

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO**

Thiago da Silva Pessanha

**PROJETO DE SOFTWARE E HARDWARE PARA INTEGRAÇÃO DE
MÁQUINAS CNC'S A UM POOL DE MANUFATURA DIGITAL**

Campos dos Goytacazes / Rio de Janeiro

2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA FLUMINENSE**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO

THIAGO DA SILVA PESSANHA

PROJETO DE SOFTWARE E HARDWARE PARA INTEGRAÇÃO DE MÁQUINAS
CNC'S A UM POOL DE MANUFATURA DIGITAL

Rogério Atem de Carvalho
(Orientador)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Campos dos Goytacazes / Rio de Janeiro

2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
FLUMINENSE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO

Thiago da Silva Pessanha

PROJETO DE SOFTWARE E HARDWARE PARA INTEGRAÇÃO DE MÁQUINAS
CNC'S A UM POOL DE MANUFATURA DIGITAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

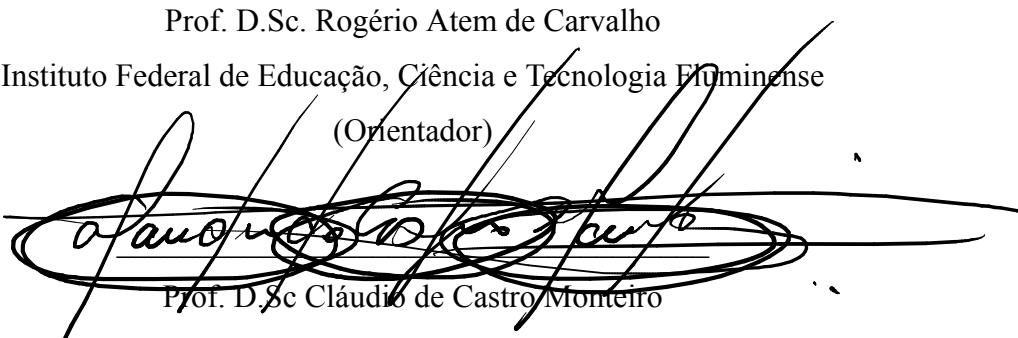
Aprovado em 30 de março de 2023.

Banca Examinadora:

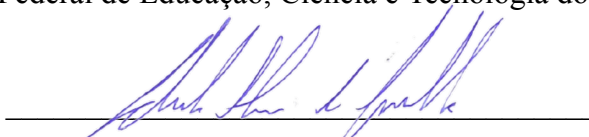


Prof. D.Sc. Rogério Atem de Carvalho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense
(Orientador)


Prof. D.Sc Cláudio de Castro Monteiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins


Prof. D.Sc Eduardo Atem de Carvalho

Universidade Estadual do Norte Fluminense

Biblioteca
CIP - Catalogação na Publicação

P422p Pessanha, Thiago da Silva
PROJETO DE SOFTWARE E HARDWARE PARA INTEGRAÇÃO
DE MÁQUINAS CNC'S A UM POOL DE MANUFATURA DIGITAL /
Thiago da Silva Pessanha - 2023.
44 f.: il. color.

Orientador: Rogério Atem de Carvalho

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado
Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Anton Dakitsch,
RJ, 2023.
Referências: f. 42 a 44.

1. Manufatura em nuvem. 2. Manufatura digital. 3. Sistemas de
gerenciamento da produção. I. de Carvalho, Rogério Atem, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da Biblioteca do IFF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que me auxiliaram, de forma direta e indireta, no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, André e Adriana, por todo suporte dado aos meus estudos mesmo nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus irmãos, todos eles, pela paciência e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho.

A toda a equipe de desenvolvimento do Cloud Cube, que confiaram no projeto e dedicaram seu tempo à ele.

A toda a Equipe da Blitzar 3D onde o pool de testes foi implementado, principalmente a Vinícius, meu sócio, que embarcou comigo em mais um projeto.

Agradeço a Hiago Gama e a Lara Prazeres pelos auxílios no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Jheneffer, minha namorada que sempre me incentivou e ajudou nesse e em diversos projetos ao longo da nossa história.

Muito obrigado a todos!

“Sempre teremos Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática conosco. Algumas coisas sairão dos olhos do público e irão embora, mas sempre haverá ciência, engenharia e tecnologia. E sempre, sempre haverá matemática.”

(Katherine Johnson)

RESUMO

Esse trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema de automação de baixo custo para integração de máquinas cnc distribuídas geograficamente a um único centro de fabricação virtual, esse sistema possui integração com sistema de vendas e logísticos. Este trabalho também contempla o desenvolvimento de um hardware específico para a conexão de qualquer impressora 3D ou máquina CNC que faça uso de GRBL ou similar (Marlin) ao sistema de gerenciamento em nuvem que é capaz de automatizar o orçamento, o controle da linha de produção, e o gerenciamento logístico, fora isso a plataforma também é capaz de se integrar a qualquer marketplace que possua uma API onde as informações necessárias para a fabricação do produto estejam disponíveis. A plataforma faz uso dos conceitos de fabricação digital, cloud manufacturing para uma planta virtual moderna integrada em diversos pontos com as demandas variáveis dos clientes e assistindo os fornecedores, donos de máquinas no controle de estoque e manutenção das máquinas.

Palavras-Chave: Manufatura em nuvem. Manufatura digital. Sistemas de gerenciamento da produção

ABSTRACT

This work addresses the development of a low-cost automation system for the integration of geographically distributed cnc machines to a single virtual manufacturing center, this system has integration with a sales and logistics system. This work also includes the development of specific hardware for connecting any 3D printer or CNC machine that uses GRBL or similar (Marlin) to the cloud management system that is capable of automating budgeting, production line control , and logistical management, apart from that the platform is also able to integrate with any marketplace that has an API where the necessary information for the manufacture of the product is available. The platform makes use of the concepts of digital manufacturing, cloud manufacturing for a modern virtual plant integrated at various points with the changing demands of customers and monitoring of suppliers, machine owners in inventory control and machine maintenance.

Keywords: Cloud manufacturing. Digital manufacturing. Production management systems

LISTAS

Lista de ilustrações

Figura 1 - Pirâmide da automação industrial	pág. 11
Figura 2 - Impressora 3D usada para testes de acoplamento	pág. 22
Figura 3 - Panorama do processo Tradicional e MOD	pág. 24
Figura 4 - Exemplo de produto de prateleira	pág. 25
Figura 5 - Exemplo de produto personalizável	pág. 26
Figura 6 - Exemplo de peça única	pág. 27
Figura 7 - Arquitetura geral do CloudCube	pág. 29
Figura 8 - Arquitetura integração API marketplace	pág. 30
Figura 9 - Fluxograma de orçamentos	pág. 31
Figura 10 - Fluxograma API marketplace múltiplas máquinas	pág. 31
Figura 11 - Interface sistema web - cliente	pág. 32
Figura 12 - Algoritmo para escolha de fábrica	pág. 34
Figura 13 - Interface orçamento automático	pág. 35
Figura 14 - Interface de gerenciamento e monitoramento da produção	pág. 36
Figura 15 - Cube Connect versão 1 costas	pág. 36
Figura 16 - Cube Connect versão 1 frente	pág. 37
Figura 17 - Cube Connect versão 1 placas painelizadas	pág. 37
Figura 18 - Cube Connect versão 1 instalado em placa mãe de impressora 3D	pág. 38

Lista de abreviaturas e Siglas

SIGLA - Nome da sigla

IoT - Internet of Things;

IIoT - Industrial Internet of Things;

CPS - Cyber-physical system;

3D - Três dimensões;

2D - Duas dimensões;

CNC - Computer numerical control;

DAMA - Design Anywhere, Manufacture Anywhere;

Wi-Fi - wireless fidelity;

JIT - Just-in-Time;

CAD - Computer- aided design

MOD - Manufacture on demand

PID - Proporcional, integral, derivativo

SCADA - Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados

API - Interface de Programação de Aplicação

UART - Universal Asynchronous Receiver / Transmitter

USB - Universal serial bus

SPI - Serial Peripheral Interface

FDM - Fused deposition modeling

FFF - Fused filament fabrication

DLP - Digital light processing

MJF - Multi jet fusion

SKU - Stock Keeping Unit (Unidade de Manutenção de Estoque)

SUMÁRIO

1	
INTRODUÇÃO	9
1.1 Justificativa	12
1.2 A questão geográfica	14
1.3 Cloud Manufacturing	14
1.4 As funções dentro de uma indústria	15
1.5 Vendas	16
1.6 Automação do setor de vendas	16
2 TRABALHOS SIMILARES	17
3 METODOLOGIA	19
3.1 Objetivos	19
3.1.1 Geral	19
3.1.2 Específicos	19
3.2 Materiais e Métodos	19
3.3 Novos modelos de negócio	22
3.4 Novo Paradigma de fabricação	24
3.5 Categorizando os produtos do <i>pool</i> de fabricação	24
3.6 A automação da geração de G-code	27
3.7 Requisitos do hardware conector - Cube Connect	28
4 DESENVOLVIMENTO	28
4.1 Arquitetura do Cloud Cube	28
5 RESULTADOS	34
6 CONCLUSÕES	38
7 REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A prática de terceirização iniciou-se como um processo cujo objetivo era melhorar a qualidade dos processos de uma empresa, quando, em algum procedimento interno, esta não conseguisse qualidade adequada, ou então fosse muito mais custoso ter esse processo internalizado do que comprar pronto de uma outra empresa, cabendo à contratante gerenciar esse processo de forma externa. Um exemplo de terceirização é a fabricação de parafusos para um automóvel. O mercado de parafusos é maior do que o de automóveis e, para fabricar uma unidade, há a necessidade de máquinas grandes e caras, preparadas para escala; nesse caso, é muito mais simples e barato comprar um parafuso de uma empresa cuja produção seja específica desse item, visto que ela se preocupa com a qualidade de cada parafuso, enquanto a empresa de automóveis pode priorizar a qualidade dos seus automóveis.

A intenção da terceirização é que a empresa foque no que faz com excelência e entregue valor ao seu cliente, deixando todas as partes que não são a chave para seu negócio com os terceirizados, aumentando, assim, a qualidade do produto final e a flexibilidade do seu negócio. A terceirização bem-sucedida pode gerar não apenas ganhos pontuais em processos da empresa, mas também otimizar toda a sua cadeia produtiva, sempre buscando focar no que gera valor ao seu cliente final.

Apesar da terceirização trazer muitos benefícios, novos problemas aparecem, de modo que há necessidade de, por exemplo, negociar com o fornecedor terceirizado uma demanda fixa, a fim de manter os preços baixos. Muitas vezes, a demanda não segue as mesmas variações das vendas, e, pelo fato de não ser uma fábrica própria, não há como otimizar alguns aspectos da produção como quantidade e qualidade dos produtos. Dessa forma, esses contratos com demanda fixa e preços pré-fixados não conseguem atender às variações do mercado, assim, os próprios fornecedores acabam sendo responsáveis por matar seus clientes no caso de grandes crises e execução dos contratos.

