



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03
de dezembro 2021

Otimização de produção em uma célula de manufatura flexível por meio de redução de tempo de ciclo

André Felipe Bizzari

Estudante – Faculdade SENAI Joinville

Leticia Rosa Carnin

Estudante – Faculdade SENAI Joinville

Kleber Aluizio Isidorio Vaiz

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

Anderson de Carvalho Fernandes

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

Bruna de Freitas Zappelino

Núcleo de Cursos Superiores e Pós-Graduação – Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville

Resumo: A automação está em crescimento, assim como as inovações da indústria 4.0, sua importância para a indústria se dá através do melhor desempenho dentro dos processos de manufaturas, os quais se tornam cada vez mais robustos e flexíveis. Portanto, essa pesquisa tem como objetivo melhorar o fluxo de trabalho de uma célula de manufatura através da redução de ciclo de produção com alcance de maior produtividade, com a definição do controle dimensional através do estudo de capacidade assegurando a conformidade do processo definido. Atualmente a célula se encontra definida com utilização de dois robôs, e uma operação manual, produzindo uma peça por ciclo no tempo de 2 minutos e 40 segundos trabalhando com dois turnos de 8 horas. Para implementação das melhorias será utilizado algumas ferramentas como Software CAM, CAD, CAE, Arena e Robô Studio que estarão auxiliando a simulação das melhorias propostas.

Palavras-chave: Produtividade; Tempo de Ciclo; Automatização; Usinagem; Célula de produção.

Production optimization in a flexible manufacturing cell through cycle time reduction

Abstract: Automation is growing, as are the innovations of industry 4.0, its importance for the industry is due to better performance within manufacturing processes, which become increasingly robust and flexible. Therefore, this research aims to improve the workflow of a manufacturing cell by reducing the production cycle with greater productivity reach, with the definition of dimensional control through the capability study, ensuring the conformity of the defined process. Currently, the cell is defined with the use of two robots, and a manual operation, producing one part per cycle in a time of 2 minutes and 40 seconds working with two shifts of 8 hours. To implement the improvements, some tools will be used, such as CAM Software, CAD, CAE, Arena and Robot Studio, which will be helping to simulate the proposed improvements.

Keywords: Productivity; Cycle time; Automation; Machining; Production cell.

1. Introdução

Os avanços nos processos de manufatura, desde a segunda revolução industrial até os dias atuais, trouxeram uma grande competitividade para as indústrias, e a crescente busca por produtividade, qualidade, e flexibilidade na produção veio para satisfazer a demanda do mercado.

Nesse contexto de avanços tecnológicos e uma maior exigência na qualidade dos produtos fornecidos, existe a necessidade de que os sistemas de produção sejam flexíveis, de fácil interação com os operadores nas células produtivas.

A redução de custo em automação ainda é o maior desafio para engenheiros que tentam atender essas necessidades, pois reduzir custos mantendo a qualidade dos produtos, produtividade e atendendo o cliente com excelência é algo muito complexo de se alcançar e que as empresas vêm enfrentando. Dessa forma podemos afirmar que inovação da automação de processos é uma possível solução para estes problemas, contribuindo para a redução da necessidade de mão de obra dentro dos processos e proporcionando um controle rigoroso dentro de cada etapa.

Os sistemas Flexíveis de Manufatura são conhecidos por FMS (Flexible Manufacturing System) pode ser simplificado como um grupo de unidades de processamento interconectadas através de um sistema automatizado de estocagem e manuseio de material, e controladas por um sistema integrado de computador (MOREIRA, 2001)

Assim, analisando a citação podemos sintetizar o conceito de FMS como um conjunto de máquinas-ferramentas controladas numericamente e interligadas por um controle central.

A manufatura flexível evolui exponencialmente ao longo dos anos. Nos dias atuais com os robôs no “chão de fábrica”, conseguimos atingir uma rapidez maior e um menor custo na operação, pois esses avanços permitem que minha operação seja concluída sem as compras de novos maquinários. É possível aperfeiçoar layout das fábricas, gerir melhor recursos monetários e humanos e todos esses pontos citados afetam o custo final do produto.

