MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO CONCEITUAL DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA PARA ACABAMENTO DE INSTRUMENTOS CIRÚRGICOS

por

Sandro Dias Vieira

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, junho de 2011.

PROJETO CONCEITUAL DE UMA CÉLULA FLEXÍVEL DE MANUFATURA PARA ACABAMENTO DE INSTRUMENTOS CIRÚRGICOS

por

Sandro Dias Vieira
Engenheiro Controle e Automação

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Eng. Joyson Luiz Pacheco

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Eng. Isaac Newton Lima da Silva, PUCRS – PGTEMA/FENG

Prof. Dr. Eng. Ney Francisco Ferreira, UFRGS – PROMEC/EE

Prof. Dr. Eng. Heraldo José de Amorim, UFRGS – DEMEC/EE

Prof. Ph.D. Eng. Francis Henrique Ramos França
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, junho de 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Aline Machado que está grávida do meu primeiro filho, pelo apoio durante a realização deste.

Aos meus pais Erotildes Dias Vieira e Dorval Borges Vieira, por estarem sempre me apoiando e incentivando na busca dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Joyson Luiz Pacheco pela orientação e confiança durante o desenvolvimento desse trabalho.

A empresa Edlo S/A Produtos Médicos, pela disponibilização de todos os recursos utilizados durante a execução deste trabalho.

Aos meus colegas de mestrado, Eng. Fabiano da Silva Brites, Eng. Vagner do Nascimento e Eng. Rafaela Priscila Fernandes Buogo pelo apoio, amizade e pelos momentos de estudo durante o mestrado.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pelo conhecimento adquirido durante o mestrado.

Aos meus familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram no decorrer desta dissertação.

RESUMO

Neste trabalho foram utilizados os conceitos de célula flexível de manufatura e de automação utilizando a robótica para desenvolver uma célula robotizada de acabamento de instrumentos cirúrgicos forjados, com o objetivo de obter aumento de produção e flexibilizar o sistema de manufatura. Na produção manual de acabamento dos instrumentos cirúrgicos incluídos no estudo são realizados processos de lixamento, eletropolimento, polimento vibratório, jateamento e polimento com manta sintética e escova. Foi identificado que o sistema utilizando trabalho manual restringe a produtividade a um número de pinças insuficiente para atender à demanda do mercado. Desse modo, foi desenvolvida uma célula robotizada de acabamento, com a intenção de suprir a necessidade do aumento de produção dos instrumentos cirúrgicos. Em paralelo ao desenvolvimento da célula flexível de manufatura, estudaram-se os processos de acabamento utilizados, resultando na eliminação de etapas de acabamento no processo automatizado. Com a célula flexível de manufatura desenvolvida se obteve um aumento de produção de 96,87 % e uma redução nos custos de 50,53 % em relação à linha manual. Os produtos cuja manufatura se deseja automatizar são pinças hemostáticas, de apreensão e de campo que foram selecionadas através da análise da demanda produtiva. A matéria-prima utilizada nestes instrumentos é aço inoxidável martensítico, de denominação AISI 420D. O processo de fabricação utilizado nos componentes é o forjamento, que permite a melhora das propriedades mecânicas, modificando a disposição dos constituintes do material deformado. No entanto, foi avaliada de forma experimental a viabilidade de substituição do forjamento pelo corte laser, visando a eliminação do processo de lixamento dos componentes, com consequente aumento na taxa de produção, o que não foi possível devido à menor resistência obtida pelos componentes assim produzidos.

Palavras-Chave: célula flexível de manufatura, robótica, instrumentos cirúrgicos, forjamento, acabamento.

ABSTRACT

In this study, were used the concepts of flexible cell manufacturing and automation using robotics to develop a finishing in forged surgical instruments robot cell, in order to get increased production and a more flexible manufacturing system. On completion of the manual production of surgical instruments included in the study of processes are performed grinding, electropolishing, vibratory polishing, sandblasting and polishing synthetic blanket and brush. Was identified that the system using manual labor productivity to a limited number of tweezers insufficient to meet market demand. Thus, was developed a robotic finishing cell, with the intention of meeting the need for increasing production of surgical instruments. In parallel to the development of flexible manufacturing cell, were studied the finishing processes used, resulting in the elimination of finishing steps in the automated process. With the flexible manufacturing cell development was obtained an increase of 96.87% and production cost savings of 50.53% compared to the online manual. The products whose manufacture is desirable to automate hemostat, apprehension and field tweezers that were selected by analyzing the production demand. The raw material used in these instruments is martensitic stainless steel, designations AISI 420D. The manufacturing process used in the components is forginig, which allows the improvement of mechanical properties by modifying the arrangement of the constituents of the deformed material. However, it was experimentally evaluated the feasibility of replacing the forging by laser cutting, in order to eliminate the process of grinding the components, with consequent increase in production rate, which was not possible due to a lower resistance obtained by the components thus produced .

Keywords: flexible manufacturing cells, robotics, surgical instruments, forging, finishing.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS ix
LISTA DE TABELAS..... xiii
1 INTRODUÇÃO.....1
1.1 Objetivo geral.....2
1.2 Objetivo específico.....2
2 REFERENCIAL TEÓRICO 3
2.1 Pinças cirúrgicas.....3
2.2 Automação da manufatura 4
2.2.1 Manufatura celular.....4
2.2.2 Automação utilizando a robótica.....6
2.2.3 Manufatura flexível 10
2.3 Ferramentas de qualidade e produção.....11
2.3.1 Teoria das Restrições 11
2.3.2 Cronoanálise dos tempos de processos operacionais.....13
2.3.3 Avaliação de estoque pela Curva ABC.....13
2.3.4 Qualidade de Produto.....14
2.3.5 Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) 15
2.4 Estado da Arte 16
3 MATERIAIS E MÉTODOS 22
3.1 Seleção dos produtos a serem estudados 26
3.1.1 Pinças cirúrgicas cuja manufatura se deseja aprimorar 27
3.1.2 Matéria-prima utilizada na produção das pinças cirúrgicas.....28
3.2 Análise das restrições e FMEA para as pinças cirúrgicas estudadas.....29
3.3 Processo de acabamento manual das pinças cirúrgicas 32
3.4 Automatização do processo de acabamento das pinças.....36
3.4.1 Proposta de uma célula flexível de manufatura para acabamento.....37
3.4.2 Desenvolvimento de dispositivos para a manipulação das pinças pelo robô.....42
3.4.2.1 Procedimento para validação experimental dos dispositivos 44
3.4.3 Configuração do processo automatizado de acabamento 48
3.4.3.1 Processo automatizado de acabamento da ponta da pinça 48
3.4.3.2 Processo automatizado de acabamento do olhal da pinça.....50

3.4.3.3 Processo automatizado de acabamento da canela da pinça 52
3.4.4 Avaliação da qualidade das pinças do lote piloto 54
3.5 Análise comparativa entre forjamento e corte a laser na produção de pinças cirúrgicas 56
3.5.1 Procedimentos experimentais 57
3.5.1.1 Ensaio estático 57
3.5.1.2 Ensaio dinâmico 58
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 60
4.1 Resultados dos ensaios estáticos e dinâmicos 60
4.2 Resultados da validação dos dispositivos 64
4.3 Resultados do controle de qualidade do lote piloto 65
4.4 Resultados da produtividade da célula automatizada de acabamento 68
5 CONCLUSÕES 72
6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS 74
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75
APÉNDICE A – CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO 81
ANEXO A – PROJETO DA PINÇA DE BACKHAUS 13 cm. 86
ANEXO B – TABELA DE ESTUDO DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS (FMEA) 87
ANEXO C – RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO TÉCNICA DO PROCESSO PRODUTIVO DAS PINÇAS 88
ANEXO D – RELATÓRIO DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA 89
ANEXO E – CARTA DE CONTROLE DE MÉDIAS E AMPLITUDES (X,R) 90
ANEXO F – FONTE PROGRAMA DO ROBÔ KUKA 92
ANEXO G – PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DAS PINÇAS CIRÚRGICAS ESTUDADAS 100
G.1 Forjamento das pinças cirúrgicas 100
G.2 Usinagem das pinças cirúrgicas 102
G.3 Montagem das pinças cirúrgicas 103

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Partes de uma pinça cirúrgica Halsted..... 4

Figura 2.2 (a) Pinça de Backhaus; (b) Pinça Halsted Mosquito Curva; (c) Pinça Kelly Curva; (d) Pinça Halsted Mosquito Reto; (e) Pinça Allis.....4

Figura 2.3 Célula de manufatura para família de peças com sete máquinas.....6

Figura 2.4 (a) Manipulador cartesiano, (b) Manipulador esférico, (c) Manipulador cilíndrico, (d) Manipulador antropomórfico.....7

Figura 2.5 Exemplos de efetuadores.....7

Figura 2.6 Zona da utilização da robótica industrial, relacionada com custo por unidade x volume de produção.....9

Figura 2.7 Apresentação de célula de manufatura flexível com suas estações.....10

Figura 2.8 Gráfico Curva ABC.....14

Figura 2.9 Gráfico relação entre rugosidade média da superfície e o tempo de polimento.....17

Figura 2.10 Estação de polimento robotizada e trajetória do algoritmo QI 17

Figura 2.11 Robô executando uma tarefa de polimento.....18

Figura 2.12 Tabela com as cinco rugosidades médias Ra (mm) e área polida da peça.....19

Figura 2.13 Sistema robotizado de polimento e rebarbação.....20

Figura 2.14 (a) Ferramenta abrasiva circular com o sensor de força; (b) Molde de alumínio polido.....21

Figura 2.15 Robô *MOTOMAN UP-6*, executando polimento no molde.....21

Figura 3.1 Fluxograma da metodologia de projeto.....25

Figura 3.2 Diagrama de Pareto dos 20 itens de maior demanda produtiva no período de out/2008 a set/2009.....27

Figura 3.3 Fluxograma da produção básica das pinças cirúrgicas.....32

Figura 3.4 Sequência do processo de acabamento das pinças cirúrgicas.....34

Figura 3.5 (a) Manta não tecida de fibras sintéticas com abrasivos ampliados; (b) Desenho esquemático das fibras sintéticas.....35

Figura 3.6 (a) Correia de surface AMF; (b) Rodas convolutas EXL.....36
Figura 3.7 (a) Acabamento com lixa grão 220; (b) Acabamento com manta sintética.....36
Figura 3.8 Configuração da célula automatizada de acabamento.....37
Figura 3.9 (a) Máquina M1, lixadeira de contato; (b) Máquina M2, lixadeira de vão livre; (c) Máquina M3, lixadeira vão livre.....38
Figura 3.10 Politriz PZ1, com duas rodas de contato e ao lado politriz ampliada.....38
Figura 3.11 Politriz PZ2, com duas rodas de contato e ao lado politriz ampliada.....39
Figura 3.12 Berço B1: (a) sem dispositivo; (b) com dispositivo.....39
Figura 3.13 Magazine G1 e G2 de abastecimento das pinças.....40
Figura 3.14 Berços do magazine G1 identificados com cores e números.....40
Figura 3.15 Painel de comando KCP, para operação e programação do robô.....40
Figura 3.16 Painel IHM de interface operador e célula automatizada.....41
Figura 3.17 Desenho mostra o deslocamento cartesiano dos eixos do robô KUKA-KR60-F.....42
Figura 3.18 Célula robotizada de acabamento desenvolvida.....42
Figura 3.19 Desenho do dispositivo para fazer a ponta da pinça, mostrando a fixação da pinça no mesmo.....43
Figura 3.20 Desenho do dispositivo para fazer o olhal da pinça, mostrando a fixação da pinça no mesmo.....43
Figura 3.21 Desenho do dispositivo para fazer a canela, mostrando a fixação da pinça no mesmo.....43
Figura 3.22 Ferramenta garra robô para pegar os dispositivos de fixação das pinças.....44
Figura 3.23 Dispositivos com as pinças pintadas de azul, preparadas para o teste de validação: (a) da ponta da pinça; (b) do olhal da pinça; (c) da canela da pinça.....45
Figura 3.24 *Layout* do magazine com posição dos berços e cores de identificação.....45
Figura 3.25 Dispositivos mostrando respectivamente as cores, os números dos magazines e dos berços: (a) amarelo G1 e 04; (b) vermelha G1 e 08; (c) verde G1 e 10.....45
Figura 3.26 Dispositivos com as pinças no magazine G2 em vista de perspectiva.....46

Figura 3.27 Sistema de régua para medir o conjunto pinça e dispositivo montados.....46
Figura 3.28 Aplicação dos dispositivos passa ou não passa: (a) na ponta da pinça; (b) na caixa da pinça; (c) no olhal da pinça; (d) na canela da pinça.....47
Figura 3.29 Fluxograma da sequência do processo de acabamento da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.....49
Figura 3.30 Sequência de 1 a 6 do processo de acabamento do olhal da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm.....50
Figura 3.31 Sequência de 7 a 21 do processo de acabamento do olhal da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm.....51
Figura 3.32 Sequência de 22 a 25 do processo de acabamento do olhal da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm.....52
Figura 3.33 Sequência de 1 a 12 do processo de acabamento da canela da pinça cirúrgica Haslsted Mosquito Reto 12 cm.....53
Figura 3.34 Sequência de 13 a 16 do processo de acabamento da canela da pinça cirúrgica Haslsted Mosquito Reto 12 cm.....54
Figura 3.35 Durômetro utilizado no ensaio das pinças.....55
Figura 3.36 Dispositivo mecânico utilizado nos testes de flexão das pinças.....56
Figura 3.37 Ensaio estático convencional.....58
Figura 3.38 Pontos de apoio utilizados no ensaio com carga elevada: (a) parte interna; (b) região central; (c) ponta da pinça.....58
Figura 3.39 Dispositivo desenvolvido na empresa para ensaio dinâmico das pinças.....59
Figura 4.1 Pinça forjada após o segundo ensaio estático.....60
Figura 4.2 Pinça cortada a laser depois do segundo ensaio estático com grande carga mostrando na régua escalonada deformação.....61
Figura 4.3 Falha nas pinças no ensaio dinâmico: (a) pinça forjada; (b) pinça corte laser.....62
Figura 4.4 Comparação entre os tempos de produção das pinças utilizando os processos de forjamento e corte laser.....63
Figura 4.5 Comparação entre os tempos de acabamento das pinças utilizando os processos de forjamento e corte laser.....63
Figura 4.6 Dispositivos com as pinças marcadas no teste de validação de repetitividade: (a)

da ponta (b) do olhal; (c) da canela.....64

Figura 4.7 Médias obtidas pelas amostras coletadas das medidas da canela da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.....66

Figura 4.8 Amplitudes das amostras coletadas das medidas da canela da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.....66

Figura 4.9 Médias obtidas pelas amostras coletadas das medidas da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.....67

Figura 4.10 Amplitudes das amostras coletadas das medidas da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.....67

Figura 4.11 Tempos médios das operações de acabamento manual por pinça.....68

Figura 4.12 Tempos médios das operações de acabamento automatizado e das operações de lixamento por pinça.....69

Figura 4.13 Percentual do custo de produção no acabamento automatizado e manual por pinça.....70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Partes constituintes de uma pinça Halsted.....03

Tabela 3.1 Atividades principais do desenvolvimento.....24

Tabela 3.2 Itens com maior demanda de peças produzidas no período de 01/out/2008 a 30/set/2009..... 26

Tabela 3.3 Composição química dos aços inoxidáveis 420.....28

Tabela 3.4 Resultados das cronoanálises realizadas nos processos produtivos das pinças cirúrgicas.....29

Tabela 3.5 Pontos de falhas e ações para prevenir ocorrências de falhas nas pinças cirúrgicas 30

Tabela 3.6 Folha de cronoanálise realizada no processo de acabamento da Pinça Halsted Reto 12 cm.....31

Tabela 3.7 Dispositivos passa ou não passa identificados pela operação.....47

Tabela 4.1 Resultados dos ensaios dinâmicos nas pinças.....61

Tabela 4.2 Medidas anotadas através do sistema de régua, para avaliação do dispositivo....65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<	Menor que
>	Maior que
AGV	Veiculo guiado automaticamente
AISI	American Iron and Steel Institute
AMF	Acabamento Muito Fino
B1	Berço 1
B2	Berço 2
CEP	Controle Estatístico do Processo
CL	Local de corte
CLP	Controlador Lógico Programável
C_p	Capacidade potencial do processo
C_{pk}	Capacidade atual do processo
d_2	Média das amplitudes das amostras
DIN	Deutsches Institut für Normung
DZ	Referência da correia de lixa
EXL	Referência da roda convoluta
FMC	Célula de manufatura flexível
FMEA	Tipo e Efeito de Falha
G1	Magazine
G2	Magazine
h	Hora
HOME	Posição Inicial do Robô em Frente ao Gabarito
HRB	Rockwell B
HRC	Rockwell C
IHM	Painel interface entre o operador e a célula

ISO	International Organization for Standardization
KCP	Painel de Comando do Robô
LCI	Limite Inferior de Controle
LCS	Limite Superior de Controle
LIE	Limite Inferior de Especificação
LNI	Limite Natural Inferior
LNS	Limite Natural Superior
LSE	Limite Superior de Especificação
Máx.	Máximo
Min.	Minutos
M1	Máquina 1 - lixadeira de contato
M2	Máquina 2 - lixadeira de vão livre
M3	Máquina 3 - lixadeira de vão livre
PB	Painel do Robô
PAMC	Painel de Controle Máquinas e Robô
PID	Integral proporcional derivativa
PZ1	Politriz 1
PZ2	Politriz 2
QI	Interpolação quartenião
Ra	Rugosidade média
R$	Reais
RE	Roda Esquerda
RD	Roda Direita
SCMLS	Correia Scotch-Brite com baixo elasticidade
SMCI	Sistema de manufatura de células interligadas
TOC	Teoria das Restrições / Teory of Constraints
Unid	Unidade

LISTA SÍMBOLOS

%	Percentagem
A	Classificação do aço AISI 420
C	Carbono
°C	Grau Celsius
cm	Centímetro
Cu	Cobre
Cr	Cromo
D	Classificação do aço AISI 420
h/min	Horas por minuto
kgf/mm	Kilograma força por milimetro
mm	Milímetro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
m/min	Metro por minuto
m/s	Metro por segundo
mm/m	Milímetro por metro linear
n	Tamanho da amostra
Ni	Níquel
P	Fósforo
R	Amplitude
rpm	Rotação por minuto
RPM	Rotação por minuto
Si	Sílicio
S	Enxofre
t	Tonelada

V	Volts
$\overline{X}$	média
σ	desvio padrão
μ	população
μm	mícron/micrômetro

1 INTRODUÇÃO

Instrumentos cirúrgicos são requeridos para aumentar a agilidade do cirurgião e possibilitar a realização de tarefas impossíveis de serem realizadas apenas com as mãos. São diversos os instrumentos utilizados atualmente, porém, em procedimentos cirúrgicos, independente do tipo de cirurgia, é indispensável o uso dos instrumentos classificados como comuns, tais como pinças auxiliares. As pinças auxiliares, que fazem parte deste estudo, são classificadas em hemostáticas, que tem como aplicação o pinçamento de vasos sangrentos, preensão, que tem a aplicação de prender e segurar vísceras ou órgãos e campo, que tem como aplicação fixar panos de campo.

A fabricação dos instrumentos cirúrgicos segue padrões de qualidade de acordo com normas brasileiras e internacionais. A matéria-prima utilizada na fabricação destas pinças é o aço inoxidável AISI 420 D com certificado ISO. Uma etapa importante na fabricação é o forjamento dos instrumentos cirúrgicos. Este processo, conforme Brites, 2009, caracteriza-se pelo melhor aproveitamento da matéria-prima e pela produção econômica de produtos com propriedades mecânicas melhores. Outro processo também importante na fabricação é o acabamento que, por ser feito manual de forma artesanal, consume o maior tempo de operação.

A indústria nacional de instrumentos cirúrgicos compete com multinacionais que produzem no exterior e evidenciam ter maior vantagem em importar para o país do que nacionalizar a fabricação do mesmo produto. O Brasil tem a imagem de indústria de instrumentos cirúrgicos com baixa densidade tecnológica (CECMIC, 2010). Os procedimentos de fabricação são razoavelmente mecanizados e automatizados. No entanto, as operações de acabamento são lentas e manuais, exigindo grande quantidade e qualidade de recursos humanos. Constituindo-se em limite de produtividade e qualidade, o custo passa a ser muito relevante no atual contexto globalizado. Para inverter este cenário é necessário investir em tecnologia, aprimorar os processos produtivos, a qualidade e a eficiência de seus produtos e serviços, reduzir desperdícios e tornar o custo competitivo com o mercado externo.

A pesquisa deste trabalho surgiu da necessidade de aumentar a produção de instrumentos cirúrgicos da empresa Edlo S/A Produtos Médicos. Analisaram-se todos os processos produtivos e foram identificadas as suas restrições.

Devido à competição tecnológica e comercial é necessário aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos produtos, reduzir o retrabalho e os custos de produção. A empresa possuía uma baixa produtividade, devido aos processos de acabamento dos produtos serem

realizados manualmente, gerando, assim, um custo maior. Desta forma se buscou solução através da automação com célula robotizada. O conceito de célula de manufatura e robótica será utilizado para auxiliar no desenvolvimento da automação do processo de acabamento, buscando assim inovação e maior competitividade no mercado e consecutivamente reduzir os custos de fabricação junto à empresa.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver um processo automatizado de acabamento em instrumentos cirúrgicos forjados, usando o conceito de célula de manufatura flexível e robótica para auxiliar no aperfeiçoamento dos processos e padronização dos produtos, buscando assim redução de custo e maior competitividade no mercado.

1.2 Objetivo específico

Obter e avaliar o aumento da produtividade e redução nos custos de fabricação na fabricação de pinças cirúrgicas através da implantação de uma célula flexível de manufatura responsável pelo acabamento superficial dos componentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Mantendo o principal foco do trabalho na automação através de uma célula robotizada para um processo de acabamento com restrições na sua produção, buscaram-se alguns conceitos de interesse durante o desenvolvimento. Entre os conceitos estudados estão: aplicação das pinças cirúrgicas, manufatura celular, automação utilizando a robótica, manufatura flexível, teoria das restrições, cronoanálise dos tempos de processos operacionais, avaliação de estoque pela curva ABC, qualidade de produto, análise dos modos de falhas e seus efeitos (FEMEA) e estado da arte.

2.1 Pinças cirúrgicas

As pinças abordadas neste estudo são agrupadas na classificação hemostáticas, preensão e campo (Nunes, 2007). As pinças denominadas Halsted e Kelly são classificadas como hemostáticas, isto é, que se destinam ao pinçamento de vasos sangrentos. Estas podem ser curvas por proporcionarem maior facilidade de manuseio. As Halsted delicadas são chamadas de mosquitos, e usadas em cirurgias infantis.

A pinça de preensão Allis é classificada como preensão, isto é, destinada a prender e segurar vísceras e órgãos. A pinça de campo denominada Backhaus destina-se a fixar panos de campo, fenestrados ou não, à pele do paciente, para impedir que a sua posição seja alterada durante a cirurgia. Seu formato é agudo, curva e perfura o pano e a pele do paciente.

As partes constitutivas de uma pinça Halsted são enumeradas na tabela 2.1, e ilustradas na figura 2.1. apresenta as partes que compõe uma pinça Halsted: As demais pinças citadas são apresentadas na figura 2.2.

Tabela 2.1- Partes constitutivas de uma pinça Halsted.

Ponta	Parte ativa da pinça, onde ocorre a aplicação de força;
Caixa	Articulação central da pinça;
Canela	Haste que determina o comprimento da pinça;
Olhal	Anel de apoio para os dedos do usuário;
Cremalheira	Elemento responsável pelo travamento da pinça.

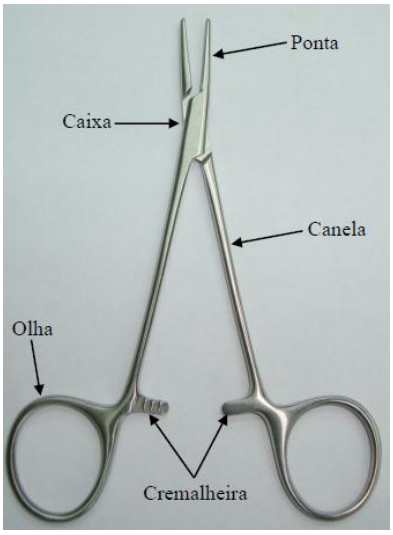


Figura 2.1 – Partes de uma pinça cirúrgica Halsted.