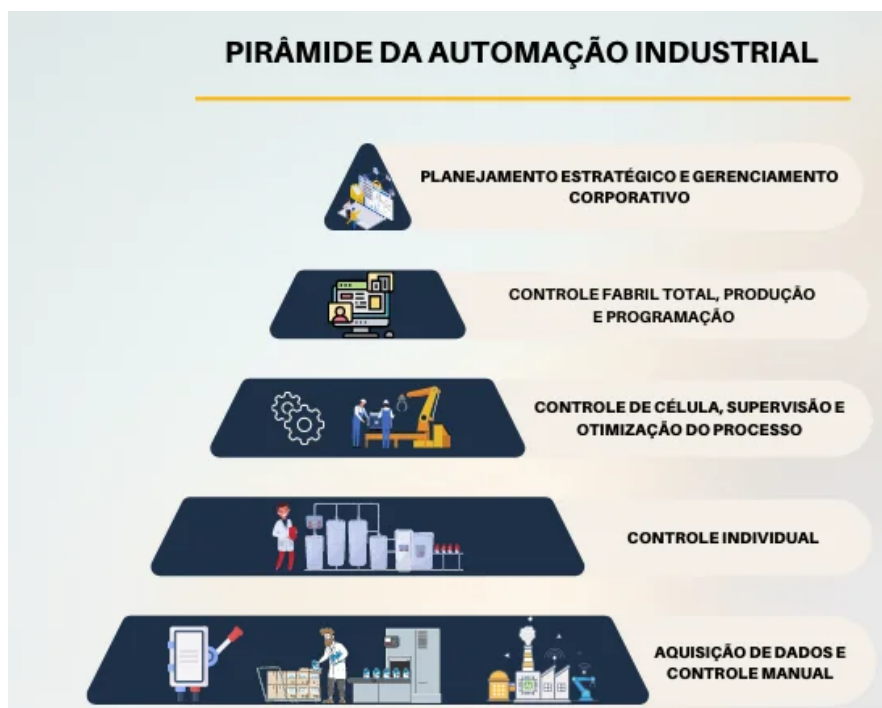
Destaca-se que qualquer produção de larga escala exige máquinas específicas para baratear a produção e padronizar a qualidade. Quando se pensa em terceirização para flexibilização do processo, segue-se a seguinte idéia: o tempo de vida dos produtos está cada vez mais curto devido a atualizações e a entrada de novos *players* no mercado; sendo assim, uma nova versão de um determinado produto não utiliza as mesmas máquinas que a versão anterior. Desta forma, a atualização da fábrica é necessária e a venda dos equipamentos anteriores nem sempre é possível, de modo que a atualização do produto pode tornar-se inviável. Mantendo grande parte da fabricação terceirizada, a flexibilidade entre um produto ou outro é muito maior. Caso os serviços das empresas que fabricavam a versão anterior do

produto não sejam capazes de produzir os novos modelos, é uma questão de troca de fornecedor, muito mais simples do que a atualização da planta fabril.

A terceirização nem sempre vem acompanhada de uma redução da margem de lucro no processo terceirizado, porém, nos casos em que isso acontece, não lidar com os problemas do processo de fabricação justifica a terceirização. Na pandemia, as empresas foram forçadas a se expor digitalmente, tanto para venda de produtos, como de serviços, o que alavancou de forma exponencial o crescimento das lojas virtuais nos últimos anos. Essa virtualização da interface de vendas trouxe consigo a terceirização da virtualização: diversas empresas trouxeram soluções prontas para tal procedimento. Uma opção notável dentre essas soluções são os *marketplaces*, os quais são plataformas que fazem o intermédio da compra *on-line*, garantindo ao comprador o retorno do seu dinheiro em caso de defeito ou de erro no envio, por exemplo. Esses ambientes funcionam com uma interface amigável, com a qual o comprador já está habituado, de modo que leva muito tempo para que estes indivíduos desenvolvam confiança em lojas *on-line* que não ficam em *marketplaces*, demandando enorme investimento em *marketing*.

Sempre em busca de uma maior margem de lucro e competitividade, os produtores são forçados a diminuir os custos de fabricação de forma a ter um produto com margens mais competitivas. A automação desempenha, pois, um papel essencial na diminuição dos preços dos produtos, sendo dividida em níveis, como mostra a Figura 1. No nível mais baixo, há sensores coletando dados da produção para monitoramento; no nível seguinte, atuadores corrigindo a produção e usando controles PID para variáveis simples; subindo mais um nível, vê-se o controle de uma célula de produção de onde saem peças completas, já podendo ser um produto final, ou peças para montagem de outros produtos maiores; no nível seguinte, já se encontram os sistemas SCADA, para controle total da fábrica e programação da produção; no topo da pirâmide, estão dispostos os resultados resumidos para o planejamento estratégico da empresa.

Figura 1 – Pirâmide da automação industrial



Fonte - NEPIN (2022), disponível em: <https://www.nepin.com.br/blog/solucoes-industriais/entendendo-o-conceito-de-piramide-da-automacao-industrial/>. Acesso em: mar. 2023.

Sistemas de automação tradicionais geram dados referentes à produção e às máquinas. Com a chegada dos sensores inteligentes, uma quantidade maior de dados da produção começou a ser adquirida de forma mais barata, permitindo a caracterização de cada produto fabricado direta ou indiretamente. Com essa massa de dados, técnicas mais avançadas foram sendo desenvolvidas, para otimização, tendo, como exemplo, a previsão de falha. A quarta revolução industrial é caracterizada, de acordo com o Portal da Indústria (2023), como a aplicação de um conjunto de tecnologias, são elas:

- 1 - Inteligência artificial;
- 2 - Computação em nuvem;
- 3- Big data;
- 4- Cyber segurança;
- 5- Internet das coisas (IOT);
- 6 - Robótica avançada;

7 - Manufatura digital;

8- Manufatura aditiva;

9 - Integração de sistemas;

10- Sistemas de simulação;

11- Digitalização.

Ainda de acordo com o Portal da indústria (2023), com a aplicação dessas tecnologias é esperada uma média de 22% de aumento na capacidade produtiva de pequenas e médias empresas. Vale lembrar que essas tecnologias já são aplicadas em indústrias maiores, raramente todas juntas, já que para o sucesso da aplicação das tecnologias há dependência de uma infraestrutura preexistente e funcional nas empresas.

1.1 Justificativa

Com a popularização de máquinas CNC, principalmente impressoras 3D, vê-se uma quantidade imensa de máquinas que não alcançam demanda de produção, restando ociosa sua capacidade produtiva, enquanto outros proprietários de máquinas têm picos de demandas e não conseguem atendê-las em um prazo adequado, devido à incapacidade de gerenciar a distribuição da demanda entre múltiplos parceiros. Com a evolução das tecnologias de controle remoto dessas máquinas, denominado, neste trabalho, como virtualização das máquinas, todos os dados da máquina CNC, volume de trabalho, disponibilidade de produção, temperatura dos motores, calendário de manutenções, etc. Surge uma oportunidade de utilizar esse enorme potencial produtivo ocioso em prol de atender os picos de demanda, distribuindo a produção entre as máquinas usando o conceito de manufatura digital e *cloud manufacturing*. A aplicação destes conceitos permite que a demanda seja distribuída entre múltiplos produtores.

Este modelo de negócio é interessante para o dono da máquina ociosa, bem como o é para o demandante, visto que diminui o risco da não entrega de suas peças. Para os donos da plataforma de gerenciamento, é interessante, do ponto de vista de entregar um serviço de qualidade para os dois lados, recebendo por isso.

As vantagens para os donos de máquinas incluem atender clientes aos quais não se teria acesso anteriormente, aumentando a produtividade; trabalhar sem o risco de assumir um compromisso que não se possa cumprir, devido a qualquer problema que possa ocorrer nas

suas máquinas; receber demanda constante, ditada por variáveis muito mais lentas do que as do mercado local; possibilitar automação de parte da sua produção, permitindo um aumento de produtividade; fazer parte de um sistema maior, o qual permite que se atenda aos clientes certos para a capacidade, entregando melhor qualidade; e utilizar um sistema inteligente para o controle das suas variáveis de produção como estoque, vendas e logística.

As vantagens para o consumidor das peças fabricadas são diversificação da sua rede de fornecedores; diminuição das chances de peças não serem entregues no prazo ou fora do padrão de qualidade requisitado, em vista da virtualização das máquinas em um grande *pool* produtivo; diminuição do *lead time* produtivo, em face dos orçamentos de peças serem automáticos; preparo para possíveis imprevistos, bem como maior rapidez de reação, com o acompanhamento virtual da produção.

Apesar da discussão neste trabalho se desenrolar já levando em conta a terceirização como vantajosa, vale notar que SUN et al. (2023) consideram que em todos os casos é mais vantajoso ser dono das máquinas, no estudo feito, impressoras 3D, porém como afirmado no mesmo trabalho diversos fatores não são levados em conta no estudo e a única variável que foi levado em conta foi a velocidade de uma peça sendo feita em uma impressora própria do cliente ou fabricada por um terceiro, a escalabilidade, entre outros aspectos que tornam favoráveis o uso de máquinas terceirizadas como mencionados anteriormente não foram levados em consideração. Já de acordo com WESTKÄMPFER (1997) para uma empresa ser capaz de operar de forma próxima ao cliente, atendendo apenas sob demanda a adaptabilidade e intercomunicação são as chaves e a terceirização traz essa adaptabilidade. De acordo com BENGTSSON et Al (2009) o investimento em tecnologia e estrutura organizacional costuma superar os benefícios da terceirização, mas como a solução proposta traz a tecnologia para auxiliar a comunicação entre cliente e fornecedor vê-se o potencial da ferramenta.

A solução apresentada, neste trabalho, foi posteriormente denominada CloudCube, cuja proposta é a integração dos produtores com menor demanda a um sistema que centraliza a demanda de produção, por meio tanto de contratos, quanto por demanda pontual. Além disso, o sistema também gerencia diversos pontos da cadeia produtiva e de vendas, permitindo uma equipe de fábrica muito mais enxuta.

Os objetivos da plataforma são:

- 1- Automação das vendas de produtos já existentes com minimização de estoque;

- 2- Automação de orçamentos para prestação de serviços;
- 3- Gerenciamento de estoque do produtor;
- 4- Gerenciamento logístico para distribuição de grandes demandas entre diferentes produtores;
- 5- Gerenciamento de qualidade da produção;
- 6- Gerenciamento de manutenção;
- 7- Análise dos dados coletados das máquinas para prever falhas e aumentar a produtividade;

Para o sucesso desse sistema, a estratégia está na integração inicial de uma malha de impressoras 3D, bem como na oferta de um serviço com padrão de qualidade médio-alto para empresas com demanda. O início do projeto com impressoras 3D deve-se ao baixo custo das máquinas, o que ocasionou diversas unidades compradas, sem que seu potencial produtivo fosse aproveitado, isto é, máquinas ociosas. Além disso, o sistema passa a ter a capacidade de aumentar significativamente a confiabilidade em impressoras 3D no que diz respeito a peças em produtos finais ou para produtos pontuais.

