
Aplicação de software web para monitoramento e controle de máquina CNC de gravação a laser

Web software application for monitoring and controlling CNC laser engraving machine

André Luiz Barbosa MarinhoORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0963-0049>

Instituto Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: albmcontato@gmail.com**Artur Vitório Santos**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7678-7685>

Instituto Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: artur.santos@ifro.edu.br**João Magalhães**ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4572-4939>

Instituto Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: magalhaes.joao@estudante.ifro.edu.br**Esther Alves**ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0437-0992>

Instituto Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: tec.esthenunes@gmail.com**Mateus Silva**ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8739-9753>

Instituto Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: mateusgoncalves020@gmail.com**Ronald Marcos**ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9772-0315>

Instituto Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: ronald.marcos@estudante.ifro.edu.br**José Diogo Forte**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1873-8279>

Instituto Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: jose.luna@ifro.edu.br

RESUMO

A inclusão da Internet das Coisas nos processos produtivos industriais deu origem à Indústria 4.0. Neste contexto, atualmente, empresas enfrentam uma competição intensa e são impulsionadas a serem criativas e inovadoras para atender às demandas do mercado. A teleoperação surge como uma solução para permitir que operadores trabalhem remotamente por meio de informações visuais, sonoras ou táteis, possibilitando a realização de tarefas em situações anteriormente impraticáveis. A telemanufatura, por sua vez, é importante para o desenvolvimento de sistemas que permitem a criação de peças à distância, melhorando o relacionamento com os clientes. O trabalho apresenta o desenvolvimento de uma arquitetura de telemanufatura, teleoperação e web monitoramento para uma máquina CNC de gravação, visando atender às demandas da comunidade local. O maquinário possui a característica de plug and play.

Palavras-chave: CNC; Pesquisa; Indústria 4.0; Telemanufatura; Internet das Coisas.

ABSTRACT

The inclusion of the Internet of Things in industrial production processes gave rise to Industry 4.0. In this context, companies currently face intense competition and are driven to be creative and innovative to meet market demands. Teleoperation emerges as a solution to allow operators to work remotely through visual, sound or tactile information, enabling the performance of tasks in previously impractical situations. Telemanufacturing, in turn, is important for the development of systems that allow the creation of parts remotely, improving customer relationships. The work presents the development of a telemanufacturing, teleoperation and web monitoring architecture for a CNC engraving machine, aiming to meet the demands of the local community. The machinery has the characteristic of plug and play.

Keywords: CNC; Research; 4.0 Industry; Telemanufacturing; Internet of Things.

INTRODUÇÃO

O progressivo crescimento da inclusão da Internet das Coisas aos processos produtivos industriais estabeleceu a base para a revolução industrial emergente, denominada de Indústria 4.0 (Hermann, 2016). Hermann (2016), discorre ainda sobre não haver um entendimento que generalize o termo Indústria 4.0, mesmo sendo prioridade máxima de empresas, centros de pesquisas e universidades. Ao encontro dessa ideia, Drath (2014) expressa sua compreensão do termo como a Quarta Revolução Industrial e relaciona o conceito genérico de sistemas ciber físicos para sistemas de produção industrial. Ademais, surgiram filosofias de trabalho similares na América do Norte, sob o nome de Internet Industrial. Entretanto, sua aplicação é mais vasta e abrangente, mesmo que a base técnica seja suficientemente similar (Drath, 2014).

Neste cenário de desenvolvimento industrial, com o advento da rede mundial, aliado ao progresso da globalização, Andrade (2012), argumenta que as empresas, atualmente, encontram-se em um cenário de competição extrema pelo mercado de consumidores, o que as induzem à criatividade e inovação, arquitetando produtos diferenciados. Andrade (2012), ainda alega que esta competição age como um gatilho para as indústrias e fábricas, as forçando a adaptarem seus meios produtivos para atender a demanda atual. Com isto, um termo surge em voga: a teleoperação. Andrade (2012), ainda é favorável à teleoperação ao afirmar que máquinas operadas manualmente, com o passar do tempo, serão ultrapassadas, e conseqüentemente descontinuadas, visto que o preço para o upgrade seria inviável.