Assim como vemos em Peixoto,2012; “FMS os pacotes de softwares que normalmente fazem parte da estrutura de um CIM são: CAD – Computer Aided Design, CAE – Computer Aided Engineering, CAM – Computer Aided Manufacturing e CAPP – Computer Aided Process. Projetos executados em CAD são testados no CAE, geram códigos CAM para a execução nas máquinas CNC, cuja produção é organizada no CAPP”.

Dessa forma neste artigo apresenta-se possíveis melhorias para serem realizadas em um sistema de manufatura flexível, para que se obtenha melhores índices de produtividade, com melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Para definição das possíveis melhorias a serem realizadas, inicia-se com a realização das medições de tempo de trabalho da célula, para que seja possível a identificação dos tempos ociosos possibilitando ajuste e melhoria da produtividade; após será feita uma avaliação do processo de usinagem verificando os parâmetros utilizados e tempo de usinagem para implementação de redução de tempo de ciclo e aumento de produção por hora máquina, e por fim será feita análise da mão de obra que está envolvida na célula de manufatura, verificando os pontos de melhoria relacionados à posição e a atividade realizada pelo colaborador.

Portanto, essa pesquisa tem como objetivo otimizar uma célula de manufatura flexível por meio de redução de tempo de ciclo, conseqüentemente atingindo ganho nos resultados de produtividade e desempenho, definindo a frequência de controle dimensional das peças e através do estudo de capacidade, assegurando a conformidade do produto.

2. Materiais e Métodos

Com o objetivo de otimizar os índices de produtividade as seguintes melhorias foram implementadas na célula através de análises realizadas com auxílio dos seguintes softwares: SolidWorks para modelamento das peças; CAM para simulação do processo de usinagem; CAE para simulação de tração e esforço dos suportes; Rockwell Arena para simular alterações na célula de manufatura; Robô Studio para simular as melhorias nos tempos dos robôs.

2.1 Redução de tempo do robô alimentador

Com base em algumas medições de tempo do robô alimentador, observamos a possibilidade de uma redução de tempo nos movimentos que ele faz para levar as peças para o abastecimento da linha. Isso será possível com o redimensionamento dos movimentos do robô, ou seja, realizar um novo cálculo com novas dimensões para que o robô realize o trabalho em um menor tempo, ou que possa ser incluso uma nova atividade no tempo em que ele fica aguardando para repetir o processo.

2.2 Inclusão de peça por usinagem

Colocar no pallet de abastecimento mais uma peça para ser usinada no processo posterior, para que duas peças entrem para a usinagem e não apenas uma. Isso irá reduzir o tempo de trabalho do robô, que ele faria a mais, caso ainda continue usinando uma peça de cada vez. Posteriormente a quantidade de peças que são usinadas também são duplicadas.

2.3 Troca da pinça do robô por ventosas

A utilização das ventosas para pegar as peças durante o processo de usinagem, vai contribuir para que o robô consiga levar de uma só vez duas peças para o centro de usinagem, repetindo o mesmo processo na retirada das peças após usinagem, para que isso ocorra será necessário realizar a análise da especificação correta da ventosa, para garantir que suporte o peso total da peça antes e após usinagem.

2.4 Inspeção das peças por lote

Entendendo-se que o processo de usinagem CNC depois de definido e validado, torna-se um processo totalmente estável com mínima chance de produzir peças com defeito, dessa forma é possível implementar o processo de inspeção por lotes (amostragem), e não em 100% das peças, inspecionando apenas parte do lote produzido.

Para implementação da inspeção por lotes é necessário analisar a capacidade e estabilidade do processo para verificar se o processo apresenta uma estabilidade nos resultados finais do produto atendendo todas as especificações.

O resultado da capacidade de processo é um número adimensional calculado a partir da Equação:

$$CP = \frac{\text{limite natural do processo}}{6\sigma}$$

O processo é capaz quando o CP for maior que 1,67 e CPK for maior que 1,33.

