

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

WILLIAM APARECIDO CELESTINO LOPES

**INTEGRAÇÃO DE CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA APLICADA A
PROCESSO DE FABRICAÇÃO AUTOMOTIVA ENVOLVENDO ESTAMPAGEM E
SOLDAGEM**

SANTOS/SP

2018

WILLIAM APARECIDO CELESTINO LOPES

**INTEGRAÇÃO DE CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA APLICADA A
PROCESSO DE FABRICAÇÃO AUTOMOTIVA ENVOLVENDO ESTAMPAGEM E
SOLDAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho e co-orientação do Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos.

SANTOS/SP

2018

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

629.892 Lopes, William Aparecido Celestino.
L856i Integração de célula flexível de manufatura aplicada a processo de fabricação automotiva envolvendo estampagem e soldagem. William Aparecido Celestino Lopes. -- 2018.75p.

Orientador: Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.
Coorientador: Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2018.
1. Sistema Flexível. 2.Célula de Manufatura. 3.Simulação Digital. 4.Estampagem. 5.Soldagem.

I. Da Silva Filho, João Inácio. II. Blos, Maurício Fontoura. III. Integração de célula flexível de manufatura aplicada a processo de fabricação automotiva envolvendo estampagem e soldagem.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meu irmão, minha esposa, meus amigos, colegas de trabalho, alunos e ex-alunos que acreditaram no meu potencial e sempre me incentivaram a estudar para ser uma pessoa melhor a cada dia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e proteção ao longo do trajeto entre Santo André e Santos.

Aos meus familiares que tanto os amos e mesmo ausente ao longo destes anos devido a dedicação desse trabalho, não se esqueceram de mim em suas orações.

Ao professor Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho meu agradecimento pelo ensino das disciplinas ao longo do programa e pela dedicação e orientações de grande importância para o início, desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

Ao professor Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos que mesmo distante, desde o início se prontificou a orientar os trabalhos desenvolvidos na dissertação.

À equipe da secretaria de Mestrado, Sandra e Imaculada, pelo auxílio e pronto atendimento em todas as fases do processo de estudo.

Em especial um duplo agradecimento ao SENAI Volkswagen e SENAI Santo André, onde ministrou aulas, pela colaboração dos diretores, coordenadores, professores e demais funcionários das respectivas unidades.

*“Mas tu, ó homem de Deus, fuge desses vícios e procura com todo empenho a piedade, a fé, a caridade, a paciência, a mansidão.
12 Combate o bom combate da fé. Conquista a vida eterna, para a qual foste chamado e fizeste aquela nobre profissão de fé perante muitas testemunhas.”
(I Timóteo, 6:11-12)*

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo para a integração de duas células flexíveis de manufatura, utilizadas na produção de peças estampadas do segmento automobilístico, com o objetivo de aumentar da produtividade. A célula 1 realiza o processo de estampagem por meio de um robô e uma prensa. Porém, em uma das operações foi observado um tempo ocioso gerando um gargalo no processo. A partir das análises do ambiente físicos e dos tempos coletados em cada operação, foi proposta a integração entre a célula 1 e a célula 2, que atualmente realiza o processo de soldagem. A condição inicial para a viabilidade do projeto foi manter a flexibilidade da célula 2 modificando-a minimamente sua estrutura física, aplicando assim, o princípio de economia dos movimentos e com a possibilidade de retornar as atividades iniciais relacionadas a soldagem. Após as modificações físicas empregadas, novos dados foram coletados e um modelo matemático foi desenvolvido para aplicar nos dois cenários com o objetivo de mensurar e comparar os desempenhos. Posteriormente a implantação da melhoria, novos valores entre os tempos foram coletados com o objetivo de comparar os dois cenários ao estampar uma peça. Para aumentar a relação entre estudo e prática e identificar a capacidade dos processos, foi atribuído um tempo maior ao processo adotando o valor de um turno de trabalho utilizado em um processo de estampagem de uma empresa automobilística. Durante as atividades de estampagem no cenário da situação problema foram obtidas 1069 peças ao longo do período de 6 horas e 30 minutos de trabalho. Em seguida, ao adotar o mesmo período de trabalho, a melhoria realizada por meio da integração obteve o valor de 1183 peças, resultando em um aumento de 11% na produção considerando apenas um turno de trabalho. Para a validação dos resultados obtidos por meio das equações, os valores envolvendo os tempos de cada atividade foram simulados virtualmente no software da fabricante SIEMENS *Tecnomatix Plant Simulation* 14 versão educacional, representando o cenário virtual do processo.

Palavras-chave: Sistema flexível. Célula de manufatura. Simulação Digital. Estampagem. Soldagem.

ABSTRACT

This work presents the study for the integration of two flexible manufacturing cells, used in the production of stamped parts of the automobile segment, with the aim of increasing productivity. The cell 1 performs the stamping process by means of a robot and a press, but in one of the operations was observed an idle time generating a bottleneck in the process. From the analysis of the physical environment and the times collected in each operation, the integration between cell 1 and 2, which currently performs the welding process, was proposed. The initial condition for the feasibility of the project was to maintain the flexibility of cell 2 minimally modifying its physical structure, thus applying the principle of economy of movements and with the possibility of returning the initial activities related to welding. After the physical modifications used, new data were collected and a mathematical model was developed to apply in both scenarios with the objective of measuring and comparing the performances. After the implementation of the improvement, new values between the times were collected in order to compare the two scenarios when stamping a part. In order to increase the relation between study and practice and to identify the capacity of the processes, a greater time was allocated to the process, adopting the value of a work shift used in a stamping process of an automobile company. During the stamping activities in the scenario of the problem situation were obtained 1069 pieces over 6 hours and 30 minutes of work, then considering the same work period the improvement achieved through the integration obtained the value of 1183 pieces, an increase of 11% in production considering only one shift. For the validation of the results obtained by means of the equations, the values involving the times of each activity were simulated virtually in the software of the manufacturer SIEMENS Tecnomatix Plant Simulation 14 educational version representing the virtual scenario of the process.

Keywords: Flexible System. Manufacturing Cell. Digital Simulation. Stamping. Welding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1. Formato adotado para processo de manufatura contemporâneo. | 16 |
| Figura 2. Características dos sistemas de fabricação automotivos. | 18 |
| Figura 3. Evolução dos sistemas flexíveis de manufatura. | 19 |
| Figura 4. Vista 2D e 3D da estrutura da célula de manufatura. | 21 |
| Figura 5. Adequação da produção ao sistema de manufatura. | 22 |
| Figura 6. Produto final estampado. | 28 |
| Figura 7. Desenho 2D da célula. | 30 |
| Figura 8. Configuração dos itens de segurança da célula 1. | 31 |
| Figura 9. Fluxo do processo de fabricação na célula 1. | 33 |
| Figura 10. Movimentos do operador para obter o posicionamento de peças. | 34 |
| Figura 11. Saída do operador da zona de trabalho. | 34 |
| Figura 12. Robô1 inicia a operação de pega da posição inicial ao suporte 1. | 35 |
| Figura 13. Robô 1 posiciona a chapa dentro do estampo. | 36 |
| Figura 14. Recuo do robô 1 para perímetro de segurança. | 36 |
| Figura 15. Estampo fechado para conformação final da peça. | 37 |
| Figura 16. Estampo aberto com peça finalizada aguardando para ser retirada. | 38 |
| Figura 17. Robô 1 posicionado no suporte 1.2. | 38 |
| Figura 18. Robô 1 retira a segunda chapa a ser estampada. | 39 |
| Figura 19. Tempo coletado com cronometro decimal. | 40 |
| Figura 20. Porcentagem da participação de cada atividade na célula 1. | 44 |
| Figura 21. Resultados obtidos na simulação no ambiente virtual. | 46 |
| Figura 22. Arranjo físico da integração entre as células. | 48 |
| Figura 23. Ponteadeira estacionária e pinça para realização de solda a ponto. | 48 |
| Figura 24. Novo meio de fixação para ferramenta de manuseio de peça estampada. | 49 |
| Figura 25. Extensor e ventosa adaptados ao robô 2. | 50 |
| Figura 26. Saída do robô 2 com peça estampada sem o movimento de flambagem. | 51 |
| Figura 27. Programação com tempo de espera. | 52 |
| Figura 28. Posição do intertravamento na atividade paralela. | 53 |
| Figura 29. Mapofluxograma da integração entre as células. | 57 |
| Figura 30. Porcentagem das atividades no ciclo automatizado da integração. | 60 |
| Figura 31. Validação do resultado de acordo com o novo modelo. | 61 |
| Figura 32. Funcionamento da integração entre as duas células. | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Coeficiente da distribuição normal padrão. | 25 |
| Tabela 2 - Coeficiente em função do número de cronometragens. | 25 |
| Tabela 3 - Legenda da planta..... | 29 |
| Tabela 4 - Legenda do fluxograma..... | 31 |
| Tabela 5 - Tempos coletados pelas cronometragens para obtenção do tempo total. | 41 |
| Tabela 6 - Tempos das atividades automatizadas para obtenção da peça 1 na célula 1. | 43 |
| Tabela 7 - Coleta de tempos das atividades realizadas pelo robô 2 na célula 2. | 54 |
| Tabela 8 - Tempos para estampar a peça 1 nas células integradas. | 55 |
| Tabela 9 - Tempos para estampagem a partir da peça 2 na célula integrada. | 58 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|---------------------------------------|
| PO | Pesquisa Operacional |
| ETM | Estudo de Tempos e Métodos |
| <i>LM</i> | <i>Lean Manufacture</i> |
| GPM | Golpes por Minuto |
| ADPO | Administração da Produção e Operações |
| <i>FMS</i> | <i>Flexible Manufacturing Systems</i> |
| CFM | Célula Flexível de Manufatura |
| TMO | Tempo de Movimentação do Operador |
| HS | <i>Home_Suporte 1</i> |
| TCA | Tempo Ciclo da Automação |
| TP | Tempo de Produção |
| Tp1 | Tempo da peça 1 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 13 |
| 1.2 | RELEVÂNCIA DO TEMA | 13 |
| 1.3 | OBJETIVO | 14 |
| 1.4 | OBJETIVOS SECUNDÁRIOS | 14 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 15 |
| 2.1 | AUTOMAÇÃO APLICADA AOS PROCESSOS DE MANUFATURA AUTOMOBILÍSTICA | 17 |
| 2.2 | SISTEMAS PRODUTIVOS APLICANDO O CONCEITO DE CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA | 18 |
| 2.3 | CONFIGURAÇÃO DO ARRANJO FÍSICO DA MANUFATURA APLICADA A PLANTA DE ESTAMPARIA | 21 |
| 2.4 | MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS INSERIDOS EM CÉLULA DE ESTAMPAGEM 22 | |
| 2.5 | A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO MATEMÁTICO APLICADO AO PROCESSO | 24 |
| 2.6 | SIMULAÇÕES VIRTUAIS PARA VALIDAÇÃO DE PRODUTIVIDADE | 26 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 28 |
| 3.1 | O ARRANJO FÍSICO DA CÉLULA 1 | 29 |
| 3.2 | ESTUDO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO | 31 |
| 3.3 | COLETA E VALIDAÇÃO DOS TEMPOS COLETADOS | 39 |
| 3.4 | MODIFICAÇÕES ESTRUTURAIS MECÂNICAS | 47 |
| 3.5 | PROGRAMAÇÃO DA PRENSA E ROBÔS CONSIDERANDO O INTERTRAVAMENTO E COLETA DE TEMPOS | 51 |
| 4 | RESULTADOS | 56 |
| 4.1 | NOVO ESTUDO MATEMÁTICO PARA A PRODUÇÃO DAS CÉLULAS INTEGRADAS | 58 |
| 4.2 | SIMULAÇÃO VIRTUAL PARA VALIDAÇÃO DO NOVO CÁLCULO DA PRODUÇÃO | 61 |
| 5 | DISCUSSÕES | 63 |
| 6 | CONCLUSÕES | 65 |
| 7 | VERSÃO COMPACTA | 66 |
| | REFERÊNCIAS | 72 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística no Brasil nas últimas décadas tem apresentado um papel fundamental em dois campos muito importantes para o desenvolvimento do país, sua participação na econômica e na tecnológica. A participação econômica atinge uma grande parte dos produtos manufaturados brasileiros dividindo entre grandes montadoras, médias empresas como fornecedores de autopeças e empresas de pequeno porte. Diante desse cenário, a competição para chegar e se manter com um volume de capital transitando entre a empresa, é necessário ter uma variedade de serviços e produtos a oferecer com qualidade e preços competitivos, logo desenvolver possibilidades de variação dos processos produtivos como menores interferências, seja econômica ou física, é de fundamental importância para manter-se vivo nesta competição (ANFAVEA, 2017).

Outro panorama a ser avaliado são as constantes mudanças tecnológicas nos automóveis como potência, desempenho e conectividade, estas são algumas das variáveis em constante evolução que são inseridas nos processos nas empresas automotivas. O aumento da concorrência entre as empresas automobilísticas as desafiam a desenvolver produtos com maior variedade de personalização sendo parametrizado pelo cliente e com volume menor de fabricação em relação aos anos anteriores. Essa equação precisa ser balanceada para direcionar novos investimentos e manter o ritmo de crescimento. Processos mais enxutos, com menor número de colaboradores e maior número de recursos tecnológicos, aumentam a necessidade de uma fabricação mais inteligente, não apenas em sistemas reconfiguráveis, mas também em gestão com o recebimento e direcionamento de dados produtivos em relação aos planos futuros (MOURTZIS, 2014).

O cenário atual apresenta uma produção cada vez mais dedicada a criação de produtos inteligentes e com altos níveis de confiabilidade, desenvolvidos em linhas de produção mutáveis, com possibilidades de variar os produtos dentro de uma mesma linha para atender clientes cada vez mais exigentes por qualidade. A automação industrial utilizada no desenvolvimento destes projetos com altos índices de mudanças permite o reaproveitamento de elementos inseridos nos sistemas de produção veicular uma grande capacidade de se adequar as mudanças de forma dinâmica e sem perder o desempenho da produtividade. Administrar operações e colaboradores juntamente com linhas automatizadas não é uma das tarefas mais

simples devido à complexidade do produto final a ser oferecido (ELMOSELHY, 2013).

1.1 JUSTIFICATIVA

A variação do mercado automotivo estabelece as montadoras à elaboração de estruturas físicas flexíveis para encurtar o espaço de lançamento entre um veículo e outro, diminuindo o ciclo de vida do projeto para a criação de novos produtos. O custo da criação de uma estrutura para atender a montagem de um novo processo veicular e a falta do máximo empenho no reaproveitamento da automação industrial utilizadas em projetos anteriores, emplacam diretamente no valor final do automóvel, independente do estágio do processo da manufatura automotiva compreendida entre estamparia, armação, pintura e montagem final (WELLS, 2013).

Os resultados desenvolvidos ao longo deste trabalho podem ser aplicados a uma filosofia *Lean Manufacture (LM)*, agregando elementos automatizados ao longo do processo. A integração da automação automobilística pode ser aplicada em situações que variam desde a pequena empresa fornecedora de autopeças a grandes montadoras (NIEUWENHUIS, 2015).

Os dados levantados de forma prática neste trabalho foram atrelados a cálculos analíticos de produção de uma empresa que fornece produtos estampados, utilizando um cenário de produção real, ao considerar um turno de trabalho de uma empresa automobilística para estabelecer uma relação entre a necessidade de demanda e a capacidade produtiva. Os valores derivados deste estudo foram legitimados pela simulação virtual que antecede qualquer modificação operacional ou de gestão necessária para aumentar a produção (SELEIM et al., 2012).

1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA

A aplicação de investimentos e o tempo de retorno em automação requer uma análise crítica sobre a relação de capacidade de produtos a serem produzidos e adquiridos pelo mercado consumidor. Os dados produtivos alimentam este cenário para direcionamentos de flexibilização da estrutura existente ou a criação de um novo ambiente produtivo (MILLS, 2016).

A necessidade de integrar novas tecnologias envolvendo processos automobilísticos como estampagem e soldagem, está associada ao aperfeiçoamento da produção por meio de técnicas para redução de tempo produtivo. Com base nestes conceitos pode-se aplicar os princípios da metodologia LM associada a automação para controle e redução do tempo em uma célula de estamparia contendo suportes, robôs e prensas (LAFOU et al., 2016).

Para isso é necessário a medição e a comparação da produção para a identificação da eficiência e eficácia, com o objetivo de dominar tempos e métodos dentro do cenário da célula.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em reduzir o tempo do ciclo de produção de peças repuxadas obtidas por uma célula de estamparia para aumentar a capacidade produtiva, integrando o processo e automação de duas células de manufatura aplicadas à área automobilística, respectivamente estamparia e armação.

Para atender a necessidade de redução do tempo do ciclo de produção de peças estampadas no lado da célula de estamparia, a reconfiguração da célula de soldagem foi desenvolvida para incidir com o menor impacto de reestruturação física e investimento financeiro.

1.4 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Para alcançar o objetivo principal foi necessário estabelecer alguns objetivos secundários:

1. Identificar as atividades antecessoras e sucessoras envolvendo as células de manufatura estudadas.
2. Mensurar o tempo de operações manuais e automatizadas para estabelecer a capacidade produtiva de cada cenário.
3. Análise de movimentos envolvendo robô e processo de estampagem identificando possíveis gargalos para que possam ser reduzidos ou eliminados.

4. Criação de um novo modelo para o processo de estampagem mantendo as características do ambiente observado inicialmente.
5. Aplicação e análise de um novo robô no processo de estampagem integrando os ambientes de forma a obter uma derivação mutável e otimizada.
6. Comparação dos dados coletados de forma prática nos diferentes cenários para determinação de capacidade produtiva.
7. Validação dos resultados encontrados por cálculos analíticos em simulação em software destinado a cálculos produtivos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As transformações físicas e digitais nas indústrias automobilísticas atualmente exigem modelo de negócios reconfiguráveis norteado por sistemas sustentáveis abordando questões relacionadas as responsabilidades ambientais, sociais e civil.