Alvares (2008), comenta que o propósito inicial da teleoperação era de possibilitar o trabalho com materiais radioativos de maneira segura e diz que sua função é de permitir a um operador realizar seu trabalho remotamente através de informações recebidas por meio da visão, do som ou por meio tátil.

Alvares (2002) ainda defende que ao unir a teleoperação com a internet, há barateamento do custo da arquitetura de comunicação, possibilitando alcançar-se diferentes aplicações de manutenção e empregabilidade em situações anteriormente impraticáveis.

Ademais, associado ao conceito da teleoperação está a telemanufatura. Alvares (2008), expõe que há certa importância o ato de ambientes fabris desenvolverem, ou

adequarem, um sistema apropriado para criação de peças à distância, visto que pode intensificar o relacionamento usuário/cliente, mesmo que distantes fisicamente.

Em seu trabalho, De Oliveira (2018), desenvolveu um sistema para monitoramento e operação remotas de máquinas CNC. A arquitetura desenvolvida é uma do tipo Cliente-Servidor, dando ênfase para a integração de serviços baseados em padrões da indústria 4.0.

No trabalho de Alvares (2002), há a descrição da implementação de uma interface gráfica de usuário, ou *GUI (Graphic User Interface)*, voltada para teleoperação de de uma máquina industrial de oxicorte, que utiliza-se de tecnologia de comando numérico computadorizado e protocolo de internet (TCP/IP). A interface desenvolvida é baseada na arquitetura cliente/servidor, de forma que o navegador (browser) atue como cliente e um computador pessoal, de sistema operacional Linux, opera como servidor. A *GUI* desenvolvida permite ao usuário remoto ter acesso a diferentes funções para controlar a máquina.

Baseado neste contexto, devido a importância do tema relacionado a teleoperação de máquinas industriais no contexto da Indústria 4.0, o trabalho visa aplicação de software web para teleoperação de uma máquina CNC de gravação a laser de baixo custo, para ser utilizado no Instituto Federal de Rondônia, possibilitando o controle e operação da máquina de forma remota para o uso de demandas provenientes da comunidade acadêmica do Campus Porto Velho Calama.

REFERENCIAL TEÓRICO

Teleoperação

Da contínua operação, de maneira manual e local, de máquinas, surgiu-se a necessidade de metodologia que viabilize operações feitas a distância. Neste contexto, visando uma supervisão centralizada, o controle e monitoramento remoto de máquinas favorece a utilização de sistemas e plantas industriais, desde que conectados à rede por modem e/ou rádio, de qualquer localização do globo (Alvares, 2002). Esta forma de conexão remota, proporciona a redução de custos, visto que descarta a necessidade de transporte e locação de materiais e equipe especializada e, segundo Alvares (2002), possibilidade de partilha de recursos materiais e pessoais.

Um termo que se destaca nesse cenário é o *e-work*, que por vez é fundamento em *e-activities*, definido como tarefas assentadas e exercidas através da tecnologia da informação (TI). Estas atividades, ou e-atividades, fundamentam-se em tecnologias de comunicação e interações entre máquinas, pessoas e computadores. Aplicações interessantes do *e-work* são a telerobótica e a teleoperação (Alvares, 2002).

A teleoperação define-se como o ato de um operador controlar de maneira remota, contínua e direta uma máquina teleoperada, a fim de executar-se tarefas diversas (Alvares, 2002). Andrade (2012) complementa ao dizer que durante uma manufatura realizada por teleoperação o operador deve estar situado do que está ocorrendo no processo sem atrasos, a fim de ter-se uma teleoperação de sucesso. A telerobótica é retratada como uma união das áreas de telemática e robótica, usando um *link* de comunicação (Alvares, 2002).