2.5 Confeção de um gabarito de medição

A ideia da confecção de um gabarito para aferição das peças é garantir mais qualidade no processo de inspeção das peças, a verificação com uma aferição padronizada vai reduzir

a quantidade de dúvidas do próprio inspetor na hora da inspeção, minimizando a quantidade de erros de medição.

3. Resultados e Discussões

A célula de manufatura que será estudada se classifica como uma célula automatizada – apresentada na Figura 1-a –, a qual é formada por um grupo de estações de processos que possui; máquinas de comando numérico, que são conectadas por um sistema automático de manuseio e armazenagem, sendo controladas por um sistema de computação distribuído.

Para validação do estudo será utilizado o software Rockwell Arena que permite simular um ambiente gráfico integrado e que possui os recursos para modelagem de processos, análise de estatísticas e de resultados. Com ele será possível realizar a simulação da célula de produção para verificar as possíveis melhorias, de modo que, possam ser analisadas e modificadas virtualmente. Esse software serve como a fase de testes de um produto e por ser totalmente virtual não impacta em custos de materiais, ferramentas e procedimentos no caso de eventuais problemas.

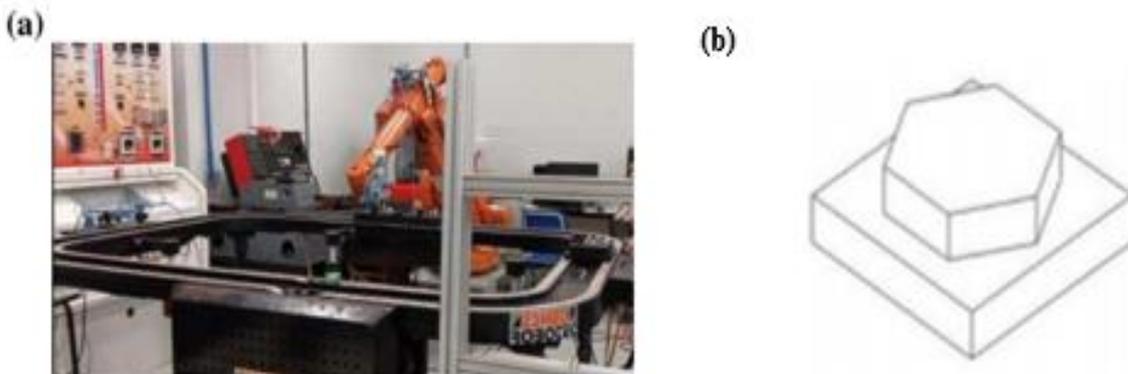
A célula é composta por 1 robô alimentador o qual abastece a linha com o material para usinagem. Posteriormente o outro robô com sistema articulado faz a função de colocar as peças na fresadora CNC e retirá-las assim que finaliza o processo. Após a usinagem as peças são encaminhadas para o posto de inspeção manual onde um operador é responsável por fazer a análise de qualidade da peça.

Para implementação das melhorias adequadas na célula de manufatura é necessário considerar as situações descritas abaixo:

Conforme representada na Figura 1-b, a célula (Figura 1-a) trabalha dois turnos de 8 horas; duas operações com robôs e uma manualmente; não pode ser adicionado mais colaboradores ou robôs; deve ser realizada a simulação de funcionamento no software

Arena para validação dos resultados; o programa de controle da célula – movimentação e robô – deve ser alterado para atender as necessidades de melhoria; identificar as tecnologias de comunicação entre os dispositivos; tempo de ciclo atual da fresadora CNC é de 2 min e 40 segundos; considerar a usinagem de uma peça sextavada com material aço 1045 (Figura 1-c).

Figura 1 – a) Célula de manufatura, b) Peça a ser usinada



Fonte: Os autores (2021)

3.1 Programação CNC

Na primeira etapa do desenvolvimento foi realizada uma simulação no software CAM com as alterações do programa CNC e com o objetivo de reduzir tempo de ciclo aumentando a quantidade de peças usinadas.