O desafio está em adequar a arquitetura de grandes empresas as políticas ambientais e governamentais conduzidas pelas necessidades globais, utilizando de forma eficiente recursos como, energia e matéria prima, consumidos ao longo da produção do veículo (WELLS, 2013).

Durante o desenvolvimento de novos projetos, soluções sustentáveis devem ser analisadas como temas essenciais para que avanços tecnológicos possam contribuir de forma efetiva para melhorar os impactos ambientais e sociais.

Criar um método para atender as necessidades do cliente desde o design até a entrega dos volumes produzidos garantindo a rentabilidade da empresa é o desafio para balancear conquistas e impactos que muitas vezes podem ser negativos (MILLS, 2016).

Ao desenvolver novas plantas para a fabricação automotiva a engenharia por meio de seu repertório apresenta dados fundamentais para a eficiência do ciclo de vida do veículo. Tomadas de decisões envolvendo o equilíbrio entre receitas e despesas devem ser analisadas e discutidas para evitar conflitos entre indicadores macroeconômicos e impactos na biodiversidade. O planejamento com base em dados reais e recentes dinamiza e aprimora o que foi planejado e executado.

Investir em tecnologia, direcionar esforços e energia para processos eficientes possibilita um desenvolvimento entre produto e consumidor estabelecer uma mentalidade enxuta, consciente e sustentável (NIEUWENHUIS, 2015).

Diante de um cenário competitivo envolvendo as empresas automotivas, onde alternam variedade de produtos e produtividade com qualidade para atender as necessidades de seus clientes, ficar à frente de seus concorrentes necessita de um plano de evolução assertivo e constante (MOURTZIS, 2014).

Os processos de fabricação automotivos geraram a necessidade das indústrias reverem o direcionamento referente ao crescimento físico para atender as demandas com alto índice de volatilidade de seus produtos. Uma das saídas para este impasse foi a compactação da gestão da produção industrial através de agrupamento de setores integrando novos processos de manufatura desde a condição real existente até a futura, realizada de forma simulada o que pode ser observado na figura 1.

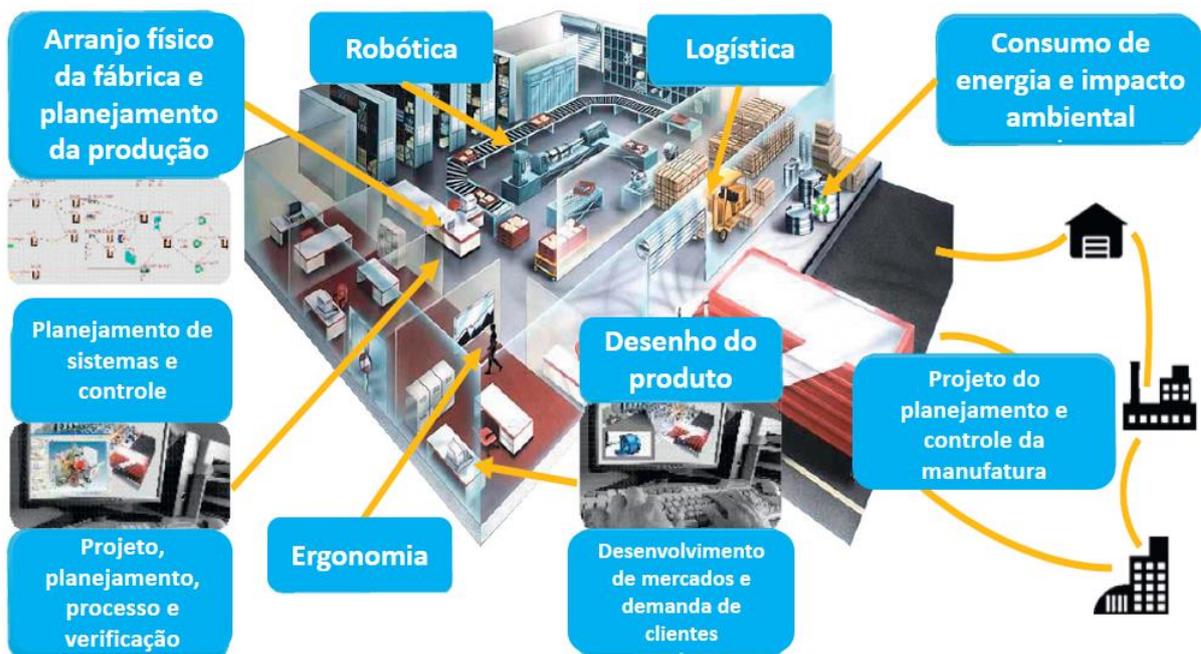


Figura 1. Formato adotado para processo de manufatura contemporâneo.

Fonte: Adapt. MOURTZIS (2014)

A partir desta integração o nível de eficiência e produtividade de uma planta automotiva pode ser exigido, por meio do domínio do processo, aliado à metodologia LM e softwares que desenvolvem a manufatura digital.

2.1 AUTOMAÇÃO APLICADA AOS PROCESSOS DE MANUFATURA AUTOMOBILÍSTICA

Um sistema automatizado pode ser observado três elementos em sua composição, a energia, a programação e o controle.

A energia pode ser exercida na sua presença elétrica, mecânica ou térmica onde é utilizada para iniciar, executar e monitorar o processo automatizado. A programação tem a função de executar instruções direcionando os processos em todas as etapas desde o abastecimento até a retirada do produto. A última parte do sistema é composta pelo controle industrial que monitora e regula operações e equipamentos de forma automática (GROOVER, 2012).

Para a obtenção de produtos manufaturados sistemas automatizados são sequenciados de forma a criar uma estrutura denominada linha de produção. A arquitetura dessas linhas apresenta operações manuais, automatizadas ou sistemas híbridos. Nestas linhas de produção o processamento e a transferência entre produtos e de uma estação de trabalho para outra, robôs e circuitos automatizados cada vez mais ganham espaço ao conduzirem estas atividades (LAFOU et al., 2016).

O arranjo físico envolvendo o processo e os elementos da automação em uma indústria interferem diretamente na capacidade e versatilidade produtiva de cada empresa, por isso apenas automatizar uma parte do processo industrial não é garantia de aumento da capacidade de produção. A cadeia produtiva deve ser considerada de forma abrangente onde todos estão envolvidos devem efetuar sua participação de forma ativa, desde fornecedores até a utilização do produto pelo cliente, que neste caso faz o papel de aprovador e norteador dos processos de evolução da empresa (ELMOSELHY, 2013).

Aliar tecnologia utilizada na área mecatrônica à técnicas dissipadas no planejamento de produção para realizar desde junções de chapas estampadas até a montagem de um veículo é um grande desafio. Adequar a presença humana em todas as etapas produtivas é necessário para sistematizar a fabricação e posteriormente potencializar a flexibilidade na customização em massa, cenário que pode ser compreendido pela figura 2.

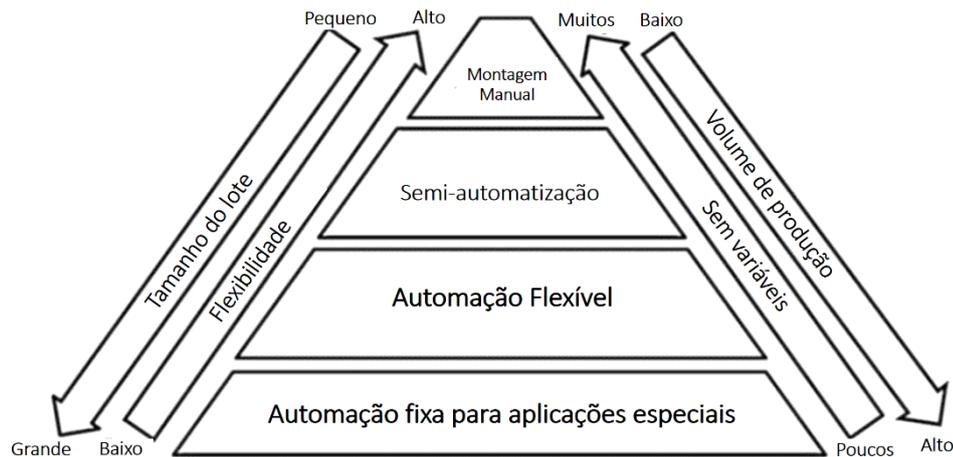


Figura 2. Características dos sistemas de fabricação automotivos.

Fonte: Adapt. MICHALOS et al. (2010)

Devido a complexidade na fabricação de automóvel, a combinação de ciclos de trabalho automatizados e manuais de forma híbrida é uma das saídas para a manufatura executar tarefas complexas como manuseio e montagem ao longo do processo de manufatura (EFTHYMIOUA et al., 2012).

Algumas atividades manuais ao longo do processo foram reduzidas ou substituídas por linha de produção automatizada com auxílio de robôs que trabalham em conjunto com sistemas de corte e conformação de chapas para obtenção de peças estampadas.

Sistemas integrados também são adotados para a realização do processo de soldagem de peças estampadas para a construção de carrocerias. A partir da carroceria estruturada as etapas de pintura são realizadas mesclando atividades manuais e robotizadas ao longo do processo. Na montagem final do veículo a interação entre o operador e o robô apresenta de forma explícita que até o final do processo de manufatura as atividades que agregam valor envolvem automação industrial.

2.2 SISTEMAS PRODUTIVOS APLICANDO O CONCEITO DE CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA

O direcionamento da expansão industrial envolvendo fabricantes e colaboradores transita entre a análise econômica e técnica para atender as necessidades de mudanças, físicas, volumes e tecnológicas (JACK, 2013).

Sistemas produtivos com configurações e arranjos paramétricos permitem estruturar uma planta automotiva de forma que sua unidade produtiva possa receber uma arquitetura ciberfísica para produzir produtos inteligentes e personalizados. A evolução das características e a arquitetura do sistema de manufatura podendo evoluir a um sistema autônomo pode ser compreendido na figura 3.

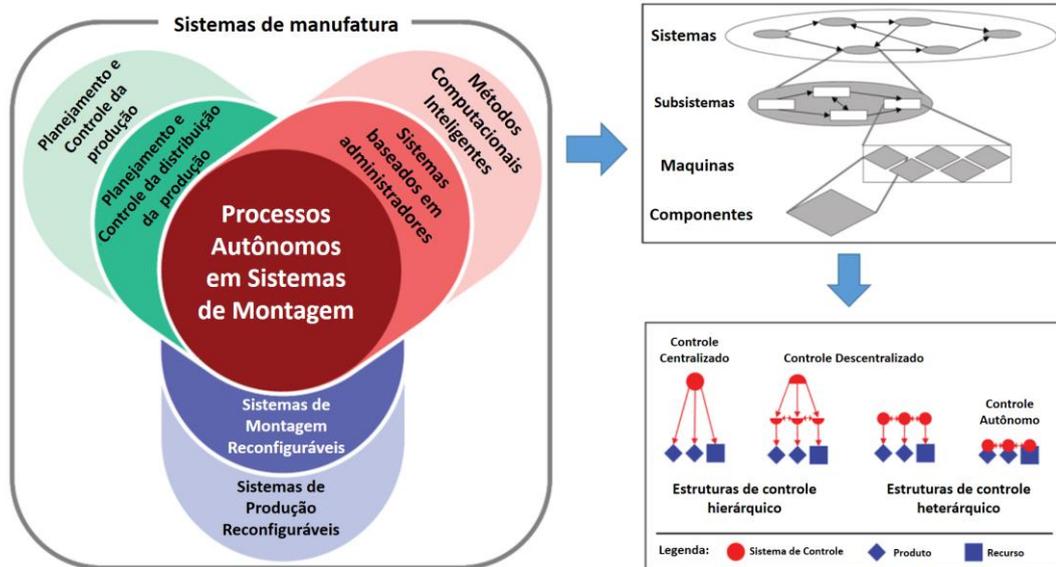


Figura 3. Evolução dos sistemas flexíveis de manufatura.

Fonte: adapt. SCHOLZ-REITER (2007)

De acordo com Bogdan, 2006 o conceito *Flexible Manufacturing Systems* (FMS) surgiu com a fábrica da *Ingersoll-Rand* em Roanoke na década de 1960 contendo como configuração máquinas e robôs programáveis, sistema automatizado de manuseio de materiais e outro para controle de supervisão.

Com a evolução dos processos de manufatura, criou-se também a possibilidade de reprogramar rapidamente o FMS para lidar com diferentes tipos de peças, de forma dinâmica e em situações que exigem tomadas de decisões em situações de conflito.

Para ajustar a fabricação de novos produtos ou semelhante a família de produto já manufaturado de forma rápida e com baixo custo os FMS apresentam alguns tipos de flexibilidade ligados ao processo automobilístico segundo Spina, 2015:

1. Flexibilidade de variantes: capacidade de fabricar / montar mais variantes de um produto.
2. Flexibilidade de quantidade: capacidade de adaptar o sistema de produção para volumes flutuantes.

3. Flexibilidade de tecnologia: a capacidade de fabricação e sistema de montagem a ser usado para uma série de tecnologias.
4. Sucessora flexibilidade: capacidade de usar equipamentos ou peças também para futuros produtos.
5. Flexibilidade externa: capacidade de alterar o sistema trocando elementos (exemplo substituindo a pinça do robô).
6. Flexibilidade interna: capacidade de mudar o sistema sem modificações (exemplo de troca automática de ferramentas).
7. Flexibilidade de implantação de pessoal: capacidade de operar com mais ou menos funcionários e com diferentes qualificações.

Um dos modelos de FMS utilizados na indústria automotiva para o processo de estamparia é o sistema multiestação, onde a moldagem desse processo consiste no roteamento fixo do maquinário e a movimentação da peça é realizada por meio de um transportador ou robô.

As estruturas físicas ficam fixadas na posição, porém quando há a necessidade de modificação para a adaptação de um novo modelo de peça a ser estampada o sistema transforma-se de forma híbrida, tornando o sistema multiestação com roteamento de forma variável. Para realizar o ajuste do novo cenário, o envolvimento dos operadores e recursos como máquinas, robôs, manipuladores e ferramentas são fundamentais para o dinamismo das operações. (LAFOU et al., 2016).

Sistemas de manufatura reconfiguráveis de alta mobilidade aplicado a área da estamparia permite obter diferentes tipos de processamento de peças através de ferramentas denominadas estampos. Outra variável da célula que pode ser intercambiável neste processo é a ferramenta do robô, como ventosas e garras, que auxiliam no abastecimento, manuseio e armazenamento de forma automatizada. Instruções para a troca rápida das configurações físicas deste ambiente aceleram o processo de transferência automática de peças entre células respeitando o ciclo programado da manufatura (BOGDAN, 2006).

Outra situação relacionada a flexibilidade das células de manufatura está na mudança de programação de robôs e prensa, auxiliado por dispositivo de segurança ao diferenciar o modelo de peça a ser produzida. Vale ressaltar que quando apresentados erros, os tipos de reparos devem ser pontuais e de fáceis recuperações neste tipo de sistema, possibilitando o manuseio de peças com operações independentes dentro do ciclo. Desta forma novos projetos podem ser agregados sem perder as características iniciais para atender a variedade de peças dedicadas ao universo da estamparia e armação (SPENA, 2015).

2.3 CONFIGURAÇÃO DO ARRANJO FÍSICO DA MANUFATURA APLICADA A PLANTA DE ESTAMPARIA

Uma das estratégias quando o sistema de manufatura é direcionado para a avaliação do arranjo físico é otimizar o espaço utilizado através da modelagem da fábrica de forma orientada, com auxílio de um dimensionamento em 2D contendo um desenho de vista de planta ou um a perspectiva em 3D da FMS, o que pode ser visualizado com maiores detalhes na figura 4.

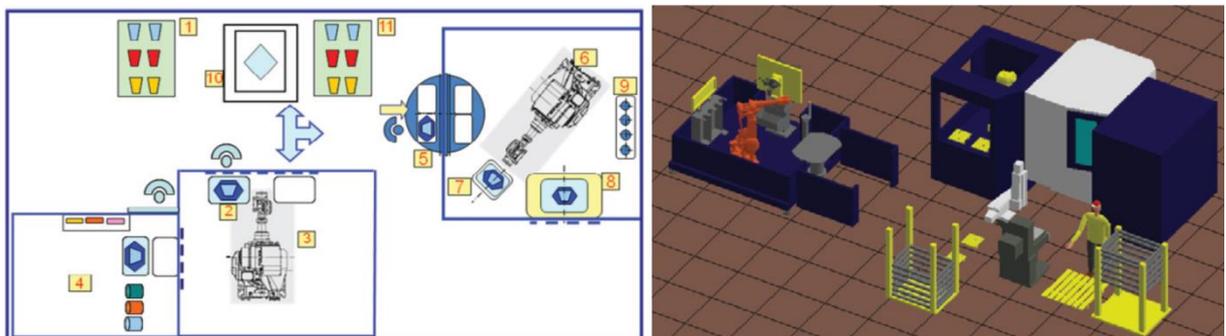


Figura 4. Vista 2D e 3D da estrutura da célula de manufatura.

Fonte: adapt. CAGGIANO (2012)

Analisar a necessidade de criar novas estações de trabalho com diferentes estruturas ou mesclar células com processos produtivos híbridos mesclando família de peças é uma das decisões a serem tomadas quando trabalham com estrutura de FMS. A apreciação da configuração do processo em relação ao FMS passa por alguns tipos de arranjo físico, como por exemplo, o de linha, onde a sequência é definida de forma linear e sistêmica transferindo a peça entre estações de forma unidirecional ou bidirecional. Outro tipo de estrutura é o modelo circular ou retangular, neste caso a peça passa por uma sequência fechada de produção realizando paradas programadas em estações de trabalho (CAGGIANO, 2012).

O sistema escalonado permite que o processo de manufatura ocorra com sistemas circulares e retangulares interligados de forma a respeitar a hierarquia da programação da produção, sistema este favorável, a redução de gargalo quando identificado no processo de produção. Para atender a variedade de peças a serem produzidas outro sistema de arranjo físico é o misto que mescla estruturas circular e escalonado aumentando assim as possibilidades de produção (GROOVER, 2012).