Alvares (2002) propôs uma categorização para avaliar sistemas de teleoperação quanto a sua autonomia e nível de automação sistemática, sendo esta separada em:

Controle manual sem auxílio computacional; Controle manual com significativo auxílio ou transformação computacional; Controle supervisorio com predomínio do controle realizado pelo operador humano; Controle supervisorio com predomínio do controle realizado pelo computador e controle completamente automático, onde os operadores humanos observam o processo sem intervenções.

A máquina desenvolvida neste trabalho encaixa-se na última categorização. Portanto, o controle é totalmente automático cabendo ao operador apenas iniciar o processo.

Internet das Coisas

Segundo Cavalcante (2015), a Internet nasceu na Guerra Fria como metodologia de comunicação militar visando a descentralização e proteção de dados contra ataques externos. No contrapeso desta ideia e ratificando o pensamento de Magrani (2018), atualmente a Internet é utilizada para fins amplamente diversos, ao invés de um meio para comunicação e busca de informações.

Com a evolução da rede mundial, um novo termo, advindo da Internet, originou-se com o decorrer da Indústria 4.0, a Internet das Coisas ou *Internet of Things (Iot)* (Magrani, 2018). Para Magrani (2018), o tema refere-se tanto a gradativa evolução da automatização em variados setores da estrutura social, fundamentando-se na

comunicabilidade entre máquinas, cunhada como máquina-máquina ou *machine-to-machine* (M2M), bem como ao crescimento da comunicação de maquinários pela Internet.

Por outro lado, Santos (2016) expõe a *IoT* como uma ampliação da Internet, permitindo objetos do cotidiano comunicarem-se com a rede, contanto que sejam de origem eletrônica e digital. Complementando, Santaella (2013) elucida a Internet das Coisas como o estágio atual da Internet mundial, nesta é possível que utensílios se comuniquem com outros objetos, humanos e animais que sejam passíveis de comunicação. Entretanto, mesmo com diversas categorizações do termo, o que está presente em todas é o fato de que computadores, sensores e objetos interagem entre si e processam elementos (Santos, 2016).

Com o expressivo avanço da *IoT* abrem-se novas possibilidades operacionais, tais como controle remoto de instrumentos e o acesso dos objetos como provedores de serviço. Como consequência destas possibilidades, geram-se perspectivas inovadoras no ramo acadêmico e industrial (Santos, 2016).

METODOLOGIA

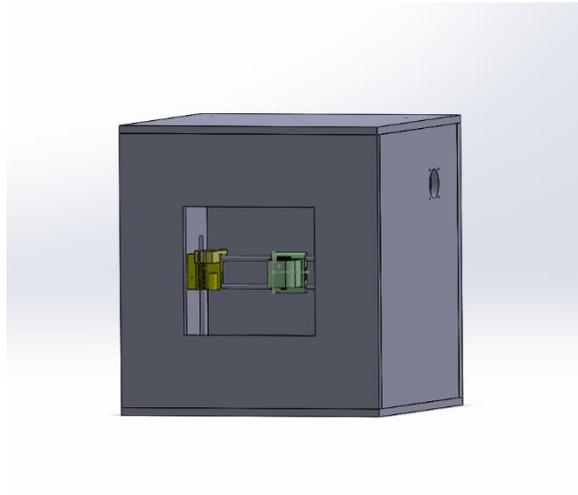
Modelo V

A metodologia de trabalho utilizado neste projeto, baseia-se ao redor do Modelo V, uma metodologia auxiliar ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), geralmente utilizado na etapa de projeto detalhado do PDP. Foi proposto por Ulrich (2012), que trata de subdividir um processo, ou construção de protótipo mecatrônico, em três áreas: o projeto mecânico, projeto eletroeletrônico e o projeto computacional.

Projeto Mecânico

Nesta subseção, será abordado a construção dos componentes mecânicos do projeto, neste caso, a caixa que irá conter a máquina de gravação a laser existente. As informações referentes ao projeto da máquina podem ser encontradas no trabalho desenvolvido pelos autores em (Marinho, 2023). A construção da caixa deu-se pela necessidade de uma estrutura para apoiar a *webcam* necessária para o sistema de *web* monitoramento. Utilizou-se de *software* de desenho assistido por computador (CAD) para o projeto da caixa, na Figura 1 pode-se ver a modelagem feita.

