

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MURILO IANK
RAFAEL BASILIO DA SILVEIRA

ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE MONTAGEM

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
(Tcc2 – 1305727 - 1254472)

CURITIBA

2016

MURILO IANK
RAFAEL BASILIO DA SILVEIRA

ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE MONTAGEM

Proposta de Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues

CURITIBA

2016

TERMO DE ENCAMINHAMENTO

Venho, por meio deste termo, encaminhar para apresentação a monografia do Projeto de Pesquisa “ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE MONTAGEM”, realizada pelos alunos Murilo Iank e Rafael Basilio da Silveira, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues
UTFPR - Damec

Curitiba, 03 de junho de 2016.

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa “ANÁLISE DA OTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE MONTAGEM”, realizado pelos alunos MURILO IANK e RAFAEL BASILIO DA SILVEIRA, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues

DAMEC, UTFPR

Orientador

Prof. Dr. João Antônio Palma Setti

DAMEC , UTFPR

Avaliador

Prof. Me. João Carlos Roso

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Curitiba, 29 de Junho de 2016.

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso (ou Programa)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus e aos nossos pais que sempre nos apoiaram em nossas escolhas.

RESUMO

IANK, M; Silveira, R. B.. **Análise da otimização de uma linha de montagem.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Devido à necessidade da modernização tecnológica na indústria, este trabalho buscou analisar a otimização de uma linha de montagem para uma empresa do ramo automobilístico que atualmente é constituída de operações com interferência do operador, e deseja substituir por uma linha de produção completamente automatizada, com o objetivo de melhoras no desempenho global da linha de produção. Através de um caderno de encargos, entendeu-se a necessidade da empresa solicitante. Para especificar e selecionar quais são as melhores opções para as máquinas especiais utilizadas na linha de montagem, buscou-se informações para dimensionamento através de catálogos técnicos de diversos fabricantes. Para definir o sequenciamento das operações e o *layout* da ilha foram utilizadas simulações computacionais e métodos de otimização de *layout*. Sendo assim, foi possível analisar a viabilidade de automação da célula em uma linha de montagem.

Palavras-chave: Otimização. Automatização. Manufatura.

ABSTRACT

IANK, M; Silveira, R. B.. **Análise da otimização de uma linha de montagem.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Due to the urgency of technological breakthrough in the industry, the present study aims to analyze the optimization of an assembly line for a company in the automotive industry. It currently consists of operations with operator mediation and intends to replace with a fully automated production line which the main goal is to enhance the overall performance of the production line. Supported by a set of specifications, was observed the need of the applicant company. Several catalogs from numerous manufacturers were considered to specify and to select which machine would be the best option to be employed on the assembly line. To determine the operating sequence and the island layout were applied computer simulations and layout optimization methods. Thus, it was possible to examine the automation cell viability automation in an assembly line.

Keywords: Optimization, Automation. Manufacture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 - Dimensão da caixa utilizada para transportar as peças até a célula	11
Figura 3-1 - Modelo de Prensa Eletromecânica	17
Figura 3-2– Interno de um Cilindro Eletromecânico	18
Figura 3-3- Fluxograma de um <i>layout</i> baseado no processo	21
Figura 3-4 - Célula de manufatura automatizada.	22
Figura 4-1 - Inicialização do <i>FlexSim</i>	29
Figura 4-2 Superfície de Simulação Principal do FlexSim	30
Figura 4-3 Modelo de Simulação	32
Figura 4-4 <i>Fixed Resources</i>	33
Figura 4-5 Task Executer	35
Figura 4-6 Interface	36
Figura 4-7 Estatísticas no Layout do Modelo	38
Figura 5-1 - Ciclo cilindro eletromecânico prensa um	42
Figura 5-2 Ciclo cilindro eletromecânico prensa dois	43
Figura 5-3 – Diagrama de fluxo	45
Figura 5-4 – <i>Layout</i> da célula de manufatura	46
Figura 5-5 - <i>Layout</i> da célula utilizando o software <i>Flexsim</i>	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Contexto do Tema	9
1.2	Caracterização do Problema	9
1.3	Objetivos	9
1.4	Justificativa	10
2	DETALHAMENTO DO CADERNO DE ENCARGOS	11
3	Fundamentação Teórica	15
3.1	Prensa	15
3.2	Seleção de Sistemas de Medição	18
3.3	Batimento	19
3.4	Layouts de Sistemas de Manufatura	20
3.5	Projeto de Planejamento de Células	23
3.6	Simulação Computacional	24
4	METODOLOGIA	25
4.1	Descrição da Metodologia	25
4.1.1	Especificação e Dimensionamento das Máquinas	25
4.1.2	Planejamento de <i>Layout</i> em Células de Manufatura	26
4.1.3	Simulação Computacional	28
4.2	Justificativa da Metodologia	39
4.3	Produtos do Projeto	39
5	RESULTADOS	40
5.1	Determinação do Maquinário	40
5.1.1	Prensas	40
5.1.2	Batimento	43
5.2	Definição do <i>Layout</i>	44
5.3	Simulação no <i>Software Flexsim</i>	46
6	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A – FOLHA DE DADOS DA PRENSA UM	54
	APÊNDICE B – FOLHA DE DADOS DA PRENSA DOIS	55
	APÊNDICE C – CILINDRO ELETROMECAÂNICO DAS PRENSAS	56
	APÊNDICE D – SEQUÊNCIAMENTO DAS OPERAÇÕES	57
	APÊNDICE E – GRÁFICO DA OCUPAÇÃO DOS OBJETOS NAS CÉLULAS	58
	ANEXO A – INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO MEDIDOR DE BATIMENTO	61

1 INTRODUÇÃO

O mercado de produção de bens de consumo considera o foco na inovação como estratégia para que bons resultados sejam alcançados. Com os avanços tecnológicos somados à competitividade, à globalização e à relevância a satisfação do cliente, qualidade e preço são as diretrizes das organizações para conseguirem esse objetivo (HAMEL, 2002). Dessa forma, os principais fatores que motivam a modernização tecnológica na indústria são: condições de qualidade, competitividade e produtividade tanto nos mercados interno e externo e também as variações nas necessidades dos consumidores (MOLINA, 1995).

O uso de computadores para controlar processos industriais impulsionou a evolução dos sistemas de produção promovendo a criação de novos métodos organizacionais. Restringindo a ação humana no chão de fábrica e aumentando o número de pessoas envolvidas em programação, parametrização e supervisão do sistema para que opere dentro dos padrões ideais. Já que com o sistema automatizado, a mão de obra tem um aproveitamento qualitativo superior, diminuindo o número de pessoas que exercem funções arriscadas e repetitivas.

As variações nas necessidades dos consumidores podem fazer com que as organizações se tornarem cada vez mais flexíveis, e a reagirem rapidamente às mudanças no mercado. O que faz com que haja uma aproximação do cliente com o projeto, para obter um sistema mais dinâmico e cooperativista, com foco nas necessidades do cliente. Dessa forma os processos de manufatura devem acompanhar a evolução do mercado, com sistemas cada vez mais enxutos e flexíveis a fim de buscar vantagens competitivas para as organizações (FERREIRA, 2012).

Considerando que o progresso tecnológico é constante e que os benefícios desse progresso também são constantes a substituição dos equipamentos pode gerar métodos mais eficientes de produção. Porém os investimentos devem ser analisados de acordo com critérios financeiros, econômicos e imponderáveis. Este

último engloba fatores não conversíveis em dinheiro isto é o investimento pode ter repercussões não quantificáveis (FILHO; KOPITTKKE, 2010).

1.1 Contexto do Tema

O presente trabalho está sendo tratado a fim de analisar a viabilidade de implementação de uma linha de produção que atualmente é constituída de operações com interferência do operador, por uma linha de produção completamente automatizada, e com isso obter melhoras no desempenho global da linha produção.

O desenvolvimento do projeto abrange diversas áreas da Engenharia Mecânica. Necessitando dos conceitos de automação para o desenvolvimento da linha, manufatura para otimizar o layout da célula, metrologia para a medição do batimento e projetos para a especificação e seleção dos maquinários necessários.

Com a automatização de uma linha de processo é possível obter aumento da qualidade, competitividade e produtividade do produto e é com esse foco que a empresa automobilística em questão pretende com a otimização do processo.

1.2 Caracterização do Problema

O intuito desse presente trabalho trata-se em desenvolver e analisar a viabilidade de automatização de uma linha de montagem situada em uma única ilha para a empresa X, de acordo com os requisitos do caderno de encargo, que está detalhado no capítulo dois. Sendo os principais pontos: determinação das máquinas necessárias, sequenciamento das operações e definição do *layout* da célula de manufatura.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a análise da otimização de uma linha de montagem através da validação da simulação computacional comparando o tempo obtido com o tempo requerido no caderno de encargos.

Os objetivos complementares do presente trabalho são:

- Determinar as máquinas utilizadas na linha de montagem de acordo com as variáveis definidas no caderno de encargos;
- Definir o sequenciamento das operações e o layout da ilha pela aplicação de técnicas de otimização de processo para facilitar a simulação computacional;

1.4 Justificativa

A real necessidade de uma empresa do ramo automobilístico de automatizar uma linha de montagem justifica o projeto em questão. A automatização da célula de manufatura possibilita uma redução dos custos de produção, melhoria na qualidade dos itens e aumento da produtividade da linha e como consequência um aumento no lucro (MOLINA 1995).

Segue as áreas de conhecimento envolvidas no trabalho:

- Manufatura e Automação: no entendimento da linha de produção, das etapas sequências da manufatura e definição do layout;
- Metrologia: na medição e comparação da conformidade das peças.

A partir do caderno de encargos fornecido pela empresa é possível desenvolver a célula de manufatura que atenda aos requisitos impostos pela empresa solicitante.

Com a realização desse trabalho pode-se aprofundar os conhecimentos nas áreas acima descritas e também aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em um projeto real.

2 DETALHAMENTO DO CADERNO DE ENCARGOS

O caderno de encargos é um documento fornecido pela empresa X, que contém todos os requisitos necessários para o correto projeto e dimensionamento da linha de montagem. Abaixo, segue o detalhamento do caderno de encargos:

A empresa X, deseja produzir o conjunto Y, que é composto pelas peças A, B, C e D. A célula de manufatura deve ser constituída por:

- Dois robôs (de fornecimento da empresa X);
- Estação de batimento da peça B com a peça C;
- Estação de prensagem da peça A com a peça D;
- Estação de prensagem do conjunto A/D com o conjunto B/C;
- Braço Pneumático para retirada de conjuntos montados (de fornecimento da empresa X).

As peças chegarão sequenciadas à ilha em caixas (as caixas são de fornecimento da empresa X). Estas caixas deverão ser movimentadas dentro da ilha. A caixa irá conter quatro peças (duas direitas e duas esquerdas), que são: A com D (peça D estará dentro da peça A) e B com C (peça C estará parafusada na peça B).

A dimensão da caixa é de 600 milímetros por 700 milímetros, conforme mostrado na figura 2.1.

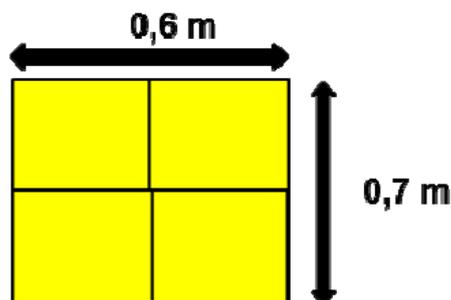


Figura 2-1 - Dimensão da caixa utilizada para transportar as peças até a célula
Fonte: Adaptado do Caderno de Encargos

A célula de manufatura deve possuir um dispositivo que faça a entrada das caixas na ilha, um transporte das caixas dentro da ilha e um dispositivo que faça a saída das caixas da célula. Deve ser utilizado um robô para alimentação das peças na prensa um e na estação de batimento e outro robô para alimentar a prensa dois.

2.1. Estação de Batimento

O conjunto B-C deve passar por um processo de medição de batimento axial da peça B com a peça C. A estação de batimento deve seguir os seguintes processos:

- Medição do batimento da peça B em relação à peça C;
- O equipamento deve girar o conjunto, controlando o mínimo de uma volta completa para realizar a medida do batimento.