Dito isto, a integração das impressoras 3D com o sistema de gerenciamento demanda conexão com a internet, e grande parte das máquinas não tem essa interface de fábrica. Porém, algumas soluções já haviam sido implementadas entre a comunidade *open source*; dentre elas, destacam-se o Octoprint e o ESP3D.

1.2 - A questão geográfica

O Cloud Manufacturing é uma tecnologia de produção que permite acesso remoto a sistemas de produção e colaboração em tempo real com outros fabricantes, designers e clientes, independentemente da localização geográfica. Isso significa que os fabricantes não ficam mais limitados às instalações físicas para produzir seus projetos, podendo colaborar em qualquer lugar com acesso à internet – um processo conhecido como DAMA, *design anywhere manufacture anywhere*.

Além disso, ao enviar dados de produção remotamente às máquinas CNC em qualquer lugar do mundo, é possível reduzir significativamente os custos de transporte e minimizar o impacto ambiental. O Cloud Manufacturing também melhora a colaboração entre os fabricantes, o que aumenta a eficiência e a velocidade do processo de produção, além de ajudar a garantir a qualidade dos projetos finais. O Cloud Manufacturing traz um novo padrão de qualidade para a produção terceirizada.

1.3 - Cloud Manufacturing

O Cloud Manufacturing é uma tecnologia de produção revolucionária que traz benefícios significativos para a eficiência, agilidade e qualidade da produção. Com acesso remoto a sistemas de produção e colaboração em tempo real, os fabricantes podem responder rapidamente às mudanças no contrato ou na demanda do cliente, o que garante a agilidade no processo de produção. A automação de tarefas repetitivas e a colaboração ajudam a aumentar a eficiência e a garantir a qualidade dos produtos finais. A transparência no processo de produção é ainda garantida através da possibilidade de compartilhamento de informações atualizadas com os clientes. O Cloud Manufacturing é uma tecnologia que oferece uma nova forma de produção, mais eficiente, ágil e de alta qualidade, que pode ajudar a garantir o sucesso de contratos pré-fixados. De acordo com ZHANG et Al. (2012) Cloud Manufacturing representa o futuro da manufatura, peça chave para promover a manufatura a um novo nível.

O Cloud Manufacturing surgiu como uma evolução da indústria de produção, que vem incorporando tecnologias baseadas em nuvem para melhorar a eficiência, eficácia e flexibilidade da produção. A ideia de utilizar a nuvem para gerenciar a produção remotamente remonta aos primórdios da computação em nuvem, quando as empresas começaram a utilizar a nuvem para armazenar e compartilhar informações.

No entanto, a abordagem de Cloud Manufacturing só se tornou realmente prática quando as tecnologias de nuvem tornaram-se mais avançadas e acessíveis, permitindo a integração de recursos de produção remotos em tempo real. Além disso, o aumento da demanda por soluções de produção mais eficientes e flexíveis, juntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias, como a Internet das coisas (IoT) e a inteligência artificial (IA), também ajudou a impulsionar o crescimento do Cloud Manufacturing.

Atualmente, o Cloud Manufacturing é visto como uma abordagem inovadora e crescente para a produção, que permite a colaboração eficiente entre empresas e fornecedores e a integração de recursos de produção remotos. A tendência é que essa abordagem continue a evoluir e a se tornar ainda mais ampla e acessível à medida que as tecnologias de nuvem e de produção continuarem a se desenvolver.

1.4 - As funções dentro de uma indústria

A separação de funções dentro de uma indústria é responsável por garantir que a produção seja conduzida de maneira eficiente e econômica. O gerenciamento de produção planeja, organiza e supervisiona o processo de produção, garantindo que as metas e prazos sejam atendidos; a equipe de engenharia projeta e desenvolve produtos e soluciona problemas relacionados à produção; as operações conduzem o processo de produção, incluindo a operação de máquinas e equipamentos, inspeção de qualidade e embalagem de produtos acabados; a equipe de compras adquire as matérias-primas, componentes e outros materiais necessários para a produção, enquanto a equipe de logística garante o armazenamento e transporte de maneira eficiente e econômica; a equipe de recursos humanos contrata, treina e gerencia o pessoal da fábrica, enquanto a equipe de finanças gerencia o orçamento e toma decisões estratégicas relacionadas ao investimento. Todas estas funções trabalham juntas para garantir que a produção seja realizada de maneira eficiente, aumentando a agilidade e a qualidade dos resultados.

1.5 - Vendas

O setor de vendas é responsável por promover e vender os produtos fabricados pela fábrica. Eles trabalham em estreita colaboração com a equipe de marketing para identificar as necessidades dos clientes, desenvolver estratégias de vendas e fazer contatos com clientes potenciais. Ademais, o setor de vendas também é responsável por gerenciar as relações com os clientes existentes, incluindo a negociação de contratos, a resolução de problemas e o fornecimento de suporte pós-venda. Portanto, o setor de vendas é primordial para a cadeia de suprimentos da fábrica de manufatura e desempenha um papel crucial na garantia do sucesso da empresa trazendo demanda para o processo.

1.6 - Automação do setor de vendas

A substituição do setor de vendas por programas automatizados pode ter consequências tanto positivas quanto negativas. Algumas das consequências incluem:

Vantagens:

- Maior eficiência e agilidade: os programas automatizados são capazes de realizar tarefas repetitivas de maneira mais rápida e precisa do que um humano. Isso pode resultar em maior velocidade e eficiência no processo de vendas.
- Redução de custos: a automação pode reduzir os custos operacionais, pois os programas são capazes de realizar tarefas sem precisar de salários ou benefícios.
- Dados e insights: os programas automatizados coletam dados e geram insights que podem ser usados para aprimorar as estratégias de vendas e melhorar a satisfação do cliente.

Desvantagens:

- Falta de interação humana: a falta de interação humana pode afetar negativamente a qualidade das relações com os clientes e a percepção da marca, visto que é um caso comum preferir interagir com um ser humano em vez de um programa.
- Falta de empatia e flexibilidade: os programas automatizados podem ter dificuldade em entender o contexto e as necessidades específicas de cada cliente. Isso resulta em soluções padronizadas e menos personalizadas.
- Risco de erro: a automação pode resultar em erros e problemas técnicos, especialmente se os programas não forem projetados ou implementados corretamente.

Em resumo, a substituição do setor de vendas por programas automatizados pode trazer benefícios em termos de eficiência e redução de custos, mas, por outro lado, pode ter consequências negativas, como a falta de interação humana e a possibilidade de erro. Por isso, é importante equilibrar as vantagens e desvantagens, bem como avaliar se a automação é a melhor escolha para a empresa em questão.

2 TRABALHOS SIMILARES

O Amazon MOD (*Manufacturing on Demand*) – aqui será falado especificamente sobre o *imprima sob demanda* – trata-se de um serviço oferecido pela Amazon que permite que empresas vendam livros personalizados e sob demanda na plataforma Amazon.com. Com o MOD, as empresas podem criar e enviar seus livros para serem produzidos e enviados pela Amazon, sem a necessidade de manter um estoque físico, nesse caso, de uma tiragem inicial. Esse modelo pode trazer benefícios para as empresas, como redução de custos de produção e armazenamento, maior eficiência na produção e na entrega, bem como a capacidade de

oferecer produtos personalizados e únicos para os clientes. Para a Amazon, o MOD é uma forma de expandir ainda mais seu catálogo de produtos e oferecer mais opções aos clientes.

O modelo de negócio do Amazon MOD pode ter um impacto financeiro positivo para empresas que desejam introduzir novos produtos no mercado: fica mais claro o benefício para pequenas empresas, em contraponto grandes empresas podem aumentar o seu portfólio de produtos, isso significa que as empresas não precisam investir em grandes quantidades de estoque ou em máquinas e equipamentos para produzir os produtos, em vez disso, podem testar a aceitação do mercado para um novo produto com um investimento financeiro relativamente baixo. Se o produto for bem-sucedido, a empresa pode então investir em maiores quantidades de estoque e em produção interna. A maior parte do investimento é focado no desenvolvimento de um produto que seja aceito pelo mercado.

Além disso, o MOD pode permitir que as empresas ajustem sua produção de acordo com a demanda do mercado, evitando a possibilidade de excesso de estoque ou falta de produtos. Isso pode ajudar a reduzir custos e aumentar a eficiência operacional, melhorando a rentabilidade financeira. No entanto, é importante notar que o sucesso financeiro do MOD depende da qualidade do produto e da habilidade da empresa em comercializá-lo na plataforma da Amazon.

A Stratasys Direct Manufacturing é uma divisão da Stratasys, líder global em tecnologias de impressão 3D, a qual oferece soluções de produção baseadas em nuvem para impressão 3D. A plataforma permite que as empresas encomendem impressões 3D remotamente e monitorem o progresso da produção em tempo real (<https://www.stratasys.com/en/stratasysdirect/>, acesso em: 2023). A Stratasys Direct Manufacturing não se limita apenas à impressão 3D e, diferente do sistema proposto, trabalha com uma única fábrica, centralizando todos os serviços.

A 3D Hubs é uma plataforma de produção baseada em nuvem que conecta empresas com máquinas CNC remotas em todo o mundo, permitindo a encomenda de peças, bem como o monitoramento do progresso de produção delas em tempo real. Essa plataforma depende de fábricas parceiras para funcionar e para operar o sistema que informa sobre a produção de peças (HUBS, consultado em 2023), porém o sistema não se comunica diretamente com as máquinas.

A Sculpteo é uma plataforma de produção baseada em nuvem especializada em impressão 3D, a qual oferece soluções personalizadas para empresas e indivíduos

interessados nessa modalidade de impressão. A plataforma permite que os clientes façam encomendas remotamente e monitorem o progresso da produção em tempo real. Além de impressão 3D a Sculpteo também oferece o serviço de corte a laser (Sculpteo, acesso em 2023).

Sendo assim, o único modelo que pode ser comparado diretamente com o CloudCube é o 3D Hubs, uma vez que não faz uso de máquinas próprias. O grande diferencial do CloudCube é que as máquinas são gerenciadas pelo sistema e não pelo produtor local, isso evita que o produtor assuma demandas maiores do que aquelas que consegue cumprir ou então que esconda problemas da produção.

3 METODOLOGIA

3.1 Objetivos

3.1.1 Geral

Desenvolver um *software* de gestão de produção capaz de integrar produtores independentes a clientes de pequeno e grande porte, e distribuir a produção entre pequenos produtores para atender pedidos maiores em prazos menores. O sistema desse *software* deve automatizar o processo de vendas, tanto de produtos de prateleira como de novos orçamentos, gerenciar o estoque do produtor e otimizar a logística.

3.1.2 Específicos

Desenvolver: o *hardware* e *software* que conecta as máquinas ao sistema; o sistema de orçamento automático para cada um dos métodos de fabricação: impressão 3D, usinagem 3D, corte 2D; o algoritmo para gerenciamento da produção entre produtores espalhados geograficamente; um manual de controle de qualidade para padronização das peças fabricadas; e um controlador de estoque de matéria prima dos produtores.