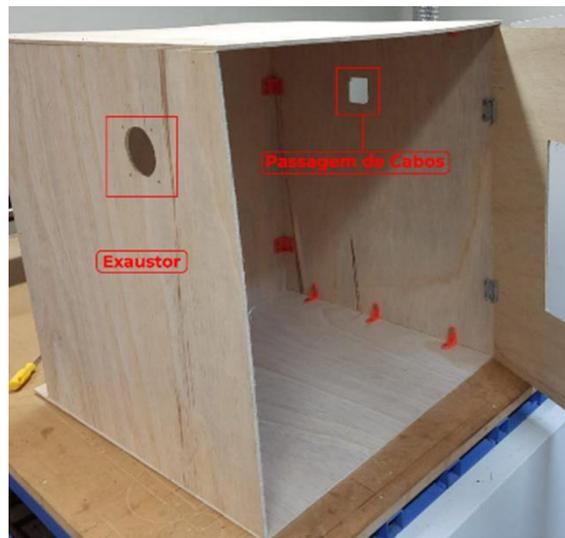
Figura 1 – Caixa Modelada em *software* CAD



Fonte: Autor

Para a construção, utilizou-se de maquinário CNC de corte e chapas de MDF e, para posterior montagem, utilizou-se parafusos e canaletas impressas em 3D para melhorar a fixação da estrutura. O resultado é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Caixa feita utilizando Maquinário CNC



Fonte: Autor

A caixa conta com um furo circular para acoplar-se uma ventoinha e, assim, possuir um sistema de exaustão e com outro furo quadrado para passagem de cabos para o sistema eletroeletrônico necessários. Na Figura 3 é observado a fixação da *Webcam* para monitoramento remoto da operação da gravadora a laser.

Figura 3 – WebCam para monitoramento

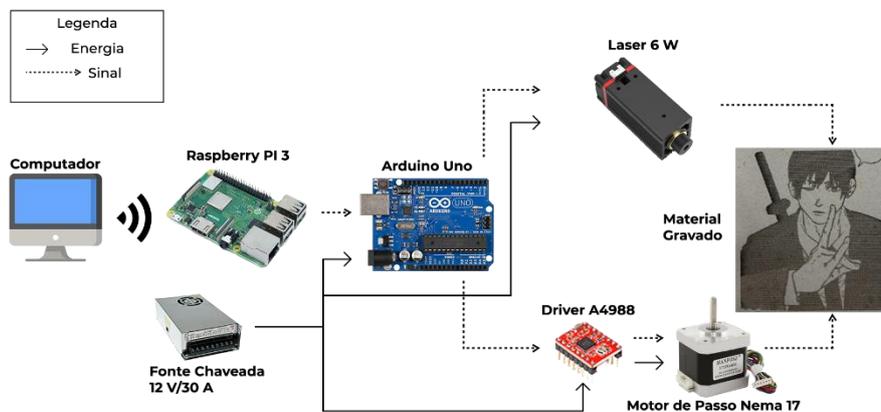


Fonte: Autor

Projeto Eletroeletrônico

Neste estágio, priorizou-se por demonstrar um fluxograma de funcionamento da máquina CNC, desde a alimentação dos componentes, até alcançar a saída, ou seja, o resultado do processo, sendo este o material gravado. Na Figura 4 está o fluxograma mencionado.

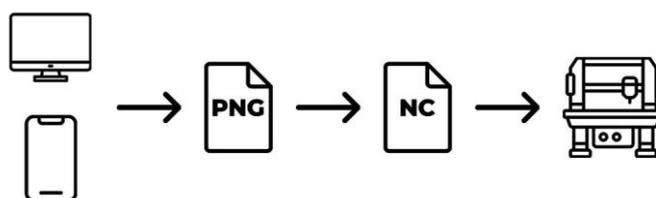
Figura 4 – Fluxograma Elétrico



Fonte: Autor

Outro ponto a salientar são as extensões de arquivos utilizadas para um processo de gravação na referida máquina, um exemplo seria a utilização de uma imagem em formato *Portable Network Graphics* (PNG) para posteriormente ser convertida em um arquivo do tipo *Numeric Control* (NC), sendo este o arquivo gerado pelo software de gravação. Este exemplo está demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma de Extensões