Após a simulação obteve-se o resultado de 1 min e 51 segundos para usinagem de uma peça com os novos parâmetros, totalizando um tempo médio aproximadamente de 3 minutos para usinagem de 2 peças devido ao software utilizar algoritmos matemáticos os quais geram muitos pontos na geometria da peça, assim gerando uma maior quantidade de linhas na programação CNC, resultando em um tempo maior de usinagem.

Dessa forma, para alcançar um tempo de ciclo menor para usinagem de 2 peças, foram realizadas outras alterações no programa CNC, conseguindo validar o programa na prática sem a quantidade de pontos gerados pelo software, conforme a Tabela 1 que traz os parâmetros de antes e depois.

Tabela 1 – Parâmetros de usinagem antes e depois

Parâmetros de Usinagem	Antes	Depois
Incremento (mm)	0,5	1
Rotação Desbaste (rpm)	2000	2200
Avanço Desbaste (mm/min)	1000	3000
Rotação Acabamento (rpm)	2000	2000
Avanço Acabamento (mm/min)	1000	1000
Z=Segurança (mm)	100	10

Fonte: Os autores (2021)

Aumentando o incremento de 0,5mm para 1 mm, e realizando a inversão dos valores de rotação de 2000 para 2200 e velocidade de avanço de 1200 para 3000 foi possível manter a rugosidade dentro da tolerância, logo após também foi diminuída a distância de segurança em Z para otimizar o tempo de troca de ferramenta o que contribui significativamente para a redução de tempo. Feito essas alterações chegou-se a redução de tempo de ciclo com tempo de 2 minutos e 40 segundos com 1 peça por ciclo para um tempo de 2 minutos e 30 segundos com a usinagem de duas peças por ciclo, garantindo a conformidade do produto em rugosidade e dimensional.

3.2 Análise dimensional

Na segunda etapa do projeto foi realizado a aferição de todas as peças após usinagem, com as medições das suas cotas principais utilizando micrômetro (Figura 3-a) e também utilizando a medição de rugosidade com o rugosímetro (Figura 3-b), para verificar que o processo definido estivesse entregando as peças dentro das medidas e da rugosidade definida em desenho.

Para realizar as medições de rugosidade foi confeccionado um suporte para colocar as peças, o qual possibilita medição linear em todas as faces do sextavado.

Figura 3 – a) Medição com micrômetro b) Medição com rugosímetro



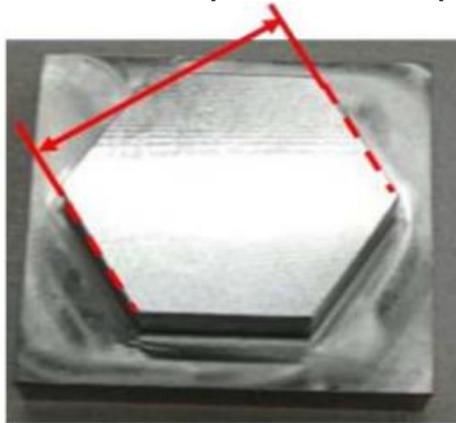
Fonte: Os autores (2021)

O suporte para medição de rugosidade foi confeccionado de material plástico PLA em impressora 3D, através do modelamento realizado no *software* SolidWorks.

3.3 Estudo de capacidade

Após definida uma cota principal do sextavado para realizar o estudo de capacidade, assim foi coletado 30 medições para entender se o processo era capaz de atender a capacidade, e o resultado que se obteve foi processo não capaz, considerando que para atendimento de capacidade o resultado deve ser maior ou igual 1,33 para CPK e 1,67 para CP. Dessa forma observamos que seria necessário uma quantidade maior de medições para realizar o estudo, entendendo que para sua validação é necessário que o desempenho do processo garanta que as peças tenham medidas entre 34,982 até 34,992 (Figura 4), essa é a variação máxima que poderá ter para definir a inspeção por lotes.