Esta estação deve comparar o resultado obtido com o valor da tolerância (tabela 2.1) e armazenar a informação de processo aprovado ou reprovado para posterior marcação na peça na estação de saída.

O tempo máximo para executar a medição do batimento é de 12 segundos

Tabela 2. 1 – Batimento

Batimento	Ø B	Ø C	Ø Batimento	Tolerância axial
M (mm)	270 mm	42 mm	235 mm	0,053 mm

Fonte: Caderno de encargos adaptado

2.2. Estação de Prensagem Um

A primeira estação de prensagem deve prensar a peça A com a peça D.

O dimensionamento da prensa deve atender os requisitos conforme tabela 2.2.

- Temperatura: 35°C;
- Massa da ferramenta: 100 kg;
- Força de prensagem: 50.000 N;
- Curso: 125 mm;

Tabela 2-2 – Ciclo Prensa Um

<i>Passo</i>	<i>Duração do passo [s]</i>	<i>Velocidade do passo [m/s]</i>	<i>Força do processo [N]</i>
1	0,850	0,220	
2	2,000	0,050	
3	10,000	0,010	50000
4	2,000	-0,050	50000
5	0,850	-0,220	
6	1,300	0,000	

Fonte: Caderno de encargos adaptado

A prensa dever ter capacidade para realizar a prensagem aplicando uma força de até 100.000 N.

O tempo máximo para executar a prensagem um é de 17 segundos.

2.3. Estação de Prensagem Dois

A primeira estação de prensagem deve prensar a peça B com a peça C.

O dimensionamento da prensa deve atender os requisitos conforme tabela 2.3.

- Temperatura: 35 °C;
- Massa da ferramenta: 150 kg;
- Força de prensagem: 50.000 N;
- Curso: 200 mm;

Tabela 2-3– Ciclo Prensa Dois

<i>Passo</i>	<i>Duração do passo [s]</i>	<i>Velocidade do passo [m/s]</i>	<i>Força do processo [N]</i>
1	0,550	0,220	
2	2,400	0,050	
3	10,000	0,010	50000
4	2,400	-0,050	50000
5	0,550	-0,222	
6	1,100	0,000	

Fonte: Caderno de encargos adaptado

A prensa dever ter capacidade para realizar prensagem aplicando uma força de até 100.000 N.

As duas estações de prensagem devem armazenar a informação de processo aprovado ou reprovado para posterior marcação na peça na estação de saída.

O tempo máximo para executar a prensagem dois é de 17 segundos.

2.4. Estação de Saída

O conjunto montado deve ser retirado da prensa dois. A estação de saída deve conter um sistema de identificação de peças aprovadas e reprovadas, conforme informações recebidas das outras estações (batimento, prensagem um e prensagem dois).

O tempo máximo para fabricação de cada conjunto é de 55 segundos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta basicamente três pontos distintos. O primeiro é sobre os equipamentos que serão utilizados na célula de manufatura, o segundo ponto é para auxiliar na definição do layout e o último é sobre simulação computacional.

3.1 Prensa

De acordo com Le Grand, Colvin e Stanley (1955) prensagem é a arte de unir peças, estampar, cortar e moldar. As ferramentas de prensagem são divididas em que geram cortes nas peças e as que estampam ou unem o material, obtendo a forma desejada do produto. Uma pressão externa aplicada permite a união de sistemas como, por exemplo, flange/bucha.

Uma prensa pode ser fabricada com a utilização de um cilindro eletromecânico para altas capacidades de carga. A mecânica deste atuador consiste na utilização de fuso de esfera ou fuso planetários de roletes com uma grande variedade de diâmetro e passo, juntamente com um servo motor. O fuso altera o movimento rotativo em um movimento linear. A porca do fuso e a haste estão conectadas, permitindo assim um movimento para dentro e para fora da carcaça (BOSCH REXROTH AG, R999001205, 2015).

Sistemas de controle eletromecânico utilizando um servo motor permitem uma capacidade de programação diversificada, permitindo algumas vantagens que seriam dificilmente obtidas em outros sistemas, como exemplo, utilizando um cilindro hidráulico. Vantagens como o controle de força, capacidade de posicionamento absoluto e aceleração e desaceleração ajustáveis. Em relação às considerações ambientais, esse tipo de atuador elimina problemas de vazamentos de fluidos hidráulicos (PARKER HANNIFIN CORPORATION, HY08-0890-B1, 2009).

De acordo com o catalogo R979038374/05.2014 (BOSCH REXROTH AG, R979038374, 2014) algumas das vantagens do cilindro eletromecânico são:

- Baixo impacto ambiental, pois não possui risco de vazamento;

- Alta eficiência energética;
- Pode ser utilizado em diversos ambientes, como em indústrias de fundição, siderúrgicas e alimentícias;
- É um equipamento robusto, porém muito compacto requerendo pouco espaço para a integração da máquina;
- Vida útil elevada devido a utilização de fusos de esferas ou de roletes;
- Exatidão de posicionamento, acionamento robusto e alta dinâmica;
- Rastreabilidade do processo;
- Ajustável para diversas aplicações;

Existe uma ampla gama de aplicação para os cilindros eletromecânicos e devido suas características oferecem grandes vantagens no que diz respeito a precisão, regulagem e dinâmica, permitindo assim uma elevada qualidade nos processos produtivos, redução no tempo de ciclo e aumento da flexibilidade. Adequados para aplicações com espaço limitado, devido a sua construção compacta (BOSCH REXROTH AG, R999001205, 2015).

Uma área de aplicação seria a de junção de peças. A figura 3.1 representa um modelo de uma prensa eletromecânica.

Exemplos de aplicação



Figura 3-1 - Modelo de Prensa Eletromecânica
Fonte: BOSCH REXROTH AG, 2015.

De acordo com o catalogo R999001205 (BOSCH REXROTH AG, R999001205, 2015) para a seleção ideal de um cilindro eletromecânico, levando em conta os pontos de vista técnico e econômico, alguns parâmetros influenciam na escolha do equipamento:

- Carga (força no processo, massas e duração do funcionamento);
- Dinâmica (aceleração, velocidade e tempo de ciclo);
- Geometria (área de trabalho, área de montagem e curso);
- Condições ambientais e de construção (posição de montagem, possibilidades de fixação, temperatura, umidade e vibrações);

A figura 2.2 representa a vista parcial interna de um cilindro eletromecânico.

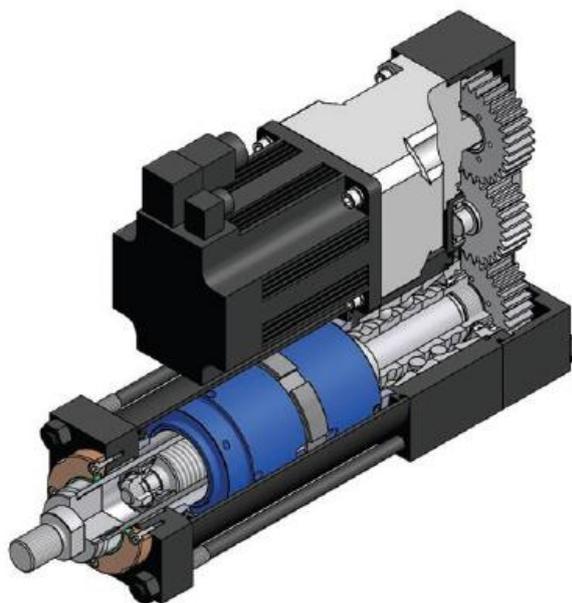


Figura 3-2– Interno de um Cilindro Eletromecânico
Fonte: PARKER, 2014

3.2 Seleção de Sistemas de Medição

Devido à evolução tecnológica, permitiu-se uma enorme diversidade de sistemas de medição para área de metrologia. Para um mesmo mensurando existem no mercado diversos sistemas de medição diferenciando-os de acordo com o princípio de operação, nível de sofisticação e automação, nível de incerteza de medição que pode ser obtido e aos custos inicial e operacional em virtude de diversos fabricantes e marcas (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008).

Especificar um sistema de medição exige reflexão e necessita certo investimento. De acordo com os autores:

“O montante de investimento inicial, os custos operacionais, a confiabilidade metrológica, a produtividade e a manutenibilidade, são alguns dos fatores técnicos, econômicos e logísticos de grande impacto que decorrem da seleção efetuada” (ALBERTAZZI; SOUSA, 2008, p. 308).

Alguns problemas podem ocorrer caso o sistema de medição para realizar uma tarefa de medição seja escolhido de forma errônea, tais problemas são:

- Não atender as necessidades de medição;

- Elevada manutenção no sistema de medição;
- Perda de tempo e elevado custo da operação;
- Custos elevados de calibração;

A ampla caracterização e detalhamento da tarefa de medição são necessários para escolher de maneira adequada o sistema de medição, sem isso não é possível uma seleção consciente que atenda todos os aspectos da aplicação, portanto, deve ser bem definido todos os parâmetros a serem medidos.

O objeto a ser medido deve ser caracterizado detalhadamente. De maneira bem definida. É necessário determinar a posição a medir, quantas vezes medir e o porquê medir (conhecer a finalidade das medições).

Se a medição será em laboratório ou em uma linha de produção e ter especificado as condições do ambiente como a faixa de temperatura, vibrações entre outros.

Ainda segundo os autores Albertazzi e Sousa (2008) são de suma importância que a faixa de valores esperada e a tolerância do mensurando seja conhecida, assim como o tempo de medição que deve ser executado.

Em processos de fabricação de alta produtividade, é necessário elevado grau de automação no sistema de medição, possibilitando uma velocidade maior e um registro das medições.

3.3 Batimento

Erros de ovalização, conicidade e excentricidade, ocorrem na usinagem de elementos de revolução como cilindros e furos, gerando variações em suas formas e posições. Estes erros têm aceitação dentro de certos limites, contanto que não comprometam o funcionamento dessas peças de revolução. Sendo necessário mensurar esses elementos através de um dimensionamento conveniente (TELECURSO, 2000).

Além dessas variações, outra dificuldade encontrada é determinar na peça o seu verdadeiro eixo de revolução. Em situações como essa, é necessário que a inspeção ou medição deva ser realizada tomando como base outras referências que estejam relacionadas ao eixo de simetria. Uma composição de erros ocorre devido a essa variação de referencial, envolvendo a superfície de referência, a superfície medida e a linha de centro teórica (TELECURSO, 2000).

O termo desvios de batimento é a conceituação que se dá em virtude desses desvios compostos de forma e posição de superfície de revolução. A definição de batimento segundo o Telecurso (2000) é: “O batimento representa a variação máxima admissível da posição de um elemento, considerando ao girar a peça de uma rotação em torno de um eixo de referencia, sempre que haja deslocamento axial”. Para cada posição medida é empregado separadamente uma tolerância de batimento.

3.4 Layouts de Sistemas de Manufatura

Segundo Ferreira (2012), pode ser identificado cinco tipos de *layouts* para sistemas de manufatura: o *job shop*, o *flow shop*, o de células interligadas, o de projeto e o de processos contínuos.

Segue uma descrição de alguns tipos de layouts:

Job shop: é baseado no processo e caracterizado pela grande variedade de peças, necessita de máquinas flexíveis que são agrupadas de acordo com sua função, conforme segue na figura 3.3 (FERREIRA, 2012).