3.2 Materiais e métodos

Para o desenvolvimento do sistema proposto foi idealizada uma composição utilizando softwares como Kicad, para o desenvolvimento das placas de circuito do Cube

Connect; Micropython, para o sistema embarcado no Cube Connect; Python, no servidor que faz acesso às máquinas; Flask, para o servidor Python; Stack, no servidor do sistema web, composta de Rails e Mysql, no backend, e de React, no frontend. O servidor é Nginx e, para geração de preços de impressão 3D, é usado o Slic3r.

De modo mais específico, KiCad é um conjunto de software de código aberto para *Electronic Design Automation* (EDA). Os programas lidam com captura esquemática e layout de PCB com saída Gerber. A suíte roda em Windows, Linux e macOS e é licenciada sob GNU GPL v3 (<https://www.kicad.org/about/kicad/> , 2023), o Kicad foi usado por ser o melhor software do tipo gratuito. Por sua vez, Python é uma linguagem de programação que permite trabalhar rapidamente e integrar sistemas de forma mais eficaz (<https://www.python.org/> , 2023). Sobre Rails, trata-se de um *framework* de desenvolvimento de aplicações web escrito na linguagem de programação Ruby. Ele foi projetado para facilitar a programação de aplicativos da Web, fazendo suposições sobre o que todo desenvolvedor precisa para começar. Ele permite que escreva-se menos código enquanto se realiza mais do que em muitas outras linguagens e estruturas (https://guides.rubyonrails.org/getting_started.html , 2023) e a experiência dos desenvolvedores com Rails foi levada em conta. MicroPython é uma implementação enxuta e eficiente da linguagem de programação Python 3, a qual inclui um pequeno subconjunto da biblioteca padrão Python e é otimizada para rodar em microcontroladores e em ambientes restritos (<https://micropython.org/> , 2023), foi considerada a melhor opção para o desenvolvimento de código embarcado devido a enorme quantidade de bibliotecas.

O Flask fornece configuração e convenções, com padrões sensatos, para começar. Esta seção da documentação explica as diferentes partes da estrutura do Flask e como elas podem ser usadas, personalizadas e estendidas (<https://flask.palletsprojects.com/en/2.2.x/> , 2023), Flask é de fácil implementação e feito para ser usado com o Python.

Slic3r é a ferramenta necessária para converter um modelo 3D em instruções para sua impressora 3D. Ele corta o modelo em fatias horizontais (camadas), gera percursos para preenchê-los e calcula a quantidade de material a ser extrudado (<https://slic3r.org/about/> , 2023), o Slic3r foi escolhido por ser uma opção open source. O *hardware* usado, esp8266 e esp32, impressoras 3d e máquina CNC baseada em GRBL. O Grbl é uma alternativa sem compromisso, de alto desempenho e baixo custo ao controle de movimento baseado em porta paralela para fresamento CNC. Ele roda em um Arduino vanilla (Duemillanove/Uno), desde que tenha um Atmega 328 (<https://github.com/grbl/grbl> , 2023) Grbl é a base de diversos

outros sistemas como o Marlin que é implementado amplamente em impressoras 3D.

O sistema Octoprint consiste em acoplar um computador linux à impressora 3D, permitindo o gerenciamento em sua rede local via um servidor no computador, porém, para a boa performance do sistema, há necessidade de um computador razoavelmente potente. A placa mais indicada, inclusive pelos desenvolvedores, é a SOC (Sistem on a chip) Raspberry pi, que, apesar de permitir o gerenciamento de algumas máquinas com apenas uma placa, é uma solução que equivale, em 2020, a um terço do valor de uma impressora 3D de entrada.

O sistema ESP3D consiste em acoplar um ESP8266 à impressora 3D, permitindo a comunicação *Wi-Fi* com ela. É uma solução muito mais barata, visto que o ESP8266 custa em torno de 13 reais, no momento de escrita desta pesquisa. Apesar do ganho financeiro, o software ESP3D não tem uma comunidade de desenvolvimento muito grande e conta com diversas limitações de hardware. De todo modo, a decisão tomada para acoplar as impressoras foi seguir com o modelo ESP3D, devido ao preço, já que, uma placa Raspberry pi chega a custar mais do que uma impressora 3D de entrada, apontando que foi uma decisão acertada.

Para que o ESP3D funcionasse corretamente, algumas alterações foram necessárias. Levando em conta a versatilidade do micropython e a evolução do ESP8266, o ESP32, foi desenvolvido um projeto tanto do *software* como do *hardware* que geraram o dispositivo chamado Cube Connect. Trata-se de um sistema embarcado em um ESP32, utilizando a linguagem Python – que se comunica diretamente com a impressora 3D – ou qualquer outro sistema que utilize o padrão de G-code GRBL. Ele faz a comunicação entre o servidor do Cloud Cube e a impressora 3D, ou a máquina CNC, permitindo sua virtualização, processo o qual consiste na entrega de todos os dados possíveis de serem adquiridos da impressora, que no caso são:

- a) Temperatura do extrusor;
- b) Temperatura da base aquecida;
- c) Temperatura da câmara aquecida;
- d) Coordenadas X,Y,Z.

Além de permitir o controle da impressora pelo servidor do CloudCube e comandos básicos de auto parametrização ou entrega de G-code contendo um serviço a ser feito ou uma peça a ser fabricada.

Como cada máquina a ser integrada no sistema tem suas próprias características, tanto quanto a tamanho, material e processo produtivo, cada processo de virtualização precisa estar

adequado ao processo produtivo em si. Pretende-se contemplar neste sistema os seguintes processos:

Cortes 2D:

Laser Co2

Laser Fibra

Plasma

Jato D'água

Manufatura aditiva:

FDM / FFF

SLA

DLP

MJF

Usinagem CNC:

3 eixos :

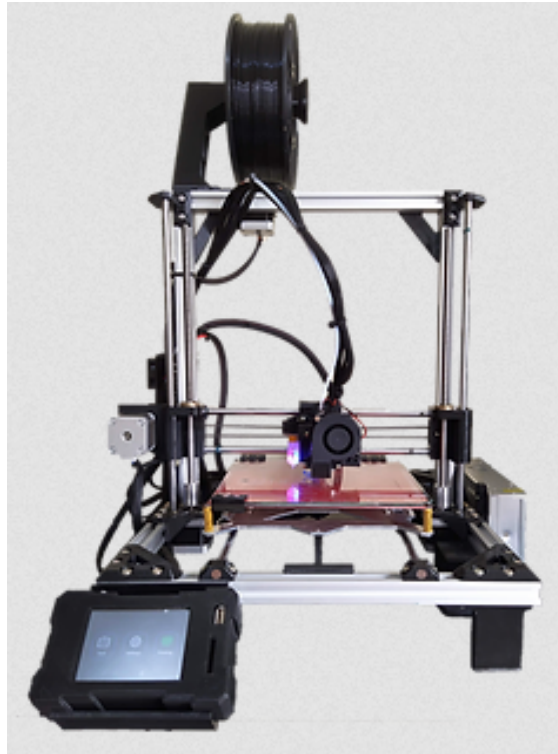
Fresa

Torno

5 eixos:

Fresa

Figura 2 - Impressora 3D usada para testes de acoplamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.3 Novos modelos de negócio

Em relação às formas de monetização e modelos de novos negócios que podem ser desenvolvidos utilizando a plataforma, essencialmente, o CloudCube é um projeto de infraestrutura fabril. Virtualmente, o cliente tem acesso a um *pool* de máquinas com capacidade produtiva muito grande – maior do que a demanda desse cliente –, e essa infraestrutura não exige tempo de instalação, nem investimento inicial para adesão. Esse modelo, então, pode alavancar bons produtos de forma muito mais rápida, sem necessidade de investimento em estoque ou *crowdfunding*, apenas investimento no projeto do produto e no contato com o cliente.

Para alavancar este modelo de negócio em que a venda é automatizada usando *marketplaces* ou lojas virtuais, o sistema proposto prevê uma API de integração, em que os pedidos podem ser depositados via *webhook*, e integra a fábrica virtual a qualquer loja virtual, como se ela fosse dos vendedores.

Além das lojas virtuais como nuvem shop, loja integrada e shopify, existe a possibilidade de integração com *marketplaces* já existentes como Amazon, Mercado Livre, Americanas, Magalu e Shopee. Todos os que tiverem uma API que informe de forma adequada os dados para o pedido devem ser integrados a partir da conta de usuário do sistema proposto. Essa possibilidade de integração com *marketplaces* já existentes pode

parecer estranha à primeira vista, já que a diminuição de margem de lucro é considerável, mas, observando a presença desses *marketplaces* na internet, a confiança que os consumidores já têm em comprar por este meio é determinante. O *tradeoff* de maior quantidade de vendas com margem menor se torna mais atrativo, e, como a logística de entrega também é feita pelo sistema proposto, essa opção se torna ainda mais interessante devido a escalabilidade.

Em 2020, 62,5% de todas as transações do *e-commerce* foram feitas utilizando as plataformas dos *marketplaces* (FREITAS, 2023), consolidando a importância de se expor a elas. Apesar da diminuição de margem de lucro, em tais ambientes, é possível criar um anúncio do produto, de modo que o *marketplace* gerencia a logística e o marketing para o vendedor.

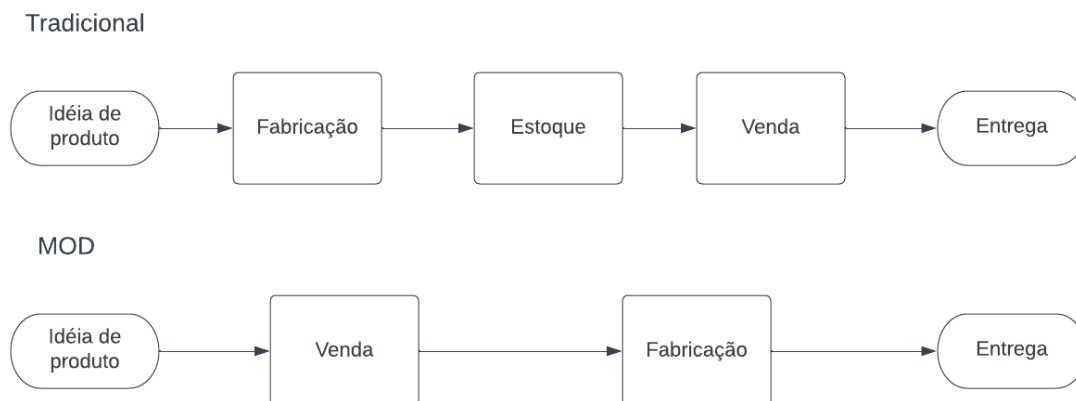
A diferença entre um *marketplace* e uma loja virtual é que o primeiro veicula anúncios de outros vendedores e cobra uma comissão em cima desse processo e sobre a utilização da sua plataforma de vendas; enquanto que lojas virtuais vendem produtos próprios. Existem também ferramentas prontas, para a criação de lojas virtuais que ganham comissão, mesmo não realizando a venda de produtos de terceiros, o que não caracterizaria um *marketplace*. Exemplos dessas ferramentas comuns no Brasil são, Nuvemshop, Loja Integrada e Shopify.