A planta inserida na indústria automotiva para o processo de estamparia apresenta o arranjo físico em linha sequencial centralizando o robô no abastecimento e manuseio de peças por meio de garras e ventosas, percorrendo a distância de uma estação a outra de forma segura e na frequência estabelecida pela programação da produção aos diferentes tipos de peças estampadas (HORTON, 2017).

Quando existe a necessidade de fabricar um novo modelo de peça estampada, as mudanças físicas de uma Célula Flexível de Manufatura (CFM) aplicada ao ambiente de estamparia devem sempre considerar variáveis como impacto ambiental, dimensionamento, fluxo, tempo produção e custos para acomodar novos processos (LAFUO et al., 2016).

Estes elementos operacionais envolvendo o processo de manufatura devem ser estudados com um nível de detalhamento maior quando executam tarefas complexas que fogem do padrão já desenvolvido pela equipe de engenheiros da empresa, o fluxo geral deste sistema pode ser observado na figura 5.

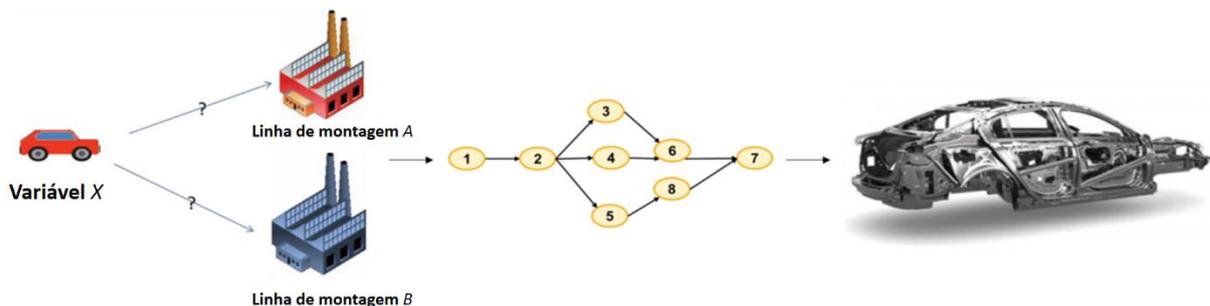


Figura 5. Adequação da produção ao sistema de manufatura.

Fonte: adapt. LAFUO et al. (2016) e HORTON (2017)

Configurações personalizadas auxiliam a diminuir as preocupações envolvendo geração de gargalos em relação ao volume planejado, caracterizando como uma das alternativas para atender sistemas flexíveis paramétricos (CAGGIANO, 2012).

2.4 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS INSERIDOS EM CÉLULA DE ESTAMPAGEM

Em um ambiente industrial com alto volume de produção, envolvendo operações de estampagem, com a necessidade de repetir a atividade ao longo de horas, as empresas automobilísticas sentem a necessidade de investir em máquinas, equipamentos e dispositivos de alta performance para manter a

confiabilidade do processo e produto. Prensas, robôs, ferramentas e estampos estão presentes dentro deste portfólio utilizado na estamperia de alta produção. Para a realização da força de estampagem na obtenção do produto é utilizado a máquina denominada prensa com o auxílio de uma unidade hidráulica. Mesmo ficando estática ao longo do processo e com poucas possibilidades de flexibilidade, algumas informações são importantes ao adquirir ou adequar uma máquina desse porte a estratégia da empresa como tipos, característica e aplicações (JIN, 2014).

Nortear as escolhas do maquinário passa por análises técnicas como prensa de simples e dupla ação, capacidade de prensagem, tamanho e infraestrutura, velocidade e aceleração, assistência técnica, custos. Esses elementos contidos no processo de estampagem são base para mensurar a eficiência do sistema através do número de Golpes por Minuto, cuja a unidade é indicada pela sigla GPM. Alguns movimentos repetitivos como manuseio de materiais ao longo do processo de estampagem devido a questões ergonômicas estão sendo substituídos pela interação humanos e robôs de forma a cooperar com as atividades em grandes empresas automobilísticas (POLONI G., 2010).

O robô industrial apresenta conjunto de membros e articulações auxiliados por ferramentas como garras e ventosas que permitem realizar atividades dentro de células de manufatura de forma precisa. A automação destes sistemas além da flexibilidade de se adequar ao processo, quando há alterações de volumes de produção, e substituição de modelos de peças, possibilita também eliminar problemas relacionados a saúde do operador ao coordenar e controlar movimentos com diferentes tipos do produto envolvendo peso e geometria como também questões associadas ao perímetro de segurança na região em que se desenvolve o trabalho (SUTARI, 2015).

Ao desenvolver uma CFM o pensamento analítico é muito importante para direcionar os passos futuros envolvendo novas tecnologias aplicadas a robô. Além da repetição mecânica, os robôs estão entrando em uma nova era que varia desde detectar as peças produzidas até a cooperação ao lado do operador na execução de tarefas de forma autônoma. Os robôs colaborativos permitem ajustar as suas atividades de acordo com as tarefas de forma inteligente integrando o fluxo produtivo as operações manuais desenvolvidas concomitantes ao processo de manufatura. Ainda que não apresentem um grande volume de aplicações nas áreas de manufatura de empresas automotivas em relação aos robôs industriais, os

autônomos ganharão um espaço notório no ambiente produtivo, ao avançar em etapas atuais que envolvem segurança e processos de validação (MARVEL, 2016).

Os estampos são ferramentas utilizadas para obter geometrias de evolução da peça até o perfil final do produto estampado. Estas ferramentas também são importantes dentro da estrutura das células flexíveis de manufatura, pois realizam operações como corte, dobra e repuxo em uma única ferramenta de forma progressiva ou em várias ao serem inseridas em uma linha de estampagem. A automação se faz presente dentro da ferramenta ao realizar operação que agregam valor utilizando dispositivos hidráulicos e pneumáticos ou de forma integrada à robôs para a execução de movimento de transporte entre uma cavidade a outra da ferramenta (BADGUJARA, 2018).

2.5 A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO MATEMÁTICO APLICADO AO PROCESSO

A prática industrial ao longo de novos projetos e modificações aplicados a processos automobilísticos apresentam dados muito importantes para tomadas de decisões. O desafio está em utilizar de maneira correta, um método que pode ser aplicado em sistemas FMS automotivo para coletar o tempo de cada operação, seja manual ou automatizada estabelecendo métricas quantitativas. Técnicas como cronometragem e filmagem são ações adotadas em empresas do ramo automobilístico especialmente no processo de estampa para a coleta de dados (MARTINS, 2015).

Diante deste cenário a metodologia do Estudo de Tempos e Métodos (ETM) é aplicada aos tempos de produção coletados em cada etapa do processo, objetivando na criação de modelos matemáticos que permitem a redução da complexidade de mensuração do sistema. (EFTHYMIOUA et al., 2014).

A partir deste momento a análise é direcionada para extrair as potencialidades produtivas com base nas informações numéricas coletadas. Modelos que processam esses dados permitem criar um tempo de ciclo que considera todas as tarefas desde o início da primeira peça até o início da segunda peça compreendendo entre as atividades efetivas e até as que não agrega valor.

Em seguida quando modelado o sistema de forma fechada para estabelecer o sequenciamento do produto dentro de uma estrutura de FMS, a equação do equilíbrio entre as atividades é alcançada aplicando o conceito de balanceamento de

linha, para que quando questionada alguma variável, as modificações possam ser tomadas embasadas por resultados reais que transmitam confiança frente aos fatores decisórios (GROOVER, 2012).

Segundo Martins, 2015 para validar o tempo padrão da produção de uma célula de manufatura o número de ciclos a serem cronometrados deve ser calculado conforme a equação 1 apresentada abaixo:

$$n = \left(\frac{z \cdot r}{Er \cdot d \cdot \bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

onde:

n = número de ciclos a serem cronometrados;

z = coeficiente da distribuição normal padrão para uma probabilidade determinada;

r = amplitude da amostra;

Er = Erro relativo máximo;

d = coeficiente em função do número de cronometragens realizadas preliminarmente;

\bar{x} = média da amostra.

Para determinar o coeficiente da distribuição normal padrão “z” deve ser determinada a probabilidade do evento conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Coeficiente da distribuição normal padrão.

| Probabilidade (%) | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| z | 1,65 | 1,70 | 1,75 | 1,81 | 1,88 | 1,96 |

O coeficiente “d” é determinado em função do número de cronometragens realizadas preliminarmente conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente em função do número de cronometragens.

| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| d | 1,128 | 1,693 | 2,059 | 2,326 | 2,534 | 2,704 | 2,847 | 2,970 | 3,078 |

De forma mais abrangente no cenário automotivo as engenharias industriais e de manufatura integram sistemas FMS em formato de linha de produção para atender a demanda e a variabilidade de peças estampadas empregando diversos padrões de

carga de trabalho como segundos, horas e turnos, obtendo assim a taxa de produção (PAPAKOSTAS et al., 2009).

As decisões relacionadas a imprevisibilidade do volume de produção, impedimentos físicos e virtuais envolvendo a programação da automação do sistema FMS também são norteados por outras teorias como filas, restrições e princípio de economia dos movimentos. Esses estudos aplicados em novos cenários direcionam o reposicionamento e adequação de parâmetros utilizados em sequencias flexíveis de produção (LAFOU et al., 2016).

2.6 SIMULAÇÕES VIRTUAIS PARA VALIDAÇÃO DE PRODUTIVIDADE.

Durante o período de evolução envolvendo a modernização da construção do automóvel, as configurações físicas do processo produtivo automobilístico foram sempre analisadas de forma a integrar a tecnologia e o homem. O desafio desta relação sempre esteve ligado a uma equação de equilíbrio envolvendo questões como o custo, segurança, produtividade e qualidade. O cenário físico real pode ser montado em softwares de modelamento de processos de manufatura, variando operações, transitando por atividades, integrando células e sequenciando até a obtenção do produto final através de linhas de produção. Esta sequência é aplicada em células de manufatura envolvendo o processo de estampagem com manuseio de robôs o que permite a flexibilidade de mudança no cenário produtivo (BRACHT, 2005).

A transição entre o ambiente real e virtual inicia pela coleta de dados produtivos no processo de manufatura automobilística em tempo real, em seguida os valores são direcionados para o cálculo matemático estabelecido por um modelo analítico da produção, gerando as primeiras impressões de seu funcionamento. Após os resultados obtidos, as informações são declaradas em forma de variáveis, de acordo com a participação do seu elemento no fluxo, e em seguida inseridas em um programa que representa a estrutura da célula de manufatura de forma virtual (WOHLKE, 2005).

O espelhamento entre estes ambientes permite de forma mais rápida analisar diferentes cenários e plantas industriais envolvendo posicionamentos, distâncias percorridas, sequenciamento de operações que muitas vezes não respeitam uma lógica produtiva linear, mesclam atividades em série e paralela em sistemas mistos.

Outro benefício deste recurso com as informações é a possibilidade de trocar e comparar os resultados dos cálculos para obter as potencialidades do sistema, sem a mudança física de posicionamento e sequenciamento de máquinas e equipamentos, assim o desempenho da planta industrial pode ser mensurado, projetando de forma mais assertiva o tempo de retorno de futuros investimentos da empresa (SELEIM et al., 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da situação problema foi desenvolvido em uma célula de manufatura que realiza processo de estampagem aplicando a metodologia de Pesquisa Operacional (PO) com o objetivo de visualizar de forma sistêmica os problemas a serem resolvidos, usando de método científico e técnica estatística.

O ambiente atual permite a estampagem de uma peça com o perfil de uma lateral de um carro. A peça utilizada nesta operação de repuxo serve para analisar os problemas gerados no processo de estampagem profunda em único ciclo. O processo na célula de manufatura onde é obtido o produto final é realizado com o auxílio de um robô, uma prensa com unidade hidráulica e o estampo.

O processo de obtenção do produto inicia com o estampo de repuxo que recebe a chapa já cortada nas dimensões de 190mm x 290mm com 1mm de espessura e com um chanfro na lateral de 10mm x 60mm, formato este previamente estabelecido em relação a geometria final do produto. A chapa também apresenta um filme azul, proteção plástica na chapa para evitar riscos e ajudar no escoamento da chapa durante o processo de estampagem.

Após a descida da prensa, em uma única etapa o estampo de repuxo realiza a estampagem e aguarda o tempo de conformação final da peça transmitindo a figura do carro, usinado na ferramenta, para a chapa podendo ser observado na figura 6.



Figura 6. Produto final estampado.

Em seguida, ao término do armazenamento o filme é retirado da peça estampada para realizar uma nova atividade como a soldagem. O estampo utilizado para a operação de repuxo em chapa de alumínio foi desenvolvido com material P-20 nas principais partes, macho e matriz. A estrutura geral do estampo foi elaborada com o material aço 1020.

Inicialmente os movimentos de abastecimento das platinas e a retirada das peças prontas são realizados de forma manual pelo operador, treinado nestas operações, habilitado e autorizado para realizar esta função.

3.1 O ARRANJO FÍSICO DA CÉLULA 1

Para criar um registro analítico do processo à ferramenta ETM foi utilizada para a coleta de dados, como o método de produção, o posicionamento e o tempo gasto para executar cada atividade envolvida com seus respectivos elementos.

O posicionamento de cada elemento pode ser registrado por meio de uma vista superior com o objetivo de identificar os elementos do processo, criar o cenário real para o estudo dos tempos, registrar as distâncias percorridas e auxiliar a elaboração do Mapofluxograma.

A partir do registro de imagens um esboço da vista superior da célula foi elaborado com base no posicionamento de cada elemento e suas respectivas atividades apresentando uma visão geral. Em seguidas medições foram realizadas no local com o instrumento trena coletando medidas com unidades em metros. Após a coleta de dados dimensionais no local, foi elaborado uma legenda para a identificação de cada elemento na célula 1 conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Legenda da planta.

| Nº do elemento | Descrição | Observações |
|----------------|--------------------|------------------------------------|
| 1 | Suporte 1 | Posicionamento das chapas |
| 2 | Robô 1 | Marca: KUKA – Modelo: VKR C1 |
| 3 | Unidade Hidráulica | Prensa e Estampo |
| 4 | Suporte 2 | Posicionamento de peças estampadas |

O robô utilizado no enclausuramento é da fabricante KUKA modelo VKR C1 com capacidade para locomoção de até 6kg e com a velocidade máxima de movimentação de 2m/s. Sua utilização além de padronizar o processo de pega, manuseio, transporte da platina acelera o processo até a atividade de estampagem.

A prensa funciona juntamente com o agregado hidráulico e o painel de comando. Seu modelo de simples ação apresenta uma capacidade de prensagem

de até 3 toneladas, onde uma única estampagem permite formar o perfil final da peça na platina inserida no estampo.

Com o auxílio da legenda e das dimensões coletadas o desenho dimensional da célula em 2D foi elaborado mantendo a proporcionalidade dos elementos por meio das cotas o que pode ser visualizado na figura 7.

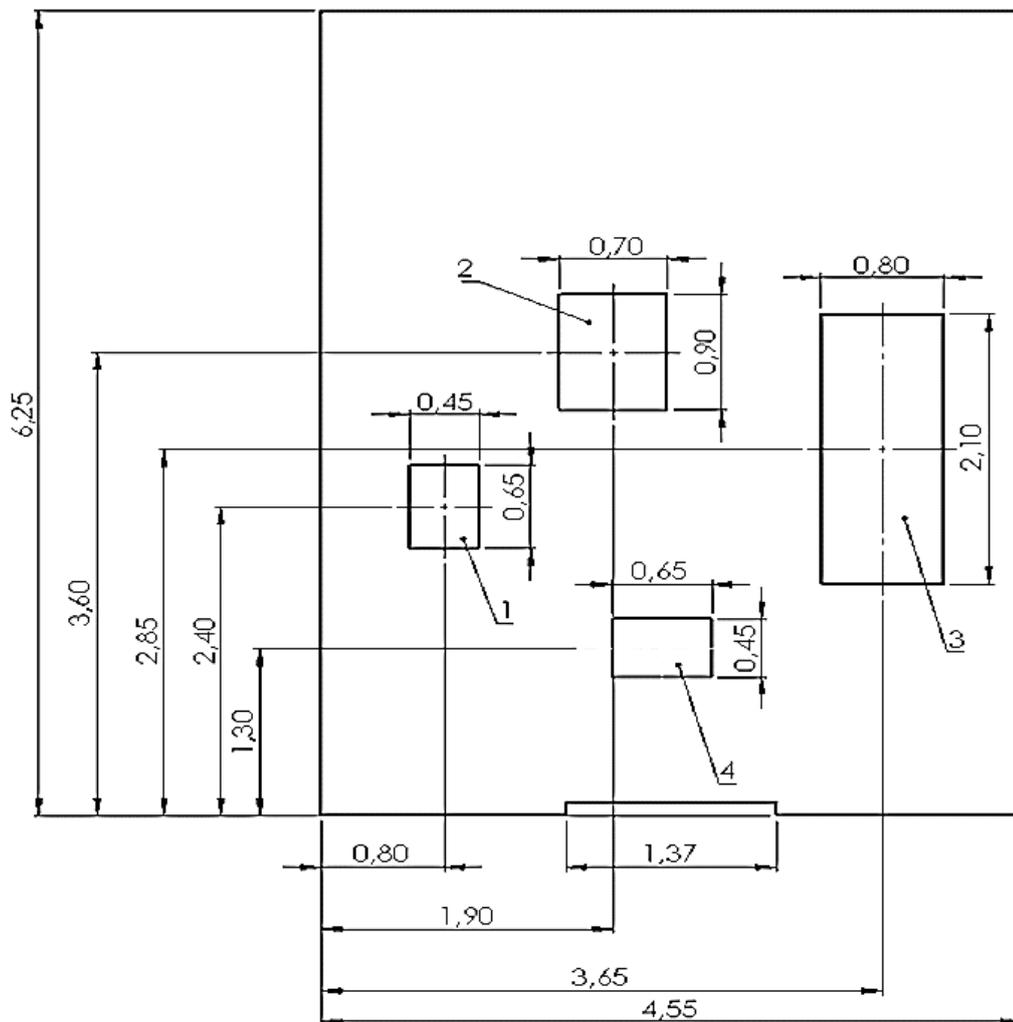


Figura 7. Desenho 2D da célula.