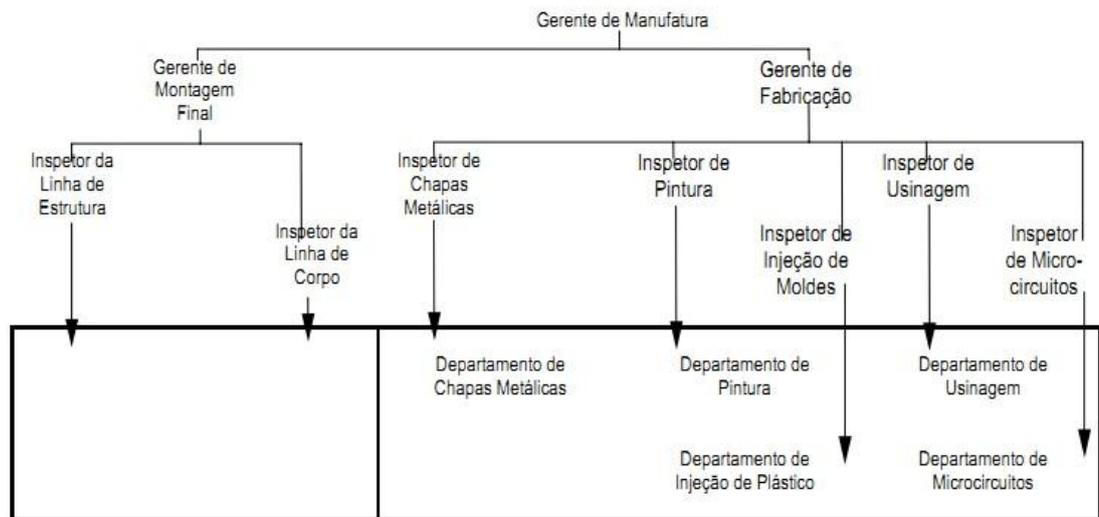


Figura 3-3- Fluxograma de um layout baseado no processo

Fonte: Ferreira, 2012

Ainda de acordo com Ferreira (2012), o *layout Flow Shop* é orientado para o produto e caracteriza-se pela baixa flexibilidade e alta taxa de produção. Frequentemente, para esse *layout*, toda a fábrica é projetada para produzir apenas um produto específico.

Para o presente trabalho, em relação a *layout*, o foco será em células de manufatura. Que segundo MUTHER (1997), pode ser definida como uma área de produção separada que possui uma sequência integrada de fluxo de materiais, preparada para produzir um grupo segregado de peças e deve trabalhar como uma unidade operacional, como segue na figura 3.4.

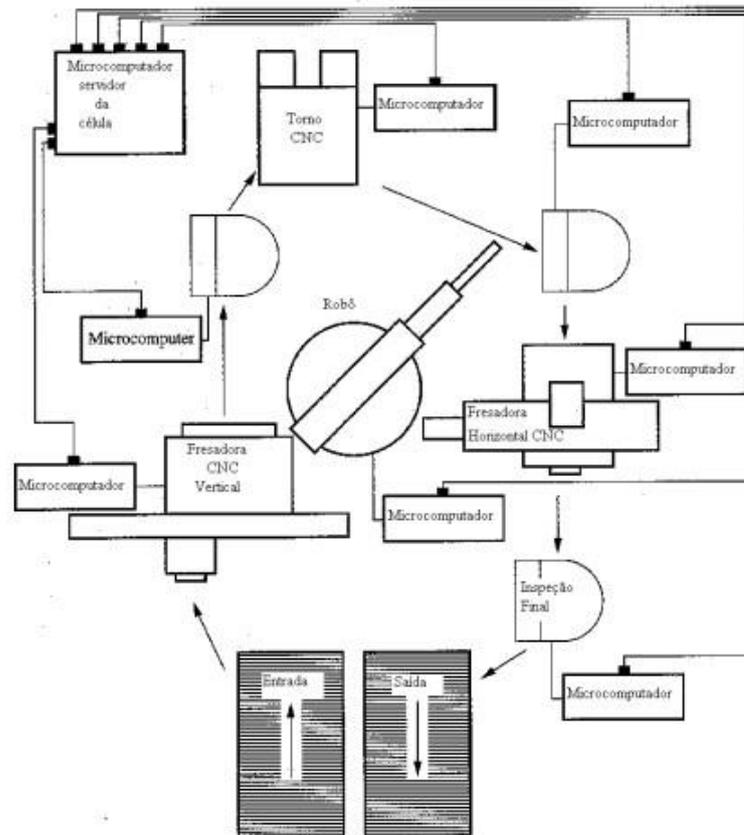


Figura 3-4 - Célula de manufatura automatizada.

Fonte: Ferreira, 2012

As células de manufatura necessitam ser interligadas e itens similares devem ser agrupados em famílias, pois peças de tamanho e forma semelhantes geralmente podem ser processadas pelo mesmo conjunto ou sequência de processos de manufatura. O controle de estoques e informações é feito de forma singular, isto é, cada célula tem seu controle (FERREIRA, 2012).

Podem-se citar alguns pontos chaves deste sistema:

- As máquinas são agrupadas conforme a sequência dos processos;
- Apenas uma peça é feita por vez;
- O tempo de ciclo é quem dita a taxa de produção da célula.

Outro ponto chave é a flexibilidade em sistemas de manufatura celular, pois permite que o sistema se adapte com as mudanças na demanda do consumidor.

Uma célula flexível deve possuir mudança rápida de ferramenta, detecção automática de erro e ser capaz de alterar as operações e processos para peças diferentes e conseguir alterar sua produtividade. Dessa forma, a célula flexível, quando comparado tipos de *layouts*, torna o tempo de produção significativamente menor, pois como peças similares são agrupadas, elas são manuseadas menos e o tempo de *setup* é mais curto.

A qualidade é controlada dentro da célula. Peças defeituosas não podem sair da célula sem a devida identificação, toda peça deve ser checada para então passar para a próxima etapa (FERREIRA, 2012).

3.5 Projeto de Planejamento de Células

O planejamento Sistemático de *Layout* usa procedimentos, convenções e etapas. Ajudando os planejadores de *layout* a economizar tempo e esforço, pois a cada fase projeto eles sabem o que deve ser feito (LEE, 1998).

Para Muther (1997), o planejamento sistemático e simplificado de célula de manufatura é útil quando:

- O projeto é pequeno ou é um subprojeto de uma célula maior;
- É necessário fazer o planejamento de maneira mais eficaz e com maior agilidade;
- A revisão e aperfeiçoamento de células existentes é preciso;
- Deseja-se mostrar a oportunidade de otimização utilizando uma metodologia de planejamento de célula.

Segundo Muther (1997), o Planejamento Sistemático e Simplificado de Células de Manufatura, SPMC Simplificado, é dividido em seis procedimentos. E é adequado para planejar pequenas células de manufatura.

Os seis passos são divididos em:

1. Orientação do Projeto;
2. Classificação das Peças;

3. Análise do Processo;
4. Planos de União das Células;
5. Selecionar o Melhor Plano de Célula;
6. Detalhar e implementar o layout.

3.6 Simulação Computacional

A simulação é a imitação de um sistema real para avaliação e melhoria do seu desempenho (HARRELL, 2011). Pela criação de uma história artificial da realidade é possível realizar observações e interferências nas características de operação do sistema real apresentado (BANKS, 2000).

De um modo geral, a simulação é a importação da realidade onde se pode estudar o comportamento do processo sob diversas condições, sem os custos e riscos envolvidos em um estudo tradicional (LAW e KELTON, 2000).

Segundo Kumar e Phrommathed (2006), antes de qualquer implantação no sistema produtivo, realizar a simulação computacional pode reduzir com sucesso o risco de ineficácia de uma operação.

Um exemplo de software para simulação computacional de processos de manufatura é o *FlexSim*, que é uma poderosa ferramenta que ajuda engenheiros a tomar decisões inteligentes para o layout e a operação de um sistema

4 METODOLOGIA

O presente trabalho pode ser classificado como uma análise da otimização de uma linha de montagem a fim de atender todas as necessidades da empresa solicitante de acordo com o caderno de encargos disponibilizado pela mesma. Para cada etapa do projeto algumas metodologias foram utilizadas.

A primeira etapa para execução do projeto foi o entendimento completo do caderno de encargos com o objetivo de compreender claramente as necessidades da empresa solicitante. Conhecendo todos os detalhes do caderno de encargos e através de uma metodologia de pesquisa que pode ser dita como bibliográfica, pois utiliza conceitos na área de Engenharia Mecânica publicados por outros autores, foi possível dividir em posteriores etapas como:

- Determinação das Máquinas necessárias na célula;
- Planejamento de Layout em Células de Manufatura;
- Simulação Computacional;
- Avaliação e análise da otimização do processo com base na comparação entre o tempo requisitado no caderno de encargos e o tempo obtido com a simulação.

4.1 Descrição da Metodologia

4.1.1 Especificação e Dimensionamento das Máquinas

Através da fundamentação teórica foi possível se aprofundar nos processos de prensagem, medição do batimento e quais máquinas e instrumentos são responsáveis por realizar esses processos. Sendo assim, através de catálogos técnicos de diversos fabricantes é possível determinar as prensas e o medidor de batimento que atendem os requisitos conforme o caderno de encargos.

Para o dimensionamento de ambas as prensas, o fabricante Bosch Rexroth disponibiliza o *Online Catalog Linear Motion Technology* (Bosch Rexroth 2016) que

de maneira interativa permite dimensionar, utilizando um configurador, o cilindro eletromecânico incluindo o servomotor e drive através dos requisitos técnicos do processo, gerando gráficos de velocidade, posição e tempo durante determinado movimento, desenho técnico 2D e 3D e também folha de características do produto.

Para selecionar o medidor de batimento inicialmente atentou-se aos requisitos do caderno de encargos. Alguns pontos fundamentais que devem ser analisados na determinação do equipamento são:

- Tipo de batimento que se deseja medir (radial ou axial);
- Dimensões das peças que necessitam ter o batimento medido;
- Necessidade de rastreabilidade da peça depois de concluída a medição;
- Tempo máximo de medição.

Para concluir a seleção do equipamento, deve buscar fabricantes de equipamentos de metrologia e selecionar, conforme os catálogos técnicos disponíveis, o medidor de batimento que atenda todos os requisitos necessários.

Os dois robôs, as duas prensas e o instrumento de medição formam a linha de montagem cuja disposição pode ser otimizada por meio de metodologias de planejamento de *layout* em células de manufatura e simulação computacional.

4.1.2 Planejamento de *Layout* em Células de Manufatura

A metodologia a ser aplicada para a definição do *layout*, segundo Muther (1997), é objetiva e prática e com foco no projeto de células. Aplicando esta metodologia, obtém-se a célula projetada, planejada e programada para implantação.

Como descrito na fundamentação teórica, a metodologia para o planejamento de células de manufatura consiste em seis procedimentos.

4.1.2.1 Orientação do Projeto

O primeiro passo do planejamento é estabelecer um projeto organizado. Nessa etapa é necessário identificar o projeto, quais são os objetivos e sua situação atual, conhecer o espaço físico e documentar os indicadores de planejamento. Deve ser estabelecido um calendário, com data de início e fim, para cada tarefa e mostrado o respectivo responsável pela sua realização. Para concluir esse passo é preciso estar com o projeto entendido e programado.

4.1.2.2 Classificação das Peças

A célula envolve um grupo segregado de peças, dessa forma, é necessário agrupar as peças que possuem características físicas semelhantes e passam pelos mesmos processos. O resultado dessa etapa é uma listagem das peças inclusas na célula.

4.1.2.3 Análise do Processo

Etapa que determina as operações, a sequência do processamento e os equipamentos necessários. Para tornar a célula mais visível, é preciso preparar um diagrama de fluxo e equipamento, onde há um inter-relacionamento entre as peças com os processos.

4.1.2.4 Planos de União de Células

Neste passo deve ocorrer a integração entre as peças e os processos e também os métodos de movimentação e controle. Primeiramente deve realizar um *layout* preliminar dos equipamentos da célula, escolher os meios de movimentação das peças e então desenhar graficamente dois ou mais planos alternativos de células. Cada plano de célula deve incluir: *layout* dos equipamentos de operação, os métodos de movimentação das peças e as características operacionais da célula.

4.1.2.5 Selecionar o Melhor

Para selecionar o plano de célula mais adequado deve-se avaliar qual dos planos de célula apresenta a melhor opção tanto em relação a custos quanto a fatores intangíveis. Para facilitar a comparação entre os planos, é necessário um formulário contendo os custos de investimentos e de operação, avaliar plano contra plano e então selecionar o melhor plano.

4.1.2.6 Detalhar e Implementar

Na última etapa é certificado se todos os detalhes foram abrangidos, para isso o plano de célula selecionado é reproduzido de forma mais detalhada, todas as ferramentas e acessórios devem ser projetados e deve mobilizar os envolvidos na implementação.

Após concluir todos esses passos o resultado é o plano de célula aprovado e detalhado para implementação.

4.1.3 Simulação Computacional

Para o presente trabalho o programa selecionado para a simulação do processo de manufatura é o *Flexsim*, um *software* disponível em versões gratuitas para estudantes. Com o *FlexSim*, é possível realizar a modelagem 3D e simulação dos planos de células obtidos no item 4.1.2, dessa forma a seleção do plano de célula mais adequado terá mais uma ferramenta como suporte. Um dos pontos que pode ser levado em consideração é o tempo de ciclo para os diferentes planos de célula.