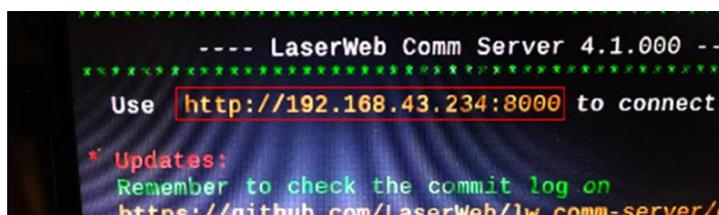


Fonte: Autor

Projeto Computacional

Para o projeto computacional destaca-se dois estágios imprescindíveis, o firmware e o software utilizados. Para o primeiro, utilizou-se o GRBL, controlador escrito em linguagem C, de alta performance e *open-source*, para sistemas CNC. Para o segundo, optou-se por *software* de categoria gratuita e aberto, neste caso o *LaserWeb*, capaz de carregar imagens ou vetores e realizar gravações com um processo de funcionamento simplificado, proporcionando técnicas úteis para realização das atividades, tais como a vetorização de imagens de baixa qualidade. Na Figura 6, observa-se o endereço IP fornecido pelo Raspberry Pi 3 B+ para conexão.

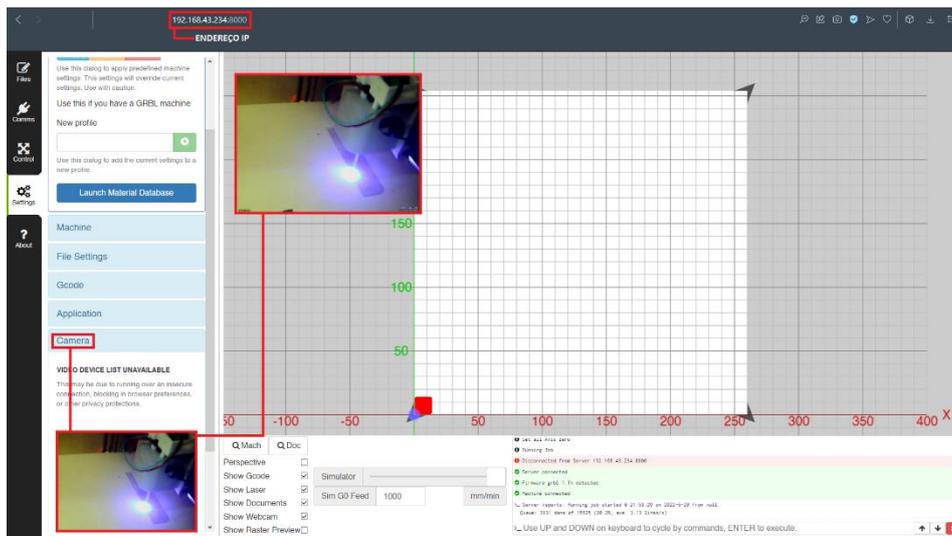
Figura 6 – Endereço IP do servidor do Raspberry PI



Fonte: Autor

Destaca-se que o *LaserWeb* permite a ligação a um servidor por meio de endereço IP. No caso deste trabalho, o Raspberry Pi foi ativado para atuar como servidor, fornecendo um endereço IP para conexão remota, utiliza-se o endereço IP proporcionado no navegador para possibilitar a operação remota da máquina. O *software* viabiliza a conexão com a câmera de monitoramento. A câmera utilizada para captura de imagens, pode ser qualquer uma, desde que consiga se conectar via USB com o Raspberry Pi. O monitoramento ocorre em tempo real, tendo delay na captura da imagem para não aumentar o processamento do controlador, conforme operação na Figura 7.