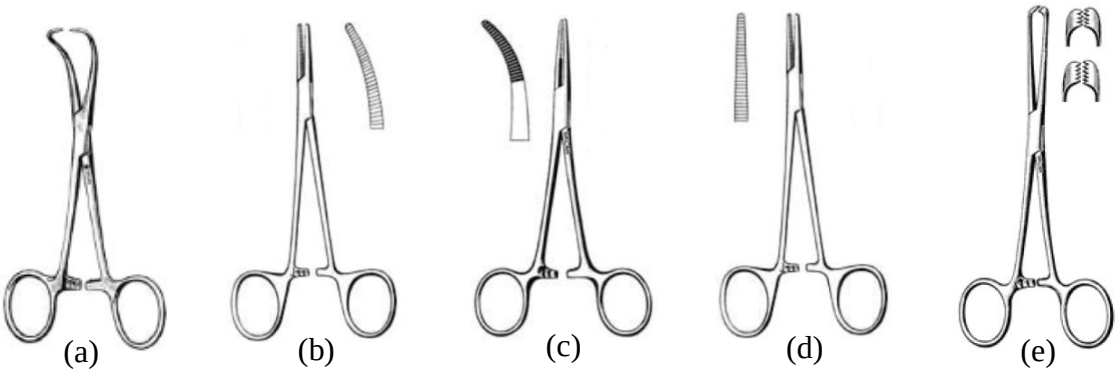


Figura 2.2 – (a) Pinça de Backhaus; (b) Pinça Halsted Mosquito Curva; (c) Pinça Kelly Curva; (d) Pinça Halsted Mosquito Reto; (e) Pinça Allis.

2.2 Automação da manufatura

A automação da manufatura é um meio bastante utilizado para obter redução de custos e aumento na produção. Com base nisso, as seções seguintes buscam apresentar as bases para os processos automatizados descritos e estudados neste trabalho.

2.2.1 Manufatura celular

O *layout* em célula de manufatura se baseia no trabalho cooperativo ou em time de pessoas que formam um grupo coeso em relação à produção que será realizada [Lorini, 2008]. A célula inclui todas as operações e processos necessários à fabricação da família de produtos.

O arranjo do *layout* consiste no agrupamento e disposição de operações, processos, máquinas-ferramentas e trabalhadores em estações de trabalho conforme a sequência das atividades de produção. A célula pode assumir diversas formas de fluxo como em “U”, “L”, “T” ou mesmo ser em linha.

Dentre as vantagens da formação de células de manufatura, podem ser citadas grande utilização do equipamento e baixa ociosidade, favorecendo grupos de operadores multitarefas com conhecimento amplo do produto, maior controle do sistema e confiabilidade de entregas, melhor fluxo e uso do espaço do que o *layout* funcional, combinação de flexibilidade e integração, melhoria na qualidade de lotes, estoques e tempos de *setup* menores. As limitações passam a ser maior custo com mão-de-obra especializada e pode requerer duplicação de máquinas.

Para a formação de célula, devem ser identificadas as famílias de peças que serão processadas, sendo que as células devem ser montadas por família. A família de peças é constituída por itens com características de processamento similares. Podem-se formar células para fabricar um produto inteiro ou partes de um produto.

O sistema de manufatura de células interligadas (SMCI) é composto por células de manufatura, células de submontagens e células de montagem final (Black, 1998). O SMCI tem como construção básico a célula de manufatura em blocos, os processos são agrupados conforme os processos e operações necessárias para fabricar um grupo ou famílias de peças. O arranjo funciona como o *layout* funcional com a célula projetada para ser flexível, onde as peças se movem na mesma uma por vez. A figura 2.3 apresenta célula de manufatura no formato de “U” para uma família de peças com sete máquinas.

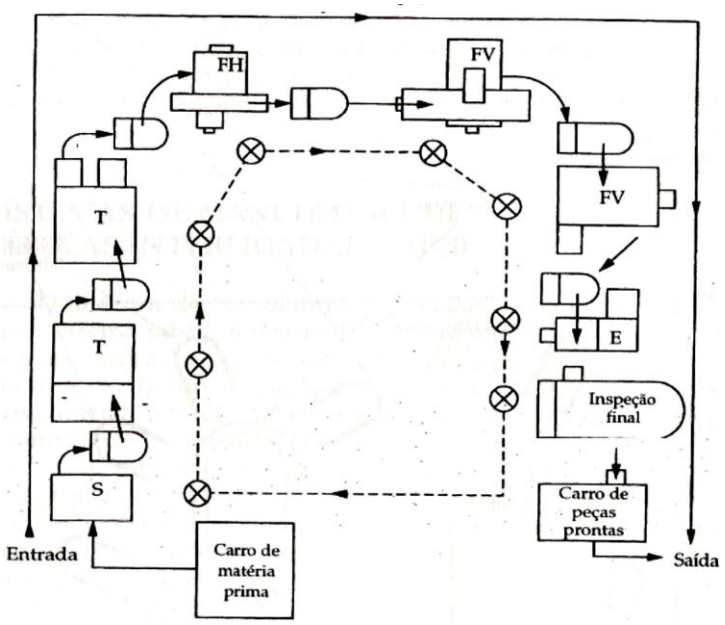


Figura 2.3 – Célula de manufatura para família de peças com sete máquinas [Black, 1998].

2.2.2 Automação utilizando a robótica

O robô industrial é um manipulador multifuncional reprogramável, projetado para movimentar materiais, componentes, ferramentas ou peças especiais, por meio de movimentos programados, para o desempenho de diversas tarefas (Demenicis, 2006). Uma definição mais técnica é apresentada pela norma ISO 10218, como sendo "uma máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, com base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial".

Pires, 2003, classifica os robôs como: manipulador, explorador e máquinas-ferramenta. A primeira classe será utilizada neste trabalho de dissertação, que são os robôs manipuladores que têm por objetivo deslocar material de um ponto a outro do espaço, acompanhando uma trajetória dentro de um volume de trabalho como, por exemplo, os braços mecânicos. A segunda classe é a dos robôs exploradores, que exploram determinado ambiente como uma superfície, um espaço ou até mesmo um objeto fixo, revelando suas características físicas através de sensores, como exemplo o robô enviado a Marte para exploração. A terceira classe é a das máquinas-ferramenta, que têm o objetivo de processar uma matéria-prima, aumentando o valor agregado como, por exemplo, os robôs de solda e usinagem.

Os tipos de robôs existentes são os cartesianos, esféricos ou polares, cilíndricos e os antropomórficos (Demenicis, 2006). A figura 2.4 apresenta os tipos clássicos ou básicos de robôs.

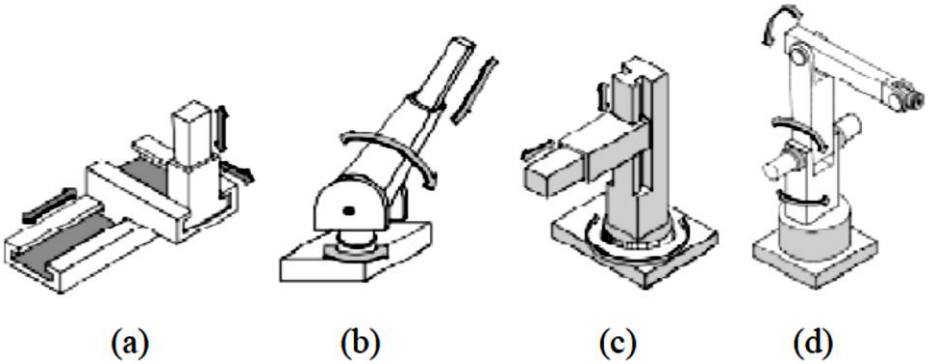


Figura 2.4 – (a) Manipulador cartesiano, (b) Manipulador esférico, (c) Manipulador cilíndrico, (d) Manipulador antropomórfico [Demenicis, 2006].

Para execução de trabalho os robôs necessitam de ferramentas, tais como pistolas de pintura, pinças de solda a ponto, lixadeiras ou manipuladores. Os atuadores são o elo de ligação entre o robô e o meio que o cerca, podendo ser do tipo ferramenta ou garra. A ferramenta tem como função realizar uma ação ou trabalho sobre uma peça, já a garra tem a função de pegar um determinado objeto, transportá-lo a uma posição pré-estabelecida e após soltá-lo. A figura 2.5 ilustra alguns exemplos de atuadores.

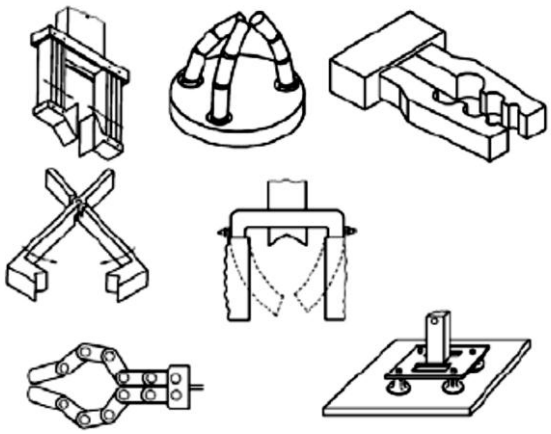


Figura 2.5 – Exemplos de efetuadores [Demenicis, 2006].

O princípio de controle dos robôs industriais é o mesmo das máquinas ferramenta CNC, mas sua estrutura mecânica é bastante diferente no que diz respeito à rigidez do robô, em geral insuficiente para garantir as tolerâncias de projeto. A principal diferença conceitual está na maior flexibilidade, diversidade de aplicações e maior de volume de trabalho que os robôs podem atingir.

Um robô industrial é integrado de vários componentes, entre eles: manipulador mecânico que é a estrutura do robô, combinação de corpos ou elos, conectados através de

juntas, sendo o primeiro corpo base e o último flange, onde será vinculado o efetuador. Atuadores são conversores de uma energia qualquer em potência mecânica, podem ser hidráulicos, pneumáticos e eletromagnéticos (motor de passo, servo-motores, motor de corrente contínua e motor de corrente alternada). O sistema de transmissão é responsável por transmitir a potência mecânica do atuador ao corpo. Estes podem ser engrenagens, fusos de esferas recirculantes, correias sincronizadoras, polias, correntes, cabos, barras articuladas e redutores de velocidade com elevada taxa de redução. Sensores são os que fornecem o comportamento de cada junta do robô, parâmetros de posição e velocidade em função do tempo ou de interação entre a estrutura e o ambiente, como forças e torques ou visão, são informados à unidade de controle, dentre os principais estão, os potenciômetros, *encoders*, *resolvers*, amperímetros, células de carga e câmeras. A unidade controladora recebe as informações dos sensores e envia à unidade de potência os sinais necessários ao movimento pré-programado das juntas. A unidade de potência (*driver*) é que converte o sinal da unidade de controle em sinais de potência para o funcionamento dos atuadores.

Os robôs industriais, segundo Pires, 2003, são de todos os equipamentos usados na automação industrial, aqueles que apresentam melhor índice de custo de produção por unidade de produto, em função do volume de produção, para pequenos e médios volumes de produtos. A implantação no chão de fábrica de robôs industriais trouxe benefícios como a melhoria da eficácia, da qualidade, redução da mão-de-obra, além de mais eficiência, confiabilidade e redução de custos. Porém, há controvérsias na utilização desta automação industrial, devido ao custo deste sistema para pequenas indústrias e a redução de trabalhadores.

Vantagens adicionais dos robôs incluem a capacidade de realizar tarefas para as quais os humanos teriam grandes dificuldades, além da remoção de humanos de tarefas em ambientes perigosos. Por excelência, os robôs são equipamentos flexíveis, isto é, máquinas que se adaptam às mais diferentes tarefas. Esta característica aumenta a disponibilidade dos equipamentos robotizados para alterações significativas de tarefas e operações, o que é fundamental para responder de forma ágil a alterações de mercado ou a introdução de novos produtos.

Para obter sucesso na implantação de um sistema automatizado de produção, é preciso escolher qual a estratégia de automação mais adequada ao perfil da empresa, levando em consideração a relação do custo unitário do produto com o volume de produção.

Existem três estratégias básicas de automação industrial, que são a programável, a rígida e a flexível. A escolha adequada é a principal diferença no retorno do investimento para

a empresa. Porém, nem sempre o uso de robô é a solução mais adequada (Horikawa et al., 2002).

Para entender melhor as três estratégias básicas segue a descrição de cada uma delas:

- Programável (trabalho manual): custo inicial por unidade médio tendendo a aumentar conforme aumenta o volume de peças produzidas;
- Rígida ou fixa (automação rígida): custo inicial por unidade alto com tendência de queda acentuada conforme aumento do volume de peças produzidas;
- Flexível (robô): custo inicial por unidade alto tendendo a médio conforme aumento do volume de peças produzidas.

A figura 2.6 apresenta o gráfico com as tendências de cada estratégia de automação.

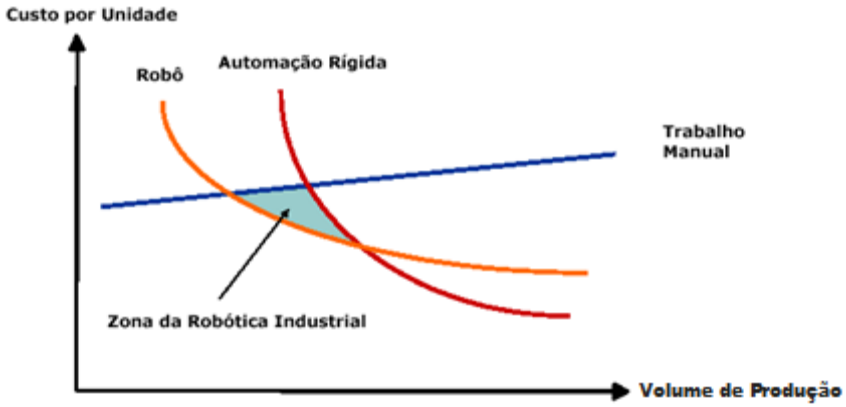


Figura 2.6 - Zona da utilização da robótica industrial, relacionada com custo por unidade x volume de produção [Pires, 2003].

É possível concluir neste gráfico da figura 2.6, que a zona ótima de utilização da robótica na indústria é considerada mais eficaz para volumes médios de produção, tornando-se mais competitivo com a flexibilidade na produção.

A desvantagem da robótica na indústria é o custo alto para obter esta tecnologia. Um ponto a acrescentar nas empresas que passam a adotar robôs em chão de fábrica é a mão-de-obra especializada, na programação destas máquinas. O treinamento de programadores para estas linguagens representa uma porção significativa dos custos de instalação de um robô. Outro fator a ser citado, é que a empresa passa a ter uma redução na mão-de-obra não especializada (Pires, 2003).

2.2.3 Manufatura flexível

De acordo com Wu et al, 2005, célula de manufatura flexível (FMC) é definida como um agrupamento de pessoas e processos em uma área específica dedicada à produção de uma família de peças ou produtos. Uma célula de manufatura flexível é uma célula de trabalho que faz utilização de um elevado grau de automação e integração, como uma arquitetura que integra diversos sistemas de controle, tais com transportadores, robôs e centro de usinagem.

A célula de manufatura flexível (FMC) consiste de dois ou três processos de estação de trabalho (centros de usinagem ou torneamento CNC) mais a parte de sistema manual que é conectado à estação de carga e descarga (Groover, 2001). A figura 2.7 apresenta uma célula de manufatura flexível que possui 3 estações de processos idênticos (centro de usinagem CNC), estação de carga e descarga e parte do sistema manual.

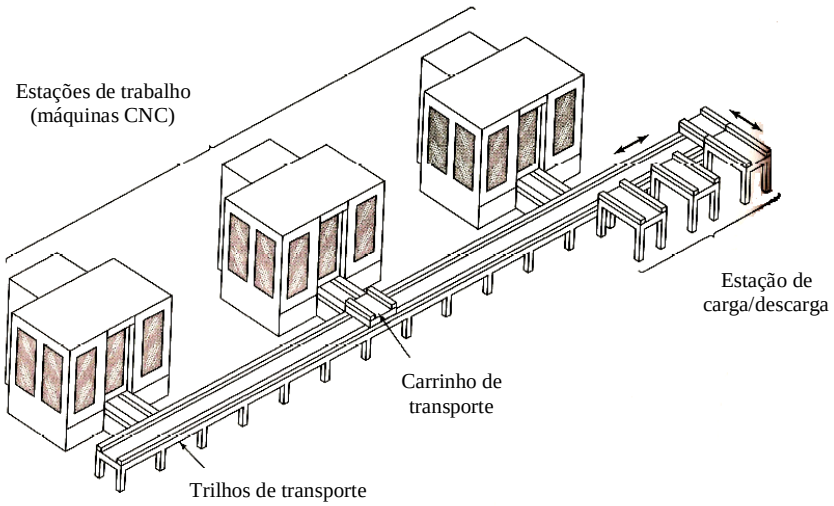


Figura 2.7- Apresentação de célula de manufatura flexível com suas estações [Groover, 2001].

Conforme Groover, 2001, sistema de manufatura flexível (FMS) consiste em um grupo de estação de processamento, usualmente CNC, interconectado por um sistema automático de transporte e de estoque, e controlado por um sistema de computador integrado. A razão do sistema de manufatura flexível ser chamado de flexível é que ele é capaz de processar uma variedade de diferentes tipos de peças simultaneamente, sob o controle de programas numéricos em cada estação.

A diferença entre célula e sistema de manufatura flexível é que a célula consiste em um grupo de máquinas e operações manuais, automatizadas ou ambas, podendo ter transporte automatizado ou não e controle computadorizado. Já o sistema de manufatura flexível é um

sistema totalmente automatizado, onde existem estações de trabalho automatizadas, transportes de material automatizado e um controle de produção computadorizado.

2.3 Ferramentas de qualidade e produção

Esta seção visa apresentar de forma concisa as principais ferramentas de produção e qualidade utilizadas neste trabalho. Através destas ferramentas é possível avaliar a evolução da qualidade e produtividade.

2.3.1 Teoria das Restrições

Teoria das Restrições, também conhecida por TOC (*Theory of Constraints*), foi criada pelo físico israelense Elyahu Goldratt, por volta dos anos 80. A teoria propõe uma análise lógica e racional para a focalização em resultado.

Para Goldratt e Fox, 1993, na Teoria das Restrições as organizações industriais ou empresas são como um sistema, ou seja, um conjunto de elementos entre os quais há alguma relação de interdependência. Cada elemento depende um do outro de alguma forma, e o desempenho global do sistema depende dos esforços conjuntos de todos os seus elementos. Um dos conceitos mais fundamentais é o reconhecimento do importante papel da restrição de qualquer sistema.

Por restrição entende-se algo que limita o desempenho da empresa. Podem-se encontrar restrições físicas no mercado, fornecedores e nas operações internas, e restrições de política, compostas por normas da empresa. Encontradas as restrições, as mesmas devem ser exploradas ao máximo de suas capacidades, pois o desempenho dos gargalos (restrições) determinará o desempenho de todo o sistema. O funcionamento dos recursos não-restrições precisa, então, ser subordinado ao uso dos gargalos, de maneira a se evitar a criação de alto estoque intermediário. Desta forma, obtém-se o máximo possível de produção da empresa nas atuais circunstâncias. Para a melhoria do desempenho da mesma, necessita-se eliminar a restrição. Quando se consegue acabar com a restrição, a produção da empresa aumenta e outro recurso aparecerá como gargalo. Volta-se então ao início do ciclo, trabalhando com a nova restrição, guiando as ações de melhoria contínua da empresa e tornando-a cada vez mais competitiva. Assim, se desenvolvem os 5 passos de focalização da Teoria das Restrições:

Passo 1 - Identificar a restrição do sistema: todo sistema deve ter, pelo menos uma restrição, caso contrário seu ganho seria infinito. Não obstante, todo sistema terá um número

muito reduzido de restrições. Neste aspecto deve-se dar prioridade àquelas que tenham a ver com a obtenção de uma maior margem de contribuição.

Passo 2 - Decidir a forma mais eficiente de utilizar a restrição: determina como maximizar o desempenho do sistema dada a restrição. Assim, por exemplo, se a restrição for o mercado, existe capacidade suficiente, mas não pedidos suficientes. Explorar o mercado significa entregar os pedidos com pontualidade e não desperdiçar vendas.

Passo 3 - Subordinar os demais recursos para a decisão tomada: o gerenciamento da grande maioria de recursos, que são, por definição, não-restrição, deve garantir o funcionamento ou a exploração das Restrições. As não-gargalos devem fornecer tudo o que as restrições precisam consumir e nada mais.

Passo 4 - Elevar a capacidade da restrição do sistema: o simples fato de focalizar e explorar uma restrição já faz com que se descubra uma capacidade a mais nesse recurso. Deve-se elevar uma restrição apenas após completar o segundo e terceiro passos do processo (explorar e subordinar). Portanto, ao elevar uma restrição, o desempenho da empresa (lucro) subirá de patamar, mas não irá para o infinito. Alguma coisa limitará esse desempenho, ou seja, a restrição foi mudada.

Passo 5 - Se a restrição for eliminada, voltar ao primeiro passo 1: as restrições têm impacto sobre o comportamento de todos os outros recursos da empresa. Portanto, tudo o mais deve estar subordinado ao nível máximo de desempenho da restrição.

A Teoria das Restrições pode ser explicada usando os cinco passos de focalização listados. Observe-se que poderão existir sistemas com uma ou mais restrições. O objetivo desses passos é o de focalizar a atenção do gerente nos recursos restritos, que são fatores inibidores do crescimento do lucro.

Goldratt e Cox (1993) propõem três indicadores para medir o caminho para a meta da empresa. Estes medidores são baseados em:

- Lucro líquido;
- Retorno sobre o investimento;
- Fluxo de caixa.

Com a finalidade de colocar em uma linguagem mais didática para o chão de fábrica e para a gerência de produção, Goldratt e Cox (1993) propõem três Indicadores de performance:

- Ganho;
- Inventário;
- Despesas operacionais.

O uso de indicadores para estes recursos restritos, ou seja, para os gargalos de produção, é uma forma de controlar e manter gerenciada a produção.

2.3.2 Cronoanálise dos tempos de processos operacionais

A cronoanálise é o estudo realizado através da análise dos tempos cronometrados referentes aos processos operacionais do fluxo de produção. O tempo ocioso do operador, por exemplo, necessidades fisiológicas e quebra de máquinas, também são analisados. O cronoanalista direciona e otimiza a sequência operacional analisando o melhor procedimento a ser executado em determinadas atividades.

Conforme Sugai, 2003, o surgimento da cronoanálise ocorreu através dos estudos de Frederick Taylor e de Frank Gilbreth. Taylor enfatizou a divisão de operações em um processo de produção e a real capacidade do operador. Enquanto Gilbreth enfatizou a parte de movimentos relacionados à fadiga, economia de movimentos desnecessários, e criou a tabela de movimentos com valores e símbolos. Os trabalhos realizados por Taylor e Gilbreth impulsionaram os estudos da administração científica, estudo de tempos e movimentos.

A cronoanálise possui uma ferramenta forte que é a cronometragem, mostrando assim importantes pontos de amostragem e de tempos como, por exemplo, a capacidade real do operador através da cronometragem, o número de medições exigidas para uma análise confiável, e avaliar a tolerância em percentual de cada operação.

A cronometria é o ato mecânico de se chegar ao tempo padrão, isto é, o cálculo. Já a cronoanálise é a arte de utilização do tempo padrão, visando à melhoria no método de trabalho, isto é, a tabulação (Toledo Jr, 2007).

2.3.3 Avaliação de estoque pela Curva ABC

Conforme Lima et al., 2008, a curva ABC analisa a separação dos itens de estoque em três grupos de acordo com o valor de demanda anual, referente aos produtos acabados, ou valor de consumo anual quando se tratarem de produtos em processo ou matérias-primas e insumos.

O valor de consumo ou de demanda anual é determinado multiplicando o preço ou o custo unitário de cada item pelo seu consumo ou sua demanda anual. Desta forma, como resultado da classificação ABC, surgirá grupos divididos em três classes.

Classe A - são os itens com alto valor de demanda ou consumo anual;

Classe B - são os itens com médio valor de demanda ou consumo anual;

Classe C - são os itens com baixo valor de demanda ou consumo anual.

A figura 2.8 demonstra a distribuição das três classes ABC em um gráfico.

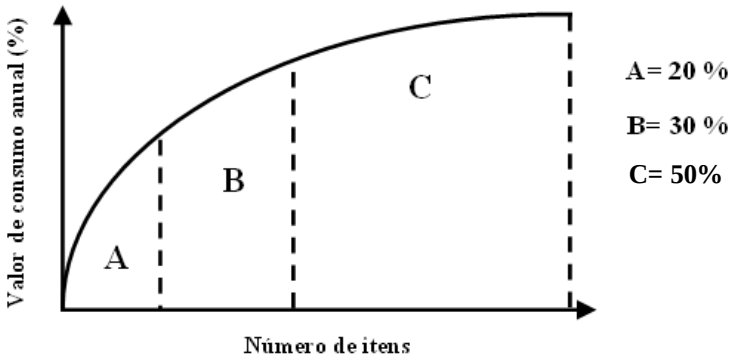


Figura 2.8 - Gráfico Curva ABC.

A classificação ABC de itens de estoque apresenta uma configuração na qual 20% dos itens são considerados A, sendo que estes correspondem por 65% do valor de demanda ou consumo anual. Os itens B representam 30% do total de número de itens e 25% do valor de demanda ou consumo anual. Tem-se ainda que 50% dos itens restantes e 10% do valor de consumo anual serão considerados de classe C.

Ainda que tais percentuais de classificação possam variar de empresa para empresa, é importante observar que o princípio ABC, no qual uma pequena percentagem de itens é responsável por uma grande percentagem do valor de demanda ou consumo anual, normalmente ocorre.

Embora a configuração acima seja válida como padrão, tratando-se de curva ABC, a classificação não deve ter como regra rígida a composição por três classes.