Este estudo auxiliará tomadas de decisões sobre futuras modificações envolvendo cálculos relacionados às distâncias percorridas e tempos utilizados no processo.

O isolamento com grades garante a restrição do acesso direcionando-o somente pela entrada. Para uma maior segurança além da porta de entrada um sensor de presença da marca SICK modelo C40S-09001AA030 foi instalado para

que, mesmo se algum operador entrar com o robô em funcionamento, a célula pare imediatamente. Estes itens de segurança podem ser observados na figura 8.



Figura 8. Configuração dos itens de segurança da célula 1.

3.2 ESTUDO DO MÉTODO DE PRODUÇÃO

Para a abordagem do método de produção foi criado um fluxograma o que permite esboçar o trânsito de informações em diversas etapas do processo explicitando o caminho percorrido pela matéria prima até o produto final.

Inicialmente uma legenda do fluxograma foi elaborada para auxiliar a compreensão do sequenciamento. Os elementos e suas respectivas atividades foram padronizados por símbolos e quantificados o tipo de ação dentro do fluxo de obtenção do produto conforme pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4 - Legenda do fluxograma

| Descrição das atividades | Simbologia | Quantidade de itens observados |
|--------------------------|------------|--------------------------------|
| Armazenagem | ∇ | 2 |
| Operação | ○ | 3 |
| Espera | D | 1 |
| Transporte | ⇒ | 4 |

A observação com o registro de filmagem e cronoanálise além de registrar o processo para obter respostas a futuras indagações permite no momento da ação

identificar atividades que já necessitam ser melhoradas com uma abordagem preliminar.

Com a observação do registro de fotos e filmagens da célula, a compreensão da entrada de cada componente passando por todas as suas atividades obedece a uma simbologia padronizada baseada na legenda citada anteriormente facilitando assim a visualização da estrutura entre as atividades realizadas de forma manual e automatizadas e podem ser compreendidos pela figura 9.

| Posição das atividades em linha | Descrição das atividades realizadas pelo Operador | Atividade | Simbologia das atividades | Descrição das atividades realizadas pelo Robô 1 | Atividade | Simbologia das atividades | Descrição das atividades da Prensa e Estampo | Atividade | Simbologia das atividades |
|---------------------------------|---|-----------|---------------------------|--|--------------|---------------------------|--|--------------|---------------------------|
| 1 | Operador realiza o abastecimento de fardos no suporte 1 | Manual | ▽ | | | | | | |
| 2 | Operador retira-se da célula e inicializa o processo | Manual | ○ | | | → | | | |
| 3 | | | | Avanço do robô 1 da posição inicial (Home) para retirada da chapa 1 no suporte 1 | Automatizada | ○ | | | |
| 4 | | | | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 1 dentro do estampo na prensa. | Automatizada | → | | | |
| 5 | | | | Robô 1 recua para a área segurança | Automatizada | D | | | → |
| 6 | | | | | | | Prensa desce para estampar chapa 1 | Automatizada | ○ |
| 7 | | | | | | | Prensa aguarda a conformação mecânica | Automatizada | ○ |
| 8 | | | | | | | Prensa retorna a posição inicial | Automatizada | ○ |
| 9 | | | | Avanço do robô 1 para retirada da peça 1 de dentro do estampo | Automatizada | ○ | | | ← |
| 10 | | | | Avanço do robô 1 com peça 1 para suporte 1.2 | Automatizada | ▽ | | | |
| 11 | | | | Avanço do robô 1 para o suporte1 | Automatizada | ○ | | | |
| 12 | Operador entra na célula 1 para a retirada as peças estampadas no suporte 1.2 | Manual | ○ | | | | | | ← |
| 13 | Operador retira-se da célula 1 com as peças estampadas | Manual | → | | | | | | |

Figura 9. Fluxo do processo de fabricação na célula 1.

A partir do fluxograma estabelecido, as atividades citadas foram digitalizadas de forma sequencial para exemplificar o comportamento dinâmico do arranjo físico da célula 1. Na atividade 1 indicada pela legenda de armazenamento, o operador realiza o abastecimento de fardos para o posicionamento no suporte 1 de chapas previamente cortadas de acordo com o perfil final do repuxo, como esta operação é realizada de forma manual, a linha permanece desligada por motivos de segurança conforme apresentado na figura 10.



Figura 10. Movimentos do operador para obter o posicionamento de peças.

Fonte: Autor

Após o abastecimento realizado pelo operador acomodando as peças na posição correta e mantendo o alinhamento, a ação da atividade 2 consiste na retirada do operador da célula para inicializar o processo de estampagem pela interface homem-máquina podendo ser visualizada na figura 11.



Figura 11. Saída do operador da zona de trabalho.

Fonte: Autor

Neste momento a segurança do operador torna-se o fator mais importante do estudo, o robô 1 apenas inicia os seus movimentos depois que o operador estiver fora da célula 1 em uma posição segura.

Na atividade 3 o robô1 inicia o seu movimento saindo do ponto de origem para pegar a primeira peça do fardo que está posicionado no suporte 1 conforme a montagem na figura 12.

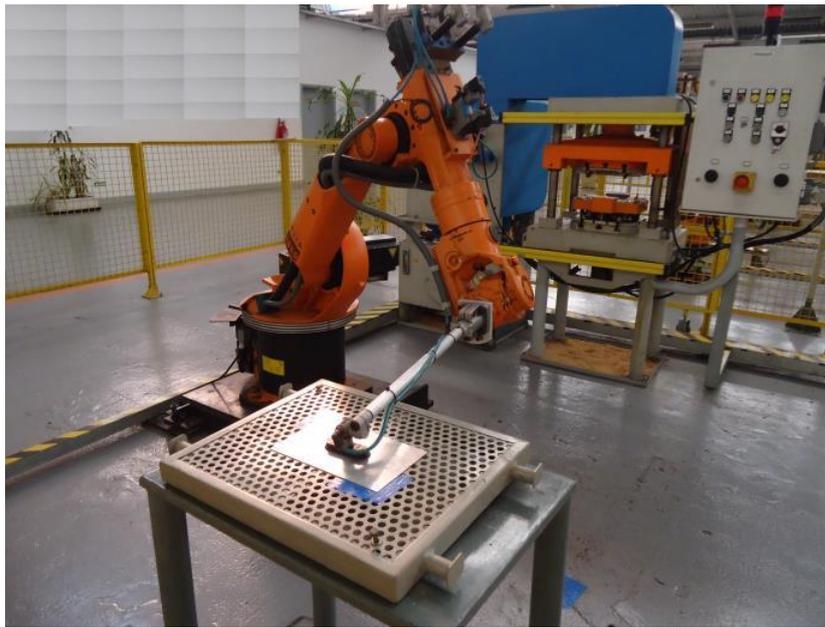


Figura 12. Robô1 inicia a operação de pega da posição inicial ao suporte 1.

Na atividade 4 o robô1 transporta a chapa 1 até o estampo de repuxo localizado dentro da prensa, em seguida o mesmo posiciona a chapa no estampo dentro da cavidade que acomodará para a realização da estampagem.

A inserção de forma precisa é importante para garantir que durante a descida da prensa o material ao deformar mantenha um padrão em toda a região estampada evitando assim a falta de material em alguns dos lados podendo ser compreendido na figura 13.



Figura 13. Robô 1 posiciona a chapa dentro do estampo.

Em seguida na atividade 5 o robô 1 recua saindo do raio de atuação da prensa e aguardando em área segura. Seu novo acionamento será apenas para a retirada da peça estampada, aguardando o ciclo de descida e subida inicia sem riscos de colisão conforme pode ser observado na figura 14.

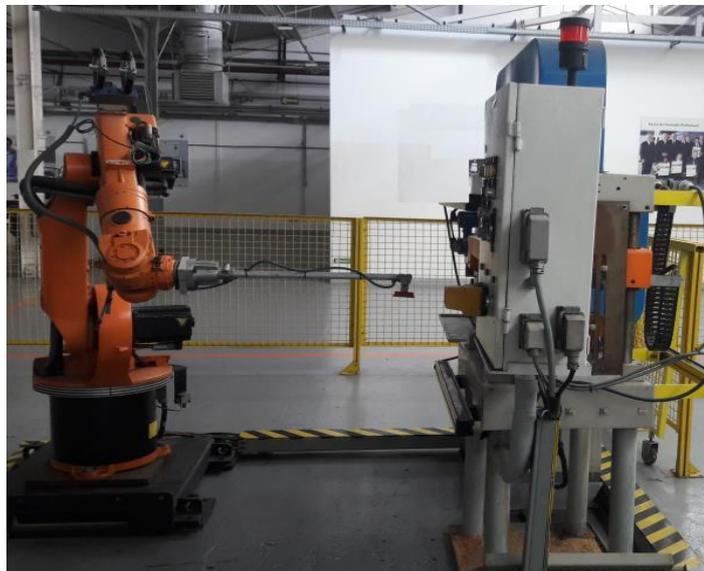


Figura 14. Recuo do robô 1 para perímetro de segurança.

Na atividade 6 a prensa realiza o movimento de descida com base no curso programado para que o conjunto superior do estampo possa formar o perfil desejado ao encontrar com o conjunto inferior do estampo.

Na atividade 7 quando a prensa chega no percurso final de descida com o estampo, a mesma aguarda um intervalo de tempo para que as geometrias côncavas e convexas sejam formadas pelo estampo minimizando os efeitos do retorno elástico gerado pela estampagem conforme a figura 15.



Figura 15. Estampo fechado para conformação final da peça.

Na atividade 8 após o período citado para a conformação a prensa sobe retornando à posição inicial finalizando o ciclo de estampagem.

Entre as atividades 6 a 8 correspondentes a execução dos movimentos da prensa, o robô 1 aguarda na área de segurança a confirmação do sinal de finalização da tarefa.

Com base na elaboração do ETM, neste momento foi observado que o sistema da automação apresentou um comportamento compatível com a teoria das filas ou das restrições onde foi identificado um gargalo no sequenciamento, uma das técnicas utilizadas durante a PO.

O aguardo do robô 1 durante a liberação da prensa criou uma espera restringindo a sequência de seu movimento impactando diretamente na eficiência da fabricação da peça estampada.

Na atividade 9 o robô 1 avança para dentro do estampo aberto e com o auxílio da ventosa realiza o movimento de retirada da peça estampada conforme a figura 16.



Figura 16. Estampo aberto com peça finalizada aguardando para ser retirada.

Na atividade 10 ao retirar a peça estampada de dentro do estampo o robô 1 a posiciona no suporte 1.2 soltando a peça estampada da ventosa na posição programada podendo ser observado na figura 17.

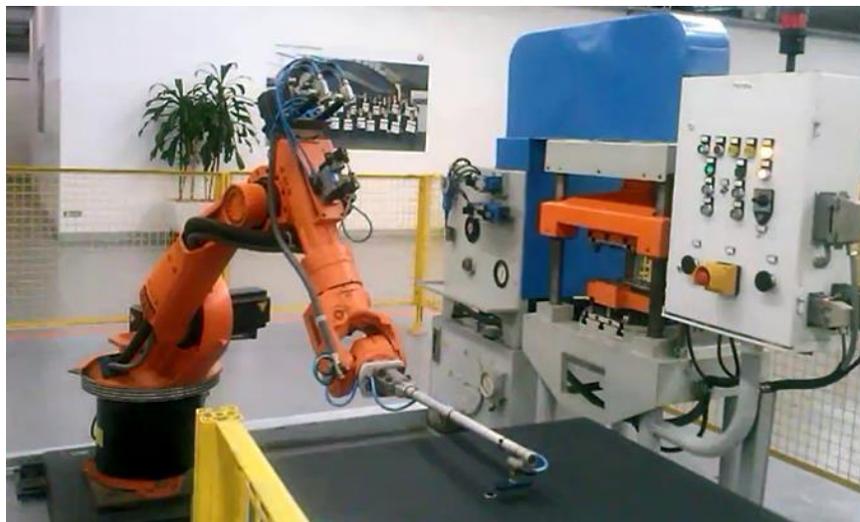


Figura 17. Robô 1 posicionado no suporte 1.2.

Na atividade 11 o robô 1 movimenta do suporte 1.2 para suporte 1 para retirada de nova chapa. A ventosa prende a segunda platina do processo iniciando assim o segundo ciclo de movimentações para a estampagem conforme a figura 18.



Figura 18. Robô 1 retira a segunda chapa a ser estampada.

Quando finalizados todos os ciclos de estampagem para completar a quantidade de peças programadas, o programa do robô 1 finaliza e a célula para por motivos de segurança. Inicia-se então a atividade 12 com o operador abrindo a porta e deslocando-se até o suporte para retirar as chapas estampadas.

Na atividade 13 o operador sai da célula com o fardo de peças estampadas e posiciona no suporte para transporte.

3.3 COLETA E VALIDAÇÃO DOS TEMPOS COLETADOS

Após estudo da análise física da célula foram realizadas medições do tempo por meio do método de cronometragem. Os movimentos realizados pelo operador nas atividades foram considerados com ritmo normal e com treinamento para a operação.

Para os robôs utilizados neste tipo de célula de estampagem o tempo foi considerado o de um ritmo normal de trabalho com a programação de 50% da sua velocidade de 2m/s total ficando programado em 1m/s.

A partir dos dados coletados e processados um modelo matemático foi criado para quantificar o *lead time* e o *takt time* para a obtenção do produto. As medições para a obtenção dos tempos na produção de uma peça na célula 1 foram realizadas a partir da somatória dos tempos das atividades contando desde o

abastecimento da célula como chapas até a retirada dos produtos. O uso da estatística para levantamento dos valores auxiliou a sistematização do problema.

Para extrair os tempos de cada atividade e estabelecer as somatórias para determinar o tempo de linha, foi utilizado a técnica de filmagem e um cronômetro decimal para coletar cada parcial analisada de forma mais precisa. Um dos momentos de coleta pode ser observado pela figura 19.



Figura 19. Tempo coletado com cronometro decimal.

Preliminarmente foram realizadas 8 cronometragens para iniciar os estudos. As atividades 1,2,12 e 13 compreendem as movimentações realizadas pelo operador com o objetivo de abastecer e descarregar a célula 1. Os valores obtidos para cada atividade foram registrados na folha de observações, em seguida, somados totalizando um tempo total de 58,14 segundos para realizar a estampagem da primeira peça contabilizando as movimentações do operador conforme a tabela 5.

Tabela 5 - Tempos coletados pelas cronometragens para obtenção do tempo total.

| Posição das atividades | Descrição | 1ª cronometragem | 2ª cronometragem | 3ª cronometragem | 4ª cronometragem | 5ª cronometragem | 6ª cronometragem | 7ª cronometragem | 8ª cronometragem | Tempo Médio | Tempo acumulado |
|------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-----------------|
| 1 | Operador realiza o abastecimento de fardos no suporte 1 | 10,01 | 9,95 | 9,98 | 10,61 | 9,35 | 10,31 | 10,04 | 9,98 | 10,03 | 10,03 |
| 2 | Operador retira-se da célula e inicializa o processo | 9,94 | 9,92 | 9,91 | 10,60 | 9,32 | 10,27 | 9,97 | 9,93 | 9,98 | 20,01 |
| 3 | Avanço do robô 1 da posição inicial (<i>Home</i>) para retirada da chapa 1 no suporte 1 | 1,24 | 1,33 | 1,21 | 1,31 | 1,25 | 1,28 | 1,27 | 1,28 | 1,27 | 21,28 |
| 4 | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 1 dentro do estampo na prensa. | 2,67 | 2,69 | 2,70 | 2,51 | 2,85 | 2,59 | 2,64 | 2,63 | 2,66 | 23,95 |
| 5 | Robô 1 recua para a área segurança | 1,04 | 1,13 | 1,01 | 1,10 | 1,06 | 1,07 | 1,07 | 1,08 | 1,07 | 25,02 |
| 6 | Prensa desce para estampar chapa 1 | 4,60 | 4,66 | 4,63 | 4,32 | 4,94 | 4,46 | 4,57 | 4,60 | 4,60 | 29,61 |
| 7 | Prensa aguarda a conformação mecânica | 5,08 | 5,19 | 5,05 | 5,39 | 4,88 | 5,23 | 5,11 | 5,15 | 5,14 | 34,75 |
| 8 | Prensa retorna a posição inicial | 3,27 | 3,33 | 3,30 | 3,07 | 3,53 | 3,17 | 3,24 | 3,27 | 3,27 | 38,02 |
| 9 | Avanço do robô 1 para retirada da peça 1 de dentro do estampo | 1,00 | 1,09 | 0,97 | 1,06 | 1,02 | 1,03 | 1,03 | 1,04 | 1,03 | 39,05 |
| 10 | Avanço do robô 1 com peça 1 para suporte 1.2 | 2,27 | 2,40 | 2,30 | 2,13 | 2,54 | 2,20 | 2,24 | 2,31 | 2,30 | 41,35 |
| 11 | Avanço do robô 1 para o suporte 1 | 1,74 | 1,85 | 1,71 | 1,84 | 1,74 | 1,79 | 1,77 | 1,80 | 1,78 | 43,13 |
| 12 | Operador entra na célula 1 para a retirada as peças estampadas no suporte 1.2 | 7,49 | 7,33 | 7,46 | 7,94 | 6,89 | 7,71 | 7,52 | 7,69 | 7,50 | 50,64 |
| 13 | Operador retira-se da célula 1 com as peças estampadas | 7,47 | 7,58 | 7,44 | 7,92 | 7,13 | 7,69 | 7,50 | 7,30 | 7,50 | 58,14 |

Com base na equação 1 desenvolvida por Martins, 2015 para a validação do número de ciclos a serem cronometrados foi adotado uma confiança de 95% obtendo assim um coeficiente da distribuição normal padrão $z=1,96$. O ciclo foi cronometrado de forma preliminar por 8 vezes obtendo o valor $d=2,847$ representando o coeficiente em função do número de cronometragens. A amplitude encontrada nas cronometragens iniciais foi de 9 segundos com média das amostras de 58,14 segundos conforme citado na tabela 5. Adotado o erro relativo máximo de 5% o cálculo foi realizado conforme indicado na equação 2:

$$n = \left(\frac{1,96 \cdot 9}{0,05 \cdot 2,847 \cdot 58,14} \right)^2 = 4,54 \quad (2)$$

Portanto o número de cronometragem de 8 vezes é suficiente para a determinação do tempo padrão já que o número de cronometragem mínima para a confiabilidade da análise deste trabalho é de 5 vezes conforme o cálculo apresentado.