Este capítulo apresenta noções básicas das ferramentas do *Flexsim* como o ambiente de modelagem, *flowitens*, *fixed resources*, *mobile resources*, editar objetos, ligar objetos (conexões) e estatísticas para simulação simples.

4.1.3.1 Ambiente de Simulação

O *Flexsim* possui uma interface bastante eficaz permitindo que usuários de todos os níveis possam manuseá-lo. Os objetos podem ser explorados e

modificados, alterando assim o seu comportamento, com a finalidade de atender às exigências de modelagem.

Para se assemelhar a disposição física do sistema que esta sendo modelado, os objetos de modelagem são normalmente colocados em um *layout*, conhecido como superfície de simulação. Os objetos são conectados para representar o fluxo de itens através do modelo e permitir a comunicação entre eles.

4.1.3.1.1 Tempo e Espaço

As unidades de medida como o tempo e espaço são determinadas pelo usuário, através de uma tela que se inicializa com o *Flexsim* conforme a figura 4.1. Toda a entrada de dados para o modelo deve ser consistente com estas unidades. A dimensão padrão de espaço na tela de *layout* da simulação é uma unidade de tamanho do grid 1x1x1.



Figura 4-1 - Inicialização do *FlexSim*

FONTE: *Software Flexsim*

4.1.3.1.2 Tela Principal

A tela principal do *Flexsim* é dividida basicamente em quatro partes, conforme a figura 4.2:

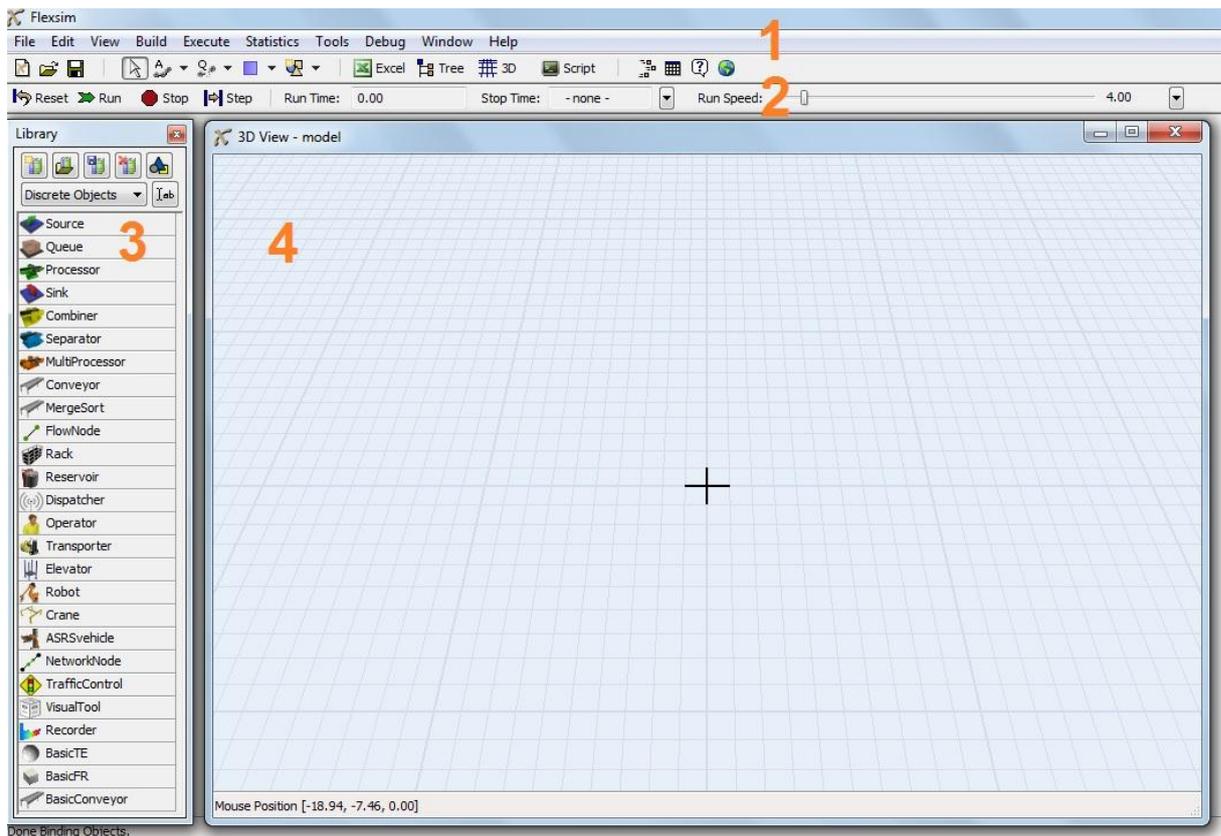


Figura 4-2 Superfície de Simulação Principal do FlexSim
FONTE: Software Flexsim

Sendo:

- 1: Barra de Ferramenta Principal - Conjunto de opções do Microsoft Windows bem como algumas ferramentas do *Flexsim*.

- 2: Painel de Controle de Simulação – Com os botões *Reset* que inicializa o modelo, *Run* que inicia a execução do modelo, *Stop* que interrompe o modelo podendo ele ser reiniciado do mesmo tempo que parou, *Step* que move a simulação adiante para o próximo evento programado no modelo. Além dos campos de controle de tempo como o *Run Time* que exibe o tempo atual do modelo em unidades de tempo de simulação, o *Stop Time* que tem a função de determinar a parada da simulação e por fim o *Run Speed* que define o número de unidades de tempo de simulação por segundo do tempo real.

- 3: Grade de Bibliotecas – Objetos que podem ser usados na simulação, basta clicar no objeto desejado e arrastar até a superfície de modelagem ou *layout*.
- 4: Janela de visualização do modelo – Superfície onde o modelo de simulação será construído e trabalhado.

4.1.3.2 Flowitens

As simulações normalmente envolvem entidades que se movem através de um fluxo passando por alguns processos. No *Flexsim* as entidades são nomeadas de *Flowitens* e sem eles não existe uma necessidade para simulação. Eles podem ser caixas, cilindros, produtos, documentos, clientes entre outras inúmeras opções que deve ser escolhido de acordo com o que está sendo simulado.

Para interagir com *flowitens* a simulação precisa de objetos que executam uma operação, criam um atraso ou movem os itens. Esses objetos estão divididos em duas categorias no *Flexsim*: *fixed resources* e *mobile resources*. Um modelo de simulação é a composição desses objetos (*flowitens*, *fixed resources* e *mobile resources*) que colocados juntos de modo a simular o comportamento real de um sistema. Um exemplo de modelo de simulação pode ser visto na figura 4.3.

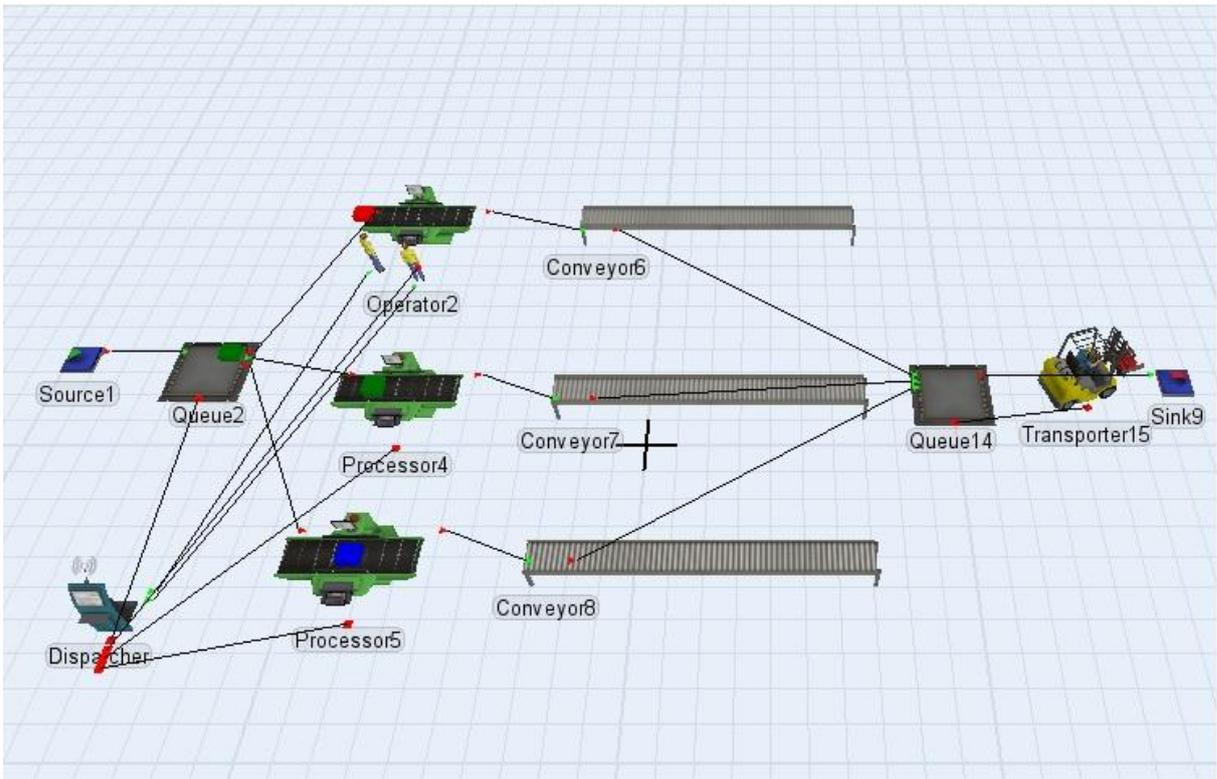


Figura 4-3 Modelo de Simulação
FONTE: Software Flexsim

4.1.3.3 Fixed Resources

Os *Fixed Resources* são objetos referidos como “fixos”, porque eles são objetos estacionários e uma vez colocados na superfície do modelo, tender a ficar naquele lugar a menos que seja novamente manipulado para outro lugar pelo usuário. Os *Fixed Resources* que enviam, recebem e realizam atividades/operações dos *Flowitens*. São os objetos mais comuns na simulação e são representados pelos símbolos conforme figura 4.4.

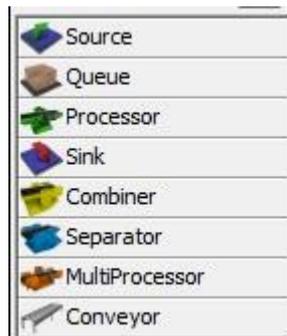


Figura 4-4 Fixed Resources
FONTE: Software Flexsim

Os *Fixed Resources* são:

Source:

- Cria e libera *Flowitens*.
- O tempo entre chegadas, horários de chegada, sequência de chegada de um *Flowitem* é determinado através de parâmetros na ferramenta *Source*.

Queue:

- Armazena temporariamente *flowitens* quando os objetos a jusante não pode aceita-los.
- Pode receber várias *flowitens* de cada vez.
- Pode processar *flowitens* em lote.
- Recebe *flowitens* até a sua capacidade máxima específica for atingida.

Processor:

- Processa ou força o atraso de um *flowitem*.
- Pode incorrer em paradas programadas ou não programadas.
- Pode manipular um *Flowitem* de cada vez ou vários de forma independente.

Sink:

- Recebe e remove os *flowitens* da simulação.

Combiner:

- Tem as mesmas características de um *Processor*, diferenciando no fato que ele tem uma função a mais, a de receber vários *Flowitens* e agrupa-los, mas não pode separa-los.

Separator:

- Tem as mesmas características de um *Processor*, diferenciando no fato que aceita apenas uma entrada de cada vez e ao receber um *Flowitem* ele divide em dois novos objetos.

MultiProcessor:

- Realiza um conjunto de operações ou processos em sequência.
- Operações/processos podem ter tempos separados e chamar recursos separadamente.
- Manipula um *Flowitem* por vez.