Figura 4 – Cota definida para estudo de capacidade



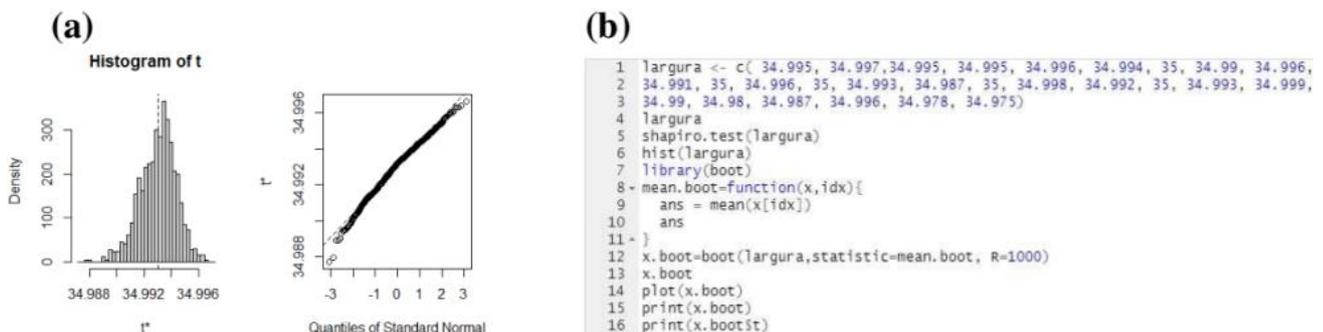
Fonte: Os autores (2021)

Com a coleta das 30 medições utilizamos o software R, para realização de cálculos estatísticos, o qual oferece grande variedade estatística tais como: modelagem linear e não linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais entre outros. Assim, colocando as 30 medições pode-se verificar que as medições apresentavam uma linha de tendência, ou seja, seguiam sempre uma estabilidade, normalidade dos resultados, não apresentando dispersão entre os valores (conforme os gráficos apresentados na Figura 5-a).

Após a confirmação da normalidade dos dados para a obtenção de quantidade maior de medições foi utilizado o método *Bootstrap*, uma ferramenta estatística que estima a distribuição de amostragem coletando várias amostras com reposição de uma amostra aleatória, ela gera reamostras com base nas amostras iniciais, garantindo que a reamostra seja do mesmo tamanho da amostra original.

Assim podemos realizar a programação dentro do Software R para multiplicar esses resultados em 1.000 medições através dos valores já validados para então conseguir realizar a capacidade de processo de 125 amostras conforme programação na Figura 5-b.

Figura 5 – a) Dispersão dos valores, b) Programação no Software R para multiplicar os dados



Fonte: Os autores (2021)

Com as 1.000 medidas analisamos a capacidade em uma planilha com 125 dados, e o resultado foi positivo, podemos validar que o processo é capaz e atende a capacidade de processo, atingindo o valor de Cp de 2,82 e Cpk de 1,71.

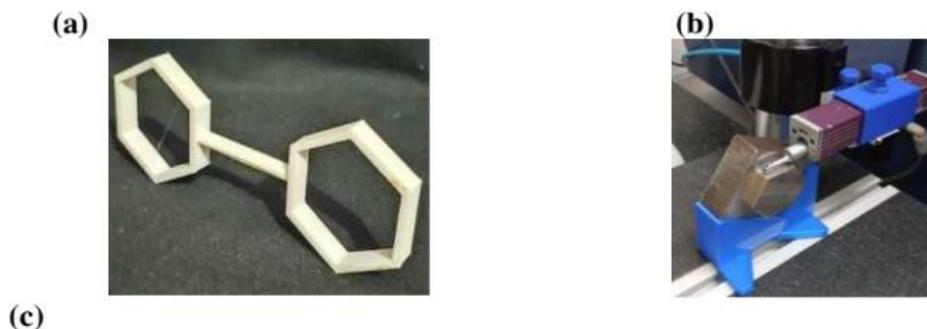
3.4 Gabaritos de inspeção

Após a conclusão do estudo de capacidade definiu-se que para o controle das cotas de desenho será feito apenas uma aferição com um gabarito “passa não passa” (Figura 6-a) fabricado em Aço 1045 numa frequência a cada 10 peças, pois entende-se através de todas as análises que o processo é capaz e estável.

Obs.: A figura 6-a é uma representação do protótipo do gabarito modelado em SolidWorks e fabricado em impressora 3D.