Para a criação do modelo geral e obter o tempo final os cálculos foram fracionados e a primeira variante a ser analisada foi o tempo de abastecimento e retirada do produto pronto, representado pela variável Tempo de Movimentação do Operador (TMO) extraído dos movimentos manuais executado por um operador treinado considerado como referência na execução das tarefas. A somatória destas variáveis é apresentada conforme a equação 3:

$$TMO = (TM10 + TM20 + TM30 + TM40) \quad (3)$$

Substituindo os valores do tempo padrão para as respectivas atividades obtém o resultado final por meio da equação 4:

$$TMO = (10,03 + 9,98 + 7,5 + 7,5) = 35,01s \quad (4)$$

O robô 1 ao iniciar sua produção realiza um movimento apenas no início do processo da peça 1, saindo do ponto de origem até o suporte 1. Este valor para ser inserido no modelo matemático geral foi nomeado como *Home_Suporte 1* (HS) e mensurado com o tempo padrão de 1,27s.

Após o posicionamento inicial no suporte 1 para a realização da estampagem da peça 1, o processo apresenta um comportamento cíclico.

Para identificar os tempos das atividades automatizadas e o fluxo das atividades, foram coletados os tempos referentes a cada atividade com o objetivo de compreender o processo a partir das atividades automatizadas, esses valores podem ser visualizados na tabela 6.

Tabela 6 - Tempos das atividades automatizadas para obtenção da peça 1 na célula 1.

| Posição | Atividades mensuradas | s |
|----------------|--|----------|
| 1 | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 1 dentro do estampo na prensa. | 2,66 |
| 2 | Robô 1 recua para a área segurança | 1,07 |
| 3 | Prensa desce para estampar chapa 1 | 4,60 |
| 4 | Prensa aguarda a conformação mecânica | 5,14 |
| 5 | Prensa retorna a posição inicial | 3,27 |
| 6 | Avanço do robô 1 para retirada da peça 1 de dentro do estampo | 1,03 |
| 7 | Avanço do robô 1 com peça 1 para suporte 1.2 | 2,30 |
| 8 | Avanço do robô 1 do suporte 1.2 suporte 1 | 1,78 |

O Tempo Ciclo da Automação (TCA) na célula 1 pode ser calculado somando as atividades realizadas pelo robô 1 e a prensa. O valor a ser calculado pode ser concebido pela equação 5:

$$TCA = \sum_{atv1}^{atv8} = Atv1 + \dots + Atv8 \quad (5)$$

Substituindo os valores do tempo padrão apresentados na tabela 6 para as respectivas atividades na equação 5 obtém o resultado por meio da equação 6:

$$TCA = (2,66 + 1,07 + 4,6 + 5,14 + 3,27 + 1,03 + 2,30 + 1,78) = 21,85 \text{ s} \quad (6)$$

Outra variável influente no tempo total é a quantidade de peças à serem produzidas representadas pela letra “q”. Analisando as variáveis dentro dos seus respectivos grupos de movimentos foi possível criar um modelo matemático que represento todo o processo. O cálculo foi identificado como Tempo de Produção (TP) na célula 1 e representado pela equação 7:

$$TP = TMO + HS + (TCA * q) \quad (7)$$

Para calcular o Tempo de Produção de uma peça, adota-se $q=1$ e os valores coletados para as demais variáveis são substituídos na equação TP gerando o resultado contido na equação 8:

$$TP = 35,01 + 1,27 + (21,85 * 1) = 58,13s \quad (8)$$

A partir do tempo de produção encontrado foi realizada uma análise estatística sobre os movimentos manuais e os automatizados para identificar o gargalo da operação. Estes valores mostram de forma representativa a característica de cada atividade no universo do processo analisado.

Somando as atividades referente a movimentação da prensa obtém-se 56% dos movimentos automatizados, logo durante este período o robô 1 fica aguardando na zona de segurança a permissão para a retirada da peça estampada. Este tempo de espera do robô 1 em relação a prensa foi identificado como gargalo e com possibilidade de melhorias. As variáveis e suas contribuições ao processo podem ser observadas na figura 20.

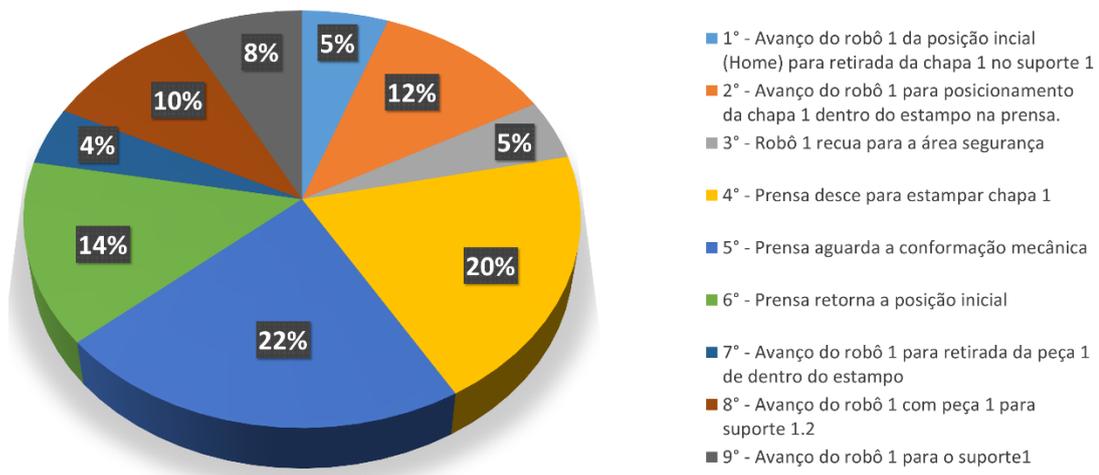


Figura 20. Porcentagem da participação de cada atividade na célula 1.

Para uma avaliação do problema de forma mais realista o método de Planejamento Programação e Controle de Produção (PPCP) foi aplicado com o objetivo de visualizar resultados mais abrangentes aumentando assim a relação entre os cálculos extraídos da amostragem e a população.

Com o tempo total para a fabricação de uma peça e tempo de ciclo, o ETM foi ampliado para um cenário de uma produção real em uma empresa automobilística com processos de estamparia. Para isso foi considerando uma empresa com 3 turnos de produção diários cada turno contará com 8 horas de produção teórica baseado no tempo de calendário.

As disponibilidades dos equipamentos e operadores envolvidos foram avaliadas e do total de 8 horas teóricas por turno, uma hora e meia foi subtraído para considerar as paradas estratégicas e administrativas, como as necessidades pessoais e de fadiga do operador realizadas de forma planejadas, como almoço e tempo de descanso.

Outros valores como as perdas não planejadas operacionais como possíveis manutenções para reposicionamento de peças e robô foram contabilizados como desconto no tempo teórico de produção.

Para calcular o desempenho da célula 1 no cenário do dia a dia o tempo de produção (TP) adotado foi de 6 horas e 30 minutos, com este tempo é possível calcular quantas peças podem ser produzidas em um turno de produção, considerando as atividades manuais e automatizada. Para obter o valor de peças a partir do tempo de produção a variável “q” foi isolada conforme a equação 9:

$$q = \frac{TP - (TMO + HS)}{TCA} \quad (9)$$

Substituindo os valores obtém-se o resultado por meio da equação 10:

$$q = \frac{(6,5 \cdot 3600) - (35,01 + 1,27)}{21,85} = 1069,28 \text{ peças} \quad (10)$$

Adotando um turno de trabalho nesta configuração a célula 1 foi capaz de produzir 1069 peças contando com 100% do rendimento do operador, do robô 1 e da prensa no período útil de produção, porém caso variar a velocidade de algum elemento ao longo do processo, o tempo de produção e a quantidade de peças mudarão também.

Os valores coletados a partir da PO e tratados matematicamente juntamente com o Mapofluxograma foram inseridos software *Plant Simulation 14* versão educacional em seguida, simulados visando validar o resultado do cenário estudado quando atribuídos valores aos elementos do processo. Outra vantagem no uso do programa é a possibilidade de variar valores referentes a fluxos, velocidades e

demandas e obter resultados de forma mais dinâmica. Para visualizar o posicionamento e o fluxo de obtenção do produto a imagem combinada no programa foi apresentada de acordo com a figura 21. Os dados estáticos também são exibidos no programa, na imagem a palavra *Throughput* indica a quantidade de peças produzidas, no caso 1069 peças.

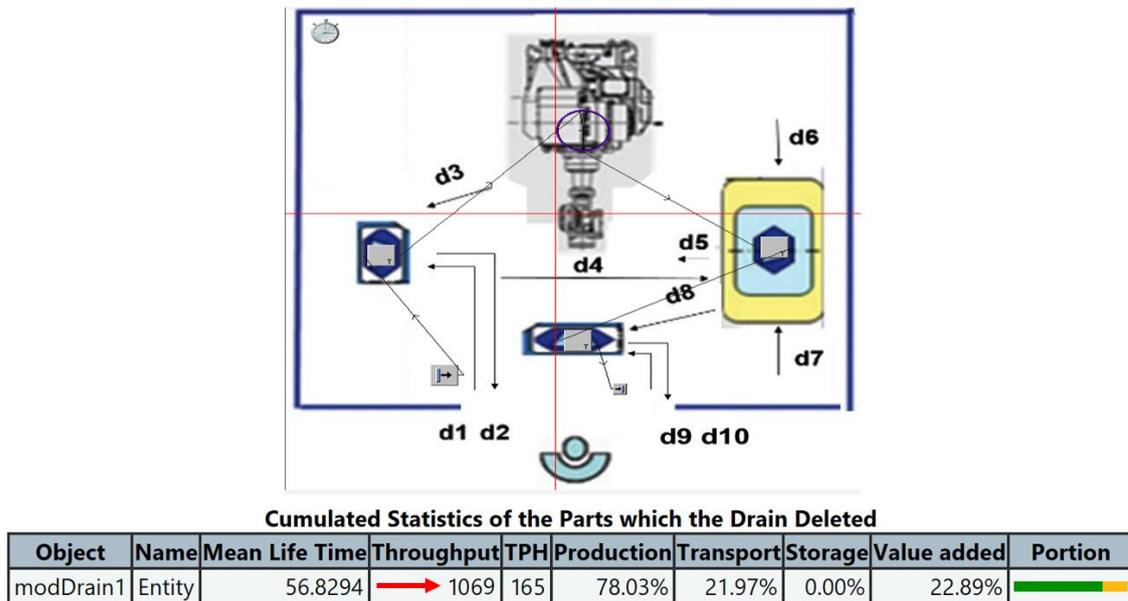


Figura 21. Resultados obtidos na simulação no ambiente virtual.

A tecnologia utilizada na análise do software permite acelerar o processo produtivo e a análise matemática permite fazer uma relação entre a eficiência e os tempos padrões de produção com o gargalo envolvendo o robô 1 e a prensa.

A partir da estruturação do problema foram identificadas as necessidades de mudanças devido ao desempenho de algumas atividades. A primeira necessidade foi a aceleração da prensa durante o processo de prensagem, mas logo foi descartado essa possibilidade por questões relacionadas a custo e benefício.

Devido a sua estrutura antiga e sua forma de realizar a atividade de prensagem, a atualização por novos componentes mecânicos e hidráulicos seria economicamente inviável. Seria então necessária a substituição da máquina por uma nova, conseqüentemente adaptando o arranjo físico adaptar à nova estrutura da máquina. Outra situação a ser analisada seria a substituição da rede de comunicação atual que também deveria ser atualizada, o que sairia da linha de estudo voltada a melhoria com menor impacto financeiro ao arranjo físico.

Mesmo com a troca por uma prensa mais nova e outra rede de comunicação, onde economizaria tempo de prensagem com velocidades maiores, o estudo mostrou que o robô 1 ainda sim ficaria aguardando o processo de prensagem finalizar para a retirada da peça estampada, logo o foco do ETM da problemática foi como adequar o movimento do robô 1 enquanto aguarda o ciclo da prensa.

A partir do estudo realizado sobre a obtenção do produto foi identificada a necessidade de mudança no processo devido ao tempo ocioso do robô 1 durante a movimentação da prensa. A proposta de melhoria foi criar um processo produtivo mais enxuto com base na filosofia LM. Criou-se então um sistema de integração do arranjo físico entre as células de manufatura 1 e 2, ao término do processo de estampagem o robô 2, localizado na célula 2, retira a peça repuxada de dentro do estampo e coloca no suporte 2. Para a realização da coleta dos resultados referentes a redução do tempo ocioso do robô 1, modificações físicas foram aplicadas utilizando o princípio de economia dos movimentos e nova estrutura de programação envolvendo aspectos dedicados a segurança, como intertravamento entre robôs.

3.4 MODIFICAÇÕES ESTRUTURAIS MECÂNICAS

Concomitante a descida da prensa, o robô 1 não aguarda mais o tempo do ciclo de prensagem na área de segurança, ele é deslocado até o suporte 1 para pegar uma nova chapa e retornar ao ponto de segurança da célula 1, o robô 1 aguarda a liberação do robô 2 confirmando que pode ser inserida dentro do estampo, reduzindo assim o tempo de produção de cada peça e possibilitando o aumento da demanda produtiva.

As adaptações para a integração das células de manufatura tiveram como primícias básicas a economia dos movimentos, a mínima variabilidade dos tempos e a precisão dos posicionamentos, a partir destas definições iniciou a análise para a verificação das mudanças de forma a impactar o mínimo possível no arranjo físico original, por isso o estudo do posicionamento de cada elemento e suas distâncias foram analisados antes de decidir se haveria necessidades de mudanças físicas, como retirada dos elementos da célula 2, assim como a pinça de solda e a base de aplicação de cola, pois o posicionamento atual poderia restringir algum movimento do robô 2.

A redução de distância entre os elementos para integração também foi verificada para a adaptação de novas ferramentas que antes eram para o processo de união e agora integraria o processo de estampagem no robô 2 representado pelo elemento 5 e o suporte 2 representado pelo elemento 6 conforme a figura 22.

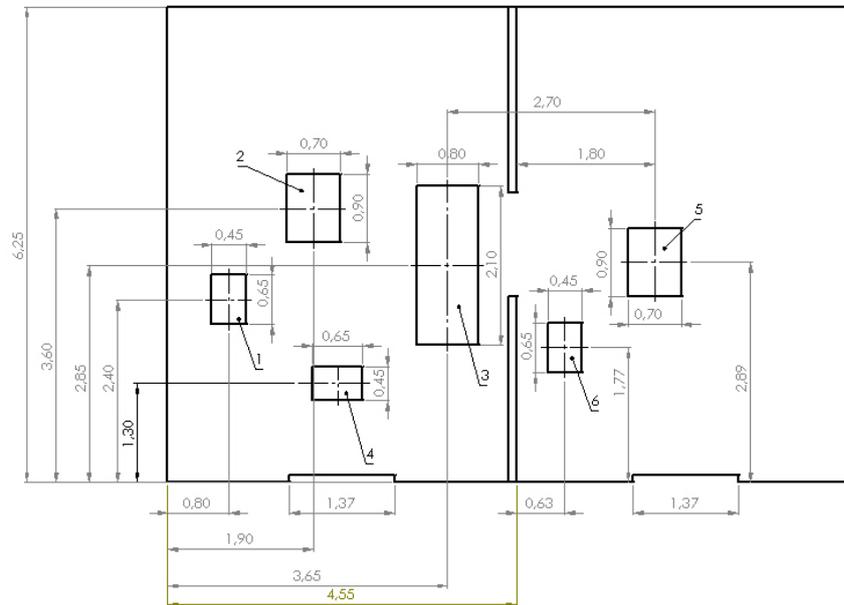


Figura 22. Arranjo físico da integração entre as células.

O primeiro desafio foi a adaptação física da célula 2 para iniciar o processo de integração entre as células. Inicialmente a célula 2 foi concebida para realizar atividades referentes a segunda etapa do processo de manufatura automobilista, a armação. Fisicamente a ferramenta fixada na ponta do robô 2 realizada solda ponto com o auxílio de uma pinça.

Os movimentos realizados pelo robô 2 dentro da célula 2 são programados para aplicação de cola e de solda a ponto com o auxílio de uma pinça estacionária conforme a figura 23.



Figura 23. Ponteadeira estacionária e pinça para realização de solda a ponto.

Para adaptar a estrutura física do robô 2 sem perder a flexibilidade de voltar a configuração inicial do processo de soldagem, foi criada uma forma de fixação para a nova ferramenta de retirada de peças estampadas mantendo o máximo de elementos de fixação do robô 2. Um meio de fixação para um extensor que faz o prolongamento do braço do robô 2 foi adaptado conforme pode ser observado na figura 24.

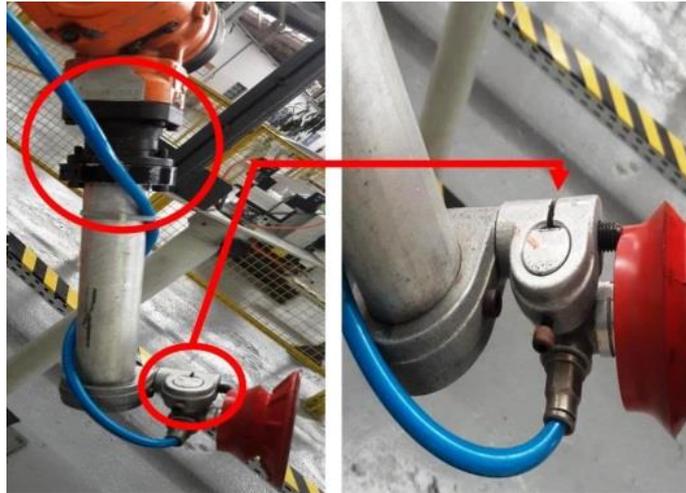


Figura 24. Novo meio de fixação para ferramenta de manuseio de peça estampada.

