e escalabilidade, além de métodos de integração com outros sistemas, como o acesso remoto e independente da plataforma ao sistema. Pode-se, pois, definir o trabalho como sendo aderente ao cenário da Indústria 4.0 bem como suas tecnologias, como os sistemas cyber-físicos, Internet das Coisas, etc.

## Referências

COELHO, F. J. S., CARVALHO, R. A de. **Estudo sobre o desenvolvimento e tendências futuras da Manufatura Integrada por Computador (CIM) através de análise bibliográfica e bibliométrica.** 2016. 24 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, - Centro de Ciência e Tecnologia - Laboratório de Engenharia de Produção, Univ. Est. do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:

<<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/viewFile/1688/801>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. HELBIG, J.. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry.** [s.l.]: Acatech - National Academy Of Science And Engineering, 2013. Disponível em:

<<https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

MAHNKE, Wolfgang; LEITNER, Stefan-helmut; DAMM, Matthias. **OPC Unified Architecture.** Ladenburg,germany: Springer, 2009.

OLIVEIRA, L.E.S. **Concepção de um framework para monitoramento e teleoperação de máquinas-ferramenta cnc via internet aderente à Indústria 4.0.** 2017. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ROSSIGNON, E. **Build OPC UA applications in JavaScript and NodeJS.** Disponível em: <<http://node-opcua.github.io/>>. Acesso em: 29 maio 2018

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution.** Cologny/geneva,switzerland: World Economic Forum, 2016.