Figura 7 – Software LaserWeb



Fonte: Autor

Na Figura 7, é possível observar o *software LaserWeb* utilizado para teleoperação, sendo que através dele, é possível controlar a movimentação da máquina, ajuste dos parâmetros do laser e ponto focal, visualização do código G gerado para movimentação e gravação da máquina, endereço de conexão da máquina, entre outras possibilidades.

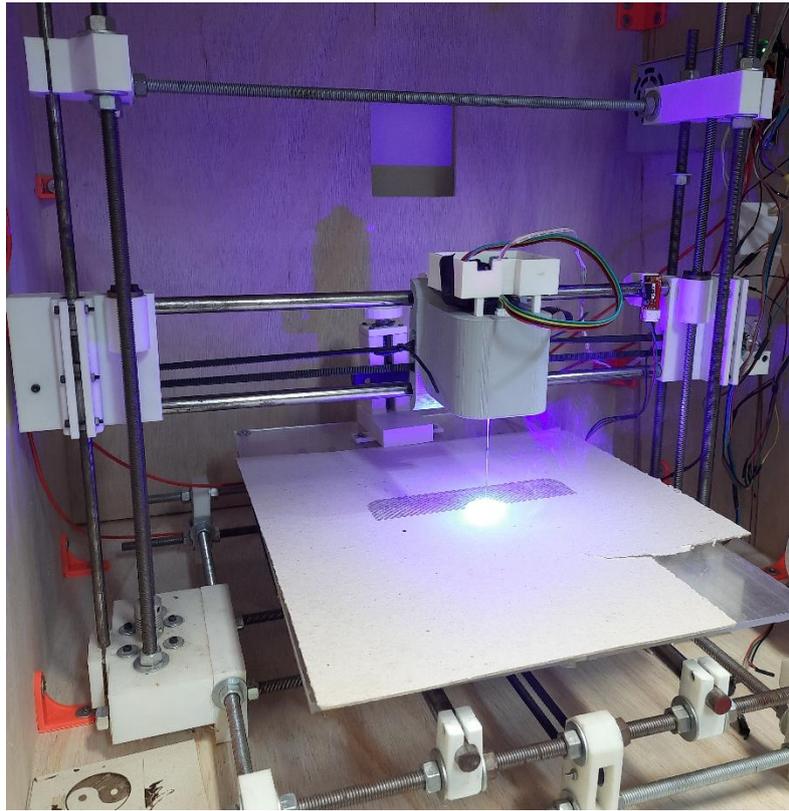
Adicionalmente, para que seja possível a replicação do RaspberryPI como servidor, organizou-se um documento para agir como manual de usuário, este pode ser acessado pelo seguinte endereço: https://docs.google.com/document/d/1mjXOXSxaf3-HoyNpJDpplw_p45MXuR2a/edit?usp=sharing&ouid=110195619764983006564&rtpof=true&sd=true.

RESULTADOS

O trabalho desenvolvido visou demonstrar a aplicação de *software web* para teleoperação de uma máquina CNC de gravação a laser para ser utilizado no Instituto Federal de Rondônia, possibilitando o controle e operação da máquina de forma remota para o uso de demandas provenientes da comunidade acadêmica do Campus Porto Velho Calama.

Evidencia-se, pela Figura 8, que a construção da caixa seguiu as dimensões e requisitos de projeto desejados, pelo demandante e autores, conforme especificado pelo projeto CAD realizado.

Figura 8 – Máquina de Gravação CNC montada



Fonte: Autor

O maquinário possui uma característica de *plug and play*, que segundo Eger (2011) é a característica de dispositivos, conectados à internet, não necessitarem de configurações para acessar informações e executar suas funções.

Para a proteção visual contra o feixe de luz do Laser da gravação da máquina, utilizou-se acrílico acoplado a janela de visualização da porta da estrutura da caixa, para tanto empregou-se peças de impressão 3D, desenvolvidas com auxílio de modelagem em programa CAD, para encaixe do acrílico, o resultado é visível na Figura 9 abaixo.