Com isso, a análise da curva ABC deve refletir a dificuldade de controle de um item e o impacto deste item sobre os custos e a rentabilidade, podendo variar de empresa para empresa. É necessário ressaltar que, apesar da análise ABC ser usualmente ilustrada através do valor de consumo anual, este é apenas um dos muitos critérios que podem afetar a classificação de um item.

2.3.4 Qualidade de Produto

Conforme Campos, 2004, ter qualidade é quando um produto ou serviço atende de forma confiável, acessível, segura e no tempo certo às necessidades do consumidor. O

verdadeiro critério de boa qualidade é a preferência do cliente e não somente a ausência de defeitos. É isto que garantirá a sobrevivência do seu produto em relação ao do seu concorrente. Por outro lado, conforme Juran, 1999, qualidade significa adequação ao uso. Segundo Deming, 2000, qualidade é atender e se possível exceder as expectativas do cliente. Para Crosby, 1995, ter qualidade é atender às especificações do produto. Taguchi, 1999, diz que, quanto menor for o prejuízo, melhor será a qualidade do produto.

A qualidade incorporada ao processo é ponto importante, reduzindo a necessidade de esforços de inspeção ou de controle (Stevenson, 2001). A quantidade a ser inspecionada é variável, pode não haver ou até, ao contrário, ter inspeção de cada item muitas vezes.

Os itens de baixo custo e produzidos em larga escala, como por exemplo pregos, não necessitam de inspeção rigorosa, pois o custo associado com a aprovação de itens defeituosos é muito baixo, além de os processos que produzem esses itens serem confiáveis, assim os itens defeituosos são poucos. Os itens de alto custo, produzidos em menor escala, e que tenham elevados custos associados com a aprovação dos itens defeituosos necessitam com frequência uma inspeção.

O custo da inspeção, as interrupções resultantes no processo ou os atrasos causados pela própria inspeção, ou o modo de realizar os testes, em geral, são desvantagens que não compensam os benefícios da inspeção de 100% da produção. As operações que englobam uma elevada proporção de ações humanas precisam de mais esforços de inspeção do que as operações realizadas por máquinas, que tendem a apresentar maior repetitividade.

A frequência de inspeção depende do período com que um processo pode ficar fora de controle, ou então do número de lotes que está sendo inspecionado. Um processo estável terá poucas verificações, ao passo que, um processo instável demandará muitas verificações. Cada inspeção aumenta o custo do produto ou serviço, sendo necessário tornar o processo mais estável para diminuir o custo do mesmo.

2.3.5 Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA)

A FMEA é um método amplamente formalizado para determinação sistemática de possíveis falhas e avaliação dos riscos a elas associados (efeitos). O principal objetivo é a redução ou eliminação dos riscos. A FMEA baseia-se na análise direta de uma falha e suas consequências, bem como suas causas (Pahl et al., 2005). Portanto, ela só permite uma única interligação direta entre causas e consequências de uma falha. Este método é basicamente utilizado em novos desenvolvimentos.

A questão primordial na FMEA projeto/desenvolvimento é verificar se as funções formuladas na lista de requisitos estão satisfeitas. Com o auxílio da FMEA de processo/produção, verifica-se se o processo de produção planejado é adequado para alcançar as características exigidas. Para execução do FMEA, são necessários alguns procedimentos que serão descritos abaixo (Pahl et al., 2005):

Na primeira etapa, são identificados os itens que compõe o produto que podem ser problemáticos em algum estágio de sua fabricação ou montagem do produto.

Em segundo, são identificados os tipos de falha, seus efeitos e suas causas na fabricação ou montagem dos itens listados.

Em terceiro, identifica-se para cada efeito de modo de falha a sua respectiva severidade.

Em quarto, são pontuadas as probabilidades de ocorrência das causas identificadas para cada modo potencial de falha.

Em quinto, são identificados os controles atuais preventivos existentes no processo e a probabilidade de detecção da falha.

Em sexto, o potencial de risco de cada modo de falha é calculado e as medidas para sua eliminação ou redução são definidas. Isto é obtido através de um plano de ações que aumenta a probabilidade de detecção ou reduz a probabilidade de ocorrência da falha.

2.4 Estado da Arte

O processo de polimento, em geral, é feito através de trabalho manual, sendo uma operação extremamente trabalhosa, que demanda tempo excessivo e, por consequência, de custo elevado. Um sistema de polimento robótico é proposto por Feng-yun e Tian-sheng, 2004. Neste sistema, um gerador de trajetória é necessário para gerar o polimento robotizado, onde o caminho é feito a partir dos dados gerados em um sistema CAD. Utilizando o gerador de trajetória, o robô de polimento dispensa o processo convencional de ensino. A fim de melhorar a qualidade de uma superfície da peça, um algoritmo de interpolação quaternião (QI) entre dois dados CL (local de corte) também é proposto, que pode realizar a interpolação suave das posições do robô na orientação do efeito final. O sistema utiliza um robô com seis eixos *MOTOMAN-SV3* e um controlador XRC multifuncional. O robô é capaz de alinhar o eixo de polimento com a superfície do local, respeitando o caminho da ferramenta de polimento.

Nesse estudo foi realizado teste com e sem o algoritmo QI. A rugosidade média (Ra) da superfície da peça antes do polimento era de 1,0 µm. A relação entre a rugosidade média da superfície e o tempo de polimento é mostrada no gráfico da figura 2.9. A rugosidade média da superfície após 3 horas de polimento usando o algoritmo QI foi de 0,16 µm, enquanto sem o uso do algoritmo QI foi de 0,21 µm. Concluiu-se que a rugosidade média da superfície foi reduzida com o uso do algoritmo QI. Na figura 2.10 ilustra estação robotizada de polimento e ampliada a trajetória do algoritmo QI para a peça trabalhada.

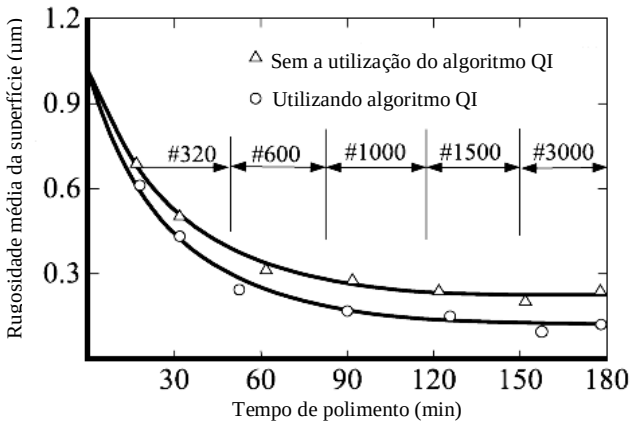


Figura 2.9- Gráfico relação entre rugosidade média da superfície e o tempo de polimento [Feng-yun e Tian-sheng, 2004].

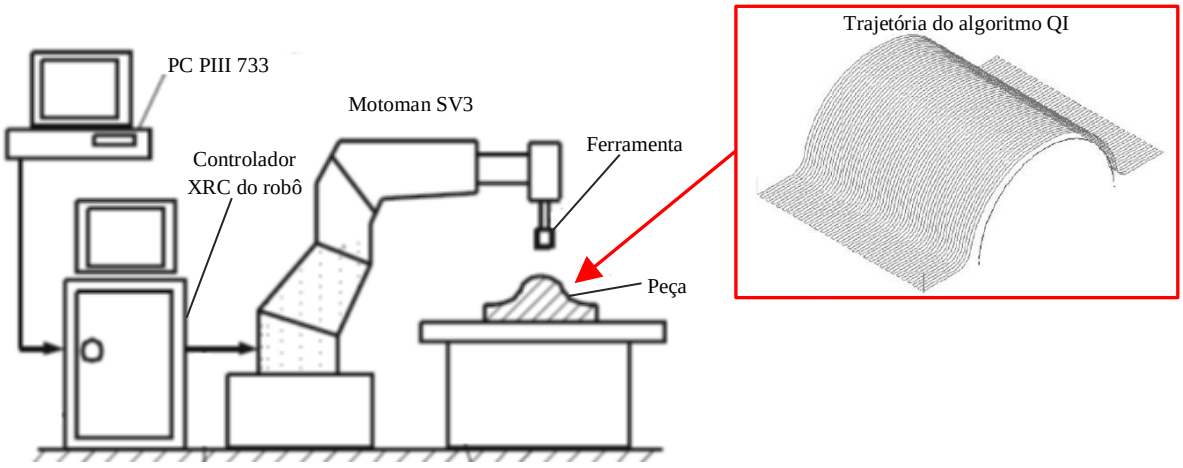


Figura 2.10- Estação de polimento robotizada e trajetória do algoritmo QI [Feng-yun e Tian-sheng, 2004].

Segundo Basañez e Rosell, 2005, o uso de robôs para automatizar algumas tarefas envolvendo sensores e planejamento estratégico de movimento não tem sido generalizado, pois eles são difíceis de programar, não permitindo ao usuário especificar uma descrição de

alto nível da tarefa. Sistemas de polimento automático requerem trajetória livre de colisão e uso de controle obediente. Com base nessas limitações, foi proposta pelos autores uma programação de robô de nível gráfico de tarefa com ferramenta para polimento de peça fixada na garra do robô. O programa de execução do robô *Stäubli RX-90* chamado *V+* executa sequência de movimentos do robô, definida como proposta de trajetória de polimento e incluindo controle de força.

A abordagem adotada pelos autores permite uma forma para especificar as curvas do polimento através de um modelo CAD da peça, podendo ser utilizada por um operador com pouco conhecimento em informática. Este programa funciona em plataforma de Windows com programação em C, utilizando biblioteca gráfica *OpenGL*. Neste programa o usuário também especifica a largura das faixas de polimento abrasivo a ser utilizado e a pressão exercida. A interface gráfica auxilia o usuário em verificar que toda a superfície deve ser corretamente polida. Após, realizada a especificação da tarefa, um módulo de planejamento de tarefas fornece os algoritmos para garantir a sequência ideal de trajetórias do robô para realizar o polimento das curvas ao longo da peça, evitando colisões com os obstáculos presentes na célula. Esta proposta pode ser facilmente estendida para outras tarefas similares como corte ou de distribuição de material. A figura 2.11 apresenta o robô realizando a trajetória de polimento em uma peça.

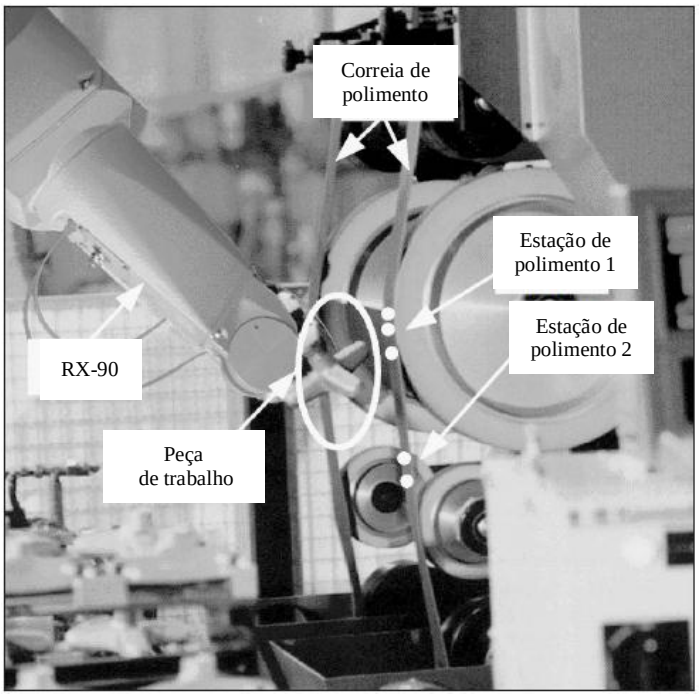


Figura 2.11 – Robô executando uma tarefa de polimento [Basañez e Rosell, 2005].

Liao et al., 2008, apresentou um modelo de controle de polimento automatizado para um processo de polir e rebarbar. Uma nova abordagem é apresentada através de uma ferramenta com dupla finalidade. Esta ferramenta possui um eixo pneumático que pode ser estendido e recolhido por três atuadores pneumáticos para proporcionar o comprimento da mesma. Para o controle do polimento, a pressão da ferramenta é pré-planejada, com base na geometria da peça, e um controlador PID (integral proporcional derivativa) é aplicado para controlar a pressão através de um sensor de pressão. Realizou-se um teste em uma peça de cobre, onde a rugosidade média (Ra) foi medida em diferentes áreas, usando um scanner de perfil laser 2-D. Foram obtidos cinco resultados, onde de 2 a 4 são as áreas em que foi aplicado polimento com controle de pressão e velocidade e nas áreas 1 e 5 não foi aplicado o controle no polimento.

Conclui-se que a geometria da peça testada foi polida uniformemente por aplicação da teoria do controle da pressão e velocidade. Na figura 2.12 são apresentados os resultados de rugosidade média (Ra) em uma tabela de 1 a 5 amostras e suas respectivas áreas polida da peça. Para o controle de rebarbação, outro PID é aplicado para regular o comprimento da ferramenta através da extensão de ferramentas de detecção. Os dois métodos de controle foram testados e implementados em um robô de polimento e rebarbação. A figura 2.13 apresenta o sistema robotizado de polimento e rebarbação.

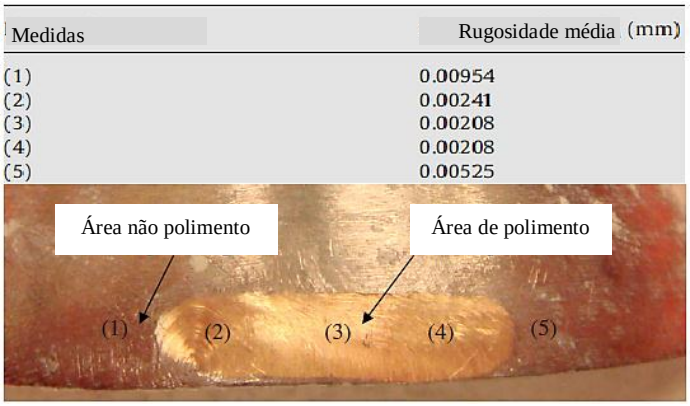


Figura 2.12 – Tabela com as cinco rugosidades médias Ra (mm) e área polida da peça [Liao et al., 2008].

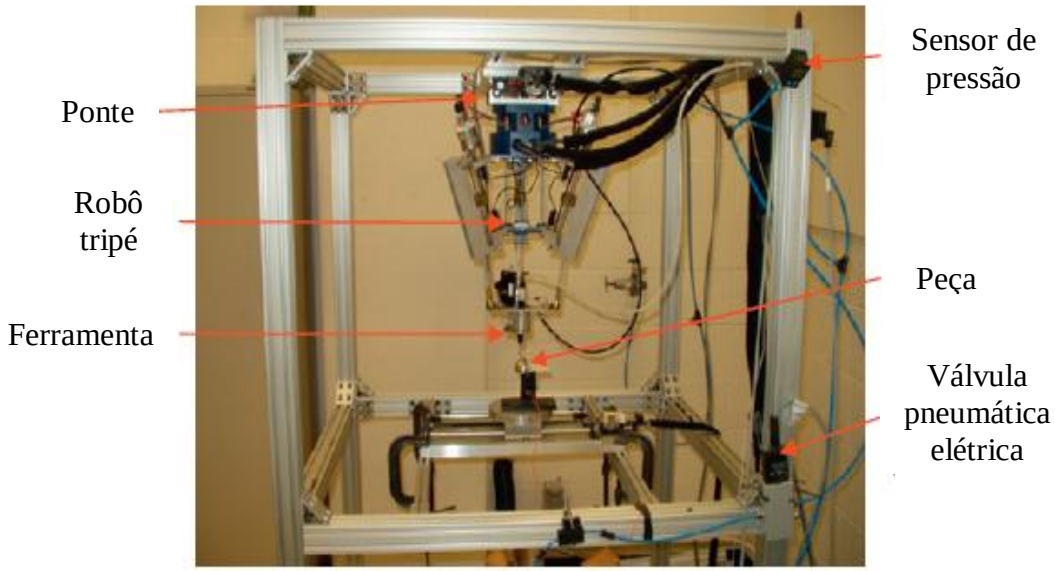
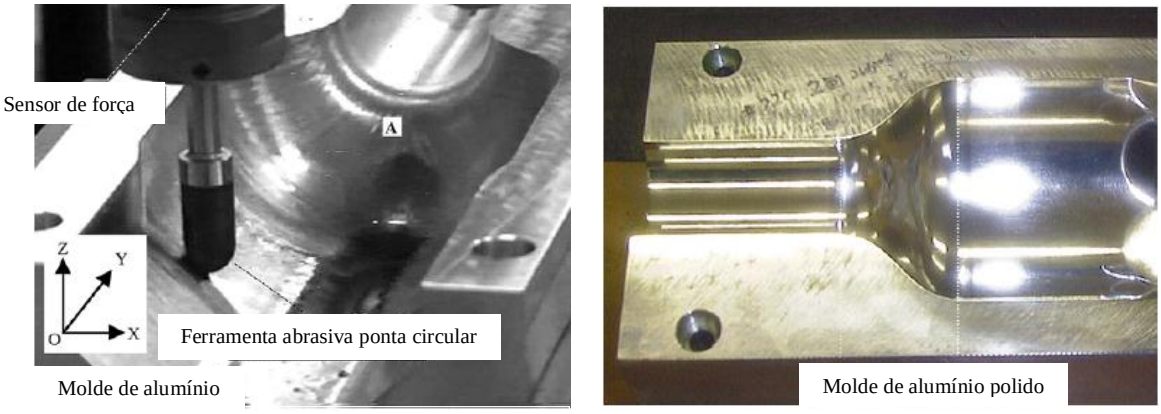


Figura 2.13 – Sistema robotizado de polimento e rebarbação [Liao et al., 2008].

Nagata et al., 2007, propôs controle robotizado para polimento de molde. O controlador de posição e força é baseado em sistema CAD/CAM, desempenhando simultaneamente controle da força de estabilidade e de alimentação na escolha exata ao longo da superfície curva, presente em robô de polimento de moldes. O controle da força do retorno na curva controla a força de polimento que consiste no contato de atrito cinético. Durante o polimento do molde, o ciclo de realimentação da posição tem uma contribuição no retorno da força no espaço cartesiano para que a ferramenta abrasiva não desvie da trajetória desejada, mantendo uma escolha de alimentação constante, por exemplo, 0,2 mm. Quando o robô com a posição de base CAD/CAM executa o controlador da posição e força, os dados com vetores normais, chamados de multi-eixo CL (cortador de localização), são usados não apenas para uma trajetória desejada de movimento de translação da ferramenta, mas também para as direções de contato para o molde. Os dados multi-eixo CL permitem que o robô utilizado no polimento de moldes realize uma operação completa não ensinada da posição e direção dos contatos.

O experimento realizado utilizou um robô *MOTOMAN UP-6* com uma ferramenta abrasiva no formato circular que possui um sensor de força, baseado em um sistema CAD/CAM com controlador de posição e força para confecção de um molde em alumínio de garrafa PET. Através do experimento foi possível observar que a resolução da força do robô não é a mais adequada comparada com a dos trabalhadores qualificados, porém o robô realiza o polimento estável por muito mais horas, tornando assim a peça com maior uniformidade em

seu acabamento. A partir dos resultados obtidos, os autores concluíram que por meio de um controlador de posição e força baseado em um sistema CAD/CAM é possível realizar polimento e acabamento de moldes com superfície curva. A figura 2.14.a ilustra a ferramenta abrasiva circular com o sensor de força trabalhando no molde em alumínio. A figura 2.14.b apresenta o molde de alumínio já polido com uma rugosidade média (Ra) de 0,1 µm. A figura 2.15 ilustra o robô industrial *MOTOMAN UP-6*, executando o polimento no molde de alumínio.



(a) (b)

Figura 2.14 – (a) Ferramenta abrasiva circular com o sensor de força; (b) Molde de alumínio polido [Nagata et al., 2007].

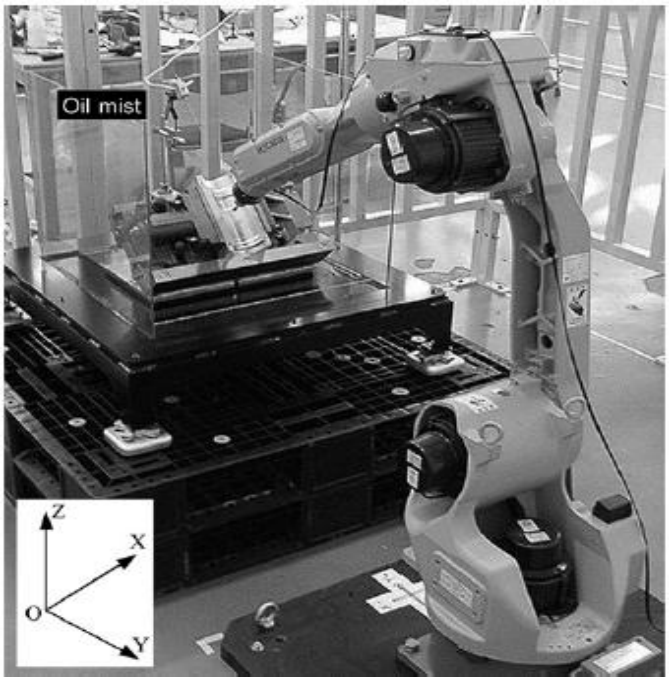


Figura 2.15 – Robô *MOTOMAN UP-6*, executando polimento no molde [Nagata et al., 2007].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta será explicitada através do projeto conceitual de uma célula robotizada para acabamento de pinças cirúrgicas forjadas. Esta metodologia será utilizada com o objetivo de reduzir os custos de produção, aumentar a capacidade produtiva, padronizar o produto e aprimorar a qualidade.

Neste estudo se utilizou algumas das principais metodologias para o desenvolvimento eficaz de projeto aplicáveis na indústria. O método apresentado aborda o desenvolvimento integrado do processo de acabamento de instrumentos cirúrgicos a partir de cinco fases: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado e Validação do Projeto. Deve ser observado que esta metodologia pode ser adequada e modificada conforme a realidade do produto, processo e/ou serviço que está sendo desenvolvido, considerando para isso a integração otimizada e coerente de todos os recursos e parâmetros envolvidos (Pahl et al., 2005 e Alvarenga, 2006).

Este estudo também consiste nas seguintes abordagens para o problema: automatização do processo de acabamento, que envolvem a seleção de equipamentos (robô e máquinas) e o desenvolvimento de manipuladores robóticos (dispositivos suportes) para execução do trabalho; aumento da produtividade através da adoção de processos de fabricação que permitam menores tempos de atravessamento.

O desenvolvimento desta metodologia não se limita à criação de um produto ou processo, abrange também as demais etapas de fabricação, garantindo versatilidade, produtividade e melhoria contínua ao processo, neste caso, aplicado ao acabamento de pinças cirúrgicas forjadas.

Projeto Informacional – o objetivo principal da fase 1 é conhecer os produtos estudados, os processos produtivos, a capacidade produtiva do parque fabril, os maquinários disponíveis e a matéria prima utilizada na fabricação, contribuindo assim para o aperfeiçoamento do processo de produção através do dimensionamento correto dos maquinários, mantendo a funcionalidade e a qualidade dos produtos.

Projeto Conceitual – na fase 2 ocorre a elaboração de alternativas e possibilidades para mudanças no processo estudado, abordando temas sobre o ferramental e o produto, além de prever possíveis parâmetros e controles necessários à fabricação. Sugestões e modificações a respeito das pinças cirúrgicas também se fazem necessárias. Nesse sentido, o contato realizado anteriormente com o cliente e a troca de informações se torna fundamental, já que

permite o desenvolvimento de um novo processo, adequado tanto tecnicamente quanto economicamente, conforme os parâmetros de influência.

Projeto Preliminar – na fase 3 o foco é o detalhamento primário do novo processo, isto é, a definição daquele fluxo de fabricação que melhor resultado fornece a partir das condições técnicas e econômicas previstas. Nesta etapa serão detalhados: *layout*, dispositivos, etapas e parâmetros do processo, tipos de máquinas e consumíveis utilizados no acabamento, tornando-se essenciais para posterior simulação do novo processo. Nos testes deve-se ter preocupação em adotar parâmetros condizentes à realidade do processo, visando à obtenção de resultados adequados e que retratem as condições de fabricação. Os testes realizados permitem analisar diferentes panoramas e configurações de acabamento, sendo uma ferramenta essencial para a otimização do novo processo.

Projeto Detalhado – a fase 4 é a etapa posterior aos resultados dos testes, e da definição das condições otimizadas de fabricação. Nesta etapa são realizadas a confecção dos dispositivos (garras) definitivos e a programação do robô para fabricação do lote-piloto de cada pinça cirúrgica. Posteriormente, testes com as pinças-piloto devem ser efetuados, visando comprovar o atendimento das exigências técnicas requeridas ao produto.

Controle de Qualidade e Produção – A fase 5 ocorre depois de constatada o funcionamento do novo processo de acabamento e marca o início da produção seriada das pinças cirúrgicas. Nesta etapa, recursos como Controle de Qualidade em 100% dos lotes, Controle Estatístico do Processo (CEP), Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA), e outras ferramentas de controle do processo podem e devem ser utilizadas constantemente, visando a manutenção e evolução da qualidade de todo o sistema.