Conveyor:

- Movimenta *Flowitems* por mais de um caminho fixo (não necessariamente linear) em uma determinada velocidade.
- *Flowitems* entram e saem de um *Conveyor* de cada vez.
- Capacidade limitada pelo número de *Flowitems* ou espaço disponível no *Conveyor*.
- O espaçamento entre *Flowitems* podem ser especificados.

4.1.3.4 Mobile Resources

O deslocamento de um *Flowitem* de um recurso para o outro ao longo da simulação pode ocorrer de diversas maneiras. Se não definido de nenhuma forma, por padrão, os *Flowitens* passam de um para outro *Fixed Resource* instantaneamente, não levando em conta na simulação o caminho percorrido. Porem existe maneiras de o *Flowitem* movimentar de um *Fixed Resource* para outro através do uso de objetos intermediários.

Os objetos intermediários podem ser fixos ou móveis. O fixo seria o *Conveyor* e os móveis são conhecidos como *Task Executors* que podem ser observados na figura 4.5. Estes são objetos que tem mobilidade dentro de um modelo, e se movem ao longo do *layout* executando as tarefas que foram atribuídas a eles.

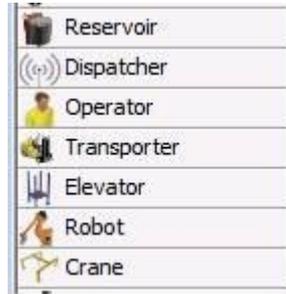


Figura 4-5 Task Executer
FONTE: Software Flexsim

4.1.3.5 Editar Objetos

O que caracteriza a operação de uma simulação são as variáveis operacionais atribuídas para cada objeto executar. A definição de variáveis depende da aplicação em particular. No *Flexsim*, basta um duplo clique sobre o objeto para abrir a interface conforme figura 4.6, sendo esta usada para definir o que o objeto faz e como ele se comporta. Por exemplo, os parâmetros que determinam por quanto tempo os *Flowitens* permaneceram dentro do objeto, para onde eles irão quando forem liberados e como eles irão para o próximo objeto.

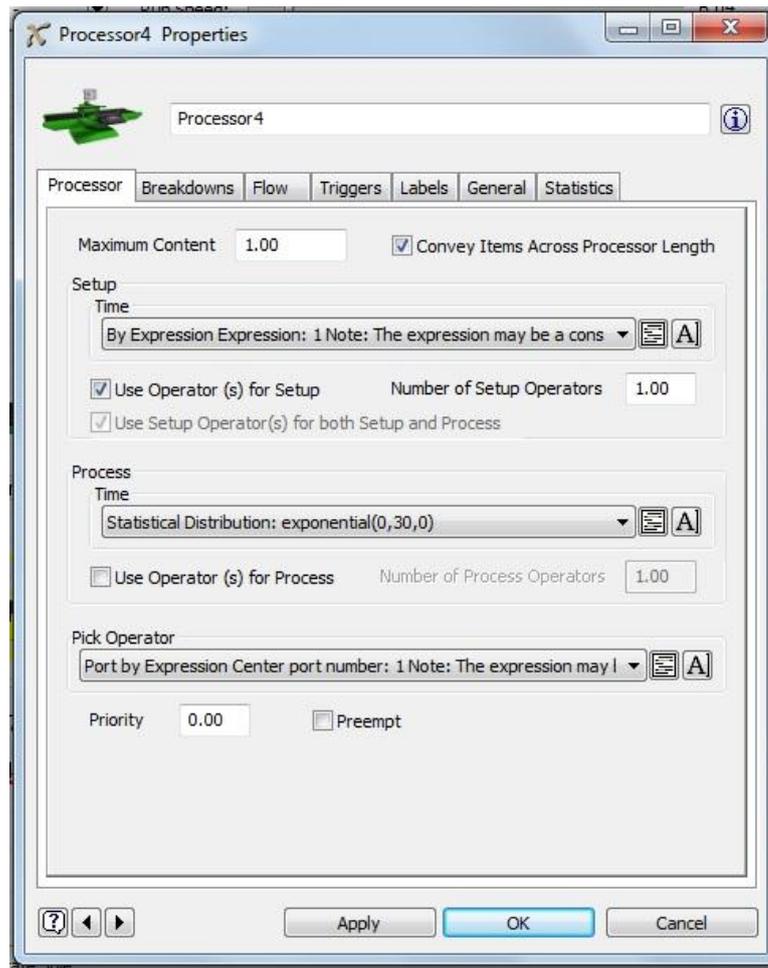


Figura 4-6 Interface
FONTE: Software Flexsim

Tanto a interface do *Fixed Resource* quanto do *Mobile Resource* compartilha do mesmo *Layout* de abas, entretanto tem suas próprias características e conjunto de propriedades. As abas comuns são:

- *General*: Atributos que afetam a aparência, dimensionamento, posição e rotação de um objeto. Ele também mostra uma listagem das portas de conexão para o objeto.
- *Labels*: Tabela de dados definidos pelo usuário ou atributos associados com o objeto.

- *Statistics*: Informação estatística, específica para o objeto, é coletado enquanto um modelo estiver rodando, incluindo demonstrações através de tabelas e gráficos.

- *Flow*: Lógica de como *Flowitems* se movimentam para dentro ou para fora de um objeto.

- *Triggers*: A funcionalidade opcional do objeto para melhorar o comportamento, criar e responder a eventos envolvendo um objeto.

- *Breakdowns*: Informação sobre a confiabilidade do objeto. Dados são usados para configurar as tabelas de tempo entre falhas e tempo para reparar.

4.1.3.6 Ligar Objetos (conexões)

A sequência correta das ligações é fundamental para que o modelo funcione corretamente. Todos os aplicativos de simulação possuem um meio para indicar como os *Flowitems* devem se mover ao longo da simulação. O *Software* em questão estabelece esse fluxo ao longo do modelo utilizando conexões de porta entre os objetos. Cada possível rota ou fluxo no modelo tem que ter uma conexão que o define.

Para criar a conexão, basta ligar a porta de saída do objeto de envio com a porta de entrada do objeto que receberá os *Flowitems*. Esta ligação é realizada da seguinte maneira:

- Pressionar a tecla A.
- Ainda pressionada a tecla A, clicar sobre o objeto de origem e arrastar o cursor do mouse para o objeto de recebimento.

Esse tipo de conexão é necessário para determinar o fluxo do objeto, entretanto, se o *Flowitem* deverá seguir para o próximo objeto através de um *Mobile Resources* é fundamental realizar mais um tipo de conexão entre o objeto que realizara o despacho e o objeto que fará o transporte do *Flowitem*. Esta ligação é realizada da seguinte maneira:

- Pressionar a tecla S.
- Ainda pressionada a tecla S, clicar sobre o objeto de origem e arrastar o cursor do mouse para o objeto que fará o transporte.

4.1.3.7 Estatísticas Para Simulação Simples

Cada objeto contém uma guia de Estatística, basta dar um duplo clique sobre o objeto. Esta aba relata medidas estáticas básicas em tempo real, enquanto a simulação é executada, como exemplo o numero de itens entrando e saindo de um objeto, a condição de operação atual (ocioso, processando, aguardando por transporte), e o tempo médio, mínimo e máximo que os itens gastam em um objeto.

As medidas de desempenho do objeto também podem ser apresentadas dentro do layout do modelo, conforme a figura 4.7.

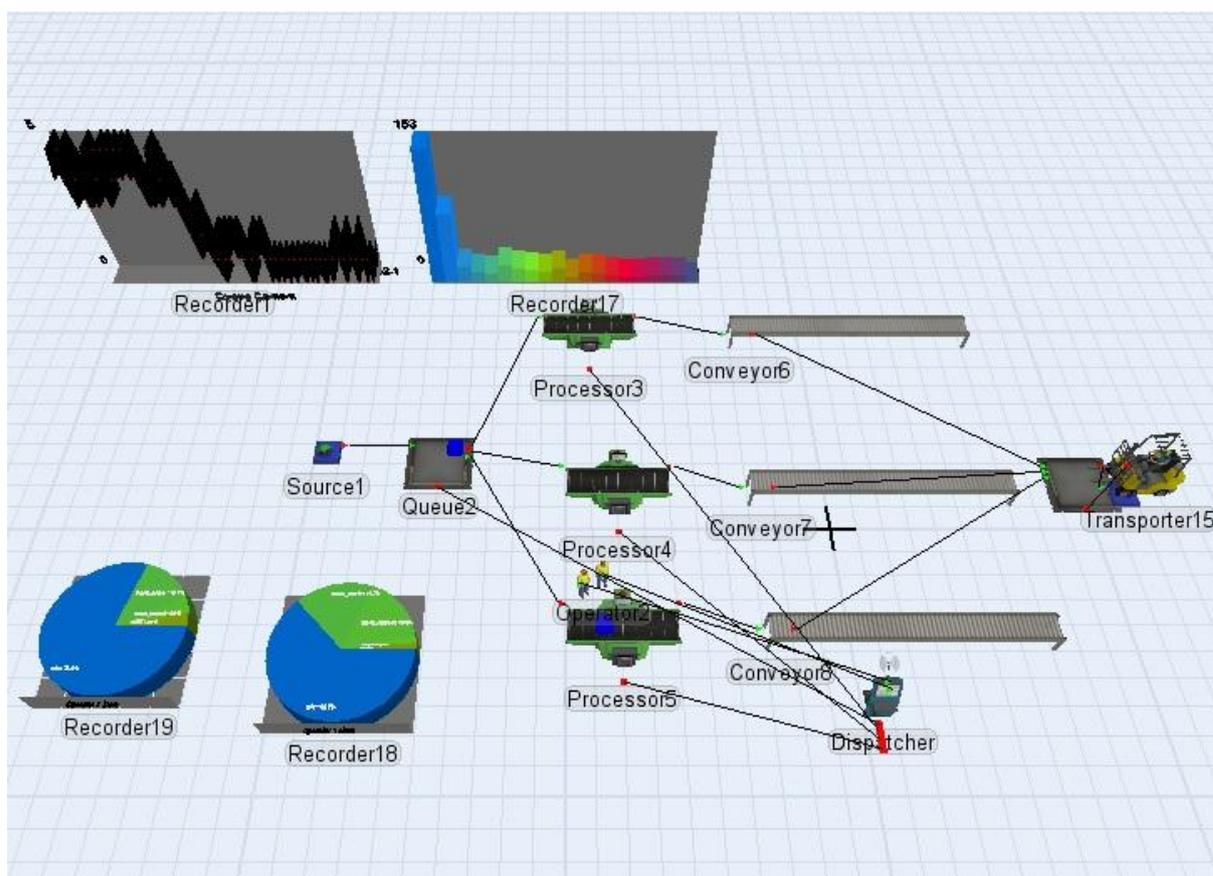


Figura 4-7 Estatísticas no Layout do Modelo
 FONTE: *Software Flexsim*

4.2 Justificativa da Metodologia

A escolha da metodologia utilizando o software *Flexsim* deve-se ao fato de ser um programa gratuito para versão acadêmica e tem por objetivo justamente a simulação de células de manufatura, com uma ampla biblioteca e tutorial de fácil aprendizado disponibilizado pela própria *Flexsim*.

A simulação tornou-se uma tecnologia fundamental para abordar problemas complexos, permitindo conhecer mais o processo e até mesmo identificar áreas de melhoria e determinar quais mudanças vão otimizar seu sistema. Com a simulação eliminam-se os custos de experimentação física. Através de gráficos avançados em três dimensões pode ajudar a gerenciar o processo.

4.3 Produtos do Projeto

Ao final do trabalho, deseja-se obter quais máquinas e instrumentos serão necessários para fabricação da linha de montagem, assim como o detalhamento de layout e as simulações da célula em funcionamento, obtida utilizando o software *Flexsim*. Sendo então possível analisar a otimização do processo avaliando o tempo de produção.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos nesse trabalho estão divididos em três etapas, determinação das máquinas, definição do *layout*, e validação pela comparação entre o tempo obtido na simulação no *software Flexsim* e o tempo requisitado pelo caderno de encargos. A descrição é feita de maneira a compreender o que necessitou ser realizado para analisar a otimização da célula de manufatura.

5.1 Determinação do Maquinário

O caderno de encargos apresentou os requisitos necessários que cada máquina deveria possuir e o tempo de processo em cada etapa. Para as prensas foi determinada uma faixa de forças que a máquina deveria aplicar nas peças enquanto que para a estação de batimento foi determinado a tolerância máxima aceitável.