Um grande diferencial que o modelo de manufatura abordado aqui traz é a manufatura sob demanda de produtos com preços já calculados, a fim de atender um pedido com estoque zero. Podemos comparar diretamente com o modelo MOD (manufacture on demand) da Amazon.

3.4 Novo Paradigma de fabricação

O modelo MOD consiste em atingir uma velocidade de fabricação, após a venda, tamanha a ponto de o consumidor não sentir a diferença no tempo de entrega. A maior barreira para um sistema MOD no Brasil seria o “Mercado Livre entrega amanhã”. No momento em que este trabalho foi escrito o *gap* entre compra e entrega varia entre 24 e 8 horas, sendo que o tempo separado para despacho, saindo do vendedor, é de, no pior caso, 5 horas. Então, para que esse modelo de fabricação após a venda seja possível, o produto final deve ser simples o suficiente para ser fabricado e despachado em até cinco horas.

Figura 3 – Panorama do processo Tradicional e MOD



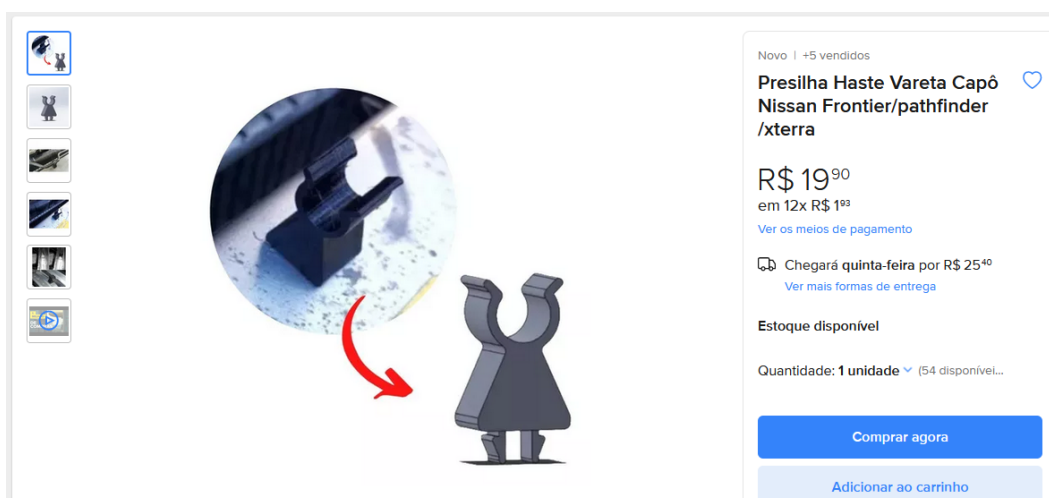
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.5 Categorizando os produtos do *pool* de fabricação

É relevante destacar a relação dos produtos do *pool* de fabricação tratados nesta pesquisa. São eles:

a) Produtos de prateleira: já anunciados, seja em lojas virtuais ou *marketplaces*, e não possuem variações que possam necessitar de uma reprogramação dos arquivos de fabricação. São normalmente peças com maior valor atribuído à sua funcionalidade do que à aparência ou ao significado.

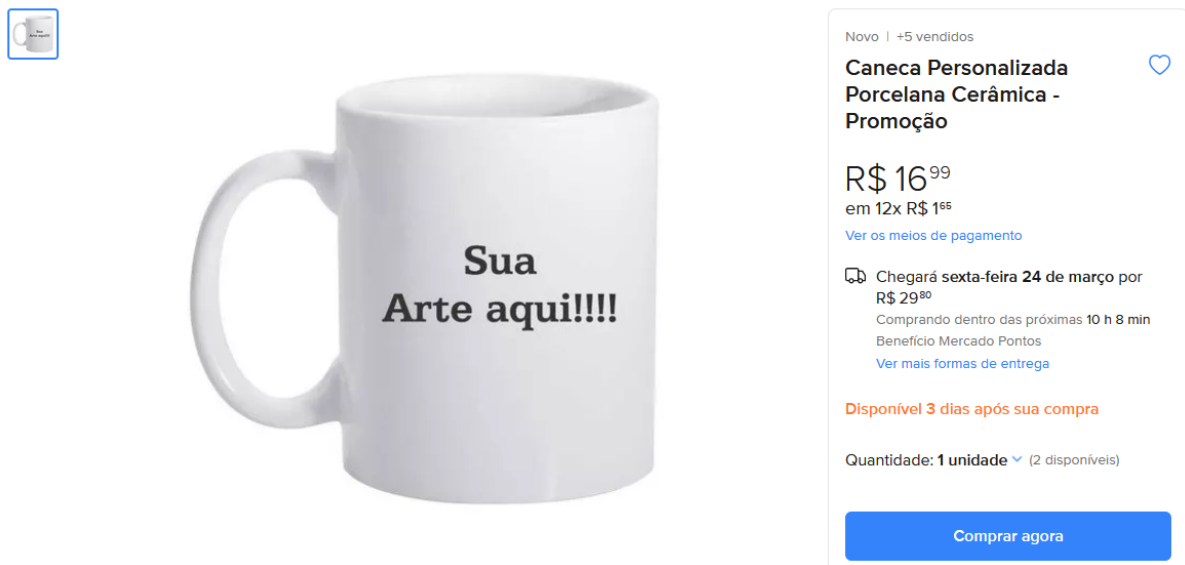
Figura 4 – Exemplo de produto de prateleira



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

b) Produtos com pequenas personalizações: normalmente, trata-se de um produto final com alguma personalização, como canecas sublimadas, caso em que um produto final – caneca de cerâmica – é submetido ao processo de personalização, com a gravação de imagens ou palavras.

Figura 5 – Exemplo de produto personalizável



Fonte: (<https://www.mercadolivre.com.br/> , 2023).

c) Peças únicas: são um caso especial de fabricação unitária. Por algum motivo, seja pela especificidade da peça, em caso de uso especial ou por prototipagem, são peças em que apenas uma unidade será feita. Normalmente são itens complexos, com um valor de fabricação e Lead time muito elevados. Esse tipo de peça é o que tem maior benefício diante da utilização de um sistema de gerenciamento agnóstico de aplicação: o preço da peça, devido as automações para precificação e de logística; uma maior liberdade permitida ao cliente para modificar a peça quantas vezes forem necessárias a fim de encaixar-se no orçamento.

Figura 6 – Exemplo de peça única



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.6 A automação da geração de G-code

As máquinas CNC seguem comandos de um padrão de código chamado *G-code*, o qual é um código contendo os movimentos que a máquina deve fazer, para gerar uma peça – seja por usinagem ou manufatura aditiva. Praticamente a totalidade de máquinas CNC usam um padrão de *G-code* compatível.

Esse *G-code* deve ser gerado por um profissional que entenda o processo de fabricação dos produtos e o resultado final que deve ser entregue, porém, para que o módulo de orçamento automático funcione para todas as peças, a geração de *G-code* deve ser feita por um programa de computador – ou pelo menos uma estimativa que não permita prejuízo. Sendo assim, diversas abstrações precisam ser feitas, de modo que não é permitida a personalização do processo de produção. Isso pode acarretar uma menor velocidade de produção, mas que só é significativa quando se trata de um lote de peças muito grande. Nesses casos, a quantidade justifica a despesa de um profissional para otimizar o processo de

fabricação desta peça específica.

O maior problema encontrado, pois, foi a conexão das máquinas com o servidor que gerencia os processos. A maioria das máquinas tem acesso USB ou alguma comunicação serial para receber os comandos de forma local, os quais são *G-codes* puros. Apenas as máquinas mais avançadas e, conseqüentemente, mais caras têm portas *ethernet* ou *Wi-Fi*, as quais já permitiriam o acesso a internet. Sendo assim, focando nas máquinas de pequeno porte, que foram entendidas como potencial produtivo desperdiçado, notou-se a necessidade de um dispositivo capaz de fazer a ponte entre o servidor de gerenciamento da produção e a máquina CNC. Para KHAN et al. (2022) é claro que uma tecnologia de integração que comunique com o serviço de cloud manufacturing de maneira eficiente é necessário e decisivo no sucesso de uma plataforma do tipo, há a necessidade de informação em tempo real, segura e padronizada.

3.7 Requisitos do hardware conector - Cube Connect

Este dispositivo conector precisa receber os arquivos de produção enviados pelo servidor e garantir que a máquina execute todos eles; informar ao servidor o estado atual e as informações dadas pelos sensores existentes na máquina, permitindo no futuro uma avaliação para manutenção preventiva com base em variações nos valores dos sensores; informar também ao servidor quando a máquina está em manutenção, já que o sistema utiliza a informação de cada máquina para calcular os prazos de entrega e adaptar-se aos modos de conexão disponíveis em cada uma.

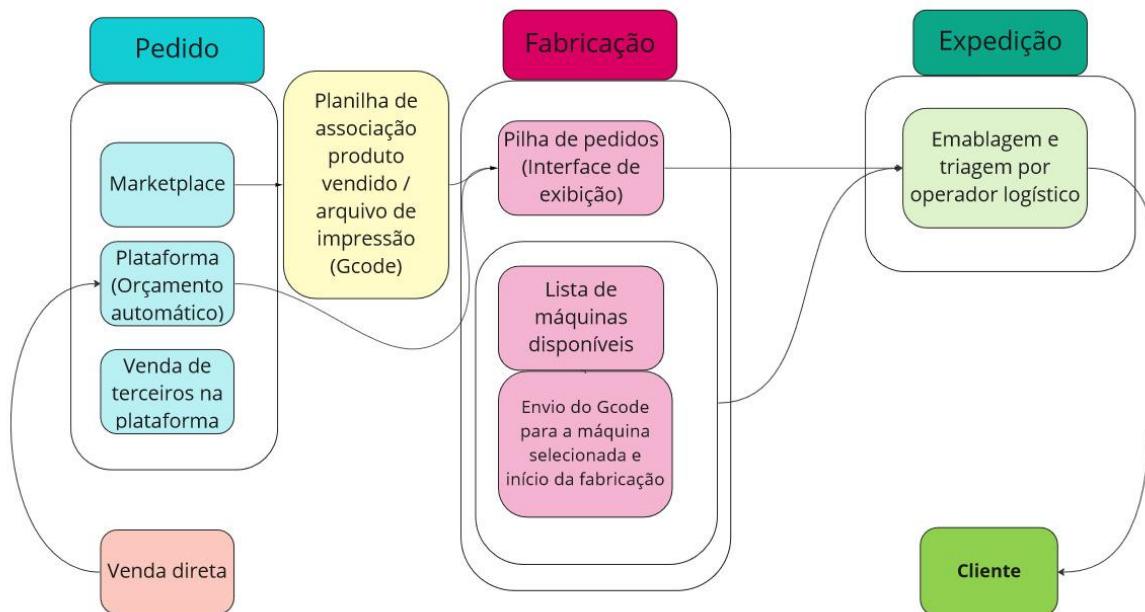
O Cube Connect é um dispositivo capaz de conectar máquinas CNC diretamente ao servidor de gerenciamento de produção, com o controle da máquina sendo assumido pelo servidor. Ele consegue se comunicar com as máquinas CNC via UART, USB, SPI e com a rede de internet via *Wi-Fi* 2.4 Ghz. Há a necessidade de adicionar a possibilidade de conexão via ethernet mas não foi escopo dessa primeira versão.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Arquitetura do Cloud Cube

O primeiro passo foi a estruturação do processo em subprocessos para escolher como resolver cada problema. Como visto na Figura 7, a arquitetura geral do sistema segue a lógica de uma linha de produção.