Fatores como os parâmetros do produto e do processo devem direcionar o desenvolvimento de todas as fases, as quais podem ser realimentadas por etapas posteriores, sendo assim efetivada a integração idealizada por esta metodologia.

É importante destacar que, mesmo tendo sido alcançado o objetivo de tornar os produtos padronizados através da automação, e também as necessidades do mercado (clientes), deve-se ainda buscar alternativas e soluções que garantam à empresa, aumento de qualidade e lucratividade.

A tabela 3.1 apresenta as atividades realizadas em cada uma das cinco fases do desenvolvimento proposto.

Tabela 3.1– Atividades principais do desenvolvimento.

Fase	Atividade	Descrição
1- Projeto Informacional	F1.1	- Conhecer os produtos (funções, características e qualidade requerida) bem como seu material;
	F1.2	- Verificar o nível de conhecimento sobre o projeto (processo, produto e material);
	F1.3	- Conhecer o maquinário e as condições de fabricação disponíveis (capacidade do parque fabril);
	F1.4	- Conhecer os processos produtivos dos instrumentos cirúrgicos forjados (características);
2- Projeto Conceitual	F2.1	- Matéria-prima utilizada no processo de fabricação e suas características;
	F2.2	- Prever possíveis parâmetros de influência (físicos, mecânicos, ambientais, etc.) e controles necessários à fabricação;
	F2.3	- Verificar e sugerir possíveis mudanças/melhorias no produto, visando facilitar o processo e garantir sua viabilidade;
	F2.4	- Verificar a viabilidade técnica e econômica;
3- Projeto Preliminar	F3.1	- Detalhamento primário do processo (layout de produção), com a definição do ferramental e parâmetros de processo;
	F3.2	- Definir as etapas dos processos;
	F3.3	- Realizar testes, com lotes pilotos, visando obter o melhor desempenho dos processos e a qualidade requerida;
	F3.4	- Verificar as condições otimizadas de acabamento e de projeto;
4- Projeto Detalhado	F4.1	- Detalhamento do processo e do produto otimizado;
	F4.2	- Fabricação definitiva dos dispositivos e confecção de lote-piloto;
	F4.3	- Realização de teste e ensaio nas pinças-piloto;
	F4.4	- Verificar a adequação do produto otimizado;
5- Controle de Qualidade e Produção	F5.1	- Avaliar constantemente a qualidade do produto otimizado (dimensional, propriedades mecânicas, etc.);
	F5.2	- Avaliar periodicamente os dispositivos utilizados (manutenção preventiva, preditiva ou, se necessário, corretiva);
	F5.3	- Avaliar a produtividade do processo (custo versus benefício), bem como, os resíduos gerados na sua produção reduzindo-os;
	F5.4	- Verificar o atendimento das necessidades do cliente e superá-las, visando manter a melhoria continua do processo.

[adaptado de PAHL et al., 2005]

A figura 3.1 apresenta o fluxograma de metodologia de projeto utilizado no desenvolvimento do presente trabalho.

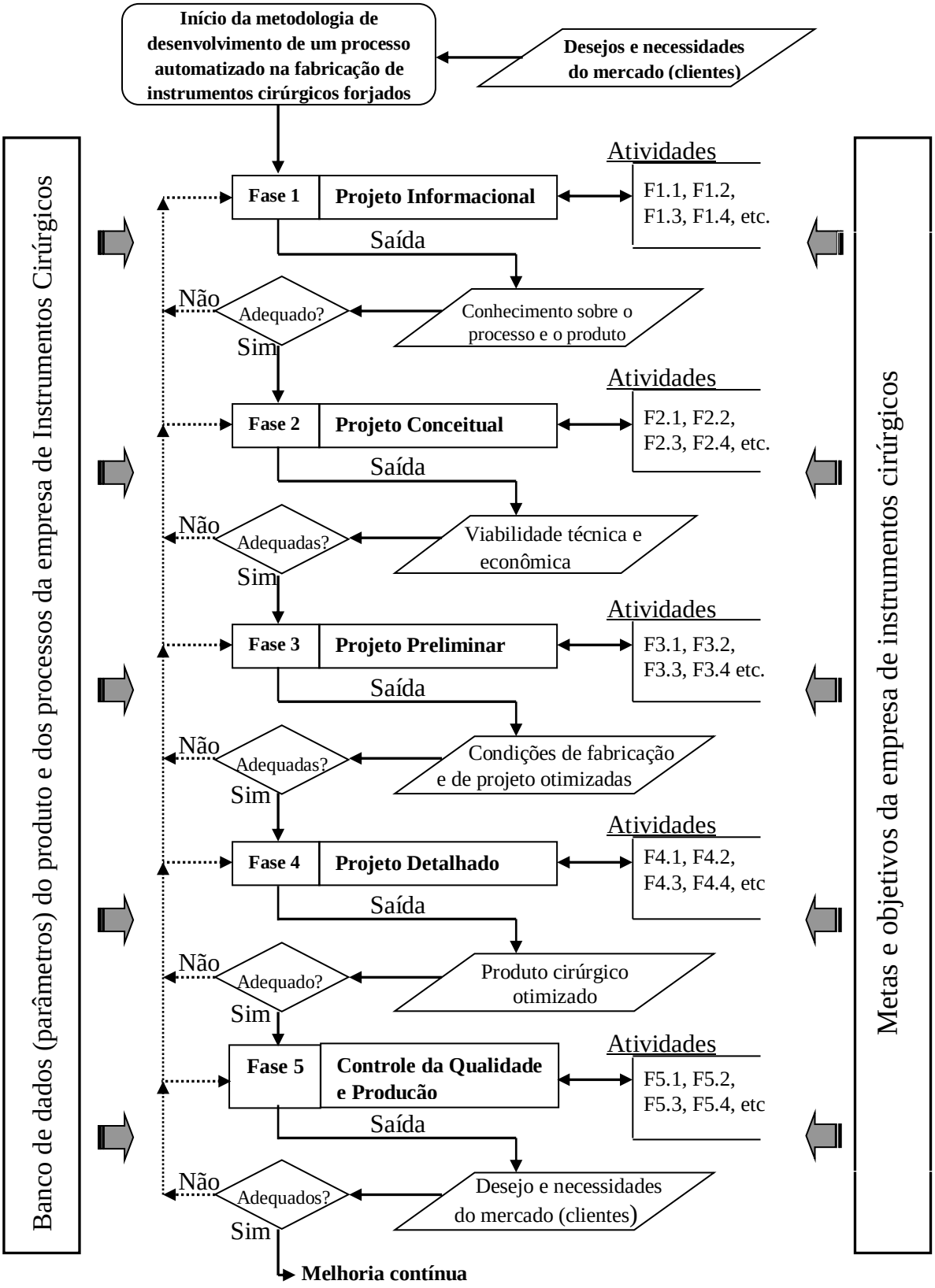


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia de projeto [adaptado de PAHL et al., 2005].

3.1 Seleção dos produtos a serem estudados

Nesta etapa inicial do estudo, com o objetivo de identificar os produtos de maior demanda produtiva, foi realizada uma análise, ao longo do período de um ano, visando identificar os produtos de maior importância econômica dentre os produzidos pela empresa em que o estudo foi realizado. Esta análise foi realizada com auxílio do diagrama de Pareto, através do qual foi evidenciado que, dentre os mais de três mil produtos fabricados, somente uma pequena parcela (20 itens) possuem demanda produtiva (e impacto financeiro). Na tabela 3.2 são apresentados, em ordem decrescente, os vinte itens de maior impacto sobre a receita bruta.

Tabela 3.2 – Itens com maior demanda de peças produzidas no período de 01/out/2008 a 30/set/2009.

Código Itens	Descrição dos Itens	Quantidade Pinças	Percentual (%)	Quantidade Pinças Acumulado	Percentual Acumulado (%)
30160	PINCA BACKHAUS 13CM	11.520	6,45	11.520	6,45
30199	PINCA HALSTED MOSQUITO CURVA 12CM	9.696	5,43	21.216	11,89
30211	PINCA KELLY CURVA 14CM	6.504	3,64	27.720	15,53
30197	PINCA HALSTED MOSQUITO RETA 12CM	5.808	3,25	33.528	18,79
30150	PINCA ALLIS 15CM	5.760	3,23	39.288	22,01
30214	PINCA KOCHER RETA 14CM	3.636	2,04	42.924	24,05
30163	PINCA CHERON 25CM	3.600	2,02	46.524	26,07
40303	PINCA DISSECCAO C SERRILHA 14CM	3.576	2,00	50.100	28,07
30210	PINCA KELLY RETA 16CM	3.480	1,95	53.580	30,02
40304	PINCA DISSECCAO C SERRILHA 16CM	3.396	1,90	56.976	31,93
40295	PINCA DISSECCAO ADSON SERRILHA 12CM	3.288	1,84	60.264	33,77
60390	TESOURA METZENBAUM CURVA 18CM	3.132	1,75	63.396	35,52
30151	PINCA ALLIS 19CM	2.856	1,60	66.252	37,12
30172	PINCA CRILE CURVA 14CM	2.724	1,53	68.976	38,65
40310	PINCA DISSECCAO C DENTE 14CM	2.628	1,47	71.604	40,12
192679	CLIPADORA 20CM PEQ AMARELO P/VITACLIP	2.520	1,41	74.124	41,53
100061	CABO BISTURI NR4	2.472	1,39	76.596	42,92
60389	TESOURA METZENBAUM CURVA 14CM	2.460	1,38	79.056	44,30
30170	PINCA CRILE RETA 14CM	2.376	1,33	81.432	45,63
40296	PINCA DISSECCAO ADSON DENTE 12CM	2.364	1,32	83.796	46,95

A análise dos dados apresentados na tabela 3.2 mostra que os 20 itens citados são responsáveis por 46% produção da empresa durante o período de um ano. Dentro os produtos apresentados, observa-se ainda que os cinco primeiros itens são responsáveis por 22% da demanda produtiva. Através deste estudo, optou-se por dar continuidade ao projeto de automação com foco no volume de produção, ou seja, visando aprimorar a manufatura dos produtos de maior demanda. Esses produtos fazem parte da família de pinças cirúrgicas articuladas. A figura 3.2, apresenta o diagrama de Pareto com a distribuição dos 20 itens, destacando os 5 itens de maior demanda produtiva no período de um ano.

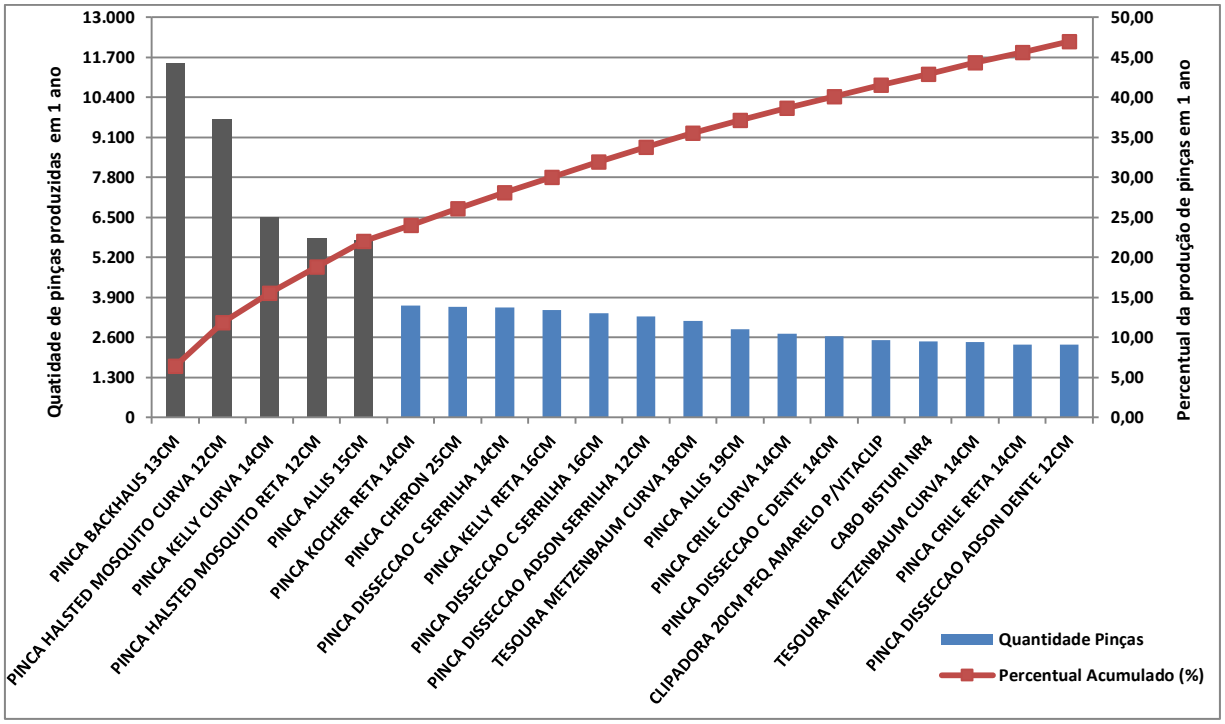


Figura 3.2 – Diagrama de Pareto dos 20 itens de maior demanda produtiva no período de out/2008 a set/2009.

3.1.1 Pinças cirúrgicas cuja manufatura se deseja aprimorar

Através da análise realizada sobre a demanda produtiva, foram definidos os itens cujo processo de acabamento se deseja aprimorar. Esses produtos são pinças cirúrgicas de formas e comprimentos variados, com pontas retas ou curvas, dentadas ou não, com diversos tipos de estrias ou ranhuras no interior de suas pontas. Estas pinças fazem parte da família das pinças articuladas, já apresentadas na figura 2.2. As respectivas características das pinças cirúrgicas serão abordadas a seguir (Nunes, 2007):

Pinça de Backhaus 13 cm, ilustrada na figura 2.2.a, é exemplo mais comum de pinça de campo operatório, que têm por finalidade fixar os panos de campo, fenestrados ou não, à pele do paciente, para impedir que a sua posição seja alterada durante o trabalho. Sua extremidade é aguda, curva e perfura o pano e a pele do paciente. Nas cirurgias de pequenos animais é desejável a utilização de pinças de menor tamanho, 8 a 10 cm, para diminuir o trauma nos tecidos. Pinças maiores, de 14 a 15 cm, são mais indicadas para animais com pele mais espessa. O anexo A, apresenta o projeto da Pinça de Backhaus 13 cm.

Pinça de Halsted Mosquito Curva 12 cm, apresentada na figura 2.2.b, é uma pinça hemostática pequena, de ramos preensores delicados, prestam-se muito bem para pinçamento de vasos de menor calibre, pela sua precisão. São muito utilizadas em cirurgias de pequenos animais.

Pinça de Kelly Curva 14 cm, ilustrada na figura 2.2.c, pinça com ranhuras na sua parte preensora, que ocupam 2/3 da sua extensão, com pequenas variações para mais ou para menos dependendo do fabricante. Utilizada também para o pinçamento de pedículos. Seu comprimento pode variar de 14 a 16 cm.

Pinça de Halsted Mosquito Reto 12 cm, apresentada na figura 2.2.d, pinça hemostática pequena, de ramos preensores delicados, prestam-se muito bem para pinçamento de vasos de menor calibre, pela sua precisão. Também muito utilizadas em cirurgias de pequenos animais.

A Pinça de Allis 15 cm, ilustrada na figura 2.2.e, é uma pinça muito utilizada na preensão de tecidos, com mínima lesão. Sua porção preensora possui hastes que não se tocam, com exceção das extremidades, curvadas uma em direção à outra e com dentículos. Isto explica serem menos traumáticas.

No decorrer deste estudo, a pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm, será utilizada como exemplo.

3.1.2 Matéria-prima utilizada na produção das pinças cirúrgicas

A matéria-prima utilizada na produção das pinças cirúrgicas forjadas é o aço inoxidável martensítico do tipo AISI 420D. Este aço inoxidável, conforme especificação técnica da empresa, no anexo D, é disponibilizado pela usina em barra laminada chata com cantos vivos, com dimensional de espessura 5,0 ± 0,40 mm, largura 82,55 ± 1,00 mm e comprimento de 4.000 a 6.000 mm, com empenamento de 4,00 mm/m linear, com dureza de tempera de 44 a 48 HRC.

O aço inoxidável 420D é utilizado na fabricação das pinças cirúrgicas, devido ao baixo teor de carbono (0,18 – 0,22 %) em sua composição química e apresenta característica de flexibilidade necessária para a funcionalidade da mesma. A tabela 3.3 apresenta as composições químicas dos aços inoxidáveis 420.

Tabela 3.3 – Composição química dos aços inoxidáveis 420.

Aço Inoxidável	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	Ni	Cu	Dureza
420A	0,30 - 0,37	0,30 - 0,60	0,50 máx	12,00 - 14,00	0,50 máx	0,035 máx	0,030	0,50 máx	0,50 máx	48 - 56 HRC
420B	0,26 - 0,35	1,5 máx	1 máx	12,00 - 14,00	-	0,040	0,030 máx	-	-	53 - 57 HRC
420C	0,30 - 0,42	1 máx	1 máx	12,00 - 14,50	-	0,040 máx	0,030 máx	1 máx	0,30 máx	até 55 HRC
420D	0,18 - 0,22	1 máx	1 máx	12,00 - 14,00	0,5 máx	0,040 máx	0,030 máx	0,75 máx	0,50 máx	44 - 48 HRC

3.2 Análise das restrições e FMEA para as pinças cirúrgicas estudadas

Uma vez selecionada a linha de produtos cuja produtividade se deseja aumentar através da adoção de uma célula flexível de manufatura, é importante definir quais etapas do processo produtivo serão automatizadas. O método de cronoanálise foi aplicado para poder analisar os tempos de processos e descrever passo a passo as operações executadas no forjamento, usinagem, montagem e acabamento. Assim, reconhecendo as restrições e o maior tempo de processo entre os mesmos, foi possível definir qual o processo a ser automatizado.

O tempo que um operador leva para realizar alguma operação no fluxo de produção foi cronometrado e analisado. Segundo Miranda, 2009, o objetivo da cronoanálise é poder chegar a um tempo padrão, ou seja, determinar de forma exata e confiável o tempo necessário para um empregado realizar um trabalho em ritmo normal. Através da exatidão dos tempos de processo, pode-se realmente definir o gargalo da produção.

Os resultados apresentados na tabela 3.4 mostram que os processos envolvidos no acabamento são responsáveis pelo maior tempo de fabricação em todas as pinças produzidas.

Tabela 3.4 – Resultados de cronoanálise realizadas nos processos produtivos das pinças cirúrgicas.

Pinças	Descrição	Setor	Tempo (min)	T.Total (min)
	Pinça Backhaus 13cm	Forjaria	2	48,32
		Usinagem	10,32	
		Montagem	14	
		Acabamento	**22**	
	Pinça Halsted Mosquito Curvo 12cm	Forjaria	2	39,7
		Usinagem	8,2	
		Montagem	9,5	
		Acabamento	**20**	
	Pinça Kelly Curva 14cm	Forjaria	2	41
		Usinagem	10	
		Montagem	9	
		Acabamento	**20**	
	Pinça Halsted Mosquito Reto 12cm	Forjaria	2	38,85
		Usinagem	8,2	
		Montagem	8,5	
		Acabamento	**20,15**	
	Pinça Allis 15cm	Forjaria	2	40,72
		Usinagem	7,1	
		Montagem	11,4	
		Acabamento	**20,22**	

Conclui-se, desta forma, que o gargalo se encontra no acabamento das pinças. Assim, o projeto tem direção definida para seguir na automação do processo de acabamento identificado.

Para demonstrar o estudo realizado de tempos e processos, selecionou-se entre as cinco pinças estudadas, a pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

Antes de iniciar o projeto de automação no processo de acabamento, foi utilizado o FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) para identificar possíveis falhas que podem ocorrer no processo produtivo de acabamento das cinco pinças. No anexo B, mostra um exemplo do formulário de FMEA aplicado na Pinça Halsted Mosquito Reta de 12 cm. Nesta análise foram listados seis pontos de possíveis falhas que são: ponta parte ativa; caixa central; canela; cremalheira; anel interno e anel externo. Após definir o potencial de risco de cada ponto de falha, realizou-se um planejamento de ações para prevenir as possíveis ocorrências de falhas. A tabela 3.5 apresenta os pontos de falha e as respectivas ações necessárias para sua prevenção.

Tabela 3.5 – Pontos de falhas e ações para prevenir ocorrências de falhas nas pinças cirúrgicas.

Ponto de falha	**Ações tomadas**
Ponta (parte ativa da pinça)	- Definir padrões de medida, como passa ou não passa; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada; - Avaliação de corte da matéria prima a laser.
Caixa central	- Controle na ferramentaria de confecção das brochas; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada;
Canela	- Definir padrões de medida como passa ou não passa; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada; - Avaliação de corte da matéria prima a laser.
Cremalheira	- Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada.
Anel interno	- Verificar se estão utilizando o procedimento com os parâmetros de programação de cada peça; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada.
Anel externo	- Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada; - Avaliação de corte da matéria prima a laser.

A tabela 3.6 apresenta os resultados obtidos através de cronoanálise realizada no setor de acabamento para a pinça, dividida em nove operações com dez amostras de tempo para a pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

Tabela 3.6 – Folha de cronoanálise realizada no processo de acabamento da Pinça Halsted Reto 12 cm.

		FOLHA DE CRONOANÁLISE										Executado por :				Revisão : 01	
		Nome do Produto :	**Pinça Halsted Reto 12 cm**									Unidade Tempo :	**minitos**			Data da aprovação :	
		Código do item :	**30197**									Tamanho Lote :	**5000**			**30/01/2009**	
Setor :	**Acabamento**	Família :	**Hemostáticas**									Nº T. de Operador(es) :	**60**				
Data da realização do estudo :	Turno da realização :	Número do(os) operador(es) cronomatrados :										Nº de Operação(es) :	**9**			Pagina :	
05/01/2010	**1º Turno**	**3943; 2966; 4396; 4327; 4074; 4376; 3985; 4242; 3934**										Centro de Custo :	**01 04 00**			**01**	

	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	T.Total	Nº Amostras	FQ	Tempo Operação
01	Pegar a peça a peça do lote que foi revenida e lixar com a lixa grão 80 a camada escura do tratamento térmico;	3,60	3,65	3,55	3,60	3,50	3,60	3,65	3,55	3,70	3,60	36,00	10	1	3,60
02	Após, pegar peça a peça do lote e lixar com a lixa de grão 150 para modelar a peça no dimensional correto;	1,73	1,75	1,74	1,75	1,73	1,72	1,74	1,73	1,74	1,73	17,36	10	1	1,74
03	Pegar peça a peça do lote modelado, e colocar no tambor do polimento vibratório, onde ficam por cerca de 4 hs;	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,50	10	1	0,05
04	Após são colocadas em gancheiras e mergulhadas em um tanque com uma solução ácida para fazer o processo de elétropolimento;	0,35	0,34	0,34	0,32	0,34	0,35	0,36	0,35	0,36	0,35	3,46	10	1	0,35
05	Após o elétropolimento, é feito um polimento com roda de sisal na parte ativa e na cremalheira;	0,86	0,82	0,84	0,87	0,86	0,87	0,86	0,85	0,87	0,86	8,56	10	1	0,86
06	Depois é feito o jato úmido dentro da caixa central e da parte ativa (macho/fêmea);	0,90	0,87	0,89	0,90	0,93	0,90	0,91	0,89	0,88	0,90	8,97	10	1	0,90
07	Após o jato, toda a superfície das peças são polidas com a roda de scotch brite, para obter o acabamento fosco no aço inox;	11,65	11,74	11,68	11,63	11,68	11,67	11,65	11,68	11,67	11,69	116,74	10	1	11,67
08	Depois as peças são lavadas em um tanque com água e detergente líquido para metais, em uma temperatura de 70ºC;	0,84	0,81	0,84	0,82	0,85	0,83	0,86	0,84	0,85	0,84	8,38	10	1	0,84
09	Após lavadas e secadas, toda as peças passam para a revisão em 100%, onde é conferido dimensional, estética e funcional.	0,15	0,14	0,16	0,15	0,15	0,17	0,16	0,16	0,15	0,16	1,55	10	1	0,16
										T. Total:		201,52		**T. Op.:**	20,15

3.3 Processo de acabamento manual das pinças cirúrgicas

O acabamento superficial das pinças cirúrgicas produzidas é realizado após a montagem dos componentes previamente forjados, usinados, montados e tratados termicamente, conforme descrito no Anexo G. em duas partes, sendo elas, produção básica e produção de acabamento das pinças. A figura 3.3 ilustra o fluxograma da produção básica das pinças.