Como explicitado anteriormente, os robôs são de fornecimento da empresa X desse modo eles não foram determinados no presente trabalho.

5.1.1 Prensas

Ambas as prensas devem ter capacidade para realizar a prensagem aplicando uma força de até 100.000N e aplicar uma força de 50.000N, com tolerância de 5.000N, nos conjuntos submetidos à prensagem. O tempo máximo do processo em cada prensa é de 17 segundos.

A escolha da prensa eletromecânica se deve a possibilidade de controlar a aplicação da força, possuir a capacidade de posicionamento absoluto e aceleração ajustável. Alterando a aceleração e a velocidade de avanço do cilindro, torna-se mais rápido o processo, pois os tempos secundários, tempos não efetivos no processo como, por exemplo, o avanço em vazio e o retorno do cilindro, são reduzidos. E o fato do acionamento da prensa ser através de um servomotor torna-se possível o armazenamento da informação de processo aprovado ou reprovado para posterior marcação.

Desse modo a prensa eletromecânica atende os requisitos de aplicação de força e tempo conforme requisitado pelo caderno de encargos e através do *Online Catalog Linear Motion Technology* do fabricante Bosch Rexroth, como descrito na metodologia, obteve-se para a prensa um, através dos dados fornecidos pelo caderno de encargos conforme tabela 2.2, o modelo de cilindro eletromecânico:

EMC-105-HD-1, 125 mm/01/02/01/RV01/40/114/00/01/01/00/01/00/01/00/00

Com as características conforme documentação gerada pelo configurador, que se encontra no Apêndice A.

Para a prensa dois, seguindo a mesma metodologia de dimensionamento da prensa um, chegou-se no seguinte cilindro eletromecânico:

EMC-105-HD-1, 200 mm/01/02/01/RV01/40/114/00/01/01/00/01/00/01/00/00

Com as características conforme documentação gerada pelo configurador, que se encontra no Apêndice B.

Coincidentemente o cilindro eletromecânico da prensa um obteve as mesmas configurações da prensa dois, variando apenas o curso. Padronizando assim o modelo dos cilindros.

Os gráficos podem ser observados nas figuras 5.1 e 5.2, para as prensas um e dois, respectivamente, representam os passos que os cilindros eletromecânicos devem fazer ao longo dos respectivos ciclos, em relação a velocidade (azul), posição (verde) e força (vermelho). Pode ser observada a semelhança entre os gráficos, justificando assim o cilindro eletromecânico da prensa um ser o mesmo modelo do cilindro eletromecânico da prensa dois.

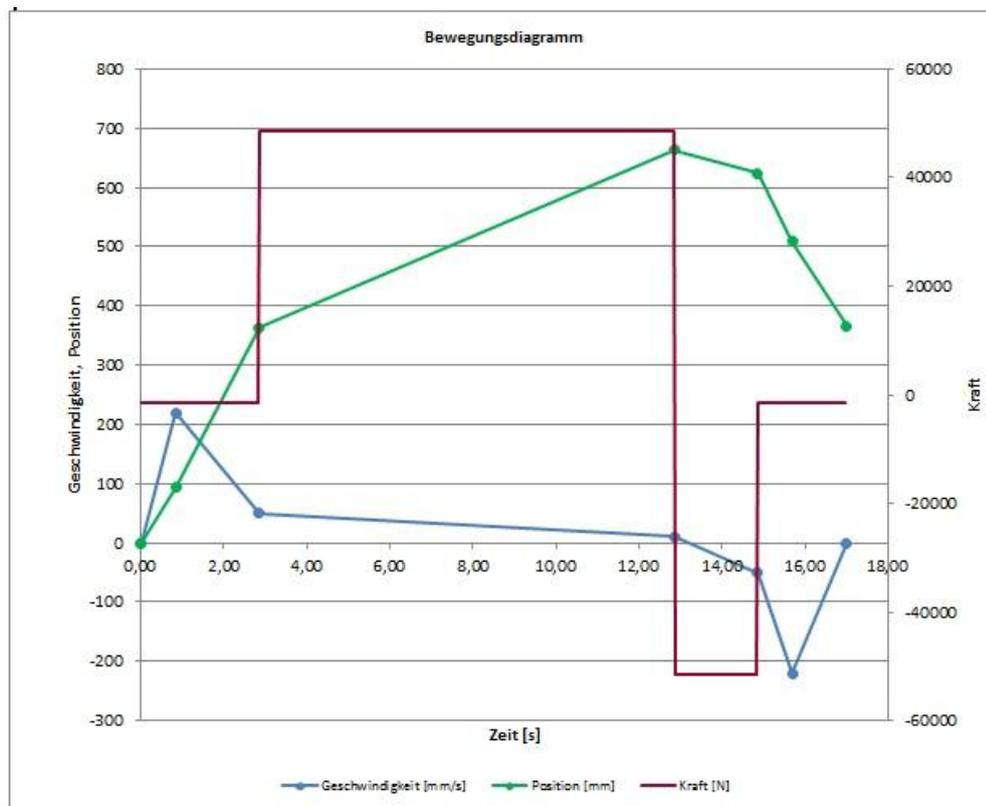


Figura 5-1 - Ciclo cilindro eletromecânico prensa um
FONTE: BOSCH REXROTH, *Online Catalog Linear Motion Technology*

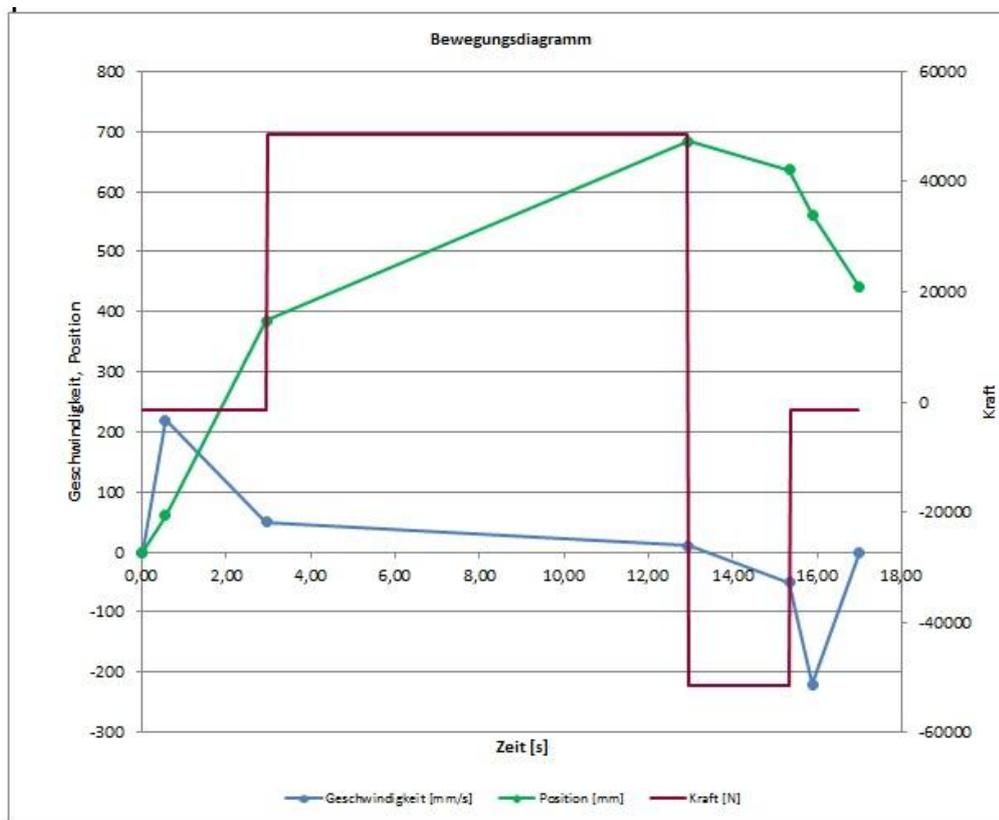


Figura 5-2 Ciclo cilindro eletromecânico prensa dois
FONTE: BOSCH REXROTH, *Online Catalog Linear Motion Technology*

O desenho em três dimensões que representa ambos os cilindros eletromecânicos encontra-se no Apêndice C.

5.1.2 Batimento

Conforme descrito na metodologia, o medidor de batimento deve atender todos os requisitos do caderno de encargos. O equipamento deve ser eletrônico e possuir um relógio comparador digital para ter rastreabilidade, sendo então possível armazenar a informação de processo aprovado ou reprovado para posterior marcação.

O equipamento selecionado, que atende os requisitos do caderno de encargos, é o RA-1600, da marca MITUTOYO, pois com essa máquina é possível realizar tanto o batimento axial quanto o radial para peças com diâmetros de até 280mm. A

rastreabilidade das peças pode ser realizada com a utilização do *software* disponibilizado pelo próprio fabricante do equipamento. A rotação da mesa pode chegar até 10 rotações por minuto e como é necessário realizar ao menos uma volta para obter os dados do batimento, esse processo leva ao menos 6 segundos. E como cada ciclo de medição de batimento pode atingir até 12 segundos, o instrumento selecionado atende o tempo conforme requisitado do caderno de encargos. As informações técnicas do medidor de batimento selecionado encontram-se no Anexo A.

5.2 Definição do *Layout*

A metodologia prevista na proposta para definição do *layout* era seguir os seis procedimentos explicitados na fundamentação teórica. Porém devido a necessidade de atender os requisitos do caderno de encargos foi definido apenas um *layout*, e todos os seis procedimentos não foram avaliados conforme a metodologia. Como por exemplo, o procedimento dois é a classificação das peças, porém o caderno de encargos já define quais serão as peças que a célula será responsável de processar.

O procedimento três visa analisar as operações necessárias entre máquinas e peças e também o sequenciamento das operações. Para facilitar a visualização da inter-relação entre processo e peça, foi realizado um diagrama de fluxo e equipamento, conforme segue na figura 5.3.

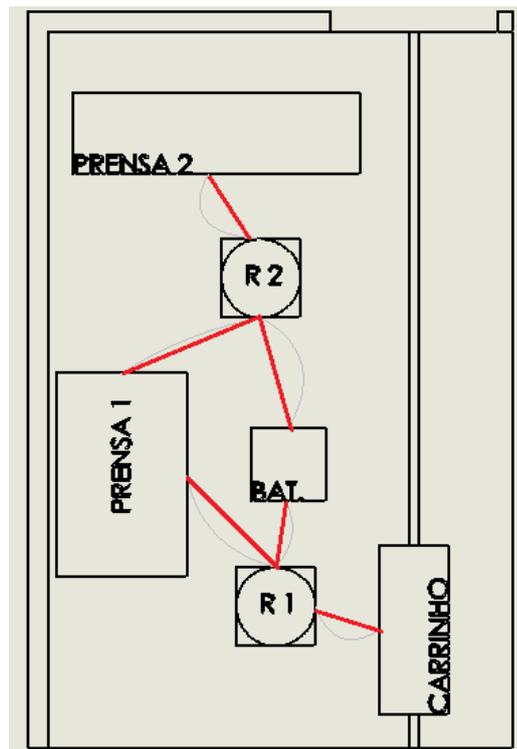


Figura 5-4 – *Layout* da célula de manufatura
 FONTE: Autoria própria

A movimentação das peças dentro da célula de manufatura é por meio de dois robôs. A definição do sequenciamento das operações foi definida levando em conta todos os requisitos do caderno de encargos.

O próximo procedimento é a escolha do melhor *layout* e sequenciamento das operações, e como a célula de manufatura possui poucas máquinas e a movimentação das peças é restringida pelos requisitos impostos no caderno de encargos, apenas um *layout* e um sequenciamento de operações foram desenvolvidos para serem analisados na simulação computacional.

No último procedimento é necessário detalhar e implementar o processo, que também foi obtido através da simulação computacional.

5.3 Simulação no *Software Flexsim*

A linha de montagem em estudo no presente trabalho possui dois robôs de fornecimento da empresa X, duas prensas e uma máquina para medir o batimento.

Após o dimensionamento das prensas e da máquina para medir o batimento foi determinado o *layout* da célula e através dessas definições foi possível realizar a simulação dessa linha no *software Flexsim*.