Figura 7 - Arquitetura geral do CloudCube

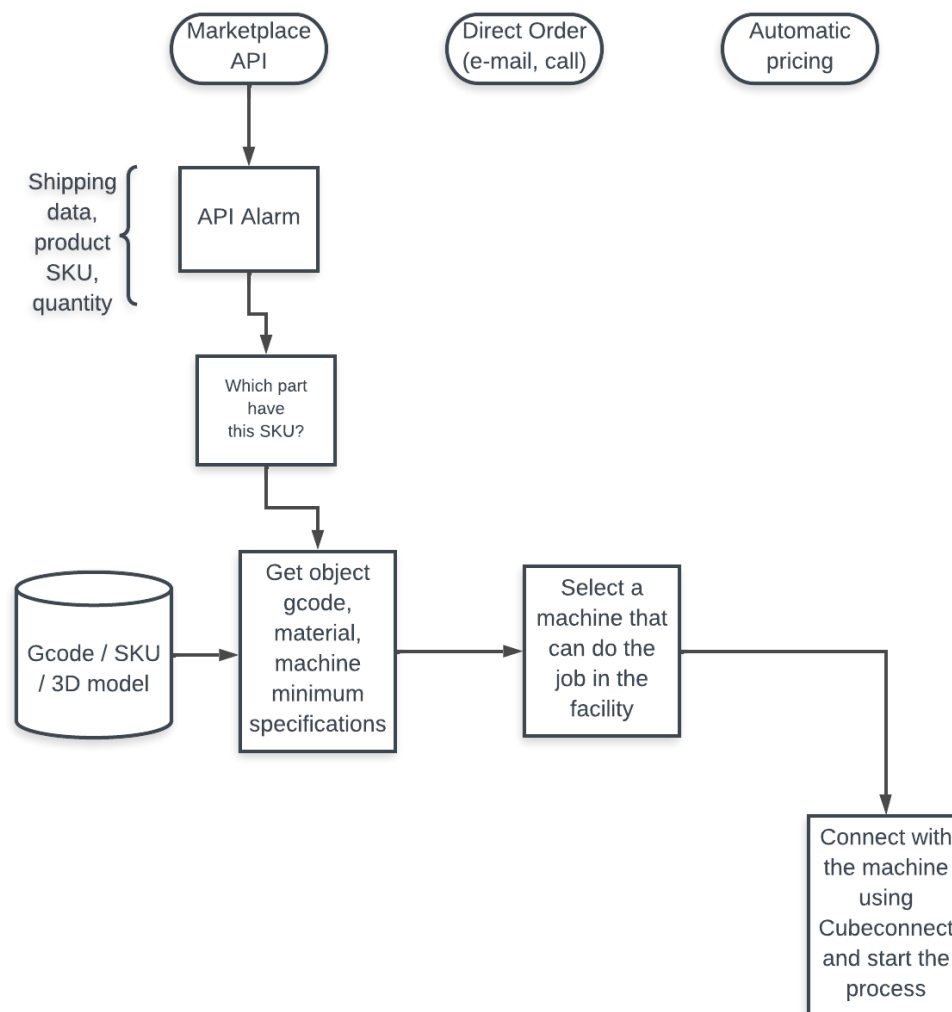


miro

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O primeiro ponto a ser automatizado pelo sistema é a entrada de pedidos, que pode ser feito via um *marketplace* ou loja virtual, ou mesmo via um pedido de orçamento. Para os pedidos feitos por *marketplaces* já havia API's de conexão com a maioria deles, que informavam o SKU e funcionavam conforme o diagrama a seguir.

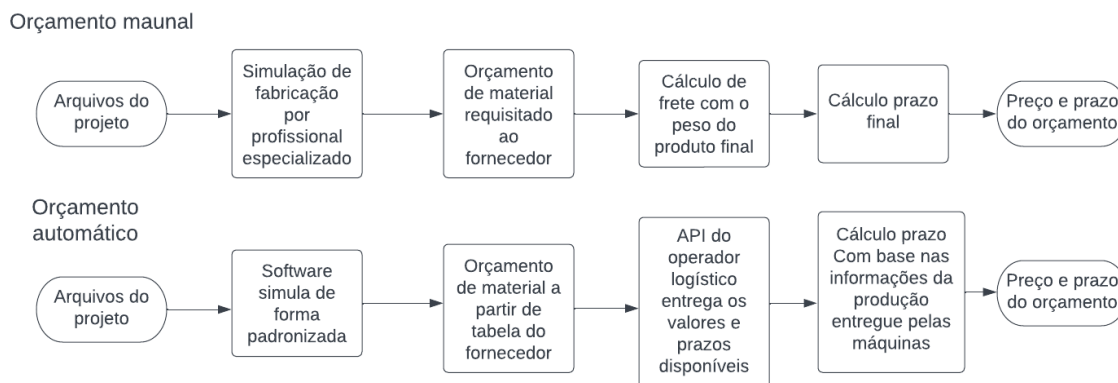
Figura 8 - Arquitetura integração API marketplace



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No caso do pedido que havia necessidade de orçamento, o processo simplificado segue o diagrama exposto na Figura 9. O orçamento manual depende de terceiros e não é escalável, e, a fim de resolver isso, um padrão para o orçamento respectivo a cada máquina foi desenvolvido. Essa simulação padrão não necessariamente é o arquivo de produção, mas é o suficiente para entregar um orçamento compatível.

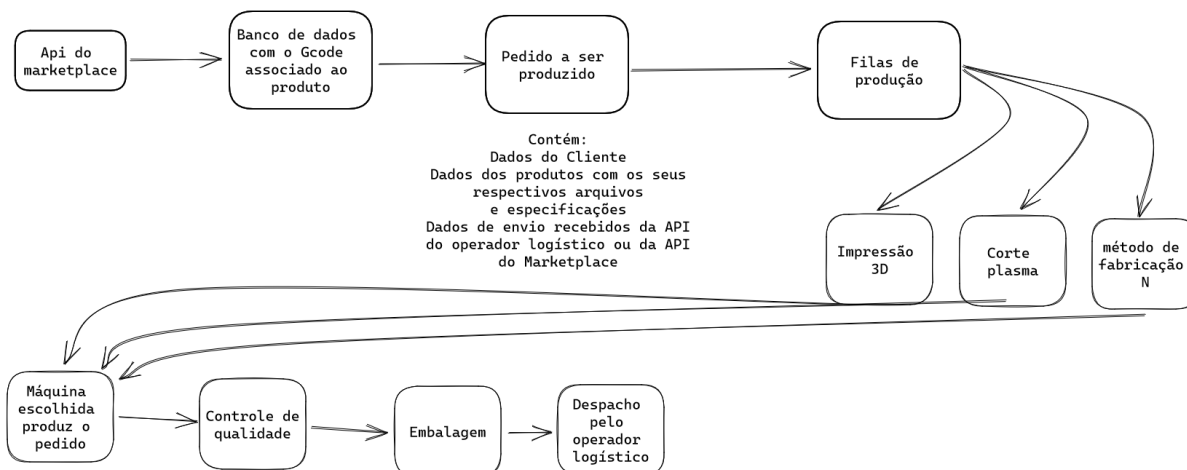
Figura 9 - Fluxograma de orçamentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Resolvida a questão do orçamento, os pedidos aprovados entram em uma pilha de produção. Assim que estão na pilha, esse pedido deve ser designado para a máquina adequada. O fabricante que teve a máquina escolhida pode ver o pedido na sua linha de produção. Como esta é gerenciada pelo sistema, os produtos que o dono da máquina fizer que não tenham sido encaminhados pelo sistema precisam, igualmente, entrar no sistema pelo próprio operador da máquina.

Figura 10 - Fluxograma API marketplace múltiplas máquinas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

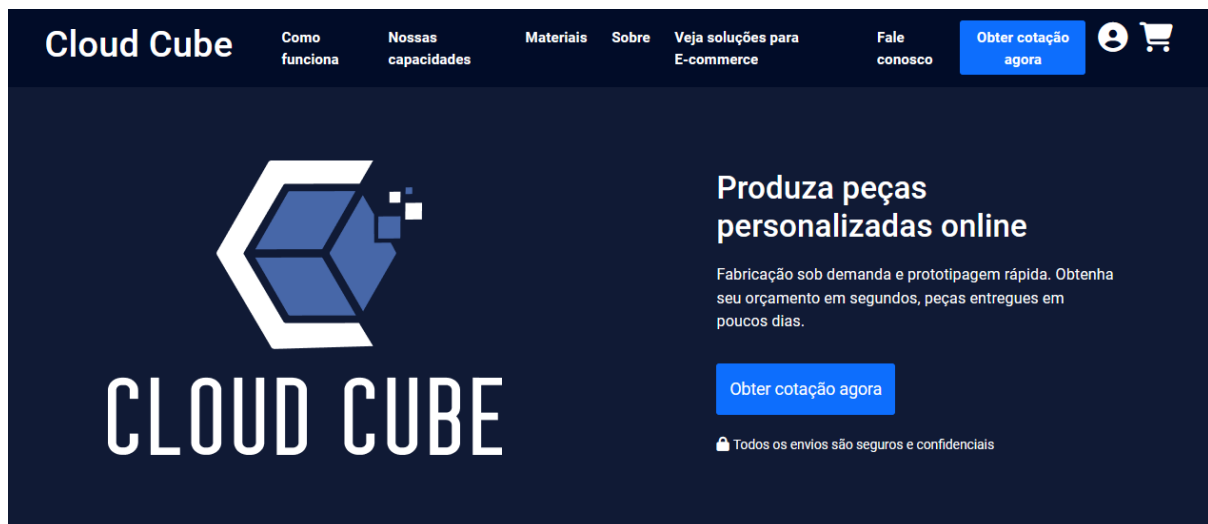
Em caso de parada da máquina para manutenção ou qualquer outro motivo, o operador precisa informar ao sistema. No caso de perda de conexão da máquina ociosa com o

servidor por mais de uma hora, o dono da máquina é notificado para verificar qualquer problema que possa ter acontecido.

Como discutido anteriormente, a ferramenta para conexão de máquinas com o servidor é o dispositivo Cube Connect, o qual tem a função de receber o arquivo G-code e gravar na memória da máquina. Assim, durante a execução do programa, não há problema de perda de conexão entre a máquina e o servidor.