Figura 9 – Suporte de Impressão 3D para o acrílico



Fonte: Autor

Para análise do funcionamento do maquinário, e verificação da teleoperação, por meio de fotos e vídeos, na Figura 10 está disponível o *Qr-Code* para visualização das informações do projeto.

Figura 10 – Repositório de Links



Fonte: Autor

Através dos links disponibilizados no código QR é possível visualizar a teleoperação da máquina de gravação a laser. Estão disponíveis os links demonstrando o funcionamento da operação da máquina, bem como o manual para configurar a teleoperação no Raspberry Pi instalando o *software LaserWeb*.

Enquanto o material acadêmico de Siepamann (2022) da impressora 3D menciona o OctoPrint como *software* para comunicação entre o Raspberry Pi e a máquina CNC, o presente trabalho opta pelo *LaserWeb*, destacando sua capacidade de carregar imagens e vetores, bem como facilitar a vetorização de imagens de baixa qualidade, este usado para gravação a laser. Essa diferença sugere funcionalidades diferentes aos projetos, como o

controle remotamente do eixo Z e temperatura por parte do trabalho envolvendo a impressora de manufatura aditiva.

No estudo De Barros (2024) foi empregado o uso do CNC Monitor da GRV *Software*, que é capaz de integrar e processar informações coletadas pelos parâmetros fornecidos pelo maquinário em produção, apresentando não só dados de funcionamento das máquinas em tempo real, mas também análises gráficas para fins comparativos. Em seu trabalho, De Barros (2024) expôs a necessidade de integrar a arquitetura CNCs de alto custo e compatibilidade específica, embora o controle do maquinário em questão deva ser obrigatoriamente feito por agentes externos, já que o *software* utilizado apenas monitora o sistema, distintamente do trabalho aqui desenvolvido, capaz de monitorar e controlar as ferramentas.

Em seu material bibliográfico analisado, Silva (2010) discorre sobre um sistema de monitoramento usando meio de comunicação fornecido pelo fabricante da CNC a ser monitorada, sendo possível ser visualizado parâmetros como o avanço atual, a rotação do eixo e as posições atuais dos eixos X, Y e Z. No trabalho analisado, a máquina-ferramenta, para o perfeito funcionamento da comunicação, deve estar conectada na mesma rede de seu computador dedicado, em oposição com o trabalho aqui proposto que se faz possível o monitoramento e controle por qualquer outro dispositivo com acesso à internet e o endereço de IP da máquina.

De Oliveira (2018) desenvolve um sistema de teleoperação baseado em arquitetura Cliente-Servidor para supervisionar, registrar e intervir na máquina-ferramenta. O monitoramento baseia-se na obtenção de informações através de um servidor *MTConnect*, agregado do servidor do CNC, software Adaptador e *software* Agente, além de um servidor OPC (*Open Platform Communications*). Tal qual ao que foi resultante neste projeto, De Oliveira (2018) construiu uma interface cliente *Web* que integra as atividades fornecidas pelos servidores em um único ecrã. Em ambos os trabalhos, um dos desafios foi desenvolver um serviço em que o servidor estivesse acessível via Internet e detivesse características alinhadas com o conceito da *IoT*.

CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou a implementação de um *Software Web* para Monitoramento e Controle de uma Máquina CNC de Gravação a Laser. O

desenvolvimento do trabalho possibilitou a aprendizagem ativa no Instituto Federal de Rondônia, buscando atender às demandas da indústria 4.0. Através da implementação do sistema *web*, foi possível contemplar as características integradoras, abrangendo conhecimentos em eletrônica, microcontroladores, programação e sistemas de controle. Além disso, é necessário o uso de conhecimentos na área de informática, tanto para a instalação do *firmware* do LaserWeb no Raspberry Pi, quanto para o controle do mesmo por meio da interface homem-máquina.

Entretanto, é de suma importância mencionar a principal limitação deste estudo: a necessidade de uma conexão *Wi-Fi* com alta velocidade para que seja possível o funcionamento do projeto. Essa limitação oferece oportunidades para pesquisas futuras, que poderiam explorar a utilização de outros sistemas de conexão com a internet.