Para reproduzir a linha de montagem no *Flexsim*, foram utilizados os seguintes objetos na categoria *Fixed Resources*:

- *Source*: Para criar as peças A/D e B/C. Sendo na simulação B/C da cor amarela e A/D da cor vermelha.

- *Queue*: Para representar a caixa de entrada e a caixa de saída na célula e também um *Queue* para representar peças rejeitadas.

- *Processor*: Um *Processor* para representar a prensa um que realiza o processo na peça A/D no tempo máximo de 17 segundos como definido no caderno de encargos e outro *Processor* para representar o batimento que realiza o processo na peça B/C no tempo máximo de 12 segundos.

- *Combiner*: Para representar a prensa dois, que realiza o processo na peça A/D com a B/C no tempo máximo de 17 segundos.

Para a categoria *Mobile Resources* foi utilizado o seguinte objeto:

- *Robot*: Para representar os dois robôs.

Segue na figura 5.5 a representação da célula de manufatura obtida no *Flexsim* utilizando o *layout* definido no tópico 5.2.

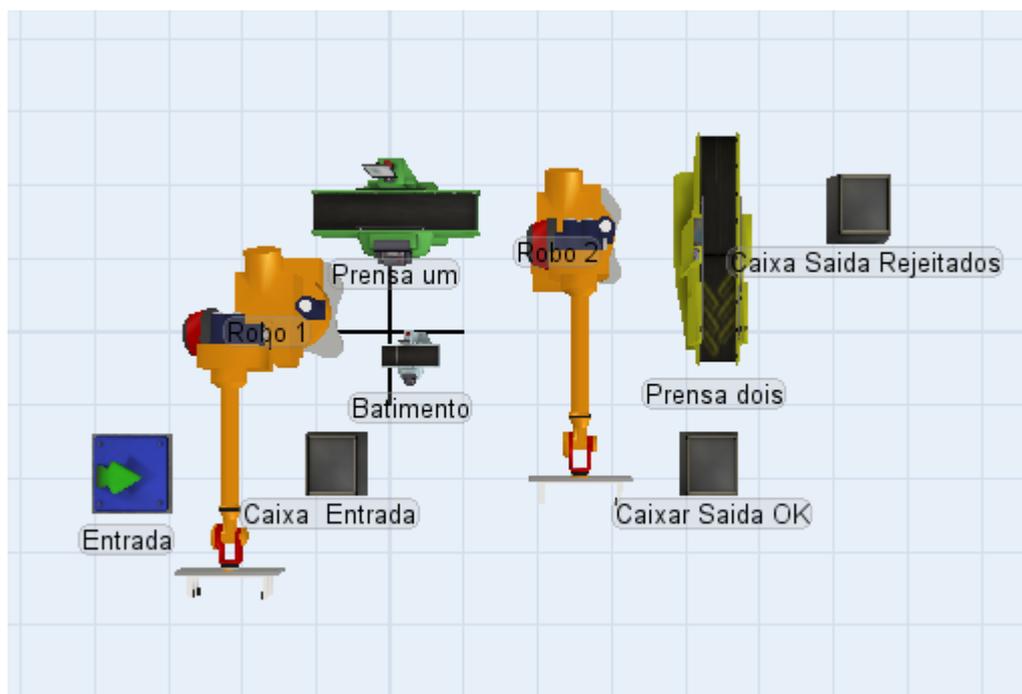


Figura 5-5 - Layout da célula utilizando o software Flexsim
FONTE: Aatoria própria utilizando o software Flexsim

Um dos objetivos principais desse trabalho é a validação do modelo realizando a comparação entre o tempo da simulação e o tempo especificado no caderno de encargos. Usando como parâmetro uma hora de simulação obteve-se a quantidade de 79 peças produzidas nesse intervalo de tempo, ou seja, um tempo de ciclo de aproximadamente 46 segundos. Dessa forma, o tempo, de 55 segundos por ciclo, requisitado no caderno de encargos, é atendido. Conforme demonstrado na tabela 5.1.

Tabela 5. 1 – Batimento

	<i>Requisito do caderno de encargos</i>	<i>Valores obtidos com a simulação computacional</i>
Tempo de ciclo	55s	46s

Fonte: Aatoria própria.

Como a empresa solicitante não informou as características técnicas do robô foi utilizado uma hipótese que cada ciclo do equipamento (ir até a peça, fechar a garra, ir até a máquina e abrir a garra) leva entre 6 a 7 segundos. Portanto para atingir o tempo da simulação, o robô deve atender esse requisito.

Analisando os gráficos obtidos a partir do *Flexsim* (Apêndice C), pode-se notar um tempo de ociosidade considerável de todos os equipamentos, principalmente nos robôs. Em relação às máquinas, cada uma apresentou um ponto característico: A prensa um apresentou a maior porcentagem de tempo processando as peças, ou seja, foi a máquina mais efetiva no processo. Após concluir a medição de batimento o conjunto de peças B/C ficou aguardando por uma parcela de tempo significativa o robô dois para transportá-lo à próxima etapa de processamento, indicando que para ser mais produtiva, essa estação depende da melhoria dos demais processos. A prensa dois depende dos conjuntos A/D e B/C, a ociosidade desse equipamento é elevada, pois após receber o conjunto A/D, a parcela de tempo que necessita esperar o conjunto B/C chega até a estação de prensagem é consideravelmente alta.

6 CONCLUSÕES

Para analisar a otimização da automação de uma linha de montagem, primeiramente foi necessário definir quais máquinas atenderiam tecnicamente os requisitos solicitados pelo caderno de encargos. Houve a necessidade de uma fundamentação teórica para entender o processo e suas etapas, após esse entendimento optou-se por especificar as máquinas analisando os catálogos disponibilizados por diversos fabricantes e observando quais máquinas atenderiam o caderno de encargos. Uma dificuldade encontrada nessa etapa foi a de definir qual fabricante poderia fornecer um equipamento que atendesse a todos os requisitos. A grande importância do dimensionamento e especificação dos equipamentos foi a de obter as variáveis necessárias para possibilitar a realização da simulação.

A metodologia de planejamento sistemático e simplificado de uma célula de manufatura foi definida para obter o *layout*, pois, como o projeto em questão utiliza poucas máquinas, essa metodologia é adequada. Mas nem todos os passos foram avaliados, pois o caderno de encargos apresentou requisitos que limitam a realização de diferentes layouts para selecionar o melhor, como a movimentação das caixas dentro da célula e também a necessidade de utilizar um robô para alimentar a estação de batimento e de prensagem um e o segundo robô para alimentar apenas a prensa dois.. Porém com a metodologia foi possível analisar o sequenciamento de operações e a disposição das máquinas e equipamentos dentro da célula de manufatura, facilitando assim, a realização da simulação, sendo o principal objetivo desse passo atendido.

Por fim, com a especificação dos equipamentos, sequenciamento das operações e com a definição do *layout* foi possível realizar a simulação e com isso obter a validação do modelo atendendo os tempos exigidos pelo caderno de encargos. Como não havia informações sobre as características técnicas do robô, foi necessário realizar uma hipótese em relação aos tempos de movimentação dos robôs dentro da célula para obter o tempo final do processo. Uma dificuldade

encontrada nesta etapa foi a de definir os parâmetros da simulação no *software Flexsim*.

Através dos resultados obtidos, surge a possibilidade de futuros trabalhos no que diz respeito a reduzir os tempos de produção com a identificação de possíveis gargalos e na diminuição da ociosidade das máquinas e robôs. Uma próxima análise pode ser realizada com a utilização de garras duplas nos robôs e comparar com os resultados obtidos no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALBERTAZZI, A. G. J.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1ª. ed. Barueri: Manole, 2008.
- BANKS, J. **Introduction to simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Atlanta, 2000.
- BOSCH REXROTH. **Cilindro eletromecânico EMC-HD R979038374/05-2014**. Atibaia: REXROTH BOSCH GROUP, 2014.
- BOSCH REXROTH. **Cilindros eletromecânicos EMC R999001205 (2015-01)**. Schweinfurt-DE: REXROTH BOSCH GROUP, 2015.
- BOSCH REXROTH. **Online Catalog Linear Motion Technology**. Disponível em: <https://www.boschrexroth.com/irj/portal/anonymous/eShop?guest_user=anonymousDE&display=catalog&bridgeSelectedCatalog=BRL>. Acesso em 22 mai. 2016, 14:53.
- DIVISÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS DA DIRETORIA DE EDUCAÇÃO DO DEPARTAMENTO DO SENAI-SP. **Telecurso**. São Paulo, 2000.
- FERREIRA, J. C. E. **Sistemas Integrados de Manufatura**, 2012. Notas de Aula. Disponível em: <<http://www.grima.ufsc.br/jcarlos/>>. Acesso em: 20 de Setembro 2015.
- FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos: Matemática Financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial** 11ª. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2010.
- HAMEL, G. **Leading the revolution**. 1ª ed. Boston: Harvard Business School Press, 2002.
- HARRELL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation Using ProModel**. 3ª ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

KUMAR, S.; PHROMMATHED, P. **Improving a manufacturing process by mapping and simulation of critical operations**. Journal of Manufacturing Technology Management, 2006.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. Simulation modeling and analysis. 3ª ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LE GRAND, R.; COLVIN, F. H.; STANLEY, F. A. **The new American machinist's handbook**. 1ª ed. New York; Toronto; London: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1955.

LEE, Q. **Projeto de instalações e do local de trabalho**. 1ª. ed. São Paulo: IMAM, 1998.

MITUTOYO CORPORATION. **Medidor de Circularidade e Cilindricidade ROUNDTEST RA-1600**. Disponível em:

<<http://www.mitutoyo.com.br/site/download/02folhetos/03%20Forma/RA1600.pdf>>.

Acesso em 30 mai. 2016, 16:45.

MOLINA, J. F. G. **Contribuição da Informatização no Sistema Kanban: Critérios e Exemplos de Implementação**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia De Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1995.

MUTHER, R.; FILLMORE, W. E.; ROME, C. P. **Planejamento Sistemático e Simplificado das Células de Manufatura**. 1ª. ed. São Paulo: IMAM, 1997.

MUTHER, R.; WHEELWE, J. D. **Planejamento Sistemático e Simplificado De Layout**. 1ª. ed. São Paulo: IMAM, 2000.

PARKER . **Series XFC Extreme Force Electromechanical Cylinder HY08-0890-B1**. Des Plaines-US: PARKER HANNIFIN CORPORATION, 2014.

APÊNDICE A – FOLHA DE DADOS DA PRENSA UM

Configuration documentation Electromechanical Cylinder Heavy Duty



Model code EMC-105-HD-1, 125 mm/01/02/01/RV01/40/114/00/01/01/00/01/00/01/00/00

Description

Size	105	Electromechanical Cylinder Heavy Duty Size
Max. travel distance	125 mm	
Guide	01	without integrated anti-rotation device
Drive	02	Planetary screw assembly 39x10
Lubrication	01	Initial greasing
Version	RV01	with timing belt side drive below
Motor attachment	40	Belt side drive $i=1,5$ for motor MSK 071D
Motor	114	MSK 071D without brake
Switch	00	without switch
Surface	01	Standard
Documentation	01	Standard final inspection report
Mounting Elements		
Group 1	00	without
Group 2	01	Threaded bolt for version without integrated anti-rotation device
Group 3	00	without
Group 4	01	without
Group 5	00	without
Group 6	00	without
CAD options		
Piston position	0 mm	Piston rod position