O sistema proposto, então, é construído em um servidor Nginx, que pode ser acessado tanto pelos clientes, produtores ou pelas máquinas, cada um em sua devida interface. O stack de desenvolvimento é composto por uma aplicação React no frontend, gerenciando o acesso tanto do cliente quanto do produtor. No backend, é utilizado Rails e um banco de dados estruturado acessado com Mysql. O acesso dos administradores do sistema é pelo Backend, onde é possível a alteração das características das máquinas cadastradas, o cadastro de novas máquinas, e também o cadastro de novos produtores. O cadastro de novos clientes é feito de forma automatizada pela interface de orçamentos.

Figura 11 - Interface sistema web - cliente



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A interface gráfica foi desenvolvida por uma designer UX no *software* Figma e, depois, implementada pela equipe do *front end*, a qual consiste de um desenvolvedor *full stack* sênior, dois desenvolvedores *full stack* junior, uma webdesigner, um desenvolvedor embarcado sênior e um desenvolvedor embarcado pleno. Até o sistema ter adeptos o

suficiente para ser robusto, foi decidido como estratégia, para garantir a qualidade, atrelar os prazos de fabricação a uma fábrica de *backup* que é tida como “infalível”, a fim de cumprir os prazos mesmo que houvesse problemas em outros pontos. Após o crescimento da malha de fábricas integradas, o sistema ganha robustez por conta própria.

Inicialmente apenas uma fábrica foi integrada ao sistema, com dez impressoras 3D conectadas e uma produção diária de 30 peças.

Um ponto que vale ser notado é que a comunicação bidirecional entre as máquinas e o servidor do sistema proposto gera uma quantidade de dados enorme, e dados de temperatura, por exemplo, em quantidade suficiente, quando armazenados em um banco de dados, podem ser posteriormente utilizados para a previsão de falhas e agendamento de manutenções preditivas. É relativamente comum, contudo, o uso de sensores de vibração e temperatura em motores para o mesmo objetivo, tendo eficácia comprovada.

Até o momento de escrita deste trabalho, o sistema ainda não tem acesso a uma base de dados dos fornecedores de matéria prima e usa seu valor em estoque para o cálculo do orçamento. Este módulo, então, é passível de erros e pode causar prejuízo, mas é uma das abstrações que precisam ser feitas a fim de permitir que o sistema funcione dentro do prazo de desenvolvimento estipulado.

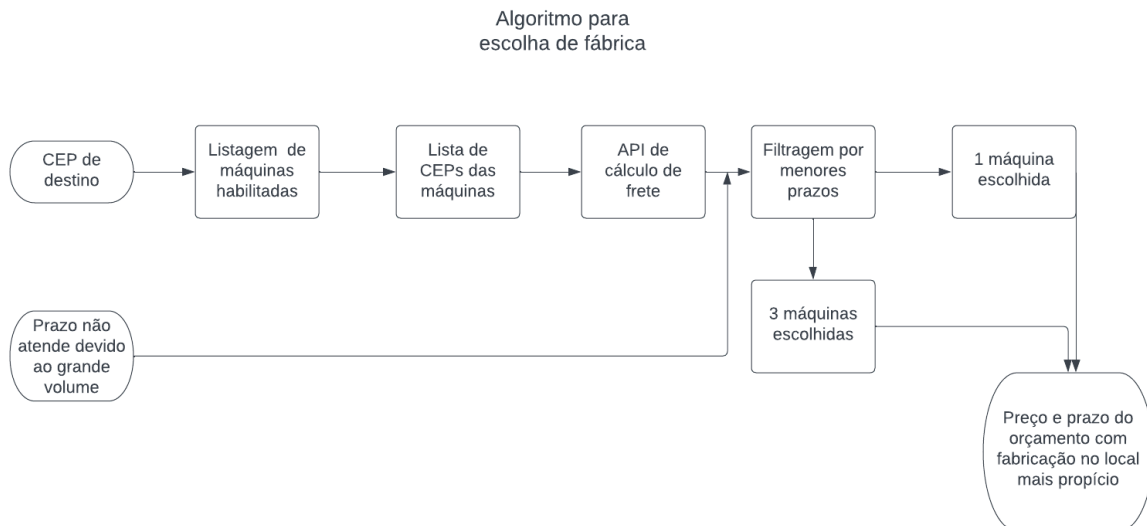
O operador logístico escolhido foi o Melhor envio, devido a sua eficiência em atender, com diversos modais, para pequenos e médios pacotes e ao funcionamento excepcional da sua API para geração de orçamentos.

Para o orçamento de frete o melhor envio solicita as dimensões, peso, valor do produto final, CEP de coleta e CEP de destino, quando o cliente faz o *upload* de um arquivo para orçamento as dimensões são extraídas do próprio modelo, e o peso é calculado quando o material é escolhido. Desta forma, a única informação que o cliente precisa informar para o orçamento do frete é o CEP de destino e fazer o *upload* do seu projeto, todo o restante é calculado pelo módulo de orçamento automático.

O algoritmo para otimização logística com base na posição do cliente, escolher sempre o produtor mais próximo ainda não foi implementado até a conclusão deste trabalho devido a possíveis problemas fiscais ainda não solucionados, porém ele segue a seguinte lógica. Primeiro as máquinas habilitadas para executar um pedido são listadas, em seguida as mais próximas geograficamente, calculando em uma linha reta utilizando as informações do cep, não necessariamente o frete mais rápido e barato é entre duas cidades do interior próximas, em diversos casos o centro logístico de distribuição fica em uma capital e o pacote faria um caminho mais longo indo de uma pequena cidade para a capital e depois para a

cidade do cliente, isso dá vantagem às fábricas localizadas mais próximas às capitais, porém esse cálculo não está integrado ao algoritmo que será implementado. Listadas as fábricas mais próximas que podem atender ao pedido é dada preferência às que se encontrem no mesmo estado para minimizar a incidência do ICMS. Feito isso, a fábrica selecionada é apresentada ao cliente no orçamento.

Figura 12 - Algoritmo para escolha de fábrica



Sobre a distribuição de grandes demandas, foi planejado mas ainda não implementado um botão dizendo “este prazo não me atende” na área do orçamento, neste caso o orçamento é feito com base na urgência já sendo considerado que o preço do frete será maior, sendo assim a demanda é distribuída proporcionalmente pela capacidade produtiva disponível no sistema somando as máquinas disponíveis, é necessário que o cliente indique um prazo máximo para recebimento das peças e com isso será calculado quantas máquinas serão necessárias para atender, vale notar que quando o tempo de fabricação e frete é superior ao estipulado pelo cliente uma mensagem dizendo que não é possível atendê-lo é exibida.

Até o momento de escrita do trabalho, apenas uma fábrica está integrada ao sistema com a capacidade de impressão 3D FFF e DLP . Sendo um total de 12 máquinas conectadas.

5 RESULTADOS

O resultado ao final deste trabalho foi um sistema que faz o gerenciamento da produção e coordena as máquinas CNC de forma automática, como podemos ver na Figura 12 o orçamento de uma peça feita por manufatura aditiva sendo orçada com sucesso e

permitindo ao comprador alterar as propriedades do pedido, quantidade e material como explicado anteriormente, o pedido tem a fábrica mais próxima escolhida mas para a segurança do sistema há uma fábrica *backup* para atender sem que o cliente se preocupe com o atraso de peças.

Figura 13 - Interface orçamento automático

Cloud Cube Como funciona Nossas capacidades Materiais Sobre Veja soluções para E-commerce Fale conosco [Obter cotação agora](#)

Especificações da peça

Visualizar [GCODE](#) [STL](#)

Peça	Especificações	Quantidade	Preço
	Impressão 3D ABS Dimensões: 43.01 x 62.90 x 20.00 mm 54.100,1 mm3	1	R\$ 23,60 <small>Valor p/unidade</small>

Máquina
Impressão 3D

Material
ABS

Quantidade
1

Impressoras disponíveis
6

Tempo de impressão estimado
3 dias útil

Endereço de entrega
[Digite o endereço de entrega](#)

Subtotal R\$ 23,60

total R\$ 23,60

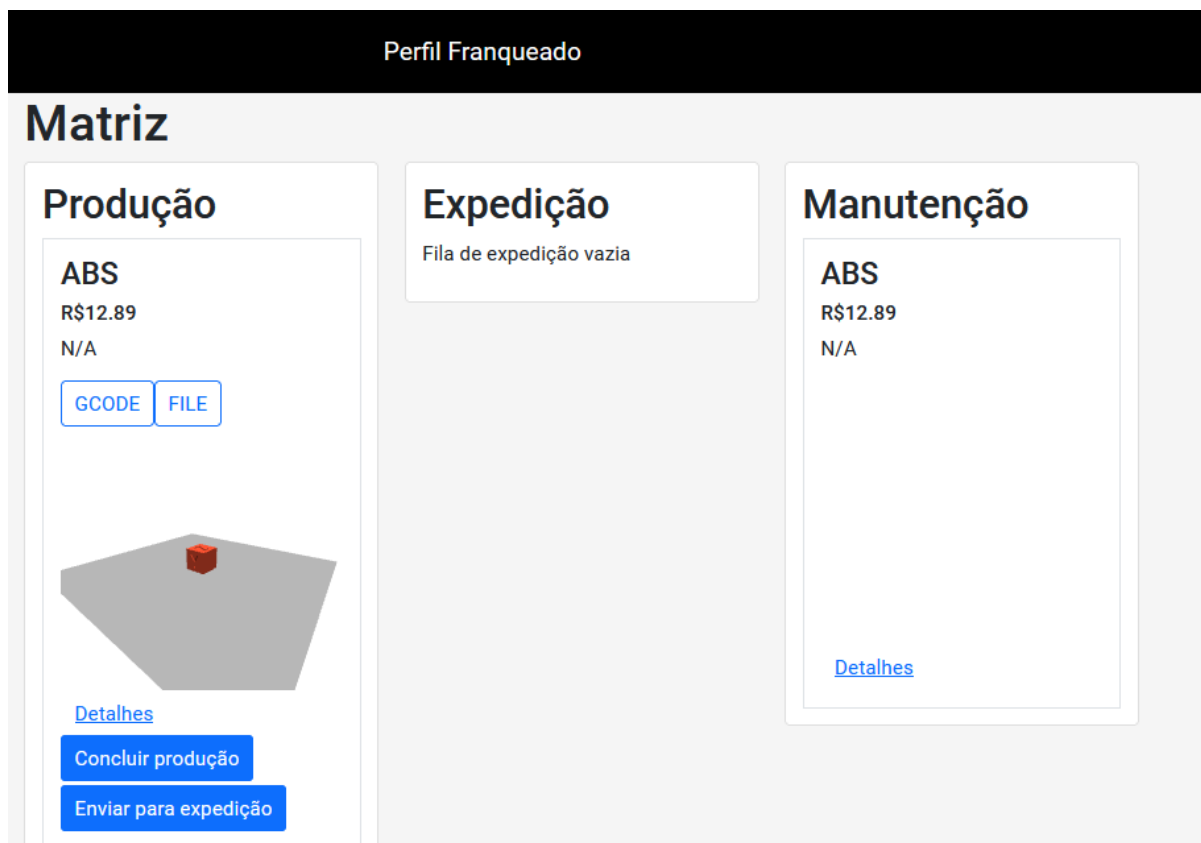
[Salvar no carrinho](#)

[Entre em contato com o suporte](#)

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As fábricas são tratadas como franquizadas, os pedidos que foram designados para um franqueado em especial aparecem no seu painel de controle onde no caso de qualquer problema ele pode informar ao sistema que não será mais capaz de executar a tarefa, todas as informações sobre os pedidos podem ser acessadas em qualquer momento da produção, evitando assim erros.