Como resultado, este trabalho propôs uma abordagem significativa para o desenvolvimento de um sistema *WEB* para monitoramento de Máquina CNC, controlada e monitorada em tempo real.

Para aprimorar o sistema desenvolvido algumas melhorias podem ser implementadas, testadas, portanto tem-se para trabalhos futuros: um estudo da robustez e adaptação do sistema desenvolvido, para tanto seria necessário a replicação dos testes em ambientes e cenários distintos; tendo em vista que o sistema foi desenvolvido para aplicação local, onde os requisitos de segurança não foram testados, sendo necessário ampliar o escopo do trabalho e necessita maiores estudos referente aos quesitos de segurança de rede.

REFERÊNCIAS

ALVARES, A.J. (2008). Webturning: Teleoperação de um centro de torneamento via internet.

ALVARES, A.J. AND Jr., R. (2002). Telerobotics: Methodology for the development of a through-the-internet robotic teleoperated system. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**.

ALVARES, A.J. (2002). Um sistema de telemanufatura baseado na web orientado ao processo de oxicorte. **XXII ENEGEP**.

ANDRADE, R.A. (2012). Teleoperação robótica: Fomento de competencias articuladas para engenharia de controle e automação. **COBENGE**.

BARBOSA MARINHO, ANDRÉ LUIZ; MAGALHÃES, JOÃO; VITORIO, ARTUR; ALVES, ESTHER; MILENA SILVA OLIVEIRA, ARIADNY. Aplicação do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) ao desenvolvimento de máquina Comando Numérico Computadorizado de Gravação a Laser. **In: 12th Brazilian Congress on Manufacturing Engineering, 2023.**

CAVALCANTE, G.A.G. (2015). Ataques cibernéticos e o caso stuxnet: Um novo desafio a segurança internacional. **Portal de Trabalhos Academicos.**

DE BARROS, M. B., & DA SILVA FONSECA, J. P. (2024). Conectividade ethernet e Iot flexível para monitoramento de processos de usinagem em máquinas Cnc. **Brazilian Journal of Production Engineering, 10(1), 207-217.**

DE OLIVEIRA, L.E.S. (2018). Development of a system for monitoring and teleoperation cnc machine tools through the internet adherent to industry 4.0. **Revista Produção e Desenvolvimento.**

DE OLIVEIRA, LUIZ & ALVARES, ALBERTO. (2018). Desenvolvimento de um Sistema para Monitoramento e Teleoperação de Máquinas-ferramenta CNC via Internet aderente à Indústria 4.0. **Revista Produção e Desenvolvimento.**

DRATH, R. AND HORCH, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [industry forum]. **IEEE Industrial Electronics Magazine.**

EGER, KOLJA; RUSITSCHKA, S.G.C. (2011). A plug and play concept for iec 61850 in a smart grid. **21st International Conference on Electricity Distribution CIRED.**

HERMANN, M., PENTEK, T., AND OTTO, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios.

MAGRANI, E. (2018). A internet das coisas. **Editores FGV.**

SANTOS ET AL. (2016). Internet das coisas: da teoria a prática.

SANTAELLA ET AL. (2013). Desvelando a internet das coisas. **Revista GEMInIS.**

SIEPAMANN, M. R., SANTOS, A. V. A., ALVES, K. D., DE OLIVEIRA LUNA, J. D. F., & DE SOUZA, R. P. (2022). Retrofitting de impressora 3D com monitoração e impressão online: 3D printer retrofitting with online monitoring and printing. **Brazilian Journal of Development.**

SILVA, E. J. D., RONDON, L. C., MARTINS, M. V., FRANÇA, T. V., & CERVELIN, J. E. (2010). Desenvolvimento de um sistema de monitoramento para máquinas-ferramentas utilizando-se o padrão MTCONNECT®. **Anais.**

ULRICH AND EPPINGER (2012). Product design and development. **McGraw-Hill Education: 5 edition.**