Sendo assim apenas será realizado no posto operacional a medição de rugosidade de 100% das peças utilizando o suporte para apoio (Figura 6-b).

Figura 6 – a) Gabarito passa não passa b) Medição com rugosímetro c) Quadro com tempos de medição



TEMPOS DE MEDIÇÃO DO RUGOSÍMETRO (seg)									
21,06	21,14	21,50	21,69	20,82	19,70	20,86	21,32	21,29	20,73
Média:	21,01								

Fonte: Os autores (2021)

Para definição do tempo médio da medição de rugosidade foi realizada uma média com 10 medições, definindo-se aproximadamente 21,01 segundos por peça para realizar medição (Figura 6-c).

3.5 Simulação de produção

Em sequência utilizamos o software Arena para simular os novos resultados de produtividade na célula com o novo tempo 2 minutos e 30 segundos de usinagem de 2 peças por ciclo. Incluindo, também, o tempo médio de medição de rugosidade de 21 segundos realizado no posto de inspeção. Segue abaixo a imagem 7 com o comparativo da célula antes e depois:

Figura 7 – Quadro com o comparativo dos resultados da célula antes e depois

Colaborador	Aproveitamento	Produção 1º Turno	Produção 2º Turno	Produção Total	Nº Peças Espera
ANTES					
ABB 1	13%	157 PEÇAS	180 PEÇAS	337 peças dia	0
ABB 2	17%				0
Fresadora	100%				58
Inspetor Qualidade	6%				0
DEPOIS					
ABB 1	15%	332 PEÇAS	332 PEÇAS	664 peças dia	0
ABB 2	16%				0
Fresadora	99%				12
Inspetor Qualidade	17%				0

Fonte: Os autores (2021)

Dessa forma conclui-se uma nova produtividade de 332 peças por turno, totalizando 664 peças por dia, gerando um ganho de aproximadamente 97%.

3.6 Programação

Foi utilizado o software RobotStudio para escrever a programação lógica dos robôs da célula, e realizar as análises para verificar as possíveis modificações. Após as análises foi decidido as seguintes alterações para os robôs:

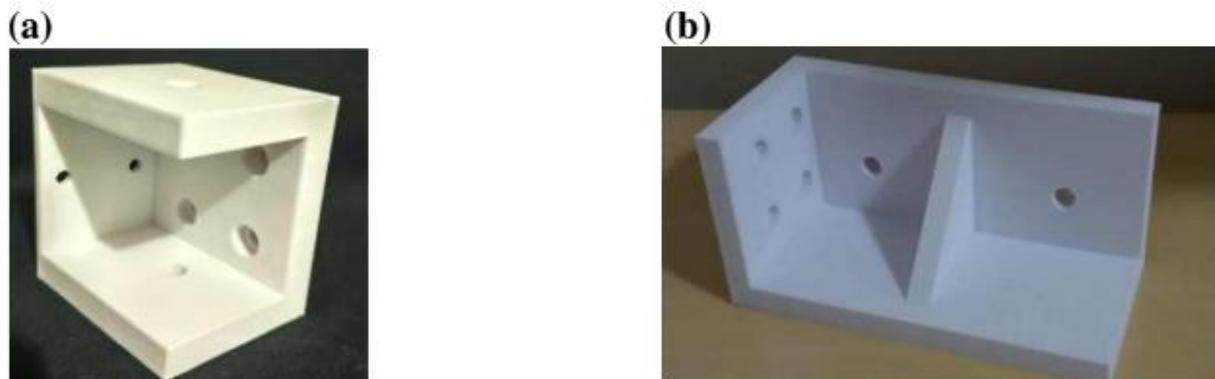
3.6.1 Robô alimentador

Para o robô alimentar as posições de segurança foram alteradas levando em consideração a estabilidade do processo de usinagem atingindo assim um tempo médio de 15,83 segundos para movimentação das peças, também foi desenvolvido um novo suporte de pega do robô, um modelo que é capaz de colocar e retirar da máquina 2 peças ao mesmo tempo por auxílio de ventosas (Figura 8-a)

3.6.2 Robô Máquina

Para o robô máquina foi desenvolvido um outro modelo de suporte para possibilitar a movimentação com duas peças ao mesmo tempo, também com o auxílio de ventosas (Figura 8-b). Os suportes serão fabricados em material Aço 1045, por usinagem CNC.