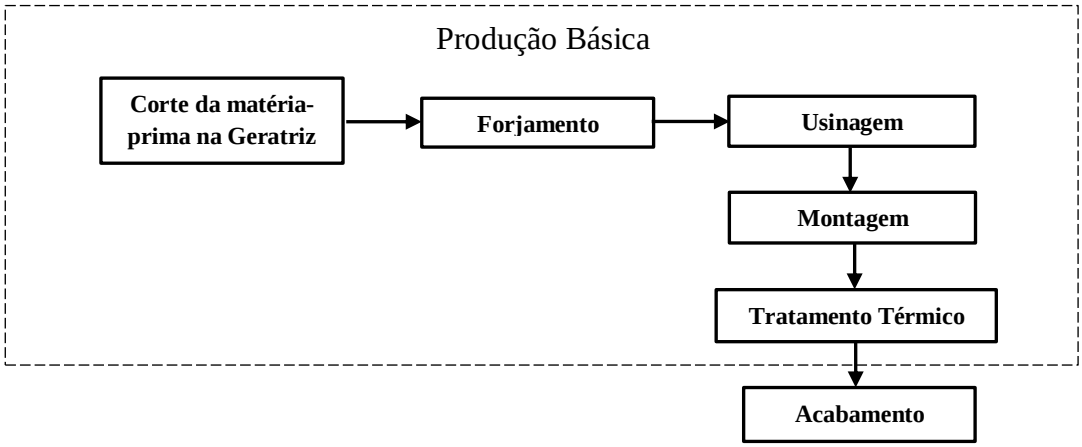


Figura 3.3 - Fluxograma da produção básica das pinças cirúrgicas.

O acabamento superficial das pinças cirúrgicas inclui sete operações, nas quais são realizados processos de lixamento, polimento e jateamento de esferas. Uma linha de produção opera com seis funcionários, e permite a obtenção de uma média mensal (avaliada no período de um ano), de 671 pinças. A sequência de operações ocorre da seguinte maneira:

1. Corte com lixa grão 80: é realizada uma primeira remoção de material na lixa mais abrasiva. As máquinas utilizadas são lixadeiras de vão livre e roda de contato.
2. Modelagem com lixa grão 150: nesta etapa é utilizada uma lixa menos abrasiva para aproximar a peça da medida certa. As máquinas utilizadas também são lixadeiras de vão livre e roda de contato.
3. Polimento vibratório: são tambores em forma cilíndrica, que tem a função de vibrar e mover o que estiver dentro deles. Dentro são utilizados chips cerâmicos junto com uma solução ácida onde são misturadas as peças. Esta máquina, com

efeito de liquidificador, faz a função de polimento mais grosso das peças, tirando as marcas da lixa 80.

4. Eletropolimento: nesta etapa as peças são penduradas em gancheiras e, após, são submetidas em um taque com uma solução ácida. O aparelho utilizado é uma fonte de energia elétrica que possui três fases de 220 V, com corrente 25 A, em um catalizador (ácido) para causar um efeito de eletrólise, onde ocorre a remoção da sujeira nas partes mais difíceis de limpar.
5. Jato úmido: o jato com microesfera de vidro tem a finalidade de retirar os riscos de dentro da caixa central no macho e fêmea. Esta máquina é um jato pressurizado de micro esferas de vidro e água aquecida por uma resistência elétrica.
6. Polimento com roda de sisal: nesta etapa utilizam-se rodas de sisal com uma massa para remover a sujeira e polir dentro das ranhuras da parte ativa e cremalheira. As máquinas utilizadas para esta operação são cavaletes que possuem um eixo com rodas giratórias.
7. Polimento com roda de manta sintética: após todas as operações realizadas, a peça passa por um polimento refinado com rodas de manta sintética que tem a finalidade de dar um acabamento acetinado no aço inoxidável. As máquinas utilizadas para esta operação são cavaletes que possuem um eixo com rodas giratórias.

Há um único funcionário para executar as operações de polimento vibratório e eletropolimento, sendo que as demais operações possuem um funcionário cada. A empresa atualmente possui 12 linhas de acabamento, com um total de 72 funcionários dedicados a estas operações.

Após a conclusão das etapas descritas, é realizada a lavagem do produto, com auxílio de ultrassom, em tanques contendo água e detergente líquido, a uma temperatura de 60°C. Por fim, realiza-se o controle de qualidade, avaliando-se todas as pinças produzidas em relação a características estéticas, dimensionais e funcionais.

A figura 3.4 apresenta, em forma de fluxograma, a sequência do processo de acabamento das pinças cirúrgicas Halsted Mosquito Reto 12 cm.

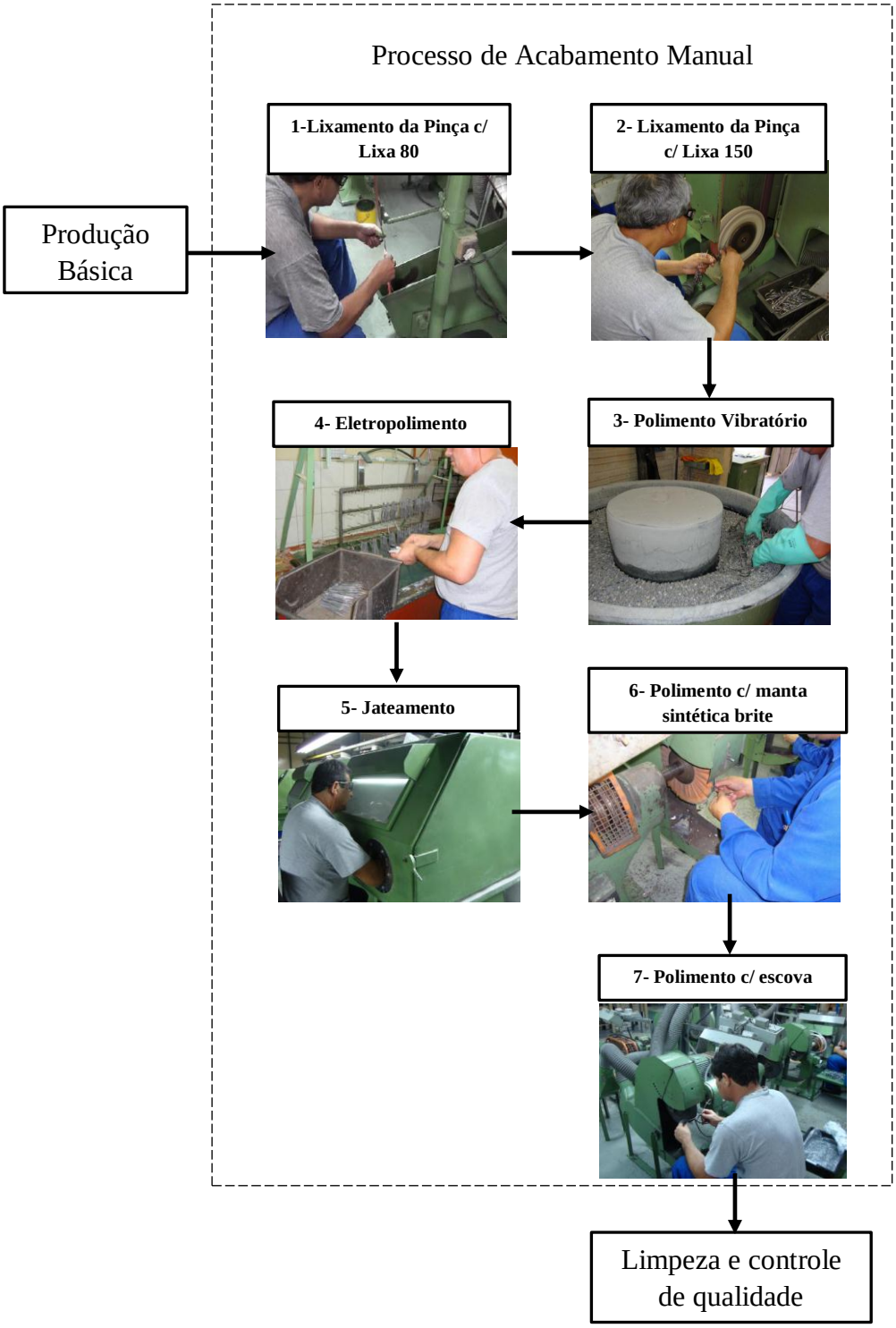
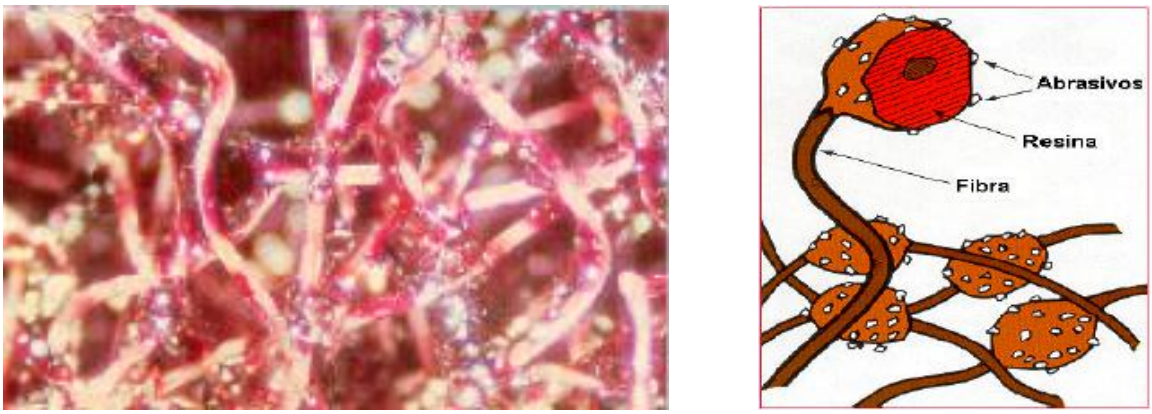


Figura 3.4 – Sequência do processo de acabamento das pinças cirúrgicas.

O acabamento final é realizado na operação sete, onde são utilizadas mantas sintéticas para obter o aspecto acetinado. A manta não tecida é constituída de fibras sintéticas impregnadas com mineral abrasivo aderido por uma resina. São disponíveis em dois tipos de minerais abrasivos: óxido de alumínio e carbeto de silício. O objetivo desta manta sintética é suprir as necessidades da indústria quanto ao tratamento de superfícies através de duas

operações: o acabamento por polimento uniforme e não espelhado, diminuindo a rugosidade sem provocar a diminuição de espessura da superfície trabalhada, a limpeza por rebarbação leve que remove pequenas rebarbas sem provocar a diminuição de espessura da peça, porém arredondando cantos vivos. Na figura 3.5.a, apresenta a manta sintética ampliada e, na figura 3.5.b, ilustra o desenho esquemático mostrando as fibras não-tecida com o abrasivo aderido na resina.



(a) (b)

Figura 3.5 – (a) Manta não tecida de fibras sintéticas com abrasivos ampliados; (b) Desenho esquemático das fibras sintéticas [3M, 2000].

A manta sintética existe em diversas formas, tipos, dimensões e densidades para atender diferentes aplicações dentro da indústria. No acabamento das pinças cirúrgicas é usado dois modelos de manta sintética que possuem mineral de óxido de alumínio, sendo eles a correia de *surface* que tem a referência AMF e a roda convoluta com a referência EXL.

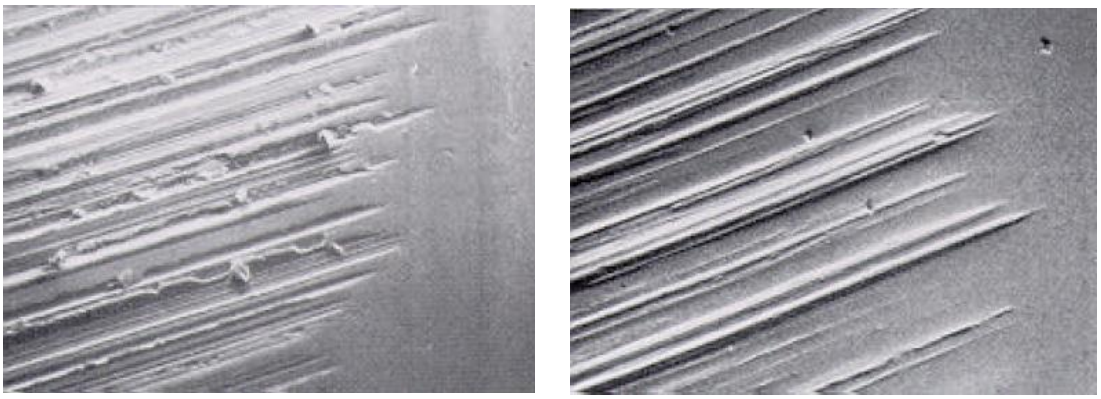
As correias *surface* AMF são feitas de uma tela especial laminada ao costado da manta não tecida e a mesma é convertida na forma de uma correia com emenda de topo. Estas correias são mais reforçadas, pois sua trama é mais fechada, oferecendo assim uma excelente vida útil. A figura 3.6.a ilustra as correias de *surface* AMF.

As rodas convolutas EXL são feitas através de uma manta enrolada em volta do núcleo fenólico. A densidade destas rodas é definida através da quantidade maior ou menor de manta sintética enrolada no núcleo fenólico. A figura 3.6.b mostra as rodas convolutas EXL.

(a) (b)

Figura 3.6 – (a) Correia de surface AMF; (b) Rodas convolutas EXL [3M, 2000].

A figura 3.7.a apresenta uma imagem obtida por microscópio eletrônico de varredura, em que se observa a superfície de uma peça de aço após lixamento com grão 220. Na figura 3.7.b, é apresentada a mesma superfície após a utilização da manta sintética.



(a) (b)

Figura 3.7 – (a) Acabamento com lixa grão 220; (b) Acabamento com manta sintética [3M, 2000]

3.4 Automatização do processo de acabamento das pinças

Para automação do processo de acabamento das pinças são descritas as operações iniciais primeiramente, sendo a maioria delas manuais. Após, é apresentada a proposta da automação com todas as estações e operações.

3.4.1 Proposta de uma célula flexível de manufatura para acabamento

A proposta de automatizar o acabamento tem como objetivo substituir as operações 3 a 7 da configuração inicial de acabamento demonstradas na figura 3.4, aumentando a produção de pinças. Na figura 3.8, pode ser observada a proposta da célula robotizada de acabamento das pinças.

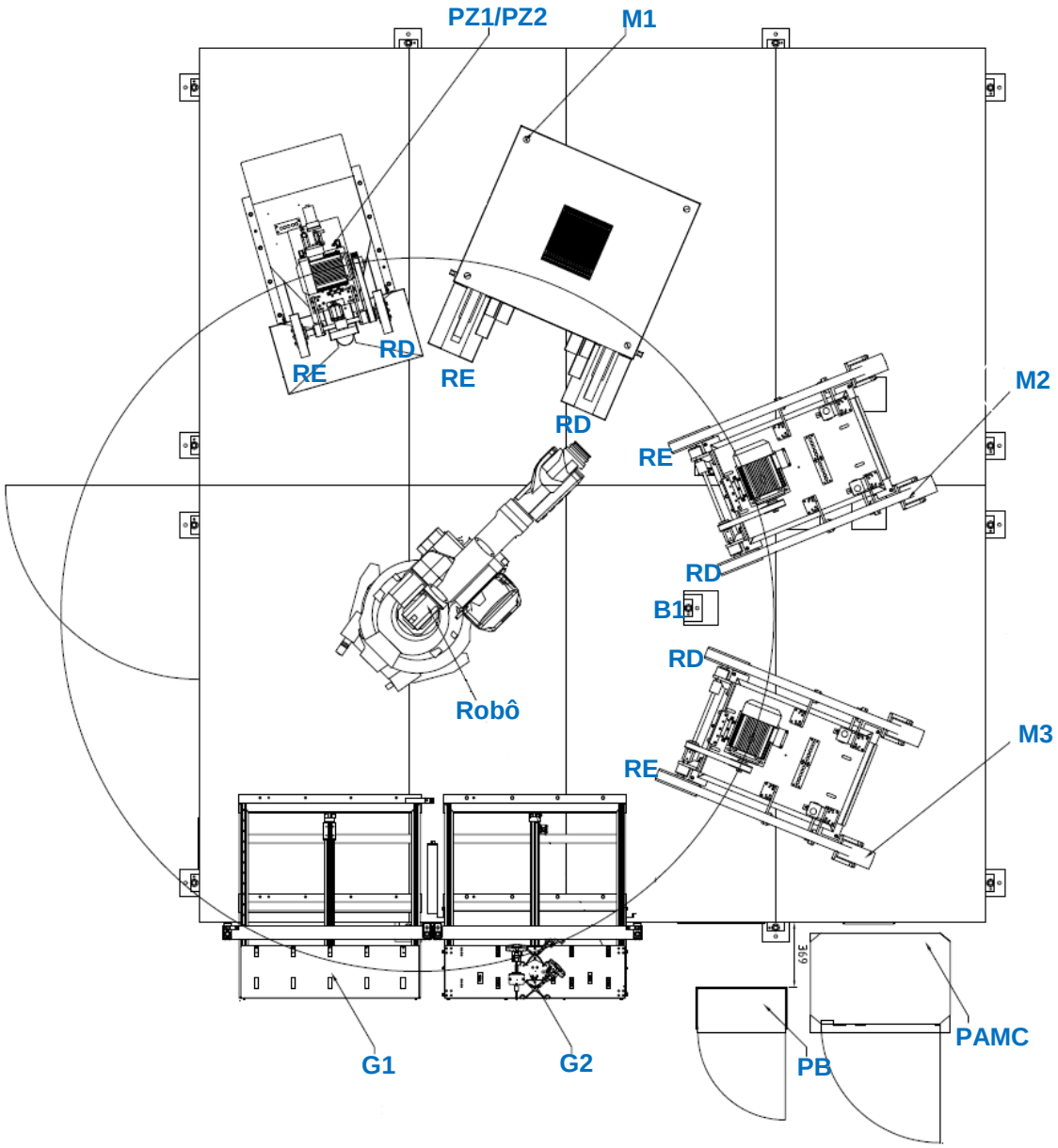


Figura 3.8 – Configuração da célula automatizada de acabamento.

A máquina M1, figura 3.9.a, é uma lixadeira de contato com regulagem de tensão e reação, possui duas rodas de contato, roda esquerda RE e a roda direita RD. A máquina M2,

figura 3.9.b, é uma lixadeira de vão livre com regulagem de tensão, possui duas rodas de vão livre, roda esquerda RE e a roda direita RD. A máquina M3, figura 3.16.c, é uma lixadeira de vão livre, com regulagem de tensão, possui duas rodas de vão livre, roda esquerda RE e a roda direita RD.

(a) (b) (c)

Figura 3.9 – (a) Máquina M1, lixadeira de contato; (b) Máquina M2, lixadeira de vão livre; (c) Máquina M3, lixadeira vão livre.

A máquina PZ1, figura 3.10, é uma politriz com rodas de contato, compensação de força, sensor de calibração de desgaste das rodas, possui duas rodas de contato, roda esquerda RE e roda direita RD. Localizando-se na mesma estrutura da politriz PZ2, porém acima da mesma.

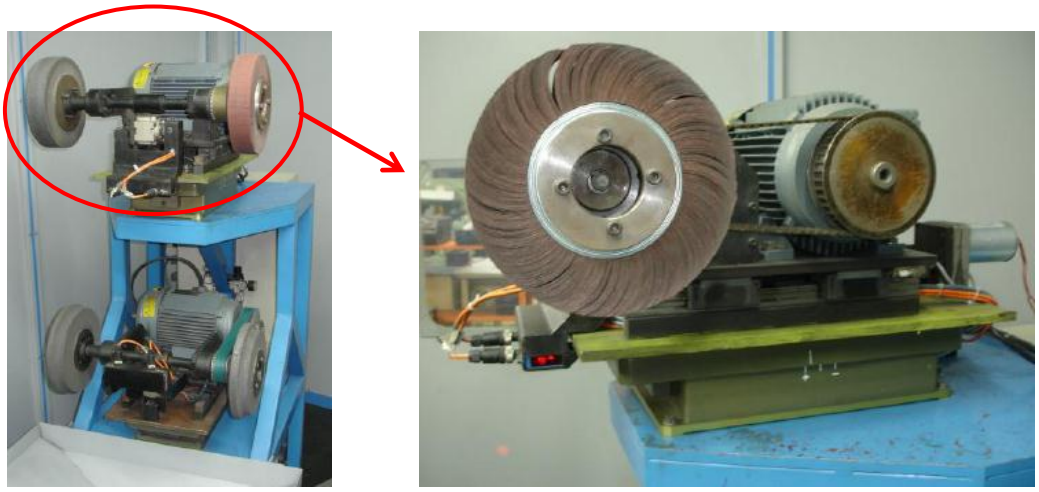


Figura 3.10 – Politriz PZ1, com duas rodas de contato e ao lado politriz ampliada.

A máquina PZ2, figura 3.11, é uma politriz com rodas de contato e compensação de força, sensor de calibração de desgaste das rodas, possui duas rodas de contato, roda esquerda RE e roda direita RD. Encontra-se na mesma estrutura da politriz PZ1, porém abaixo da mesma.

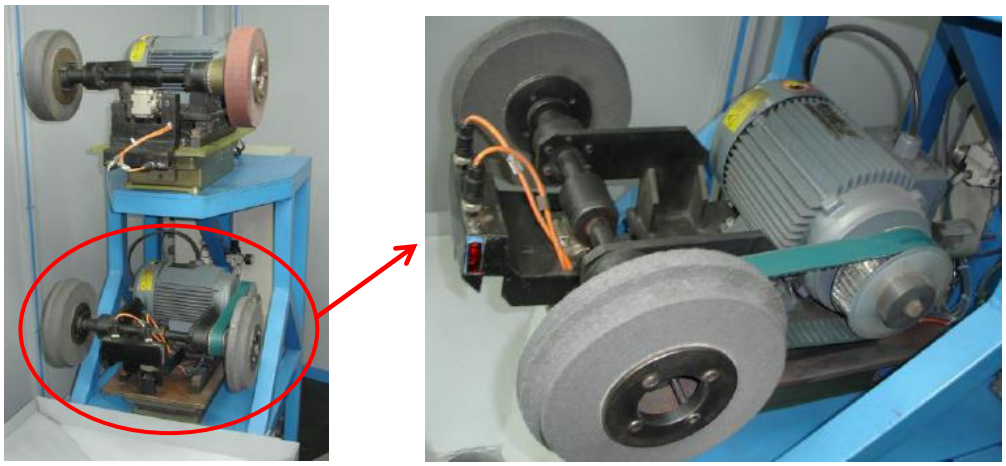
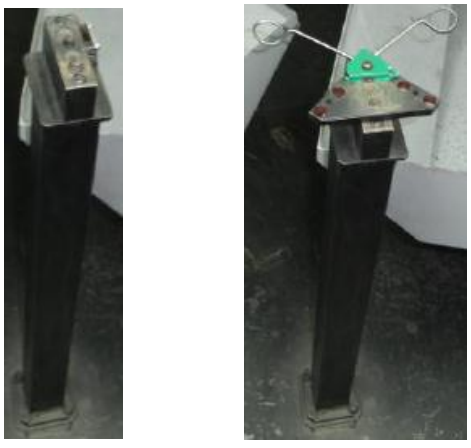


Figura 3.11 – Politriz PZ2, com duas rodas de contato e ao lado politriz ampliada.

O berço B1 é uma torre com imã de fixação para apoiar o dispositivo da pinça na posição aberta com a finalidade do robô inverter o lado de trabalho da mesma. Na figura 3.12, é possível ver a berço B1, sem dispositivo e com dispositivo.



(a) (b)

Figura 3.12 – Berço B1: (a) sem dispositivo; (b) com dispositivo.

Na figura 3.13, é possível ver como são os magazines G1 e G2. Os dois magazines são idênticos e se encontram um ao lado do outro no *layout* da célula, possuem cada um 12 berços com imã de fixação para posicionar os dispositivos que seguram as pinças. São três filas de

quatro berços, cada fila é identificada por cores e números, a primeira fila é amarela, a segunda fila é vermelha e a terceira fila é verde.

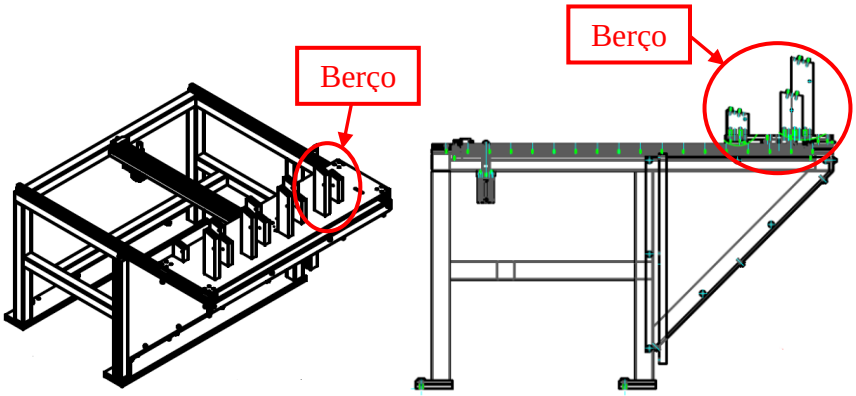


Figura 3.13 – Magazine G1 e G2 de abastecimento das pinças.

Na figura 3.14, é possível ver as cores e os números na sequência que o robô passa nos berços do magazine G1.