Como a distância entre o eixo central do robô 2 e o ponto de pega da peça no estampo ficou com 2,7 metros havia a preocupação do movimento de flambagem ao retirar a peça de dentro do estampo, por isso o meio de fixação do extensor foi um ponto de análise para fazer a função de contrapeso. A colocação de um extensor com 1,2m no braço do robô 2 para que pudesse retirar a peça pronta e não sair da posição base do robô 2 foi apresentado conforme a figura 25.

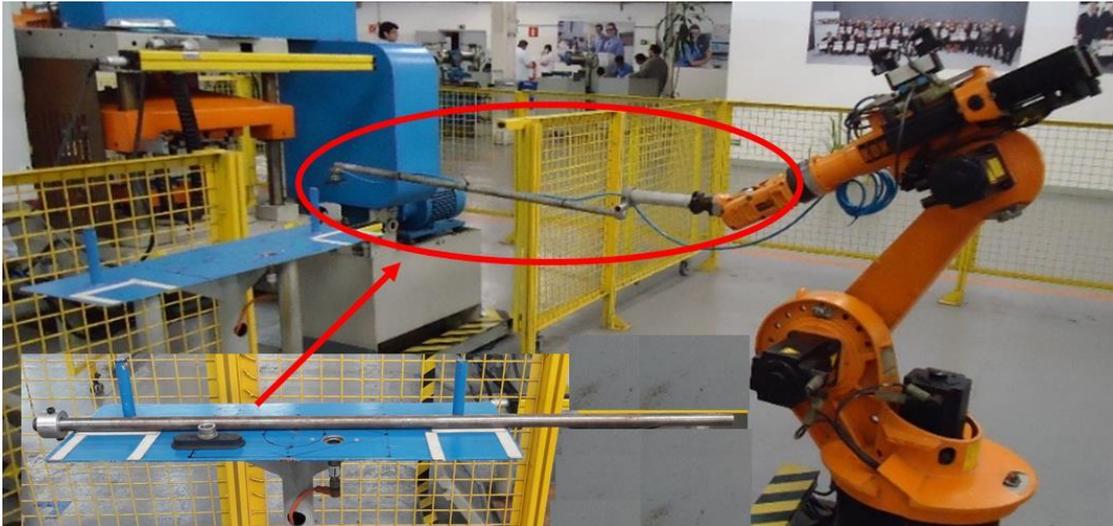


Figura 25. Extensor e ventosa adaptados ao robô 2.

Alguns testes foram realizados e os movimentos foram estudados, desde a saída do ponto *home* a inserção do braço dentro do estampo com o curso da prensa no máximo. A peça cortada inserida inicialmente dentro do estampo apresentava uma geometria plana, depois do processo de repuxo a peça pronta ficou com uma altura de 120mm o que dificultou a retirada do produto de dentro da ferramenta.

A melhoria foi adaptar uma ventosa menor com uma altura reduzida de 60 mm para que somado à altura da peça repuxada não tivesse o risco de tocar no conjunto superior do estampo ao realizar o movimento de retirada do produto.

Outro ponto de observação foi a saída de dentro do estampo da peça na ventosa menor por cima da grade de proteção que separa as células. O movimento de retirada de dentro do estampo foi elevado em 600mm acima da altura da prensa após passar pelo ponto de segurança, localizado fora da zona de atuação da prensa com o objetivo de passar por cima da grade de proteção sem nenhum risco de colisão.

O questionamento relacionado a adaptação e seus movimentos foi a análise de vibração na ponta da ferramenta ao movimentar o braço com um comprimento maior gerando o risco de flambagem do conjunto. Após os testes foi verificado e aprovado o balanço do conjunto que conseguiu realizar este percurso de adaptação conforme a figura 26.

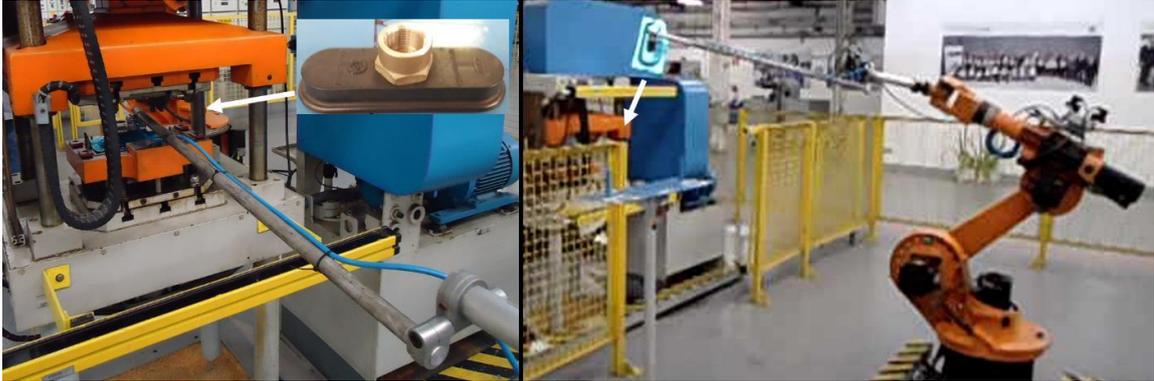


Figura 26. Saída do robô 2 com peça estampada sem o movimento de flambagem.

3.5 PROGRAMAÇÃO DA PRENSA E ROBÔS CONSIDERANDO O INTERTRAVAMENTO E COLETA DE TEMPOS.

Após a configuração dos movimentos da célula 2 e a gravação dos pontos para a futura programação outra medida de segurança para a integração foi adotada. No trabalho com dois robôs de forma simultânea juntamente com a prensa fazendo o elo entre as duas células, foi inserido um novo modelo de programação contendo um intertravamento. Essa remodelação com o intertravamento garante que os robôs só serão acionados para a colocação e retirada de peças no estampo apenas quando a atividade antecedente finaliza, mandando assim um sinal liberação para a movimentação.

Outro item voltado a segurança da automação foi a inserção do comando de espera com adição de tempo, adicionando assim, outra forma de zelar pelo bom funcionamento da integração. O cabeçalho e as linhas de programação iniciais podem ser observados na figura 27.

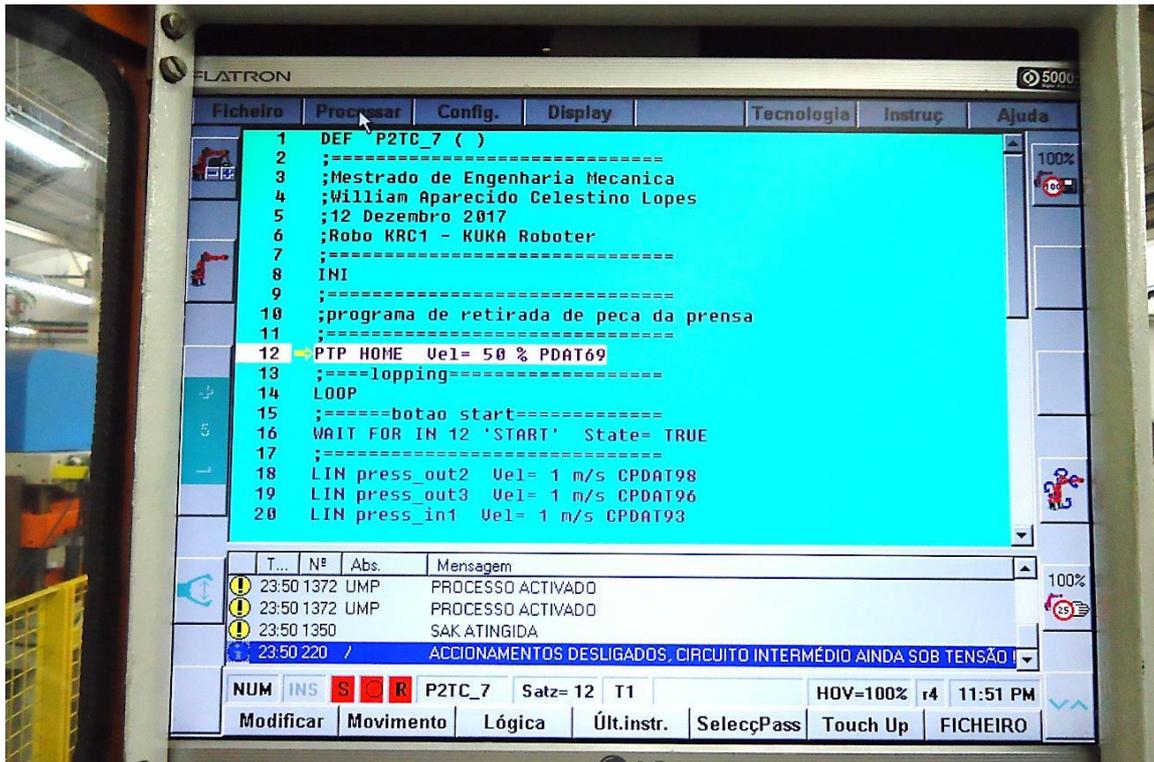


Figura 27. Programação com tempo de espera.

Na prática o acionamento da prensa só será realizado após a confirmação do robô 1 quando estiver no ponto de segurança. O robô 2 só retira a peça de dentro do estampo quando a prensa chegar ao fim de curso durante a subida, assim a mesma envia o sinal de liberação ao robô 2 para executar a retirada.

Para o novo sequenciamento a integração entre as células necessitou da análise das atividades separando-as em independentes, ações que poderiam ser executadas a qualquer momento e as dependentes onde o início depende da disponibilidade da operação antecessora. O objetivo principal foi incluir os movimentos da célula 2 ao mesmo tempo da célula 1 de forma paralela e respeitando os níveis de segurança para evitar colisões conforme a figura 28.



Figura 28. Posição do intertravamento na atividade paralela.

A partir do novo modelo de programação caracterizado pela sincronização das atividades, os movimentos de armazenagem, execução, espera e transporte foram estudados de forma a manter a prensa o menor tempo possível parada.

A partir de novas tomadas de tempo, as atividades da célula 2 foram cronometradas por 8 vezes com uma confiança de 95% conforme cálculos realizados anteriormente para a célula 1, número de vezes suficiente para determinar o tempo padrão de cada percurso, resultados estes que foram obtidos adotando a sistemática utilizada inicialmente entre a análise do problema e a implantação da melhoria.

Para manter a mesma confiabilidade do ciclo na nova célula a velocidade do robô 2 foi a mesma adotada pelo robô 1 em 1m/s e o cronômetro decimal para coletar cada parcial também participaram da mesma forma nos novos eventos.

Com os valores obtidos em cada atividade, os mesmos foram registrados na folha de observação e realizados a somatória para totalizar o tempo do ciclo da parte 2. O valor de 12,96s ficou compreendido entre a saída do ponto de segurança pelo robô 2 para a retirada da peça pronta até o seu retorno ao ponto de origem. Os valores coletados são informados na tabela 7.

Tabela 7 - Coleta de tempos das atividades realizadas pelo robô 2 na célula 2.

| Posição das atividades | Descrição | 1ª cronometragem | 2ª cronometragem | 3ª cronometragem | 4ª cronometragem | 5ª cronometragem | 6ª cronometragem | 7ª cronometragem | 8ª cronometragem | Tempo Médio (s) | Tempo acumulado (s) |
|------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------------|
| 1 | Avanço do robô 2 para retirada da peça 1 de dentro do estampo | 3,06 | 2,97 | 3,09 | 2,91 | 3,15 | 2,97 | 3,03 | 3,10 | 3,03 | 3,03 |
| 2 | Robô 2 recua para a área segurança | 1,59 | 1,50 | 1,62 | 1,51 | 1,59 | 1,54 | 1,56 | 1,52 | 1,55 | 4,59 |
| 3 | Avanço do robô 2 com peça 1 para suporte 2 | 5,85 | 5,85 | 5,88 | 5,56 | 6,20 | 5,67 | 5,82 | 6,12 | 5,87 | 10,46 |
| 4 | Avanço do robô 2 do suporte 2 para área de segurança | 2,53 | 2,47 | 2,56 | 2,40 | 2,62 | 2,45 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 12,96 |

Como foi adotada a mesma escala de tempo dentro das atividades realizadas de forma simultâneas, o cálculo do tempo de produção padrão das células integradas e os movimentos foram divididos de duas formas, os manuais realizados pelo operador e os automatizados realizados pela prensa e pelos robôs.

Para realizar a sincronização entre os robôs o suporte 1.2 que recebia as peças prontas no modelo inicial foi mudado de lado para a célula 2, porém o seu posicionamento para a inserção da peça pronta pelo robô 2 variou muito pouco entre a posição inicial e a final percorrida pelo operador.

O tempo capturado foi considerado o mesmo para as variáveis, desde o abastecimento de chapas até a retirada de peças prontas, logo a variável TMO=35,01s adotada ficou igual ao da situação inicial.

Decorrido o tempo de movimentação manual, o tempo de automação variou entre o valor para a obtenção a primeira peça e as demais peças dentro do ciclo.

A célula 1 ao iniciar sua produção realiza movimentos apenas na primeira etapa do processo, saindo do ponto de origem até o seu retorno para a retirada da peça 2.

Durante o movimento de descida da prensa, o robô 1 retorna para o suporte 1 para a retirada da chapa para a estampagem da peça 2, ao retornar o mesmo aguarda a finalização dos movimentos da prensa e a retirada da peça pronta pelo robô 2, neste momento funciona o primeiro ponto de intertravamento entre atividades paralelas.

Os resultados coletados para essas movimentações podem ser compreendidos na tabela 8.

Tabela 8 - Tempos para estampar a peça 1 nas células integradas.

| Posição | Atividades para a obtenção da peça 1 | s |
|----------------|--|----------|
| 1 | Avanço do robô 1 da posição inicial (<i>Home</i>) para retirada da chapa 1 no suporte 1 | 1,27 |
| 2 | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 1 dentro do estampo na prensa. | 2,66 |
| 3 | Robô 1 recua para a área segurança | 1,07 |
| 4 | Prensa desce para estampar chapa 1 | 4,60 |
| 4.1 | Atividade paralela a Posição 4 - Robô 1 retorna para suporte 1 para retirada da chapa 2 - Tempo não contabilizado na somatória | - |
| 5 | Prensa aguarda a conformação mecânica | 5,14 |
| 6 | Prensa retorna a posição inicial | 3,27 |
| 7 | Avanço do robô 2 para retirada da peça 1 de dentro do estampo | 3,03 |
| 8 | Robô 2 recua para a área segurança | 1,55 |
| 9 | Avanço do robô 2 com peça 1 para suporte 2 | 5,87 |
| 10 | Avanço do robô 2 do suporte 2 para área de segurança | 2,50 |

4 RESULTADOS

Após a implementação da melhoria, um novo mapofluxograma da integração foi elaborado com base nos resultados coletados, permitindo assim, analisar as atividades que foram estabelecidas em série e paralelo para a otimização do processo. O novo sequenciamento pode ser observado na figura 29.

| Posição das atividades em linha | Descrição das atividades realizadas pelo Operador e Robô 1 | Tempo Médio (Seg) | Atividade | Simbologia das atividades | Descrição das atividades da Prensa Estampo | Tempo Médio (Seg) | Atividade | Simbologia das atividades | Descrição das atividades realizadas pelo Robô 2 | Tempo Médio (Seg) | Atividade | Simbologia das atividades | |
|---------------------------------|--|-------------------|--------------|---------------------------|--|-------------------|--------------|---------------------------|--|-------------------|--------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Operador realiza o abastecimento de fardos no suporte 1 | 10,03 | Manual | ▽ | | | | | | | | | |
| 2 | Operador retira-se da célula e inicializa o processo | 9,98 | Manual | ○ | | | | | | | | | |
| 3 | Avanço do robô 1 da posição inicial (Home) para retirada da chapa 1 no suporte 1 | 1,27 | Automatizada | ○ | | | | | | | | | |
| 4 | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 1 dentro do estampo na prensa. | 2,66 | Automatizada | → | | | | | | | | | |
| 5 | Robô 1 recua para a área segurança | 1,07 | Automatizada | ○ | | | | | | | | | |
| 6 | Robô 1 retorna para suporte 1 para retirada da chapa 2 | 1,59 | Automatizada | ○ | Prensa desce para estampar chapa 1 | 4,60 | Automatizada | ○ | | | | | |
| 7 | Avanço do robô 1 com chapa 2 até posição na área de segurança | 1,59 | Automatizada | → | | | | | | | | | |
| 8 | Robô 1 aguarda com chapa 2 o intertravamento | 14,41 | Automatizada | D | Prensa aguarda a conformação mecânica | 5,14 | Automatizada | ○ | | | | | |
| 9 | | | | | Prensa retorna a posição inicial | 3,27 | Automatizada | ○ | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | Avanço do robô 2 para retirada da peça 1 de dentro do estampo | 3,03 | Automatizada | ○ | Fluxo e tempo da peça 1 |
| 11 | | | | | | | | | Robô 2 recua para a área segurança | 1,55 | Automatizada | → | |
| 12 | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 2 dentro do estampo na prensa. | 1,07 | Automatizada | → | | | | | Avanço do robô 2 com peça 1 para suporte 2 | 5,87 | Automatizada | ▽ | Fluxo e tempo da peça 2 |
| 13 | Robô 1 recua para a área segurança | 1,07 | Automatizada | ○ | | | | | Avanço do robô 2 do suporte 2 para área de segurança | 2,5 | Automatizada | ○ | |
| 14 | Robô 1 retorna para suporte 1 para retirada da chapa 3 | 1,59 | Automatizada | ○ | Prensa desce para estampar chapa 2 | 4,60 | Automatizada | ○ | Robô 2 aguarda para a retirada da peça 2 com o intertravamento | 6,78 | Automatizada | D | Fluxo e tempo da peça 3 |
| 15 | Avanço do robô 1 com chapa 3 até posição na área de segurança | 1,59 | Automatizada | → | | | | | | | | | |
| 16 | Robô 1 aguarda com chapa 3 o intertravamento | 14,41 | Automatizada | D | Prensa aguarda a conformação mecânica | 5,14 | Automatizada | ○ | | | | | |
| 17 | | | | | Prensa retorna a posição inicial com peça 2 pronta | 3,27 | Automatizada | ○ | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | Avanço do robô 2 para retirada da peça 2 de dentro do estampo | 3,03 | Automatizada | ○ | Fluxo e tempo da peça 3 |
| 19 | | | | | | | | | Robô 2 recua para a área segurança | 1,55 | Automatizada | → | |
| 20 | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 3 dentro do estampo na prensa. | 1,07 | Automatizada | → | | | | | Avanço do robô 2 com peça 2 para suporte 2 | 5,87 | Automatizada | ▽ | |
| 21 | Robô 1 recua para a área segurança | 1,07 | Automatizada | ○ | | | | | Avanço do robô 2 do suporte 2 para área de segurança | 2,5 | Automatizada | ○ | |
| 22 | Robô 1 retorna para suporte 1 para retirada da chapa 4 | 1,59 | Automatizada | ○ | Prensa desce para estampar chapa 3 | 4,60 | Automatizada | ○ | Robô 2 aguarda para a retirada da peça 3 com o intertravamento | 6,78 | Automatizada | D | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | Prensa aguarda a conformação mecânica | 5,14 | Automatizada | ○ | | | | | |
| 25 | | | | | Prensa retorna a posição inicial com peça 3 pronta | 3,27 | Automatizada | ○ | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | Avanço do robô 2 para retirada da peça 3 de dentro do estampo | 3,03 | Automatizada | ○ | Fluxo e tempo da peça 3 |
| 27 | | | | | | | | | Robô 2 recua para a área segurança | 1,55 | Automatizada | → | |
| 28 | | | | | | | | | Avanço do robô 2 com peça 3 para suporte 2 | 5,87 | Automatizada | ▽ | |
| 29 | | | | | | | | | Avanço do robô 2 do suporte 2 para área de segurança | 2,5 | Automatizada | ○ | |
| 30 | Operador entra na célula 1 para a retirada as peças estampadas no suporte 1.2 | 7,50 | Manual | ○ | | | | | | | | | |
| 31 | Operador retira-se da célula 1 com as peças estampadas | 7,50 | Manual | → | | | | | | | | | |

Figura 29. Mapofluxograma da integração entre as células.