APÊNDICE B – FOLHA DE DADOS DA PRENSA DOIS

Configuration documentation Electromechanical Cylinder Heavy Duty

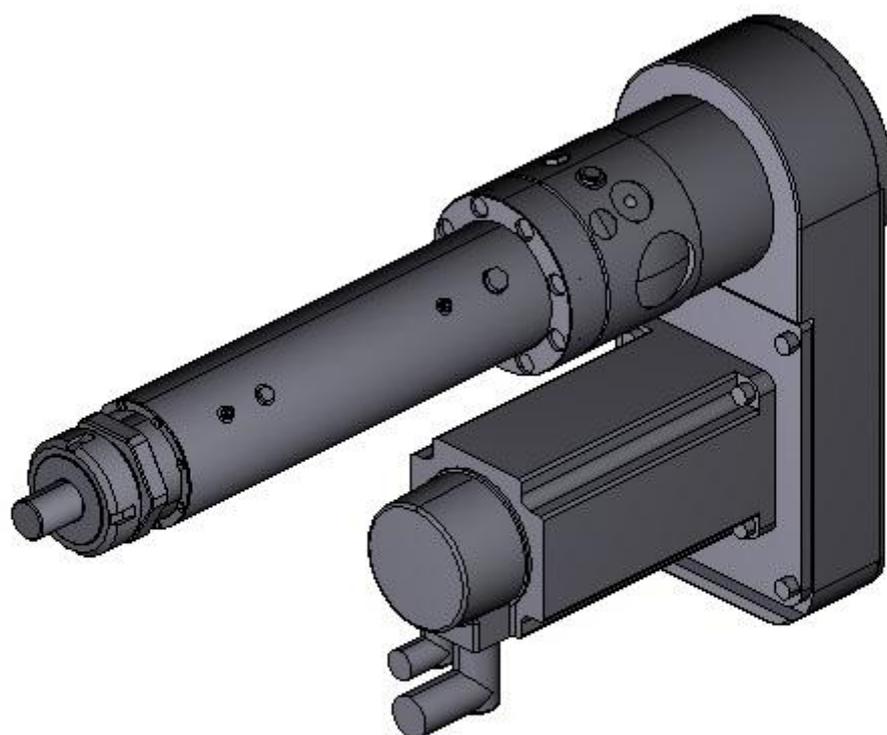


Model code EMC-105-HD-1, 200 mm/01/02/01/RV01/40/114/00/01/01/00/01/00/01/00/00

Description

Size	105	Electromechanical Cylinder Heavy Duty Size
Max. travel distance	200 mm	
Guide	01	without integrated anti-rotation device
Drive	02	Planetary screw assembly 39x10
Lubrication	01	Initial greasing
Version	RV01	with timing belt side drive below
Motor attachment	40	Belt side drive i=1,5 for motor MSK 071D
Motor	114	MSK 071D without brake
Switch	00	without switch
Surface	01	Standard
Documentation	01	Standard final inspection report
Mounting Elements		
Group 1	00	without
Group 2	01	Threaded bolt for version without integrated anti-rotation device
Group 3	00	without
Group 4	01	without
Group 5	00	without
Group 6	00	without
CAD options		
Piston position	0 mm	Piston rod position

APÊNDICE C – CILINDRO ELETROMECHANICO DAS PRENSAS

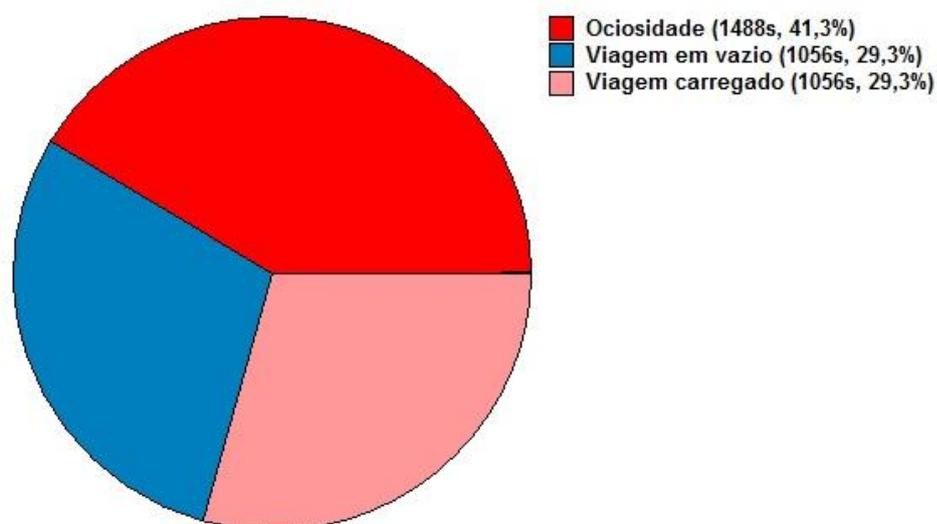


APÊNDICE D – SEQUÊNCIAMENTO DAS OPERAÇÕES

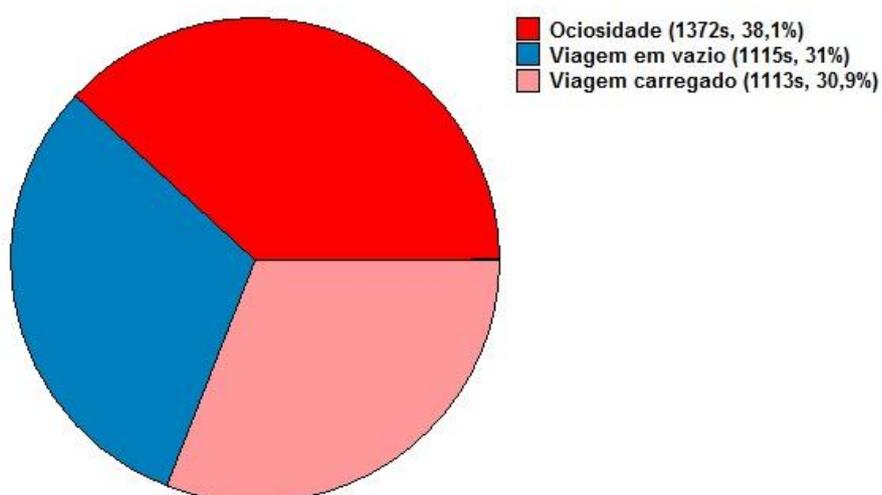
<i>SEQUENCIAMENTO DE OPERAÇÕES</i>	
Sequência	Atividade
1	Carrinho entra na célula com as peças
2	Robô 1 avança até pegar o conjunto com as peças A-D
3	Robô 1 fecha a garra para pegar o conjunto A-D
4	Robô 1 avança até a prensa 1
5	Robô 1 abre a garra e deposita o conjunto A-D
6	Estação de prensagem 1 realiza a prensagem da peça A com a D
7	Robô 1 avança até pegar o conjunto com as peças B-C
8	Robô 1 fecha a garra para pegar o conjunto B-C
9	Robô 1 avança até a estação de batimento
10	Robô 1 abre a garra e deposita o conjunto B-C
11	Estação de batimento realiza leitura do conjunto B-C
12	Robô 1 avança até a posição de repouso.
13	Robô 2 avança até a prensa 1
14	Robô 2 fecha a garra para pegar o conjunto A-D
15	Robô 2 avança até a prensa 2
16	Robô 2 abre a garra e deposita o conjunto A-D
17	Robô 2 avança até a estação de batimento
18	Robô 2 fecha a garra para pegar o conjunto B-C
19	Robô 2 avança até a prensa 2
20	Robô 2 abre garra e deposita o conjunto B-C
21	Robô 2 avança até a posição de repouso.
22	Estação de prensagem 2 realiza a prensagem do conjunto
23	Braço pneumático efetua a retirada das peças da prensa
24	Braço pneumático deposita o conjunto no carrinho
25	Carrinho sai da célula com o conjunto montado

APÊNDICE E – GRÁFICO DA OCUPAÇÃO DOS OBJETOS NAS CÉLULAS

Robô um



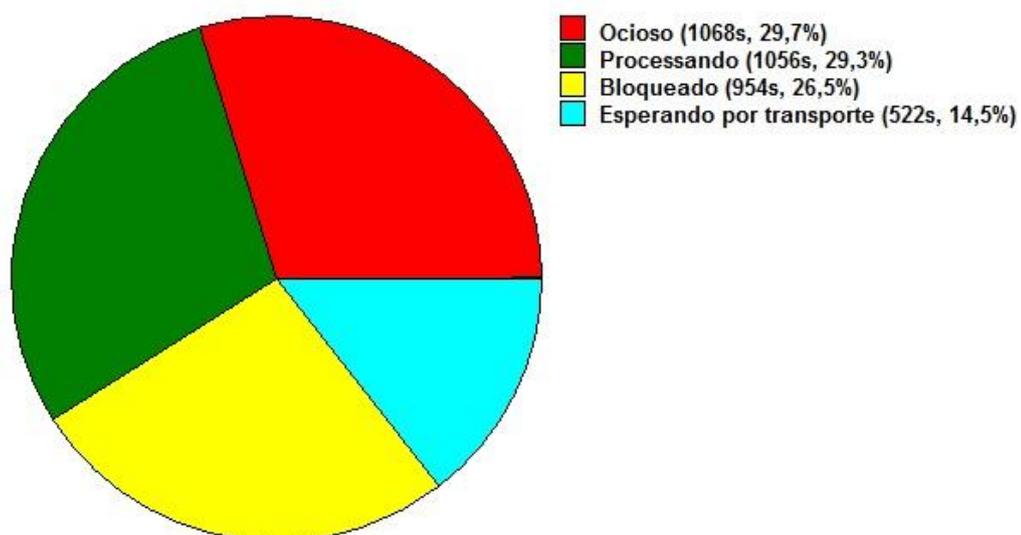
Robô 2



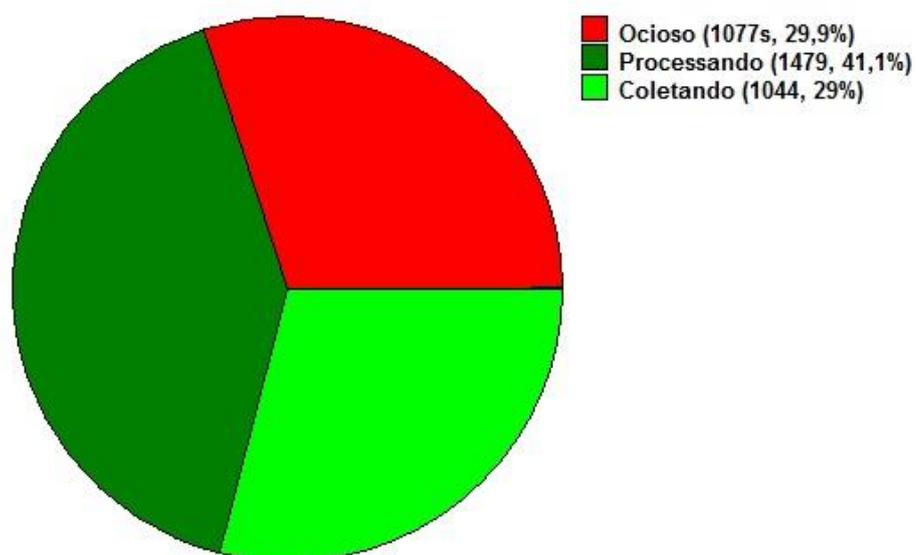
Prensa um



Batimento



Prensa dois



ANEXO A – INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO MEDIDOR DE BATIMENTO

Modelo	RA-1600
Código	211-733D/A
Mesa Rotativa	Diâmetro da mesa : 150mm Curso de centralização: ± 3 mm Curso de nivelamento: $\pm 1^\circ$ Rotação da mesa : 4 , 6 ou 10 RPM Exatidão de rotação radial : $(0,02 + 6H / 10.000)\mu\text{m}$ H = Altura da medição Maior diâmetro da peça a ser medido: 280 mm Capacidade de carga : 25 Kg
Curso horizontal (braço)	165mm
Curso Vertical	300mm
Maior altura mensurável	300mm
Retitude da Coluna	0.2 m/100 – curso menor 0.3 μm /150 – curso maior
Paralelismo da Coluna	1.5 μm /300
Sensor	Curso de medição : 400 μm Força de medição (sensor) : 7 ~ 10mN / 0,7 ~ 1gf Diâmetro da ponta: 1.6mm
Cut off de filtragem	Passa baixa: 15, 50, 150, 500 upr Passa faixa: 15-150, 15-500, 50-500upr
Método de cálculo do círculo de referência	LSC, MZC, MIC, MCC
Ítems analisados	Circularidade, Coaxialidade em uma secção, Coaxialidade de eixo, Concentricidade, Batimento Circular, Espessura de parede, Perpendicularidade, Planicidade e Paralelismo, Desvio de espessura radial e axial, Cilindricidade, Batimento radial, Batimento axial, Batimento Total, Retitude, etc

FONTE: MITUTOYO CORPORATION: Medidor de Circularidade e Cilindricidade