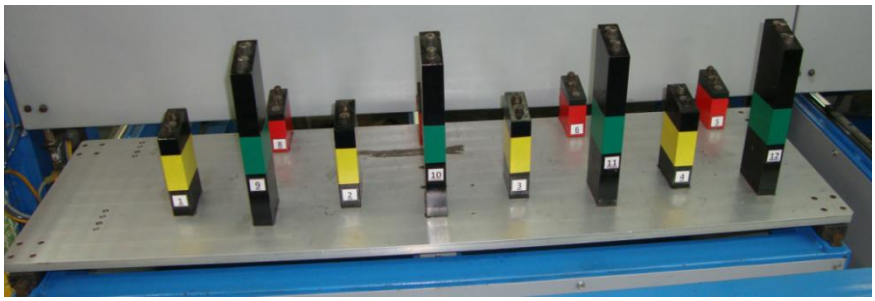


Figura 3.14 – Berços do magazine G1 identificados com cores e números.

No Painel do Robô PB são realizadas as ligações da fonte de energia que alimenta a célula, o robô e o painel IHM de interface da célula.

O comando KCP é a interface entre o homem e máquina, e é utilizado para a operação e programação do robô. Na figura 3.15 é possível visualizar o KCP.

Figura 3.15 – Painel de comando KCP, para operação e programação do robô.

O painel IHM é a interface entre o operador e a Célula, possibilitam o controle e visualização de todos os parâmetros disponíveis. Na figura 3.16 é possível visualizar o IHM.

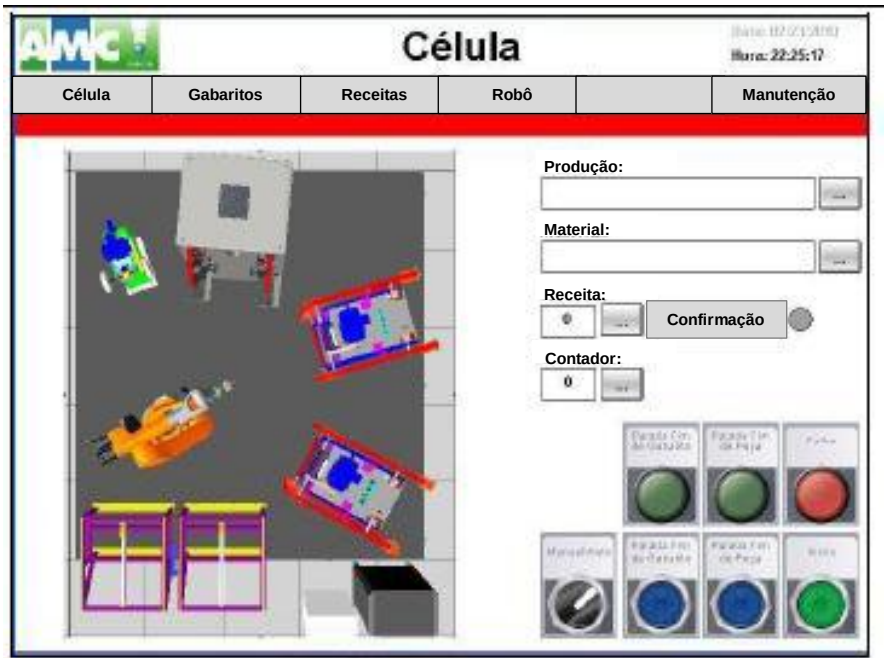


Figura 3.16 – Painel IHM de interface operador e Célula automatizada**.**

O painel PAMC é onde está o CLP (controlador lógico programável) das máquinas ligado ao Robô. Neste painel também está ligado o comando do robô KCP.

O robô industrial é modelo KUKA - KR 60 - F, com seis eixos articulados, capacidade de carga nominal de 60 kg a 150 mm no punho do robô no eixo Z e uma carga suplementar máxima de 30 kg no braço do robô. Precisão de posicionamento de ± 0,15 mm. A temperatura ambiente do robô na operação é de 0° C a 45° C, as articulações e engrenagem são cobertas e protegidas. Todos os motores de acionamento são motores servos AC de encaixe e sem escova e com segurança de sobrecargas. O peso estimado do robô KUKA é de 680 kg. Na ponta do robô existe uma ferramenta garra que serve para prender os dispositivos, onde estarão as peças a serem executadas. Os seus movimentos são realizados pelo painel de comando KCP. A figura 3.17 ilustra o deslocamento dos seis eixos, e a figura 3.18 apresenta a célula robotizada de acabamento desenvolvida.

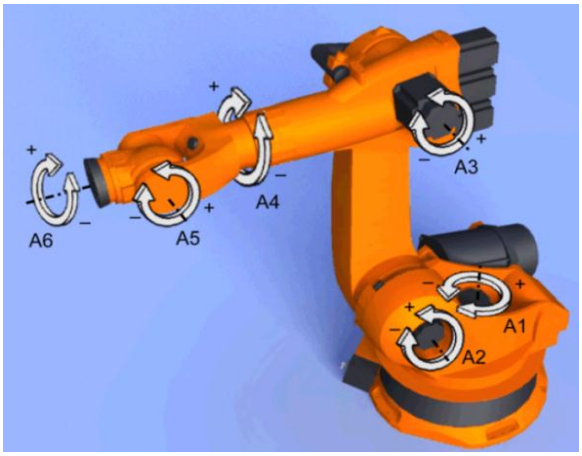


Figura 3.17 – Desenho mostra o deslocamento cartesiano dos eixos do robô KUKA-KR60-F.

Figura 3.18 – Célula robotizada de acabamento desenvolvida.

3.4.2 Desenvolvimento de dispositivos para a manipulação das pinças pelo robô

Foram desenvolvidos três modelos de dispositivos para cada pinça que entra na célula automatizada de acabamento. Estes servem para fixação da pinça em três posições diferentes, sendo elas, a ponta, a canela e o olhal da pinça. Os dispositivos possuem diferentes cores para identificar qual a fila que deve ser colocado o mesmo no magazine para não haver troca na sequência da programação do robô.

O dispositivo para fazer a ponta da pinça, tem como apoio de fixação o olhal e a canela. O mesmo possui pinos com mola na parte traseira, mantendo a pinça na posição correta, para realizar a acabamento. A identificação do dispositivo da ponta é através da cor amarela. Na figura 3.19, é ilustrado o desenho do dispositivo da ponta e sua fixação na pinça.

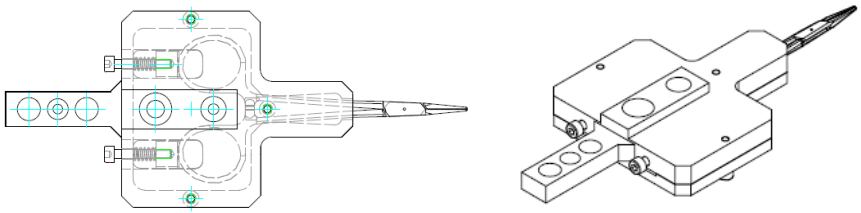


Figura 3.19 – Desenho do dispositivo para fazer a ponta da pinça, mostrando a fixação da pinça no mesmo.

O dispositivo para fazer o olhal da pinça, utiliza como apoio de fixação a ponta e a canela. O material utilizado na parte interna é polietileno, no formato anatômico da ponta e da canela, com objetivo de proteger as mesmas já com o acabamento. A identificação do dispositivo do olhal é pela cor vermelha. Na figura 3.20, é possível ver o desenho do dispositivo da ponta e sua fixação na pinça.

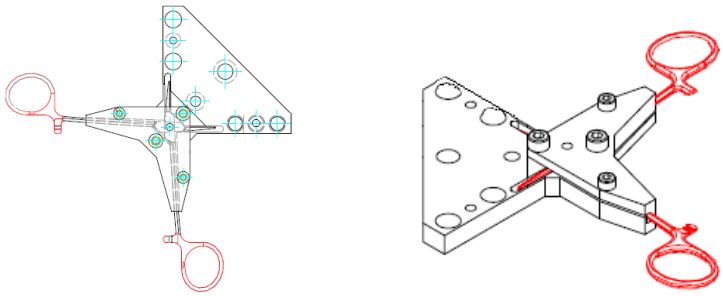


Figura 3.20 – Desenho do dispositivo para fazer o olhal da pinça, mostrando a fixação da pinça no mesmo.

Já o dispositivo para fazer a canela, tem como apoio de fixação a ponta. O material da parte interna é polietileno no formato anatômico da ponta com o objetivo também de proteger a mesma já com o acabamento. A identificação do dispositivo da canela é pela cor verde. Na figura 3.21, é possível visualizar o desenho do dispositivo da canela e sua fixação na pinça.

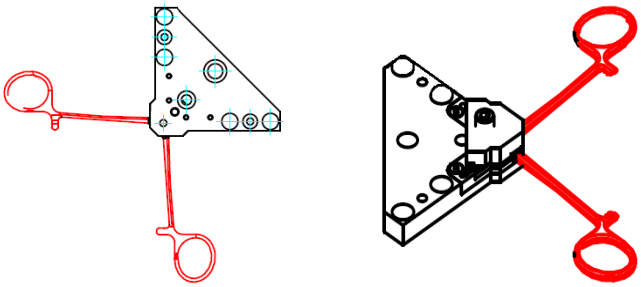


Figura 3.21 – Desenho do dispositivo para fazer a canela, mostrando a fixação da pinça no mesmo.

No acabamento, estes dispositivos servem para fixar as pinças e também para a ferramenta garra do robô poder pegar os mesmos.

A ferramenta garra possui três pinos para pegar o dispositivo, sendo eles, dois pinos em cima e um pino guia no meio na parte de baixo. Esta ferramenta garra permite uma rotação de 360°. A abertura e fechamento da garra são feitas através de sistema pneumático, acionado por sensores. Na figura 3.22, é possível ver na ferramenta garra a sua direção de rotação e como é a sua fixação no dispositivo.

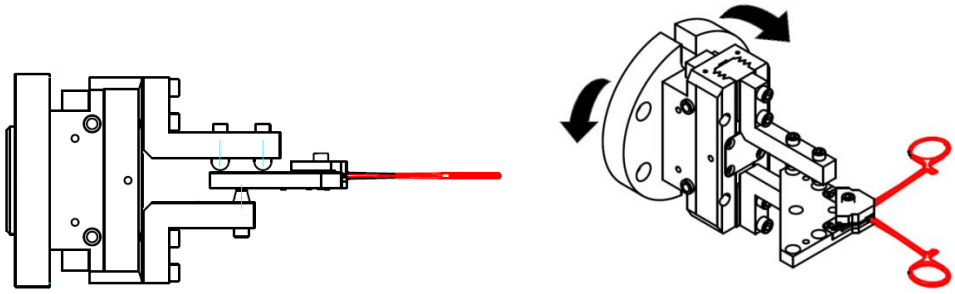


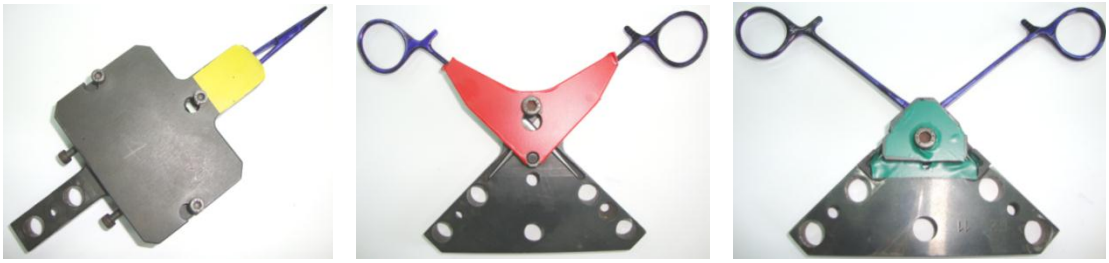
Figura 3.22 – Ferramenta garra robô para pegar os dispositivos de fixação das pinças.

A ferramenta garra auxiliou no desenvolvimento inicial dos dispositivos, já que a mesma é a responsável por pegar o dispositivo e executar as operações de acabamento.

3.4.2.1 Procedimento para validação experimental dos dispositivos

Inicialmente é testado um modelo de cada dispositivo antes de confeccionar os outros. A validação dos dispositivos é feita através da repetitividade do processo testado. São realizados os testes de acesso nas máquinas disponíveis na célula automatizada para cada dispositivo. Neste teste é possível identificar se a pinça deslocou da fixação inicial, sendo realizado da seguinte forma: a pinça é fixada ao dispositivo, toda pintada com uma tinta especial para metal, facilitando a visualização do desgaste na pinça, após contato com as máquinas de polimento. Esta marca de desgaste pode ser medida e comparada com as outras.

A figura 3.23 apresenta os dispositivos com as pinças pintadas de azul pronta para o teste.



(a) (b) (c)

Figura 3.23 – Dispositivos com as pinças pintadas de azul, preparadas para o teste de validação: (a) da ponta da pinça; (b) do olhal da pinça; (c) da canela da pinça.

Os dispositivos e os berços de apoio são numerados e possuem três diferentes cores conforme parte da pinça. Desta forma é fácil de identificar as pinças do lote utilizadas na validação do dispositivo. A figura 3.24 explana o *layout* do magazine, o sentido que o robô vai adquirindo as pinças, conforme ordem numérica crescente e etapas do processo a serem feitas com suas respectivas cores.

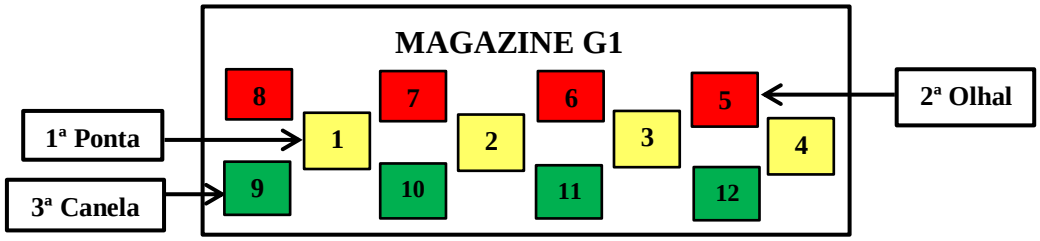
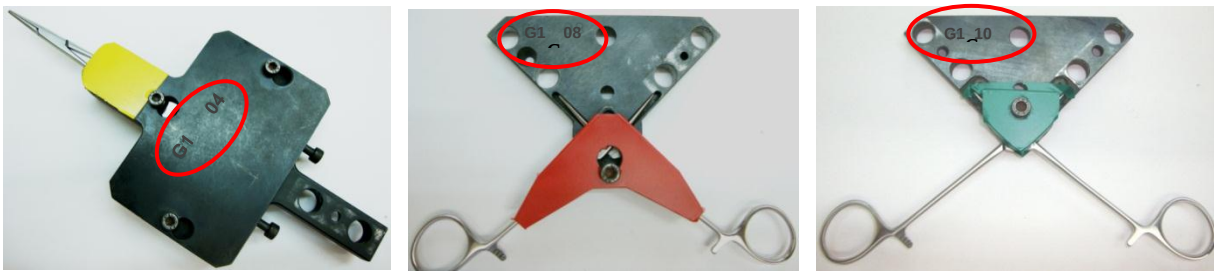


Figura 3.24 – *Layout* do magazine com posição dos berços e cores de identificação.

Os dispositivos, além das cores, também são identificados com o número do magazine e do berço. Através da figura 3.25, pode-se observar os dispositivos com as suas respectivas cores, números dos magazines e dos berços.



(a) (b) (c)

Figura 3.25 – Dispositivos mostrando respectivamente as cores, os números dos magazines e dos berços: (a) amarelo G1 e 04; (b) vermelha G1 e 08; (c) verde G1 e 10.

Na figura 3.26 é possível ver os dispositivos com as pinças colocadas nos berços do magazine G2 em vista de perspectiva.

Figura 3.26 – Dispositivos com as pinças no magazine G2 em vista de perspectiva.

No dispositivo da canela que tem a menor fixação de apoio na pinça, foi feito um sistema de régua para medir o comprimento total da pinça já montada no dispositivo. Esta medida pode mostrar se a pinça deslocou no dispositivo da sua posição inicial. Assim é verificado antes e depois do conjunto entrar na célula automatizada. Este sistema pode ser visto na figura 3.27, que mostra a pinça montada no dispositivo antes de entrar na célula automatizada.

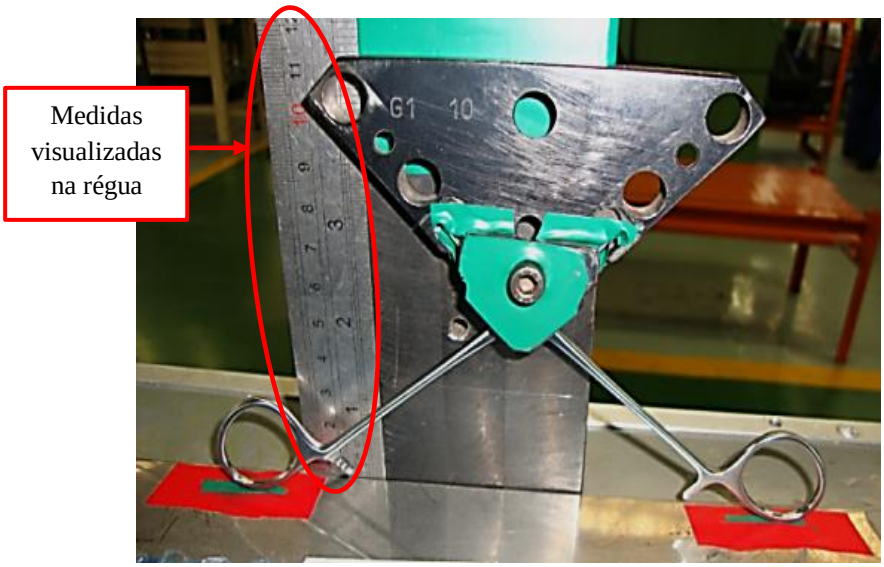


Figura 3.27 – Sistema de régua para medir o conjunto pinça e dispositivo montados.

Com a aprovação dos dispositivos é realizado a validação do processo automatizado de acabamento, utilizando nas pinças prontas dispositivos de medições passa ou não passa. Estes dispositivos são calibrados com as medidas definidas no projeto de cada pinça, facilitando assim a avaliação de cada etapa do processo. A figura 3.28, mostra a aplicação de validação do processo utilizando os dispositivos passa ou não passa nas partes da pinça confeccionada no processo automatizado de acabamento.

(a) (b) (c) (d)

Figura 3.28 – Aplicação dos dispositivos passa ou não passa: (a) na ponta da pinça; (b) na caixa da pinça; (c) no olhal da pinça; (d) na canela da pinça.

Os dispositivos (passa ou não passa) são utilizados no final de cada operação da pinça para garantir a eficácia do processo. Para facilitar a identificação dos dispositivos com as operações da pinça, foi criada a tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Dispositivos passa ou não passa identificados pela operação.

Passa	**Não Passa**	**Descrição**
1.A	1.B	Ponta
2.A	2.B	Caixa
3.A	3.B	Olhal
4.A	4.B	Canela

Os testes de validação do processo foram realizados em dois lotes de 50 pinças. A avaliação foi feita através de um relatório de avaliação técnica, anexo C, que lista os pontos críticos da pinça, os quais são importantes no processo de fabricação. Este relatório avalia os tempos de produção, os insumos utilizados, as máquinas acessadas e os dispositivos utilizados.

3.4.3 Configuração do processo automatizado de acabamento

O processo é realizado em três etapas de acabamento da pinça. Cada etapa possui um dispositivo diferente. As etapas de produção respeitam uma sequência que é definida da seguinte forma: primeiro é feita a ponta, em segundo o olhal e, em terceiro, a canela da pinça. A identificação de cores é utilizada em todo o processo para facilitar as operações. A finalidade deste processo produtivo é de retirar a marca do pino da pinça e fazer o acabamento através do polimento acetinado. A programação foi realizada através do auxílio de vídeos do processo atual de acabamento, obtendo assim a aproximação ideal do robô com as máquinas do processo automatizado de acabamento.

O Anexo F, apresenta a fonte da programação do processo de acabamento da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm apresentada no capítulo 3.4.3.1.

3.4.3.1 Processo automatizado de acabamento da ponta da pinça

O processo de automatização de acabamento da ponta das pinças possui 15 operações, com a preparação inicial das pinças nos dispositivos e etapas do manipulador (robô). As etapas iniciais do processo de acabamento realizado pela célula flexível são repetidas para todas as partes construtivas da pinça, sendo compostas por procedimentos de preparação do robô:

1- Colocar as pinças nos dispositivos com sua respectiva cor;
2- Armazenar os dispositivos nos berços com mesma cor localizados nos magazines;
3- Selecionar o início no painel IHM;
4- Selecionar o programa no painel KCP;
5- Pressionar o botão verde para liberá-lo magazine.

Para iniciar o processo, o robô tem que estar posicionado em HOME 0 (HOME é a posição dos fins de curso), em seguida ele pega o dispositivo com a pinça e passa pelo sensor para fazer a verificação se existe peça no mesmo, se não houver peça ele devolve o dispositivo ao berço. Feito a leitura, ele se dirige ao processo designado. O robô se desloca de HOME 0 para a posição do HOME 1, ficando em frente à máquina 3. Em seguida se desloca para o contato da roda direita, que possui uma correia de lixa com as medidas de 3350x50mm e com a referência 900 DZ P220. Esta operação serve para remover a marca deixada pela colocação do pino. Executada a operação, retorna para HOME 1. Após, se desloca para o contato da roda esquerda que possui uma correia de surface com as medidas 3350x50mm e

com a referência AMF. Esta operação faz o acabamento na ponta da pinça. Finalizando, volta para o HOME 1 e se desloca para o HOME 0 para fazer a devolução do dispositivo ao berço do gabarito. A figura 3.29 mostra o fluxograma da sequência do processo de acabamento da ponta da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm.

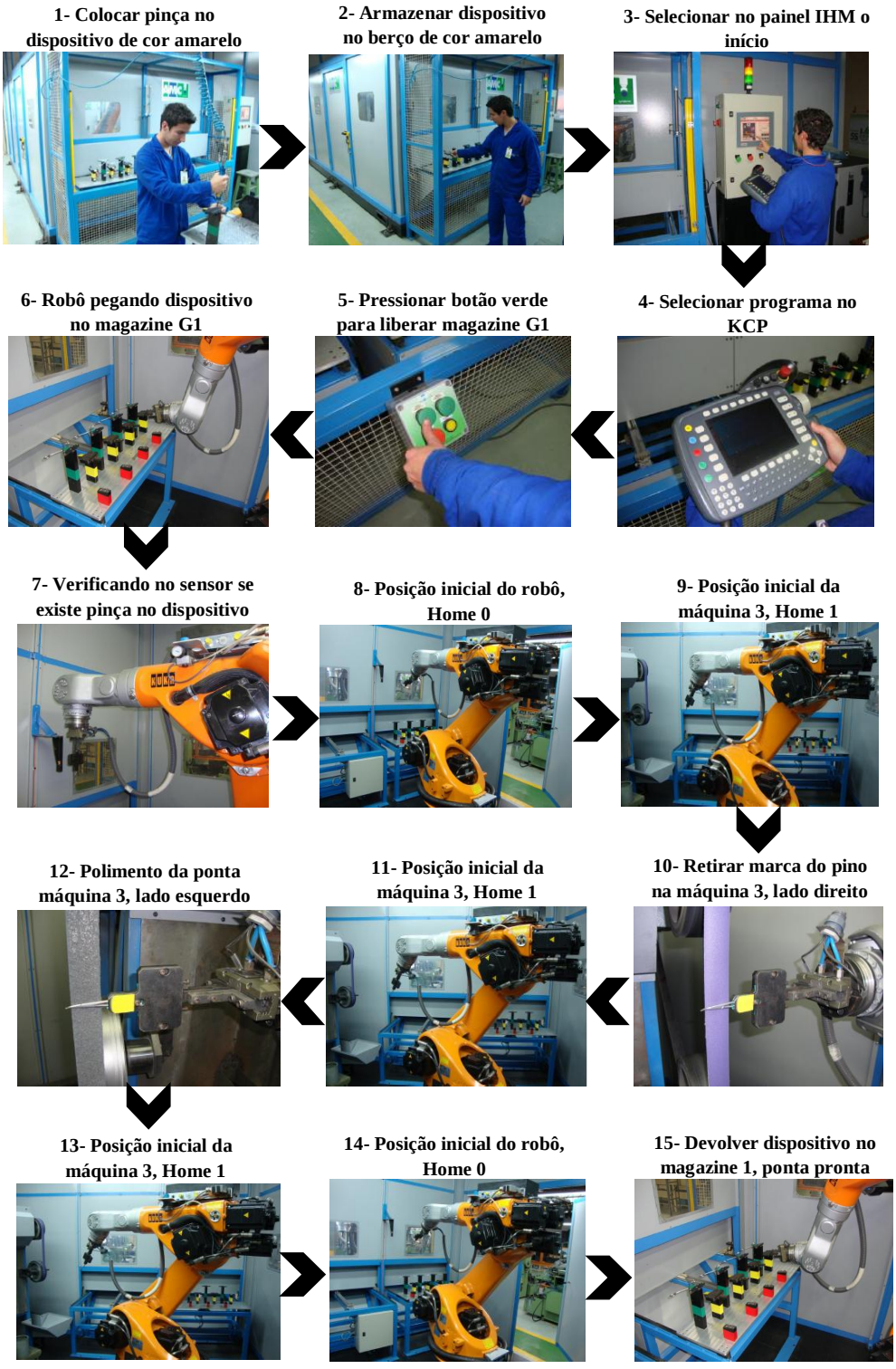


Figura 3.29 – Fluxograma da sequência do processo de acabamento da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

3.4.3.2 Processo automatizado de acabamento do olhal da pinça

O processo de automatização de acabamento do olhal das pinças possui 25 operações, com a preparação inicial das pinças nos dispositivos e etapas do manipulador (robô).