Figura 8 – a) Suporte robô alimentador, b) Suporte robô da máquina



Fonte: Os autores (2021)

As fotos acima representam os protótipos do suporte, os quais foram fabricados em impressão 3D após modelamento em SolidWorks.

3.7 Layout de inspeção

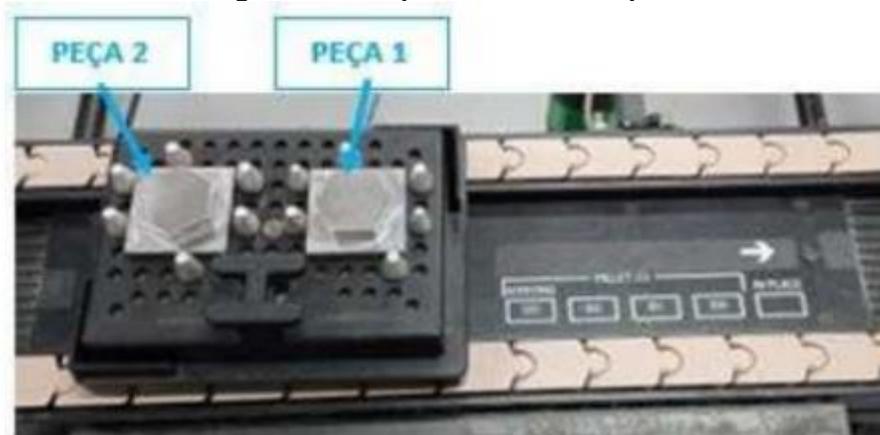
No posto de inspeção das peças, foi feito uma identificação do layout com fitas demarcando (Figura 9) a área onde as peças devem ser medidas e a área onde devem ser colocadas as peças que estão aprovadas após a medição, criando uma sequência para a realização da inspeção (Figura 10):

Figura 9 – Layout do posto de inspeção



Fonte: Os autores (2021)

Figura 10 – Suporte robô da máquina



Fonte: Os autores (2021)

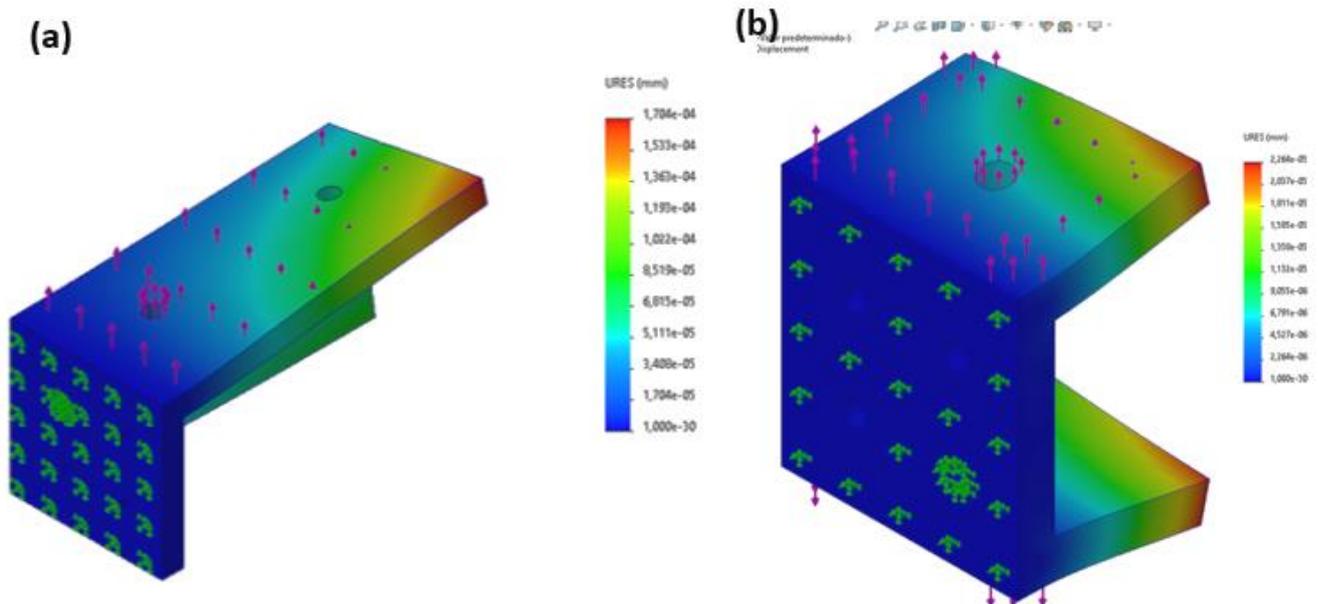
Feito isto, para seguir a sequência na hora da medição, para que nenhuma peça fique sem medir, para que não ocorra a mistura das peças e para que nenhuma peça reprovada siga para o processo posterior.