4.1 NOVO ESTUDO MATEMÁTICO PARA A PRODUÇÃO DAS CÉLULAS INTEGRADAS

A partir deste momento o ciclo da produção inicia com valores se repetindo de acordo com a quantidade de peça a ser produzida. Mesmo sendo um valor pequeno em relação ao tempo total de produção, a variável Tempo da peça 1 (Tp1) foi calculada conforme a equação 11:

$$Tp1 = \sum_{atv}^{10} = Atv1 + \dots + Atv10 \quad (11)$$

Substituindo os valores do tempo padrão apresentados na tabela 8 para as respectivas atividades na equação 11 obtém-se o resultado por meio da equação 12:

$$Tp1 = (1,27 + 2,66 + 1,07 + 4,6 + 5,14 + 3,47 + 3,03 + 1,55 + 5,87 + 2,5) = 30,96 \text{ s} \quad (12)$$

Finalizado o processo de estampagem da peça 1 o tempo para as demais peças permanece o mesmo, criando assim, um fluxo cíclico. As atividades da segunda peça em diante podem ser visualizadas na tabela 9.

Tabela 9 - Tempos para estampagem a partir da peça 2 na célula integrada.

| Posição | Atividades para estampar a partir da peça 2 | s |
|----------------|--|----------|
| 1 | Avanço do robô 1 para posicionamento da chapa 2 dentro do estampo na prensa. | 1,07 |
| 2 | Robô 1 recua para a área segurança | 1,07 |
| 3 | Prensa desce para estampar chapa 1 | 4,60 |
| 4 | Prensa aguarda a conformação mecânica | 5,14 |
| 5 | Prensa retorna a posição inicial | 3,27 |
| 6 | Avanço do robô 2 para retirada da peça 1 de dentro do estampo | 3,03 |
| 7 | Robô 2 recua para a área segurança | 1,55 |

A partir dos dados estabelecidos na tabela 9, o TCA entre as células pode ser calculado ao somar as atividades automatizadas realizadas pelos robôs 1 e 2 e a prensa. O valor a ser calculado pode ser concebido pela equação 13:

$$TCA = \sum_{atv}^7 = Atv1 + \dots + Atv7 \quad (13)$$

Substituindo os valores do tempo padrão apresentados na tabela 9 para as respectivas atividades na equação 13 obtém-se o resultado final por meio da equação 14:

$$TCA = (1,07 + 1,07 + 4,6 + 5,14 + 3,47 + 3,03 + 1,55) = 19,73 \text{ s} \quad (14)$$

Outra variável influente no tempo total é a quantidade de peças a serem produzidas. Como o tempo para a execução da peça 1 é diferente do tempo ciclo do restante das demais peça produzidas a equação 15 visa corrigir essa diferença.

$$n = q - 1 \quad (15)$$

onde:

q = quantidade de peças a serem produzidas.

n = quantidade de peças a serem produzidas menos a primeira peça já realizada.

A partir da análise das variáveis estudadas o novo modelo matemático para o cálculo da integração resultou como o Tempo de Produção (TP) podendo ser realizado conforme a equação 16:

$$TP = TMO + Tp1 + (TCA * n) \quad (16)$$

Para calcular o tempo de produção de 2 peças, onde $q=2$ os valores coletados foram substituídos na equação de TP gerando o seguinte resultado expresso pela equação 17:

$$TP = 35,01 + 30,96 + [19,73 * (2 - 1)] = 85,70s \quad (17)$$

Com base na integração dos movimentos automatizados, verificou-se que a partir do novo ciclo as atividades dos robôs mesmo sendo divididas, apresentaram uma participação menor no processo ficando atrás dos movimentos da prensa, porém como as atividades foram divididas entre duas células houve um aumento da produtividade devido ao sincronismo dos movimentos.

Com base nos novos cálculos, no novo ciclo o gargalo torna-se a prensa, representando 66% do movimento da automação, vale ressaltar também que, o robô 2 participou mais no fluxo automatizado em relação ao robô 1 devido aos movimentos necessários para a colocação da peça pronta no suporte 2 conforme a figura 30.

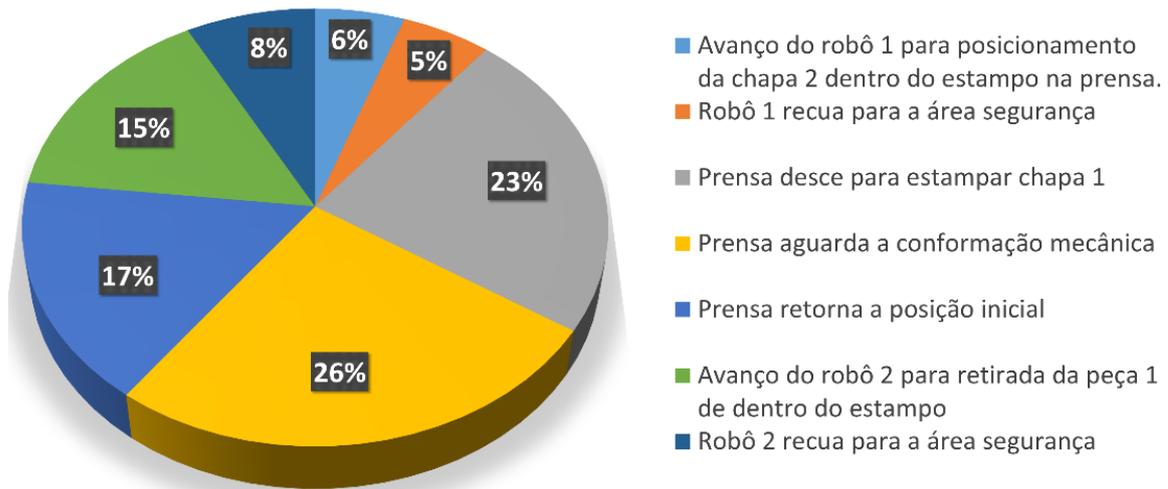


Figura 30. Porcentagem das atividades no ciclo automatizado da integração.

Com o resultado do tempo de produção (TP) finalizado e as respectivas participações de cada atividade na integração, os movimentos manuais e as automatizadas referentes a um cenário de uma estamperia automobilística, mais uma vez foram incluídos para obter um número mais expressivo sobre a quantidade de peças a serem produzidas adotando os mesmos valores da situação problema para a comparação dos resultados, logo foi considerado também um turno de produção real com a duração de 6 horas e 30 minutos equivalente a 23400 segundos já retirando as paradas programadas e não planejadas.

Para obter o novo valor de peças a partir do tempo de produção, a variável “n” foi isolada conforme a equação 18:

$$n = \frac{TP - (TMO + Tp1)}{TCA} \quad (18)$$

Substituindo os valores, obtém-se o resultado por meio da equação 19:

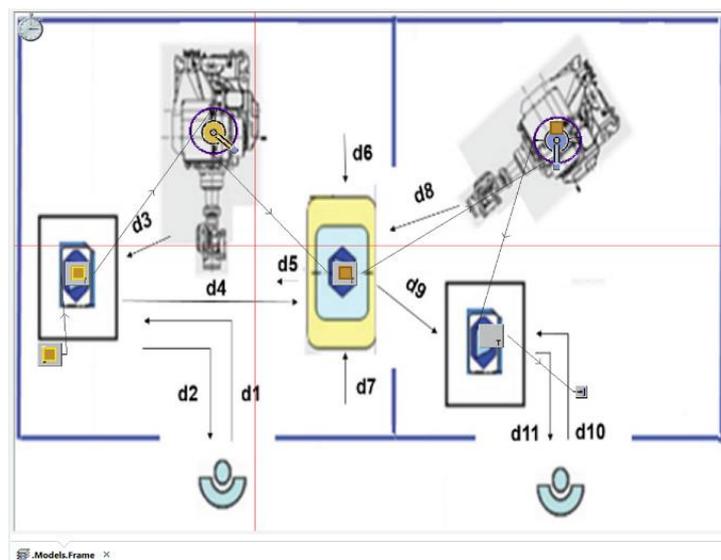
$$q = \left[\frac{(6,5 \cdot 3600) - (35,01 + 30,96)}{19,73} \right] + 1 = 1183,66 \text{ peças} \quad (19)$$

4.2 SIMULAÇÃO VIRTUAL PARA VALIDAÇÃO DO NOVO CÁLCULO DA PRODUÇÃO

Com a integração das células de manufatura foi adotado o mesmo critério de análise de tempo ao inserir no programa o intervalo de em um turno de trabalho em uma estamparia automotiva.

Para a validação do novo modelo matemático e os valores obtidos, novamente foi desenvolvido no *Plant Simulation 14* versão educacional o novo cenário.

Desta forma, os resultados obtidos analiticamente são confirmados por meio dos dados estatísticos do programa. Ao exibir a imagem é indicado na palavra *Throughput* a nova quantidade produzida de 1183 peças conforme a figura 31.



Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

| Object | Name | Mean Life Time | Throughput | TPH | Production | Transport | Storage | Value added | Portion |
|-----------|--------|----------------|------------|-----|------------|-----------|---------|-------------|---|
| modDrain1 | Entity | 1:23.4840 | → 1183 | 182 | 70.68% | 29.32% | 0.00% | 15.58% | <div style="width: 15.58%; height: 10px; background-color: green;"></div> |

Figura 31. Validação do resultado de acordo com o novo modelo.

A implementação foi testada e implantada criando um novo modelo para novas sequências operacionais programadas para o planejamento e controle da produção, onde mudando um valor das variáveis consegue obter novos resultados.

A programação desenvolvida minimizou os tempos e métodos utilizados nas células e maximizou a quantidade de peças produzidas.

Outro fator a ser considerado dentro da análise obtida de forma positiva foi o êxito obtido levando em consideração as restrições dos movimentos compreendidos pela prensa e as condições de segurança de uma célula automatizadas. O resultado final do trabalho com a implantação desenvolvida pode ser apreciado na figura 32.



Figura 32. Funcionamento da integração entre as duas células.

5 DISCUSSÕES

A integração das células como proposta de melhoria exigiu transformações físicas, processuais e análise de tempo individual de cada operação (SELEIM et al., 2012).

O desafio relacionado à mudança física utilizando o princípio da economia dos movimentos permitiu que a situação problema evidenciada na célula 1 pelo ciclo da prensa e o robô1 no aguardo do ciclo de prensagem de forma ociosa, fosse substituída pela integração da célula 2, sem mexer nas características de posicionamento dos elementos que ali estavam, mantendo assim, a exigência da flexibilidade ao necessitar voltar ao processo de armação a configuração inicial seria obtida o mais rápido possível (EFTHYMIOUA et al., 2014).

Contribuiu para esse êxito a mudança mecânica na ferramenta do robô 2 para que pudesse retirar a peça estampada foi utilizado a mesma ponta de fixação para os dois cenários. O movimento da peça por cima da grade descartou a necessidade de intervenção na proteção mantendo em evidência o fator da segurança, atrelado também a nova programação com comandos de intertravamento (WOHLKE G., SCHILLER E., 2005).

A melhoria no método de retirada de peças prontas por meio dos robôs com uma reprogramação, mantendo a prensa trabalhando ao máximo possível dentro do ciclo, balanceou os movimentos de inserção, prensagem, retirada e armazenamento ajustando as mudanças processuais de forma a respeitar a segurança do operador, da automação das células e a necessidade de aumento de produção (GROOVER, 2012).

O estudo dos tempos das operações manuais e seus respectivos elementos automatizados de forma teórica e prática, por meio da cronoanálise, permitiu determinar o tempo padrão de produção de uma peça unitária e o tempo de ciclo a partir da segunda peça de cada célula (MARTINS, 2015).

Outro dado analisado de forma positiva foram os valores obtidos atrelados a uma situação real de trabalho, onde o período de um turno adotado foi o tempo líquido, com o objetivo de aumentar estatisticamente a confiabilidade do processo ao ser aplicado no mundo das estamparias como cálculo de capacidade produtiva (CAGGIANO, 2015).

A partir destes resultados, com o auxílio das simulações virtuais e considerando as variáveis produtivas de uma empresa automobilística, a integração proporcionou um aumento na produção com base em análise estatística (PAPAKOSTAS et al., 2009).

Na célula 1 foi obtido no cenário de um turno líquido de trabalho o valor de 1069 peças e após a integração com a célula 2 a produção somou 1183 peças, um aumento de 114 peças estampadas considerando o mesmo período de trabalho, um ganho equivalente a quase 11% da produtividade comparando os dois cenários, e mantendo a imposição inicial da proposta de melhoria realizado pelo projeto de flexibilidade com mínimo de mudanças e investimentos (BRACHT, 2005).

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa contribuiu para aprimoramento da integração da automação industrial aplicado ao processo de estampagem automobilístico ao unificar a filosofia LM as técnicas estruturais de CFM, permitindo assim o encurtamento do espaço de lançamento entre um veículo e outro.

Por meio de dados coletados de forma prática neste trabalho, juntamente com os cálculos analíticos utilizados em uma empresa que produz produtos estampados, foi possível estabelecer uma relação entre a necessidade de demanda e a capacidade produtiva ao considerar um turno de trabalho reduzindo o tempo de ciclo da produção.

A criação de um novo modelo para o processo de estampagem veicular, baseado na integração com novos movimentos robotizados, foi concluída incidindo com o menor impacto de reestruturação física e investimento financeiro, o que emplaca diretamente no valor final do automóvel ao utilizar ambientes com derivação mutável e otimizada. Estes valores podem ser aplicados desde a pequena empresa fornecedora de autopeças a grandes montadoras automobilística.

Os resultados advindos do modelo matemático a partir da reconfiguração física e a reprogramação dos robôs no processo, apresentaram valores referentes a produtividade maiores que a situação inicial, alimentando assim o cenário para direcionamentos de flexibilização.

De forma a legitimar o estudo, outro dado conclusivo observado no trabalho, foi a simulação virtual validar os resultados encontrados analiticamente, através dos dados coletados de forma prática. Este resultado é utilizado ao anteceder qualquer modificação operacional ou de gestão necessária para indicar a eficiência e eficácia em um processo de estampagem automobilístico.

7 VERSÃO COMPACTA

Integração de Célula Flexível de Manufatura Aplicada a Processo de Fabricação Automotiva envolvendo Estamparia e Soldagem

William Aparecido Celestino Lopes¹, Mauricio Fontoura Blos¹, João Inácio da Silva Filho¹

¹Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

E-mail: professorwilliamlopes@gmail.com

Resumo:

Este trabalho apresenta o estudo para a integração de duas células flexíveis de manufatura para produzir peças estampadas utilizadas no processo automobilístico com o objetivo de aumentar da produtividade. A célula 1 realiza o processo de estampagem por meio do robô e uma prensa, porém por meio do estudo dos tempos e métodos foi observado um tempo ocioso gerando um gargalo no processo. Posteriormente as análises foi proposto a integração com a célula 2 que atualmente realiza o processo de soldagem. Após as modificações físicas necessárias, novos dados foram coletados e um modelo matemático foi desenvolvido nos dois cenários com o objetivo de mensurar e comparar o desempenho considerando o período de um turno de trabalho em uma empresa automobilística. Em seguida os dados foram simulados virtualmente para a validação dos resultados.

Palavras-chave: Sistema Flexível, Célula de Manufatura, Simulação Digital, Estampagem, Soldagem.