Iniciando o processo o robô tem que se colocar em HOME 0 (HOME é a posição dos fins de curso), na sequência ele agarra o dispositivo com a pinça e passa em frente de um sensor para fazer a averiguação se existe peça no mesmo, se não houver peça ele devolve ao berço. Após a leitura ele se dirige ao processo designado.

O processo seguinte refere-se ao lado 1, onde o robô se desloca de HOME 0 para a posição do HOME 2, em frente a máquina 2, e segue para o contato da roda direita que possui uma correia de surface com as medidas 3350x75mm e referência AMF. Esta operação faz o acabamento da parte externa do olhal, finalizando a operação. No mesmo processo o robô volta para HOME 2 e se desloca para o contato da roda esquerda que possui uma correia de surface com as medidas 3350x50mm e referência AMF. Esta operação faz o acabamento na outra parte do olhal externo, após, ele retorna para o HOME 2 e se desloca para o HOME 1 para fazer o tombamento na torre para executar o lado 2, que segue o mesmo procedimento do lado 1. A apresentação do processo de acabamento do olhal da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm é mostrada em três fluxogramas, sendo assim, o primeiro a sequência de 1 a 6 ilustrado na figura 3.30, o segundo a sequência de 7 a 21 apresentado na figura 3.31 e o terceiro a sequência de 22 a 25 visto na figura 3.32.

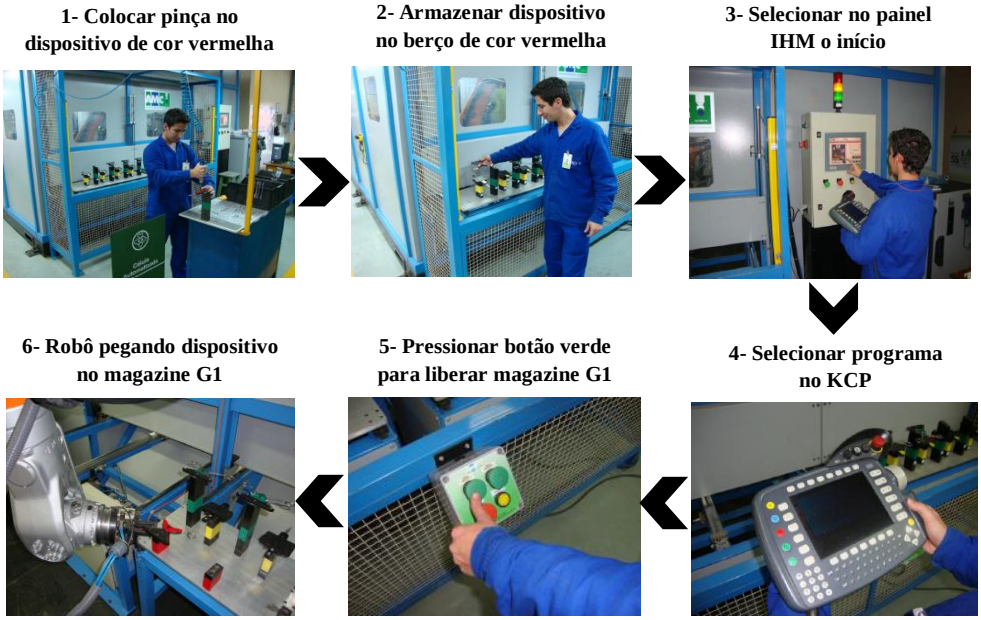


Figura 3.30 – Sequência de 1 a 6 do processo de acabamento do olhal da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm.

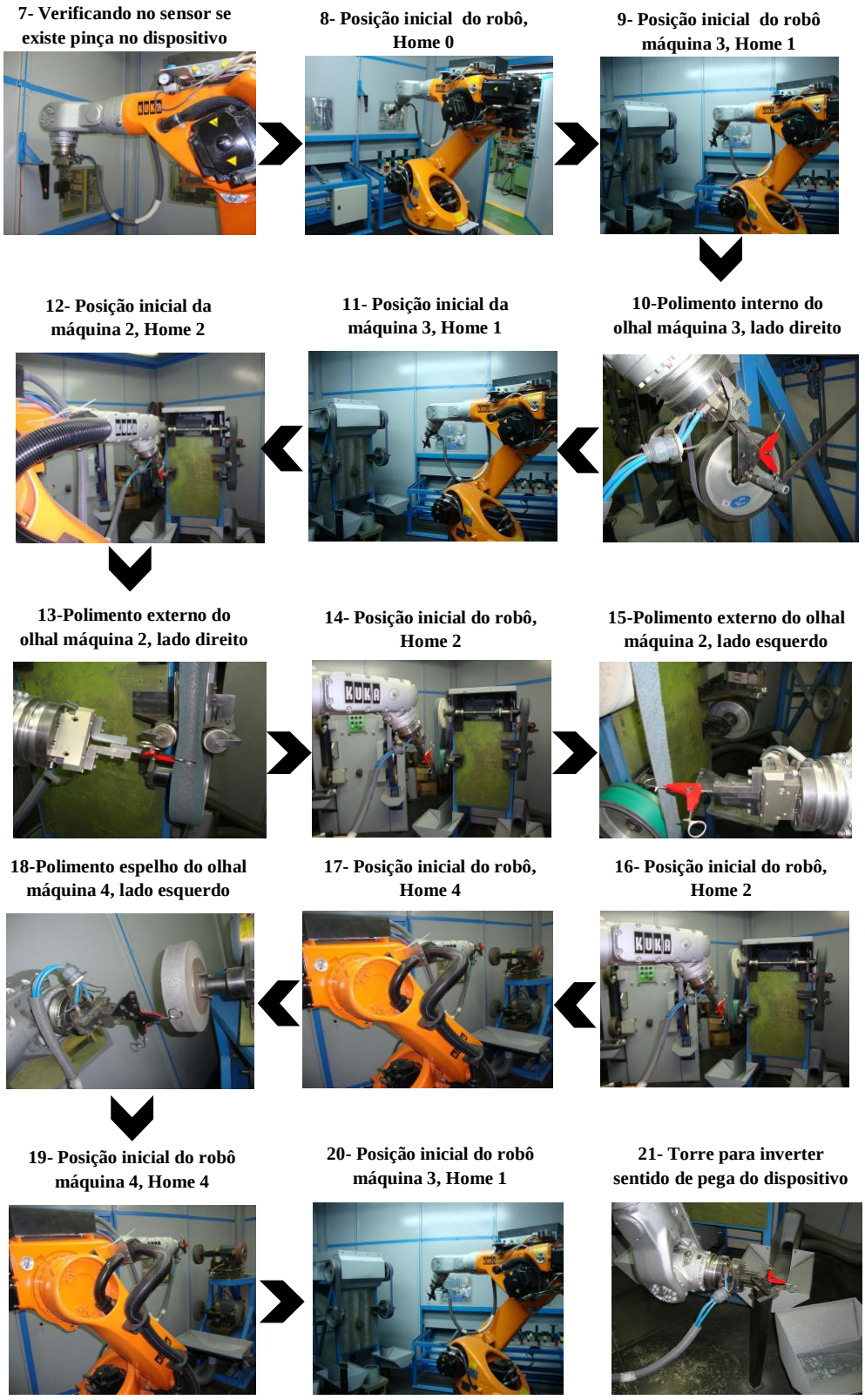


Figura 3.31 – Sequência de 7 a 21 do processo de acabamento do olhal da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm.

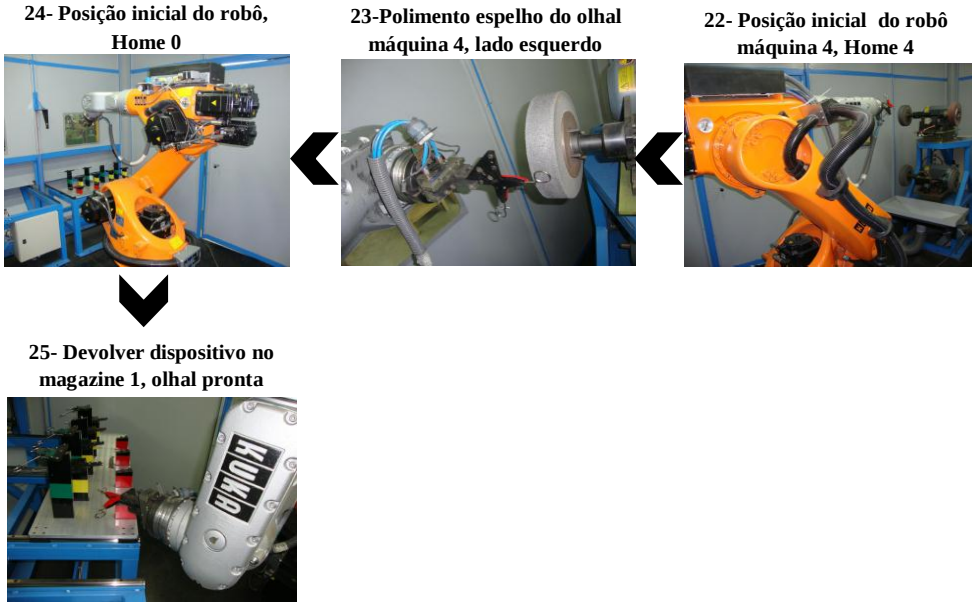


Figura 3.32 – Sequência de 22 a 25 do processo de acabamento do olhal da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm.

3.4.3.3 Processo automatizado de acabamento da canela da pinça

O processo de automatização de acabamento da canela das pinças possui 16 operações, com a preparação inicial das pinças nos dispositivos e etapas do manipulador (robô).

Dando início a o processo o robô precisa estar na posição HOME 0 (HOME é a posição dos fins de curso), a seguir, ele pega o dispositivo com a pinça e passa em frente de um sensor para fazer a leitura se existe peça neste, caso contrário, ele devolve ao berço. Feito a leitura ele se dirige ao processo designado.

O processo seguinte está relacionado ao lado1, em que o robô se desloca de HOME 0 para a posição HOME 1, em frente a máquina 3, e segue para o contato da roda esquerda que possui uma correia de surface com as medidas 3350x50 mm e referência AMF. Esta ação faz o acabamento na canela e também o espelho do olhal, finalizando-o retorna para o HOME 1. Posteriormente, se desloca para HOME 4, em frente ao politriz 2 que possui uma roda de manta sintética com as medidas 250x50mm e referência EXL. Esta operação serve para dar o acabamento final. Após, retorna para a HOME 4 e se desloca para a HOME 1, onde ele faz o tombamento na torre para executar o lado 2, que segue o mesmo procedimento do lado 1. O processo de acabamento da canela da pinça cirúrgica Halsted Mosquito Reto 12 cm é

apresentado em dois fluxogramas sendo, o primeiro a sequência de 1 a 12 ilustrado na figura 3.33 e o segundo a sequência de 13 a 16 visto na figura 3.34.

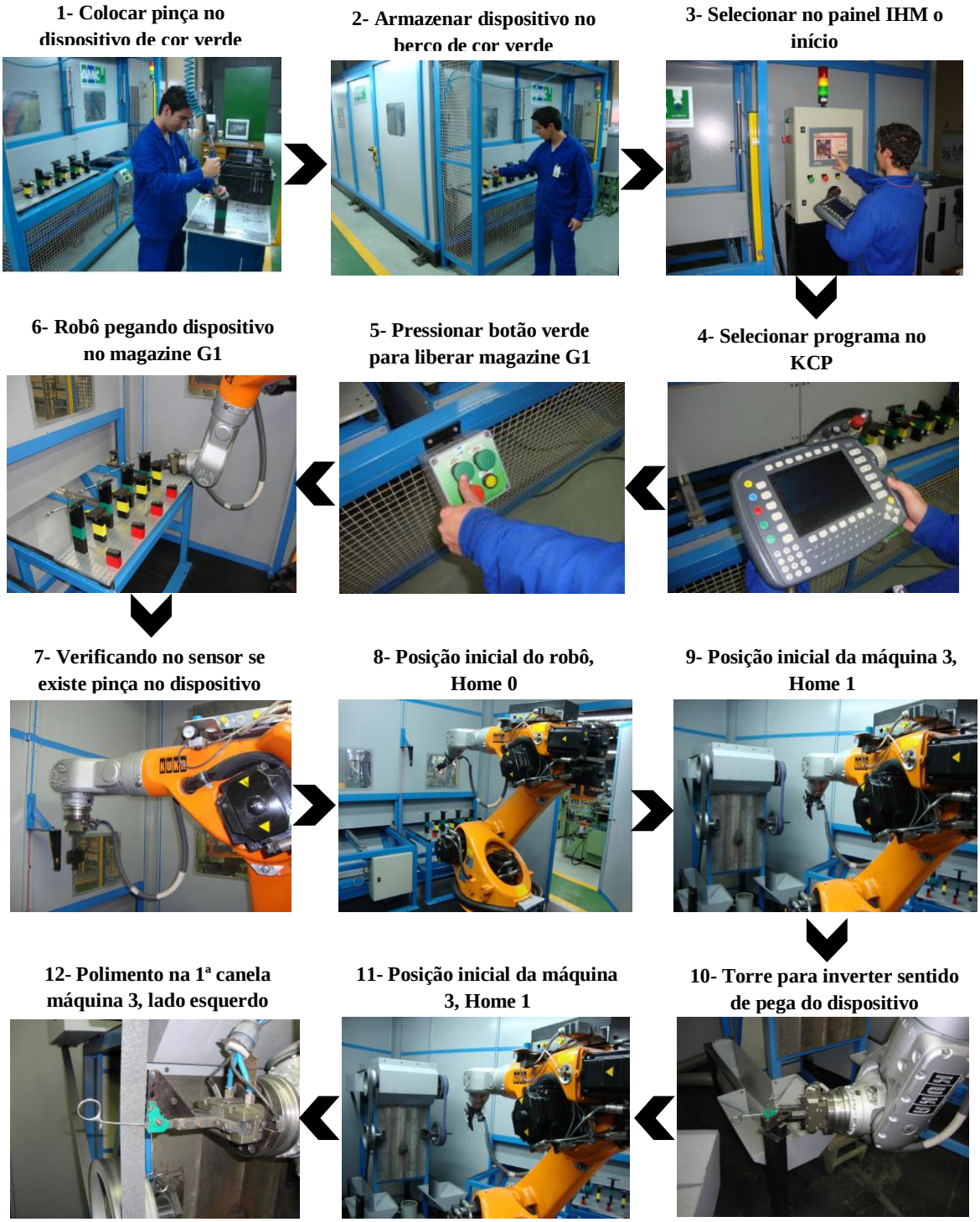


Figura 3.33 – Sequência 1 a 12 do processo de acabamento da canela da pinça cirúrgica Haslsted Mosquito Reto 12 cm.

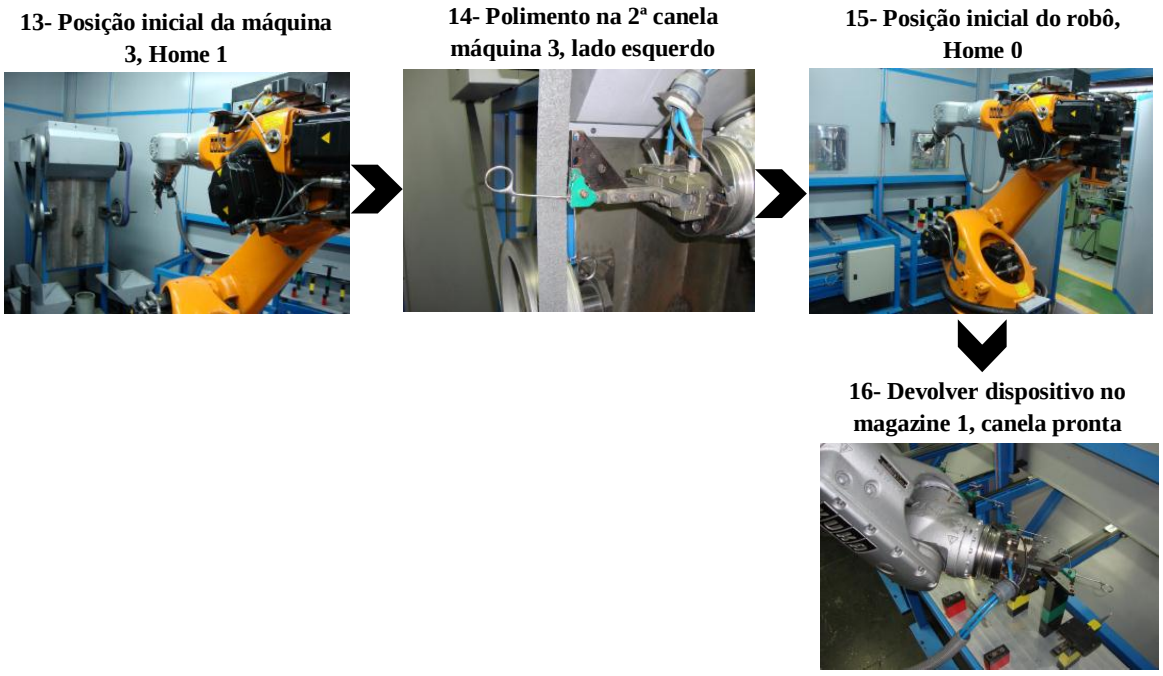


Figura 3.34 – Sequência 13 a 16 do processo de acabamento da canela da pinça cirúrgica Haslsted Mosquito Reto 12 cm.

3.4.4 Avaliação da qualidade das pinças do lote piloto

As pinças do lote piloto após o processo de acabamento automatizado são avaliadas, pois podem ocorrer variações no dimensional devido ao desgaste dos consumíveis (correias e rodas de manta sintética) utilizados na confecção do acabamento da pinça. Quando a vida útil das correias e rodas utilizadas está no fim, começam a perder as características de acabamento e passam a remover material, da ponta e da canela, alterando o dimensional da pinça.

Um controle estatístico de processo (CEP - apêndice A) é utilizado para garantir a funcionalidade através da avaliação dos pontos críticos (ponta e canela) das pinças. Neste controle é preenchida uma carta, para cada ponto crítico, utilizada para verificar o comportamento do processo durante a execução, indicando os problemas que podem ocorrer no mesmo. É constituída por uma folha de controle onde, na frente, tem-se a carta de controle e no verso, o diário de observações de problemas.

No desenvolvimento da carta de controle os dados devem ser coletados em cinco amostras (sub-grupos) de tamanho constante. As pinças dentro de uma amostra são produzidas em condições muito similares e, portanto, a variabilidade dentro de cada amostra será primariamente devido às causas comuns. As amostras são coletadas a uma frequência periódica, de duas amostras por lote, no caso de um lote de 100 pinças serão coletadas duas

amostras de cinco pinças, isto é, um total de 10 pinças. A frequência de amostragem deve ser definida de forma que exista uma chance potencial de mudança dos resultados de uma amostra para a outra. O controle estatístico do processo é realizado através da média ($\bar{x}$) e da amplitude (R). O cálculo dos limites de controle é realizado após coleta de 20 amostras sem indícios de uma situação fora de controle através de um lote de 200 pinças.

Outro procedimento é realizar ensaios de dureza para verificar se o material composto de aço inoxidável das pinças confeccionadas no lote piloto do processo de acabamento automatizado sofreu aquecimento em excesso. As partes da pinça verificadas no ensaio são a ponta e a canela, que podem ter problemas de aquecimento no processo de acabamento. É realizado o ensaio de dureza Rockwell que é um método de medição direta da dureza. Neste método, a dureza é obtida através da diferença entre a profundidade de penetração resultante da aplicação de uma pequena carga, seguida por outra de maior intensidade. Neste ensaio, como é realizado em material duro, o objeto penetrante é um cone de diamante com ângulo de vértice de 120°. A escala utilizada é a Rockwell C ou HRC. Como o material utilizado é o aço inoxidável 420D, os valores medidos de dureza devem estar entre 44 e 48 HRC (Chiaverini, 1986). A figura 3.35 ilustra o aparelho de durômetro utilizados nos ensaios de dureza nos lotes pilotos.

Figura 3.35 – Durômetro utilizado no ensaio das pinças.

Após realizado o ensaio de dureza é verificada a funcionalidade da pinça, através de uma simulação de utilização da pinça flexionando as canelas 5.000 vezes. Para este teste, utilizou-se um dispositivo mecânico (motor ½ CV, redutor com came ligado a dois eixos) que tem a finalidade de verificar a resistência mecânica das pinças. Na figura 3.36 apresenta o dispositivo mecânico utilizado nos testes das pinças cirúrgicas.

Figura 3.36 – Dispositivo mecânico utilizado nos testes de flexão das pinças.

3.5 Análise comparativa entre forjamento e corte a laser na produção de pinças cirúrgicas

Este ensaio tem como finalidade analisar e comparar o forjamento e o corte a laser na produção das pinças cirúrgicas e, assim, verificar se é viável realizar o lixamento e o polimento das pinças na célula robotizada como considerado nas etapas iniciais do estudo de cronoanálise da tabela 3.5. Neste estudo foi apresentado o processo de acabamento das pinças, do qual fazem parte as operações de lixamento 1 e 2 (que são, respectivamente o lixamento das pinças com o grão 80 e com o grão 150).

O processo de corte a laser tem uma variação dimensional de mais ou menos 0,025 mm. No processo de forjamento com rebarba, as pinças possuem uma variação dimensional de mais ou menos 0,2 mm. Para automação do processo de lixamento é necessário ter uma variação dimensional máxima de 0,1 mm, equivalente à repetitividade do robô. Já para automação do processo de acabamento, as pinças não necessitam ter essa exigência na tolerância em suas medidas, pois a remoção de material no polimento é desprezível.

No processo de forjamento, utiliza-se como matéria-prima aço inoxidável AISI 420D laminado e cortado em tiras de espessura 5 mm. O corte é realizado através de uma prensa geratriz. Após, a tira sofrerá o processo de forjamento, recozimento, rebarbação e usinagem. Em seguida, será montado, passará pelo tratamento térmico, polimento e revisão final.

No novo processo, utiliza-se da mesma matéria-prima, porém, realizando o corte a laser de uma pré-forma para posterior usinagem, montagem, tratamento térmico, polimento e revisão final. Nesta análise é previsto que o processo de corte laser tenha maior precisão dimensional, porém com qualidade inferior ao processo forjado, no entanto o objetivo é obter produtos com nível de qualidade aceitável e maior produtividade.

3.5.1 Procedimentos experimentais

Para realização do ensaio, foi selecionada a Pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm, retiradas de dois lotes de fabricação, um no processo forjado e outro no processo proposto de corte a laser. Cada lote contém 5 unidades.

As pinças fabricadas por forjamento foram retiradas do estoque de produtos prontos da empresa. As pinças forjadas têm os anéis com o acabamento prateado. As pinças fabricadas pelo processo proposto de corte laser possuem seus anéis revestidos em poliamida (Rilsan – PA11), na cor verde.

O aço inoxidável que constitui a pinça confeccionada no método proposto (corte a laser) não sofre a deformação como ocorre no processo de forjamento. Espera-se que tenham características mecânicas diferentes da realizada no processo atual (forjado). Entretanto, não se pode estimar o quanto poderão variar estas características na qualidade, devido ao fato das pinças possuírem um formato muito irregular nas suas secções. Uma característica muito importante em uma pinça hemostática é a resistência à fadiga, devido à sua grande flexão realizada ao apreender um determinado tecido e fixá-la por cremalheira, ou seja, deverá flexionar suas canelas até o fim da cremalheira repetidas vezes sem romper.

Como não há norma específica que identifique esta resistência à fadiga, será, primeiramente, realizado um ensaio estático e, posteriormente, um ensaio dinâmico, sempre comparando os dois processos de fabricação.

3.5.1.1 Ensaio estático

Foram realizados dois ensaios com carregamentos estáticos nas pinças forjadas e cortadas a laser. O primeiro ensaio, chamado ensaio estático convencional, foi realizado conforme a norma DIN 58 298 (DIN, 1990), e consiste nos seguintes procedimentos:

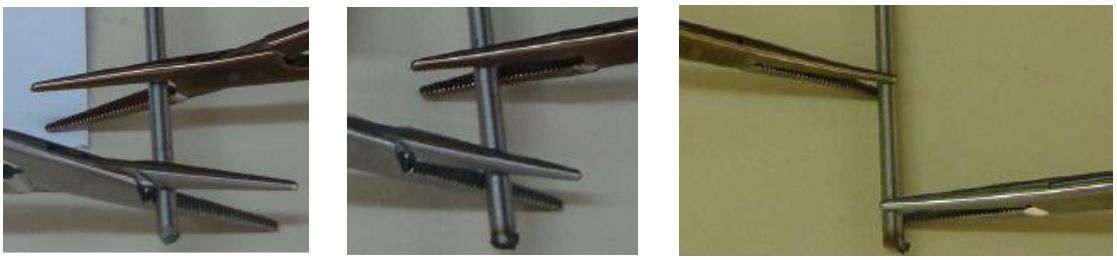
- Apreender um material de 3 mm de espessura (couro ou madeira);
- Acionar até o último dente da cremalheira;
- Manter a fixação por 3 horas.