3.8 Análise de esforços

Nesta etapa é feita a análise de resistência dos suportes do robô para utilização das ventosas, essa análise foi realizada dentro do Software SolidWorks com a ferramenta CAE, o qual é amplamente utilizado para gerar análises de engenharia. (Figuras 11-a e 11-b).

Com essas análises pode-se verificar as resistências de tração e tensão que as peças sofrem, e que os valores de tensão e deformação por serem valores mínimos seriam quase imperceptíveis ao produto, concluindo assim que estariam completamente aptas para realizar a função sem correr nenhum risco de apresentar rompimento ou deformação.

Figura 11 – a) Representação de tração e deformação suporte para robô da máquina, b) Representação de tração e deformação suporte para robô alimentador



Fonte: Os autores (2021)

4. Considerações Finais

Desenvolver produtos ou melhorias de produtos com critérios pré-estabelecidos e com objetivos a serem alcançados podem refletir na cadeia produtiva de uma empresa e por consequência nos seus lucros e, esse sim, geram grandes impactos na vida de outras pessoas.

Com isto, foram realizadas um conjunto de melhorias para célula de manufatura a fim de otimizar o processo e a produtividade da linha, também desenvolvendo um novo método de trabalho com novos tempos de produção, com o auxílio de ferramentas como Software CAM, CAD, CAE, Arena e Robô Studio os quais possibilitaram a realização de todas as análises e validação dos resultados.

Dessa forma podemos concluir que o principal objetivo do trabalho foi alcançado, como a redução de tempo de ciclo, ganho de produtividade e estudo de capacidade para definição do controle dimensional, atingindo bons resultados na produtividade da célula de manufatura.

5. Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, que nos deu energia e benefícios para concluir este trabalho.

Aos nossos colegas de turma que puderam participar indiretamente com o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores das disciplinas de Sistemas de Produção II; Sistemas de Automatizados e Engenharia Integrada por Computador que disponibilizaram as aulas e todo seu ensinamentos para conclusão deste trabalho.

Agradecemos a Faculdade SENAI Joinville por disponibilizar os equipamentos e infraestrutura para a realização da presente pesquisa.

6. Referências

JURAN, J.M. **Controle da Qualidade: Métodos Estatísticos Clássicos Aplicados A Qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1991.

MARTINS, Roberto Antônio - **Inspeção Por Amostragem** - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - CCET - Universidade Federal de São Carlos, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. New York: John Wiley& Sons, 1985

MOREIRA: **Coletânea de Normas de Planos de Amostragem** - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - Rio de Janeiro, 2001

Revista GEINTEC– ISSN: 2237-0722. Aracaju/SE. Vol.7, n.2, p.3760-3773, abr/maio/jun – 2017 3766 D.O.I.: 10.7198/geintec.v7.i2.709 disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317916080_SISTEMAS_FLEXIVEIS_DE_MANUFATURA_DEFINICOES_E_QUADRO_DE_TRABALHO_PARA_FUTURA_PESQUISA. acesso: 26/09/2021