Figura 14 - Interface de gerenciamento e monitoramento da produção



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

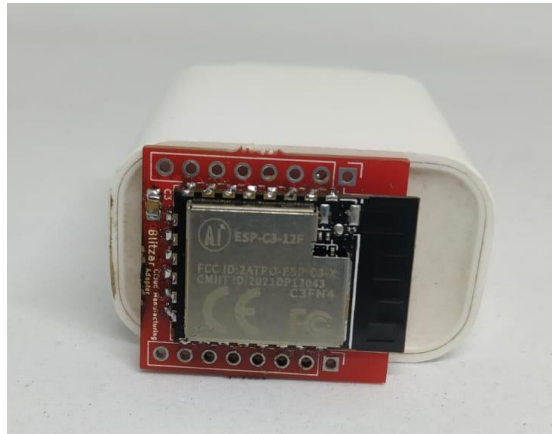
O sistema se encontra em operação e mais informações estão disponíveis em <https://app.cloudcube.com.br/>. O dispositivo Cube Connect atendeu as expectativas e faz a comunicação bidirecional entre o servidor e as máquinas, apesar de melhorias esperadas.

Figura 15 - Cube Connect versão 1 costas



Fonte - Elaborado pelo autor (2023).

Figura 16 - Cube Connect versão 1 frente



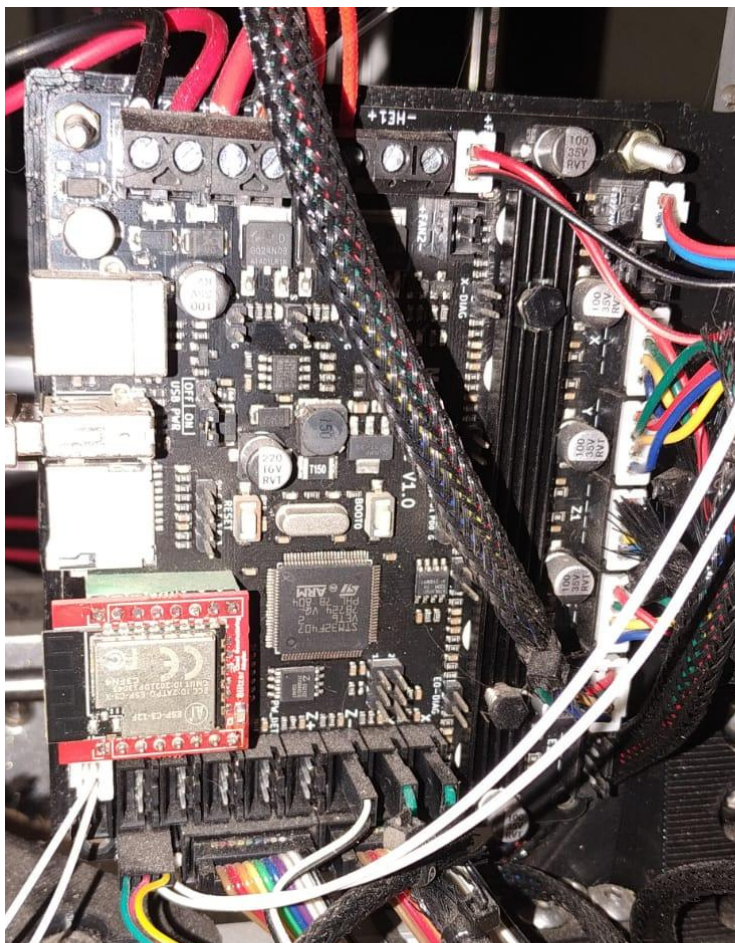
Fonte - Elaborado pelo autor (2023).

Figura 17 - Cube Connect versão 1 placas painelizadas



Fonte - Elaborado pelo autor (2023).

Figura 18 - Cube Connect versão 1 instalado em placa mãe de impressora 3D



Fonte - Elaborado pelo autor (2023).

Com a aquisição de dados propostos anteriormente foi possível desenvolver uma ferramenta para previsão de falhas na impressão com acerto de 75% como pode ser visto no trabalho “Prevenção de falhas em processos de manufatura aditiva utilizando mineração de dados” (PESSANHA et al, 2022). É esperado que novas ferramentas sejam desenvolvidas ou aperfeiçoadas com o acúmulo de dados.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho tinha como objetivo desenvolver um sistema de gerenciamento de produção que permitisse a utilização do conceito de *Cloud Manufacturing* em máquinas CNC, esse objetivo foi alcançado porém ainda há muito o que ser explorado, novos modelos de negócios, novas formas de pensar em fabricação e desenvolvimento.

A escolha do modelo “esp3d” para o Cube Connect foi acertada devido a atual conjuntura e o aumento do preço dos chips, porém melhorias são necessárias, principalmente em relação à segurança da informação.

Após o desenvolvimento do sistema o lançamento ao público foi feito sem alarde para a validação do sistema sem ultrapassar sua capacidade atual, a validação de alguns conceitos, como por exemplo o de que a demanda sempre será menor do que a capacidade produtiva só podem ser feitos com o crescimento da confiabilidade da plataforma e adesão de máquinas chave ao sistema, mesmo com o tímido lançamento alguns pedidos foram feitos e um marco muito importante alcançado foi a fabricação 100% autônoma, sem interferência humana de um pedido feito via marketplace para um produto feito em uma impressora 3D, até a publicação deste trabalho vários módulos propostos anteriormente não foram implementados mas acredita-se que a adoção dos algoritmos de otimização propostos aqui tem muito a oferecer na aceleração da produção e lançamento de novos produtos com estoque reduzido, o que impacta severamente no investimento inicial para que um produto chegue ao público e possa ser comprado.

Com a validação do sistema de fabricação automática o período em que as máquinas, neste caso do teste impressoras 3D, operam aumentou pois passaram a trabalhar no período noturno, fora de horário comercial e sem supervisão durante esse horário, garantindo que o tempo entre produção e despacho seja equivalente a compra de um produto já pronto, com o benefício de se manter um estoque apenas de matéria prima.

O futuro desse sistema se mostra promissor, mas a sua evolução depende de diversos fatores e também, em alguns pontos da adesão de terceiros. Para que o mesmo nível de sucesso de automação da produção possa ocorrer em outras máquinas fora as impressoras 3D haverá a necessidade de outros dispositivos de automação para carregar a matéria prima em cada máquina, mas o modelo de carregamento atual já funciona junto com o sistema proposto apenas com custos mais altos do que o que poderiam ser, mas é um custo ao qual o mercado já está habituado.

Em trabalhos futuros podem ser explorados os desdobramentos mapeados e os não mapeados da integração de um sistema desse, as soluções logísticas encontradas, as soluções de produção, o compartilhamento das informações da produção e as possíveis previsões de falhas com dados diretos e indiretos adquiridos pela comunicação bidirecional.

7 REFERÊNCIAS

AMORIM, G. A. et al. 3D Printing in the Context of Cloud Manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 72, p. 102256, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102256>

NEPIN. Entendendo o conceito de pirâmide da automação industrial. *Nepin Soluções Industriais*, [s.d.]. Disponível em: <https://www.nepin.com.br/blog/solucoes-industriais/entendendo-o-conceito-de-piramide-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

CLOUDCUBE. CloudCube. [s.d.]. Disponível em: <https://app.cloudcube.com.br/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Indústria 4.0. Portal da Indústria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

ECOMMERCE NA PRÁTICA. Maiores marketplaces do Brasil: conheça cada um deles. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://ecommercenapratica.com/blog/maiores-marketplaces-do-brasil/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

HUBS. Become a manufacturing partner. *Hubs*, [s.d.]. Disponível em: <https://www.hubs.com/become-a-manufacturing-partner/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

SUN. Luoyi et Al. “Purchase or rent? Optimal pricing for 3D printing capacity sharing platforms” *European Journal of Operational Research* 307 (2023) 1192–12054

STRATASYS. Stratasys Direct. [s.d.]. Disponível em: <https://www.stratasys.com/en/stratasysdirect/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

SCULPTEO. Sculpteo. [s.d.]. Disponível em: <https://www.sculpteo.com/en/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

KICAD. About KiCad. *KiCad*, [s.d.]. Disponível em: <https://www.kicad.org/about/kicad/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

RAILS. Getting Started with Rails. Ruby on Rails Guides, [s.d.]. Disponível em: https://guides.rubyonrails.org/getting_started.html. Acesso em: 17 mar. 2023.

MICROPYTHON. MicroPython. [s.d.]. Disponível em: <https://micropython.org/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

FLASK. Flask. [s.d.]. Disponível em: <https://flask.palletsprojects.com/en/2.2.x/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

PYTHON. The Python Programming Language. Python Software Foundation, [s.d.]. Disponível em: <https://www.python.org/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

PESSANHA, Thiago da Silva; CARVALHO, Rogerio Atem de; CARVALHO, Jonnathan dos Santos. PREVENÇÃO DE FALHAS EM PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA UTILIZANDO MINERAÇÃO DE DADOS.. In: Anais do Encontro Nacional de Modelagem Computacional, Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais, Conferência Sul em Modelagem Computacional e Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. Anais...Pelotas(RS) UFPel / FURG / UNIPAMPA, 2022. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/enmcmcsulsemengo2022/542969-PREVENCAO-DE-FALHAS-EM-PROCESSOS-DE-MANUFATURA-ADITIVA-UTILIZANDO-MINERACAO-DE-DADOS>>. Acesso em: 18/03/2023 13:32

<https://slic3r.org/about/> Acesso em: 17 mar. 2023.

<https://github.com/grbl/grbl> Acesso em: 17 mar. 2023.

Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. E. WESTKÄMPFER “Manufacturing on Demand in Production Networks” Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, Germany, Received on January 9,1997

Shahroz Akhtar KHAN, Ranjan Arora, Harish Kumar “A Perspective on Advances in Cloud-based Additive Manufacturing”, Pawan Kumar Arora1*EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy, Vol. 09, Issue 03, pp861-869, September 2022

Lin Zhang , Yongliang Luo , Fei Tao , Bo Hu Li , Lei Ren , Xuesong Zhang ,

Hua Guo , Ying Cheng , Anrui Hu & Yongkui Liu (2014) “Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm” , Enterprise Information Systems, 8:2, 167-187, DOI: 10.1080/17517575.2012.683812