Integration of Cell Flexible Manufacturing Applied to Automatic Manufacturing Process Involving Stamping and Welding

Abstract: This work presents the study for the integration of two flexible manufacturing cells to produce stamped parts used in the automobile process with the aim of increasing productivity. Cell 1 performs the stamping process through the robot and a press, but through the study of the times and methods an idle time were observed generating a bottleneck in the process. Subsequently the analyzes the integration with the cell 2 that currently carries out the welding process was proposed. After the necessary physical modifications, new data were collected and a mathematical model was developed in both scenarios with the purpose of measuring and comparing the performance considering the period of a shift in an automobile company. The data were then virtually simulated for the validation of the results.

Keywords: Flexible System, Manufacturing Cell, Digital Simulation, Stamping, Welding.

Introdução

As transformações físicas e digitais nas indústrias automobilísticas atualmente exigem modelo de negócios reconfiguráveis ao longo da linha de produção, variando desde as atividades manuais, passando pelas automatizadas até as híbridas. Norteados por sistemas sustentáveis, questões relacionadas a responsabilidades ambientais, sociais e civis devem ser consideradas [1,2].

Sistemas de manufatura parametrizados de alta mobilidade permitem estruturar uma planta automotiva de forma que aplicado a área da estamparia obtenha diferentes tipos de processamento de peças através de ferramentas denominadas estampos. Outra variável da célula que pode ser intercambiável neste processo é a ferramenta do robô, como ventosas e garras, que auxiliam no abastecimento, manuseio e armazenamento de forma automatizada [3,4].

Para tomadas de decisões em Células Flexíveis de Manufatura (CFM) utilizadas em estamparias automotivas, técnicas como cronometragem, filmagem e Estudo de Tempos e Métodos (ETM) são aplicadas para coleta de dados com o objetivo de criar modelos matemáticos e virtuais que permitem a redução da complexidade de mensuração do sistema [5-7].

Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo integrar duas células flexíveis de manufatura desenvolvidas para atuar nos processos de estampagem e soldagem para aumentar a produtividade de peças estampadas utilizadas no setor automobilístico.

Material e métodos

O estudo da situação problema foi desenvolvido em uma célula de manufatura que realiza processo de estampagem. A técnica de Mapofluxograma foi aplicada nas operações para determinar o posicionamento de cada elemento e registrar as distâncias percorridas em cada atividade. Em seguida a coleta dos tempos de cada atividade foi realizada a partir da metodologia de filmagem e cronoanálise conforme pode ser observada na figura 1.



Figura 1. Tempo cronometrado na operação de aguardo da conformação

Após a coleta dos dados, os valores foram inseridos em um modelo matemático, unindo atividades manuais e robotizadas da célula 1 com o objetivo de realizar o cálculo total para a obtenção da quantidade de peças que podem ser obtidas num turno de trabalho em uma estamparia considerando um intervalo de 6 horas e meia. O resultado pode ser observado na equação 1:

$$q = \frac{TP - (TMO + HS)}{TCA} \quad (1)$$

onde:

TP = número de ciclos a serem cronometrados;

TMO = Tempo de Movimentação do Operador

HS = *Home*_Suporte 1

TCA = Tempo Ciclo da Automação

Substituindo os valores obtém-se o resultado expresso pela equação 2:

$$q = \frac{(6,5 \cdot 3600) - (35,01 + 1,27)}{21,85} = 1069,28 \text{ peças} \quad (2)$$

Adotando um turno de trabalho nesta configuração a célula 1 foi capaz de produzir 1069 peças. Os valores coletados a partir da pesquisa Operacional e tratados matematicamente juntamente com o Mapofluxograma foram inseridos software *Plant Simulation 14* versão educacional em seguida, simulados visando validar o resultado do cenário estudado quando atribuídos valores aos elementos do processo. No uso do programa existe a possibilidade de variar valores referentes a fluxos, velocidades e demandas e obter resultados de forma mais dinâmica. Para visualizar o posicionamento e o fluxo de obtenção do produto a imagem combinada no programa pode ser apreciada pela figura 2.

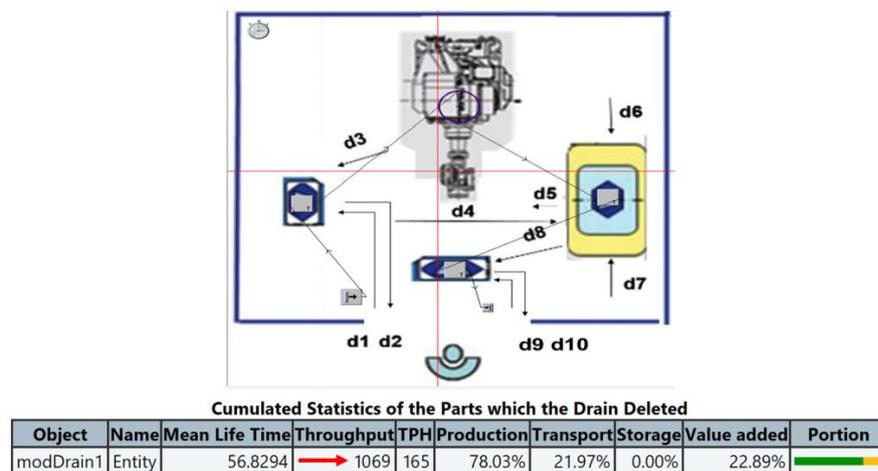


Figura 2. Simulação da célula 1 no *Plant Simulation 14* versão educacional.

Resultados

O A partir do estudo realizado sobre o material e métodos, foi identificado a necessidade de mudança no processo, devido ao tempo ocioso do robô 1 durante a movimentação da prensa. Para a eliminação desta parada foram implementadas ferramentas utilizadas no processo de estamparia como prolongadores e ventosas na célula de soldagem.

Uma nova programação em conjunto entre os robôs foi desenvolvida para que pudessem atuar de forma integrada durante a automação das células. Diante do novo cenário e adotando o mesmo critério da célula 1, novos resultados de tempos foram coletados entre a integração das células. De acordo com o novo modelo matemático elaborado para esse cenário, no período de um turno a integração conseguiu realizar a produção de 1183 peças. O resultado final pode ser observado na figura 3.



Figura 3. Resultado da implantação da integração entre as células.

Discussão

Após os resultados finais coletados foi possível concretizar a integração entre as células flexíveis de manufatura de forma paramétrica, mantendo a possibilidade de reconfiguração com mínimo de mudanças e investimentos. (HORTON, 2017). SCHOLZ-REITER (2007). Diante da mensuração dos sistemas, foi analisado na célula 1, no período de um turno líquido de trabalho, o valor de 1069 peças produzidas e após a integração com a participação da célula 2 a produção obteve 1183 peças, um aumento de 114 peças estampadas considerando o mesmo período de trabalho, um ganho equivalente a quase 11% da produtividade. (LAFOU et al., 2016). Outra condição que confirma os resultados práticos obtidos foram os cálculos matemáticos e as simulações virtuais desenvolvidos ao longo do trabalho para validar a integração.

Conclusões

O estudo dos tempos das operações manuais e seus respectivos elementos automatizados de forma teórica e prática, por meio da cronoanálise, permitiu determinar o tempo padrão de produção de uma peça unitária e o tempo de ciclo a partir da segunda peça de cada célula. Outro dado conclusivo de forma positiva foram os valores obtidos atrelados a uma situação real de trabalho, onde o período de um turno adotado foi o tempo líquido,

com o objetivo de aumentar estatisticamente a confiabilidade do processo ao ser aplicado no mundo das estamparias como cálculo de capacidade produtiva. A partir destes resultados, com o auxílio das simulações virtuais e considerando as variáveis produtivas de uma empresa automobilística, a integração proporcionou um aumento na produção com base em análises práticas e estatísticas.

Referências bibliográficas

- 1 WELLS, P. - **Sustainable business models and the automotive industry: A commentary.** Centre for Automotive Industry Research, Cardiff Business School, B45, Aberconway Building, Colum Drive, Cardiff CF10 3EU, UK. 2013. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0970389613000608>>. Acesso em: 27 jan. 2018.
- 2 LAFOU M., MATHIEU L., POIS S., ALOCHET M. **Manufacturing System Flexibility: Sequence Flexibility Assessment.** 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2016. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116311945>>. Acesso em: 24 fev. 2018
- 3 SCHOLZ-REITER, B; FREITAG, M. **Autonomous Processes in Assembly Systems.** In: CIRP Global Web Conference: Interdisciplinary Research in Production Engineering, 2007. 56p, Bremen, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785060700159X>>. Acesso em: 25 fev. 2017.
- 4 HORTON P. M., ALLWOOD J. M. **Yield Improvement Opportunities for Manufacturing Automotive Sheet Metal Components.** Journal of Materials Processing Technology. 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401361730211X>>. Acesso em: 24 mar. 2018
- 5 MARTINS P. G., LAUGENI F.P. **Administração da Produção.** 3ªEd. Saraiva, São Paulo, 2015.
- 6 EFTHYMIOUA K., PAGOROPOULOS A., PAPAKOSTAS N., MOURTZIS D., CHRYSOLOURIS G. **Manufacturing systems complexity: An assessment of manufacturing performance indicators unpredictability.** CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2014. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581714000339>>. Acesso em: 24 mar. 2018
- 7 WOHLKE G., SCHILLER E. **Digital Planning Validation in automotive industry.** Computers in Industry. 2005. Disponível em: < <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/digital-planning-validation-in-automotive-industry-ZRE1ROztjn>>. Acesso em: 24 mar. 2018

Comprovante de submissão do artigo

Paper Submission #6565 for RevistalEEE-AL

Entrada x



EIC-R9-LAT@ieee.org por pea.usp.br

21 de jun (Há 7 dias) ☆



para mim

THIS IS AN AUTOMATIC MESSAGE. PLEASE, DON'T REPLY.

If you notice any problems, please contact the program chair at EIC-R9-LAT@ieee.org.

Thank you for your submission to RevistalEEE-AL. Below is a copy of the information you submitted for your records.

Paper ID: 6565

Title: Integration of Flexible Manufacturing Cell Applied To Automotive Manufacturing Process Involving Stamping and Welding

Title: INTEGRAÇÃO DE CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA APLICADA A PROCESSO DE FABRICAÇÃO AUTOMOTIVA ENVOLVENDO ESTAMPAGEM E SOLDAGEM

Author1

Name: William Aparecido Celestino Lopes
Org: Universidade Santa Cecília - UNISANTA
Country: Brazil
[Email:wilnatelha@gmail.com](mailto:wilnatelha@gmail.com)

Author2

Name: João Inácio da Silva Filho
Org: Universidade Santa Cecília - UNISANTA
Country: Brazil
[Email:inacio@unisanta.br](mailto:inacio@unisanta.br)

Author3

Name: Maurício Fontoura Blos
Org: Universidade Santa Cecília - UNISANTA
Country: Brazil
[Email:mauricioblos@unisanta.br](mailto:mauricioblos@unisanta.br)

Author4

Name:

Org:

Country:

Email:

Author5

Name:

Org:

Country:

Email:

Other Authors:

Contact Author #: 1

Contact Alt Email: wilnatelha@gmail.com

Contact Phone: 5511973599558

Keywords: Flexible System; Manufacturing Cell; Digital Simulation; Stamping; Welding.

Abstract: Abstract— This work presents a study for the integration of two flexible manufacturing cells used in the production of stamped parts of the automobile segment with the aim of increasing productivity. The cell 1 carries out the stamping process by means of a robot and a press. However, in one of the operations an idle time was observed generating a bottleneck in the process. From the analysis of the physical environment and the times collected in each operation, the integration between cells 1 and 2, which currently performs the welding process, was proposed through automation. After the physical modifications, new data were collected and a mathematical model was developed to apply in both scenarios with the objective of measuring and comparing the performances of the process considering a work shift in a stamping process of an automobile company. For the validation of the results obtained through the equations, the values involving the times of each activity were simulated virtually.

Comments:

Paper: included

Comprovante indicando que o artigo está aguardando revisão



Revista IEEE América Latina

Based on OpenConf Conference Management System. See Copyright notice at the bottom of the page.

[Site's Home](#) [Email Chair](#)

Estado do artigo

Paper ID: 6565

Title: Integration of Flexible Manufacturing Cell Applied To Automotive Manufacturing Process Involving Stamping and Welding

Submission data: 2018-06-21

Last update:

Authors: William Aparecido Celestino Lopes

João Inácio da Silva Filho

Maurício Fontoura Blos

Paper awaiting Review.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística brasileira . 2017**. Disponível em:

<http://www.automotivebusiness.com.br/abinteligencia/pdf/Anuario_Anfavea_2017.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2018.

BADGUJARA T., WANIB V. **Stamping Process Parameter Optimization with Multiple Regression Analysis Approach**. Materials Today: Proceedings. 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317329942>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

BOGDAN S., LEWIS F., KOVACIC Z. **Manufacturing Systems Control Design. A matrix-based approach**. Publishing company Springer-Verlag London Limited, 2006.

BRACHT U., MASURAT T. **The Digital Factory between vision and reality**.

Computers in Industry 56. 2005. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/journal/computers-in-industry/vol/56/issue/4>>.

Acesso em: 24 mar. 2018

CAGGIANO A.; CAIAZZO F.; TETI R. **Digital factory approach for flexible and efficient manufacturing systems in the aerospace industry**. CIRP 37

Understanding the life cycle implications of manufacturing, 2015. 122 – 127.

Disponível em: <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115008562>>. Acesso em:

28 mai 2017.

CAGGIANO, A.; TETI, R. **Digital Manufacturing Cell Design for Performance Increase**. In:1st CIRP Global Web Conference: Interdisciplinary Research in

Production Engineering - Naples, Italy. 2012. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827112001424>>. Acesso em:

02 mar. 2017

EFTHYMIOUA K., PAGOROPOULOSA A., PAPAKOSTASA N., MOURTZISA D., CHRYSSOLOURISA G. **Manufacturing Systems Complexity Review: Challenges and Outlook**. 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2012. Disponível em:

< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711200282X>>.

Acesso em: 24 mar. 2018

EFTHYMIOUA K., PAGOROPOULOS A., PAPAKOSTAS N., MOURTZIS D., CHRYSSOLOURIS G. **Manufacturing systems complexity: An assessment of manufacturing performance indicators unpredictability**. CIRP Journal of

Manufacturing Science and Technology. 2014. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581714000339>>.

Acesso em: 24 mar. 2018

ELMOSELHY S. **Hybrid lean–agile manufacturing system technical facet, in automotive sector.** Journal of Manufacturing Systems. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612513000782>>. Acesso em: 24 mar. 2018

GROOVER M. P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura.** 3ªEd. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2012.

HORTON P. M., ALLWOOD J. M. **Yield Improvement Opportunities for Manufacturing Automotive Sheet Metal Components.** Journal of Materials Processing Technology. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401361730211X>>. Acesso em: 24 mar. 2018

JACK S. **Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization** - Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113002096>>. Acesso em: 24 mar. 2018

JIN C., KOO J., KANG C. **Fabrication of stainless steel bipolar plates for fuel cells using dynamic loads for the stamping process and performance evaluation of a single cell.** International journal of hydrogen energy. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319914011598>>. Acesso em: 13 mar. 2018

LAFOU M., MATHIEU L., POIS S., ALOCHET M. **Manufacturing System Flexibility: Sequence Flexibility Assessment.** 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116311945>>. Acesso em: 24 fev. 2018

MARTINS P. G., LAUGENI F.P. **Administração da Produção.** 3ªEd. Saraiva, São Paulo, 2015.

MARVEL J., NORCROSS R. **Implementing speed and separation monitoring in collaborative robot workcells.** Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584516302617>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

MICHALOS G., MAKRIS S., PAPAKOSTAS N., MOURTZIS D., CHRYSOLOURIS D. **Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach.** CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581709000467>>. Acesso em: 24 mar. 2018

MILLS R., NEWNES L. B., NASSEHI A. - **Balancing global customer needs and profitability using a novel business model for new model programmes in the automotive industry.** Committee of the Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116308538>>. Acesso em: 27 jan. 2018.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. **Simulation in Manufacturing: Review and Challenges.** CIRP 25 Sponsored DET 2014 Conference. 213 – 229. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114010634>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

NIEUWENHUIS P., KATSIFOU E. - **More sustainable automotive production through understanding decoupling points in leagile manufacturing** – Journal of Cleaner Production. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615002103>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

PAPAKOSTAS N., EFTHYMIU K., MOURTZIS D., CHRYSOLOURIS G. **Modelling the complexity of manufacturing systems using nonlinear dynamics approaches.** CIRP Annals Manufacturing Technology. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850609001103>>. Acesso em: 24 mar. 2018

POLONI G., SILVA L. **Estudo de produtividade na estamperia de terminais mqs (micro quadlock system) em uma autopeça de grande porte.** XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_113_745_15153.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2017.

SCHOLZ-REITER, B; FREITAG, M. **Autonomous Processes in Assembly Systems.** In: CIRP Global Web Conference: Interdisciplinary Research in Production Engineering, 2007. 56p, Bremen, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785060700159X>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

SELEIM A., AZAB A., ALGEDDAWY T. **Simulation Methods for Changeable Manufacturing.** 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827112002041>>. Acesso em: 24 mar. 2018

SPENA P. R., HOLZNER P., RAUCH E., VIDONI R., MATT D. T. **Requirements for the Design of flexible and changeable Manufacturing and Assembly Systems: a SME-survey.** Conference on MANUFACTURING SYSTEMS. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116000299>>. Acesso em: 24 mar. 2018

SUTARI W., YEKTI Y., SARI Y. **Analysis of working posture on muscular skeleton disorders of operator in stamp scraping in 'batik cap' industry.**

Industrial Engineering and Service Science. 2015. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915011907>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

WELLS, P. - **Sustainable business models and the automotive industry: A commentary**. Centre for Automotive Industry Research, Cardiff Business School, B45, Aberconway Building, Colum Drive, Cardiff CF10 3EU, UK. 2013. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0970389613000608>>. Acesso em: 27 jan. 2018.

WOHLKE G., SCHILLER E. **Digital Planning Validation in automotive industry**. Computers in Industry. 2005. Disponível em: < <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/digital-planning-validation-in-automotive-industry-ZRE1ROztjn>>. Acesso em: 24 mar. 2018