A figura 3.37 apresenta a realização do ensaio estático convencional em uma tira de couro umedecido, conforme sugerido pela norma DIN 58 298. Este ensaio foi realizado em pinças produzidas através de ambos os processos de fabricação avaliados (forjamento e corte

laser), e consiste na preensão de uma tira de couro através do uso das pinças, acionadas até o último dente da cremalheira.

Figura 3.37 – Ensaio estático convencional.

O ensaio estático com carga elevada exigiu maior esforço sobre as pinças forjadas e cortadas a laser, obtendo-se assim maior deformação do produto. A maior deformação foi obtida através da substituição da tira de couro por uma barra metálica (aço inoxidável ABNT 420), com diâmetro de 3 mm, submetida a preensão pelas pinças cirúrgicas em três diferentes pontos de apoio, durante um período de três horas. As figuras 3.38 apresenta os pontos de apoio utilizados no teste de carga estática.



(a) (b) (c)

Figura 3.38 – Pontos de apoio utilizados no ensaio com carga elevada: (a) parte interna; (b) região central; (c) ponta da pinça.

3.5.1.2 Ensaio dinâmico

O ensaio dinâmico tem como objetivo principal determinar resistência mecânica das pinças dos processos forjado e cortado a laser. Será simulada a utilização da pinça flexionando as canelas inúmeras vezes. Optou-se por realizar, simultaneamente, o teste

comparativo entre as pinças, ou seja, fazer o teste em paralelo nos produtos forjados e nos produtos fabricados com o processo proposto de corte a laser.

Para identificar as pinças no ensaio, utilizaram-se números marcados por punção. No ensaio, as pinças de anéis de cor verde foram marcadas com os números 1, 2 e 4 e as pinças de anéis de cor prateado foram marcadas com os números 1, 2 e 5. Neste ensaio, foi utilizado um dispositivo desenvolvido na empresa, que simula a flexão da pinça (abertura e fechamento) e possui um contador de ciclos. No ensaio dinâmico, utilizou-se como carga para abertura e fechamento da ponta da pinça uma tira de couro umedecido, iniciando assim os ciclos até a ruptura de ambos os lotes de fabricação. A figura 3.39, apresenta o dispositivo e o ensaio sendo aplicado nas pinças.

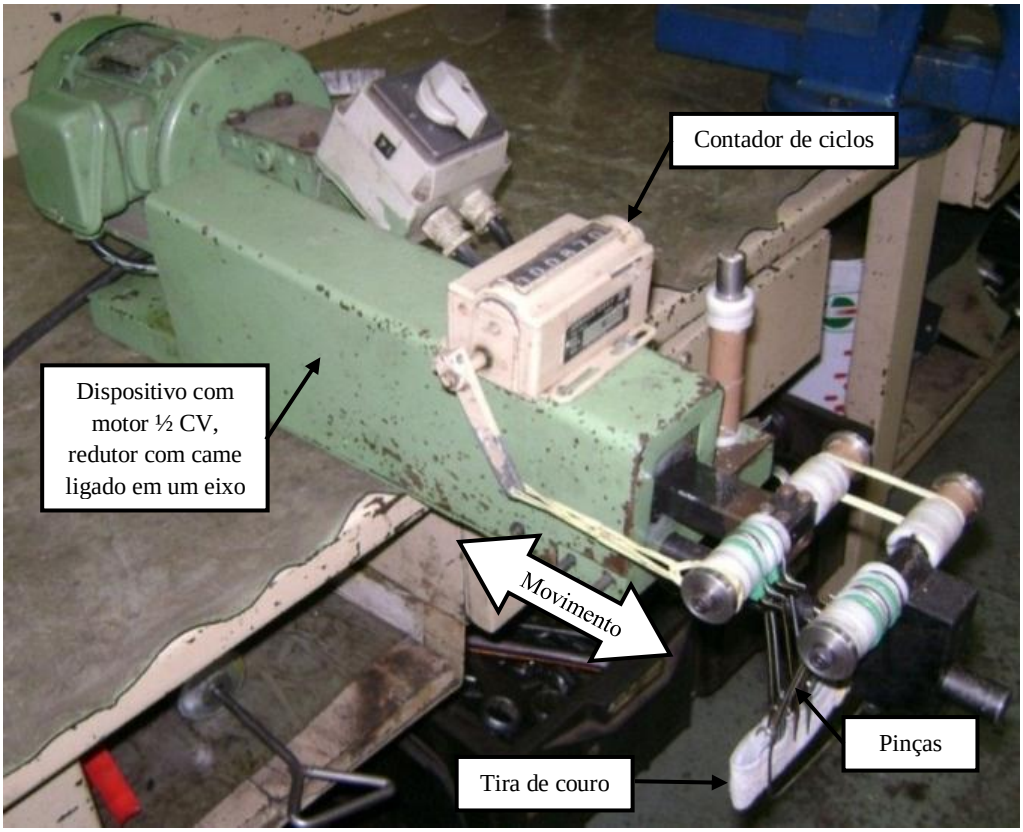


Figura 3.39 – Dispositivo desenvolvido na empresa para ensaio dinâmico nas pinças.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em decorrência da metodologia conceitual aplicada no desenvolvimento da célula robotizada para acabamento de pinças cirúrgicas, são apresentados e discutidos neste capítulo os resultados obtidos.

4.1 Resultados dos ensaios estáticos e dinâmicos

Foram realizados dois ensaios com carregamento estático, sendo o primeiro constituído pela apreensão das pinças produzidas pelos processos de forjamento e corte laser em uma tira de couro umedecido, visando simular sua utilização em tecido animal. O segundo ensaio foi realizado com aplicação de carga mais elevada, através da apreensão de uma barra metálica em três diferentes pontos de apoio. Ambos os testes envolveram a aplicação de permanecendo durante um período de três horas.

No primeiro ensaio estático, não foi observada diferença entre o comportamento das pinças forjadas e as cortadas a laser. No entanto, o segundo ensaio estático (carga elevada) mostrou que as pinças conformadas possuem maior resistência ao escoamento, devido ao encruamento sofrido pelo material, enquanto as pinças cortadas a laser sofreram deformação permanente. Desta forma, foi comprovada a superioridade do produto forjado. Comparando o resultado do ensaio estático, utilizou-se uma régua para evidenciar a diferença entre as pinças dos processos forjado ilustrado na figura 4.1 e cortado a laser apresentado na figura 4.2.

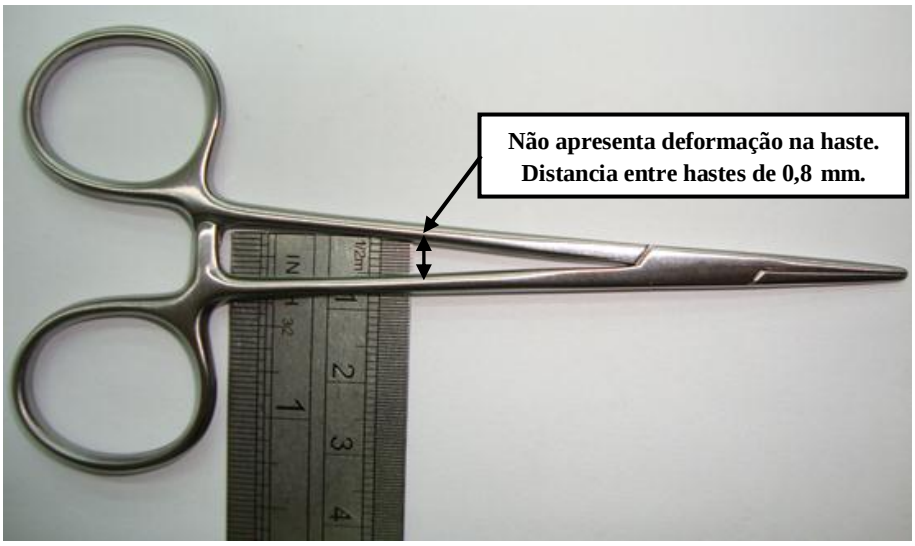


Figura 4.1 – Pinça forjada após o segundo ensaio estático.

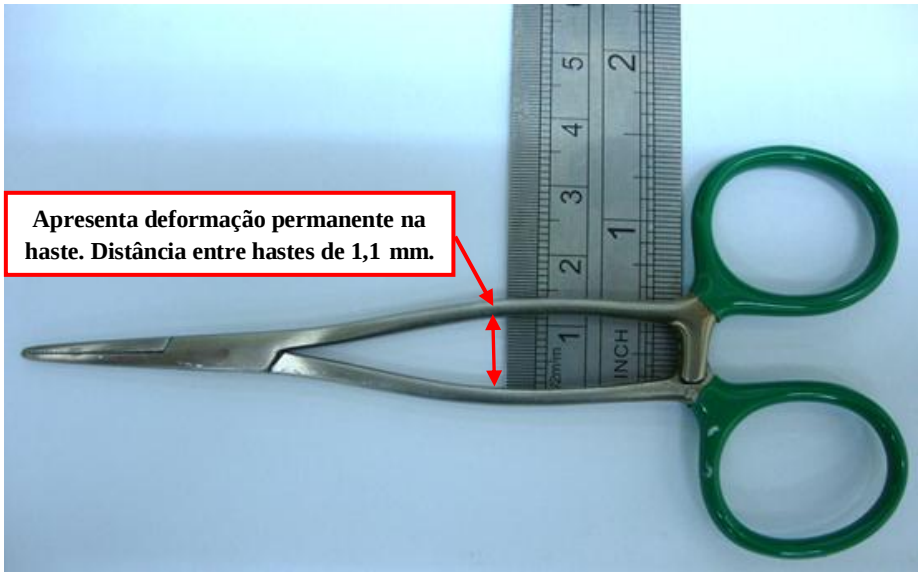


Figura 4.2 – Pinça cortada a laser depois do segundo ensaio estático com grande carga mostrando na régua escalonada deformação.

Nos ensaios estáticos se pode observar que os materiais forjados possuem um limite elástico superior em comparação ao material cortado a laser. Quando aplicada grande carga de flexão no material cortado a laser, ultrapassa-se o limite elástico do material, ocorrendo a deformação permanente. Quando aplicado o mesmo esforço no material forjado, este se manteve em condições normais, garantindo seu uso sem perda das suas funções.

Os resultados do ensaio dinâmico são apresentados na tabela 4.1, com o número de ciclos que cada pinça suportou e o ocorrido.

Tabela 4.1 – Resultados dos ensaios dinâmicos nas pinças.

Numero de Ciclos	**Ocorrência**
3200	Falha da pinça cortada a laser com o número 1
5800	Falha das pinças cortadas a laser de número 2 e 4
18000	Falha da pinça forjada com o número 2
20000	Falha da pinça forjada com o número 5
20200	Falha da pinça forjada com o número 1

As falhas das pinças tanto forjadas quanto cortadas a laser ocorreram no mesmo local, podendo ser este um indicativo de deficiência no projeto, evidenciando o ponto de menor resistência. Na figura 4.3.a, é possível visualizar a falha que ocorreu durante o ensaio dinâmico na pinça do processo forjado e a figura 4.3.b ilustra a falha ocorrida no ensaio dinâmico na pinça do processo corte laser.

(a) (b)

Figura 4.3 – Falha nas pinças no ensaio dinâmico: (a) pinça forjada; (b) pinça corte laser.

Quando realizados os ensaios dinâmicos, as pinças forjadas suportaram cerca de 20.000 flexões, enquanto as pinças cortadas a laser não ultrapassaram 6.000 flexões. Demonstrando claramente as diferenças das características do material quando conformado por forjamento e quando cortado a laser.

Através dos resultados dos ensaios, pode-se concluir que o processo forjado traz melhoria nas propriedades mecânicas obtidas pelo material em comparação ao outro processo de corte laser.

Nos produtos forjados se sabe que ocorre um rearranjo na disposição dos constituintes do material deformado, passando a ter uma nova orientação, além de permitir o refinamento do grão, caldeamento das porosidades e vazios, dentre outras vantagens (Bresciani et al., 1997; Norton, 2004).

Havia conhecimento que o corte a laser teria efeito negativo sobre a qualidade das pinças, no entanto o objetivo deste ensaio era obter produtos com nível de qualidade aceitável, ainda que inferior, mas com maior produtividade e menor custo. A figura 4.4 apresenta em um gráfico a diferença entre os tempos de produção das pinças confeccionadas pelos processos forjado e corte laser, sendo os menores tempos apresentados nas pinças cortadas a laser.

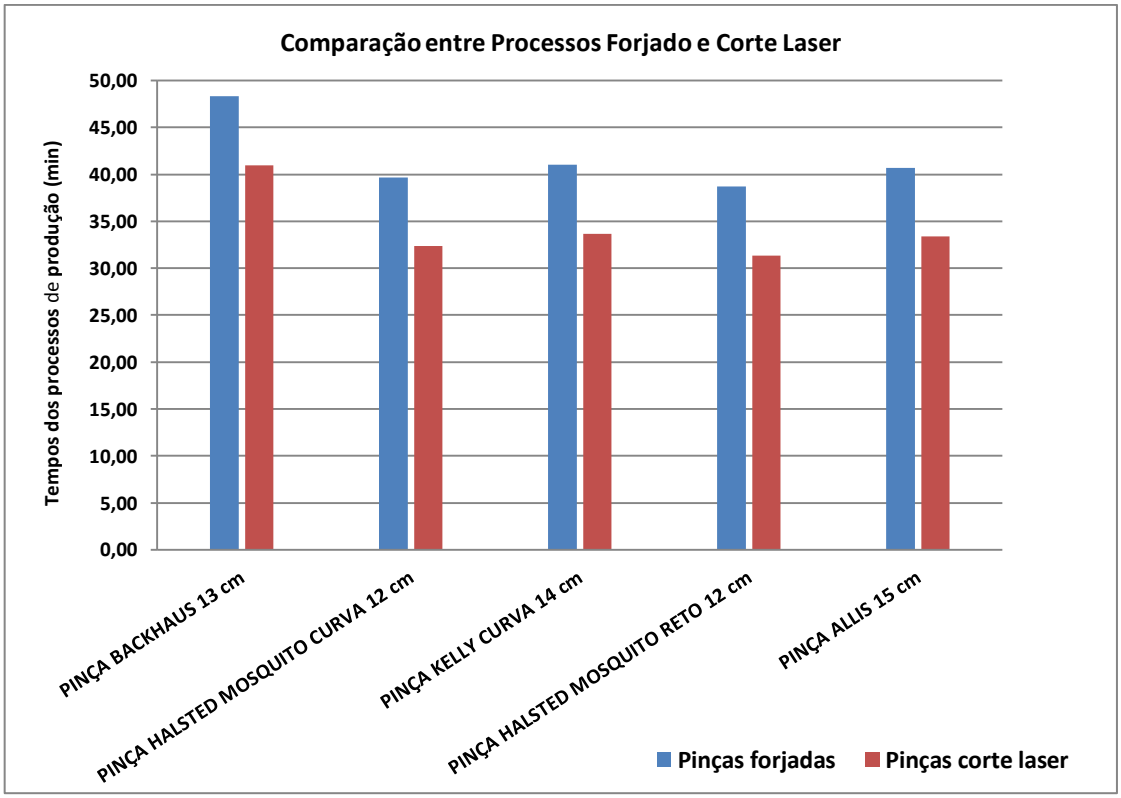


Figura 4.4 – Comparação entre os tempos de produção das pinças utilizando os processos de forjamento e corte laser.

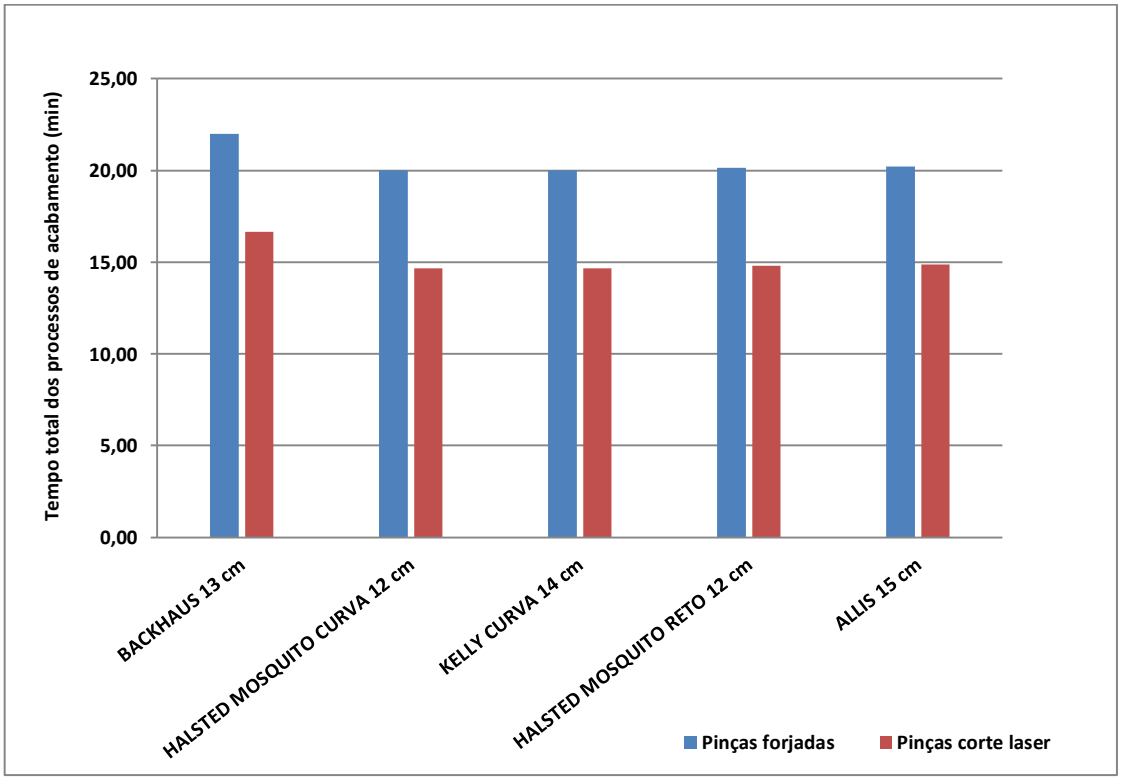


Figura 4.5 – Comparação entre os tempos de acabamento das pinças utilizando os processos de forjamento e corte laser.

Conclui-se que, para as pinças avaliadas no presente estudo, não é viável tecnicamente a substituição do processo de forjamento pelo processo de corte a laser, tendo em vista que, apesar da redução no tempo de manufatura, há considerável prejuízo às propriedades mecânicas do produto, evidenciados tanto nos ensaios estáticos quanto dinâmicos. Uma vez que não é viável a execução do lixamento na célula flexível de manufatura, devido à grande remoção de material necessária, o uso do processo de forjamento implica na necessidade de realizar o lixamento manual das pinças produzidas.

Apesar de não ser tecnicamente viável para as pinças incluídas no estudo (12 cm), foi constatado que a substituição do forjamento pelo corte laser é viável para pinças de comprimento maior que 15 cm, proporcionando ganhos de produtividade proporcionais aos demonstrados na figura 4.5.

4.2 Resultados da validação dos dispositivos

Foi produzido inicialmente um dispositivo para cada etapa do acabamento das pinças, no intuito de confirmar a não ocorrência de erro na confecção dos mesmos. Após aprovado o primeiro lote dos dispositivos, iniciou-se a fabricação dos mesmos e quando prontos, foram testados novamente. Realizaram-se testes de acesso nas máquinas para verificar se a pinça deslocou da fixação inicial do dispositivo, através da avaliação das marcas de desgaste nas pinças confirmando assim a repetitividade do processo. A figura 4.6, apresentam os dispositivos com as pinças já marcadas pelo desgaste do acesso às máquinas.

(a) (b) (c)

Figura 4.6 – Dispositivos com as pinças marcadas no teste de validação de repetitividade: (a) da ponta; (b) do olhal; (c) da canela.

Devido ao dispositivo da canela ter menor fixação de apoio da pinça, podendo ser suscetível à variação de deslocamento, foi realizada uma avaliação adicional com régua conforme ilustrado na figura 3.27. A partir dos resultados obtidos se organizou a tabela 4.2, com a sequência dos números e cores que já estão nos dispositivos e berços do magazine. Através destas medidas conferidas na tabela 4.2, observou-se que a variação é no máximo 0,2 mm, não comprometendo assim o processo de acabamento.

Tabela 4.2 – Medidas anotadas através do sistema de régua, para avaliação do dispositivo.

Magazine	**Cor**	**Nº do Dispositivo**	**Medida Inicial**	**Medida Final**
G2	Verde	1	114,0 mm	114,0 mm
G2	Verde	2	114,0 mm	113,8 mm
G2	Verde	3	114,0 mm	113,9 mm
G2	Verde	4	113,9mm	113,7 mm

Os primeiros lotes fabricados dos dispositivos foram das pinças Halsted Mosquito Reto 12 cm. A fabricação iniciou com quatro dispositivos para cada fase do processo de acabamento da pinça, sendo quatro para o acabamento do olhal, quatro para o acabamento da ponta e quatro para o acabamento da canela.

Depois de todos os testes aprovados, realizou-se a confecção de lotes pilotos de 100 pinças para cada modelo através dos dispositivos fabricados.

4.3 Resultados do controle de qualidade do lote piloto

Para avaliar a qualidade do lote piloto foi aplicado um controle estatístico de processo (CEP) utilizando duas cartas de controle para avaliação dos pontos críticos (ponta e canela) da pinça. As pinças dentro de uma amostra são produzidas em condições muito similares e, portanto, a variabilidade dentro de cada amostra será primariamente devido às causas comuns. As amostras são coletadas a uma frequência periódica, de duas amostras por lote, no caso de um lote de 100 pinças serão coletadas duas amostras (sub-grupos) de cinco pinças, isto é, um total de 10 pinças. A frequência de amostragem deve ser definida de forma que exista uma chance potencial de mudança dos resultados de uma amostra para a outra. O controle estatístico do processo é realizado através da média ($\bar{x}$) e da amplitude (R). O cálculo dos limites de controle foi realizado após coleta de 20 amostras sem indícios de uma situação fora de controle através de um lote de 200 pinças.

O índice de capacidade atual C_{pk} maior que a unidade é condição necessária para que a fração de defeituosos seja pequena (<1%). Neste estudo foi utilizado como padrão de

qualidade a meta C_{pk} maior que 1,33. O valor do C_{pk} auxilia na decisão sobre onde concentrar os esforços de engenharia. Processos com menor C_{pk} devem ser priorizados nas ações de melhoria.

No caso específico estudado, é tratada uma carta para cada ponto critico: ponta e canela da pinça. A carta (anexo E.1) referente às medidas da canela foi preenchida com 20 amostras, possibilitando o cálculo do índice C_{pk}, igual a 2,90 – acima da meta de 1,33, isto é, um processo eficiente com pequena fração de defeitos. A figura 4.7 apresenta o gráfico das médias obtidas pela amostra coletadas das medidas da canela da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm. A figura 4.8 ilustra o gráfico das amplitudes das amostras coletadas das medidas da canela da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm, cujos resultados referentes ao índice de capacidade validam o lote piloto produzido no sistema automatizado.

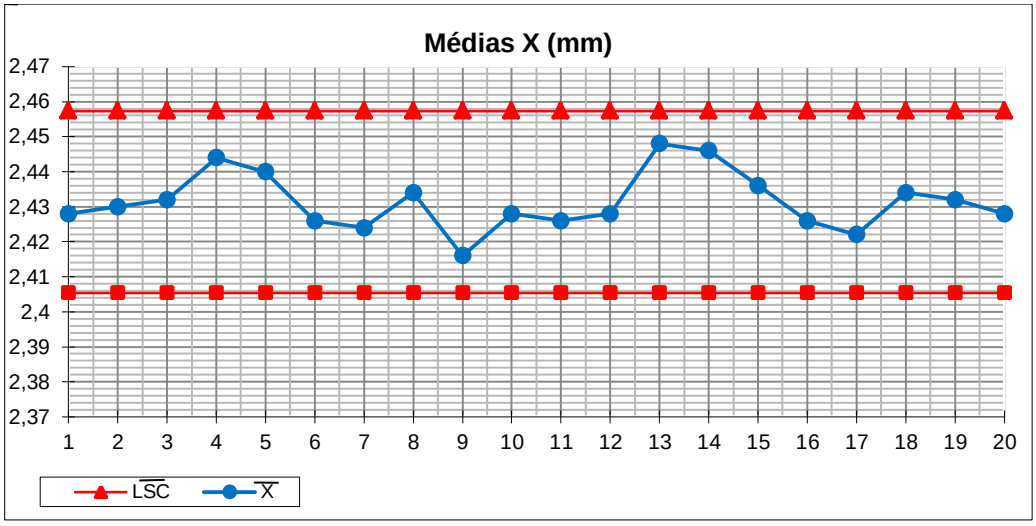


Figura 4.7 - Médias obtidas pelas amostras coletadas das medidas da canela da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

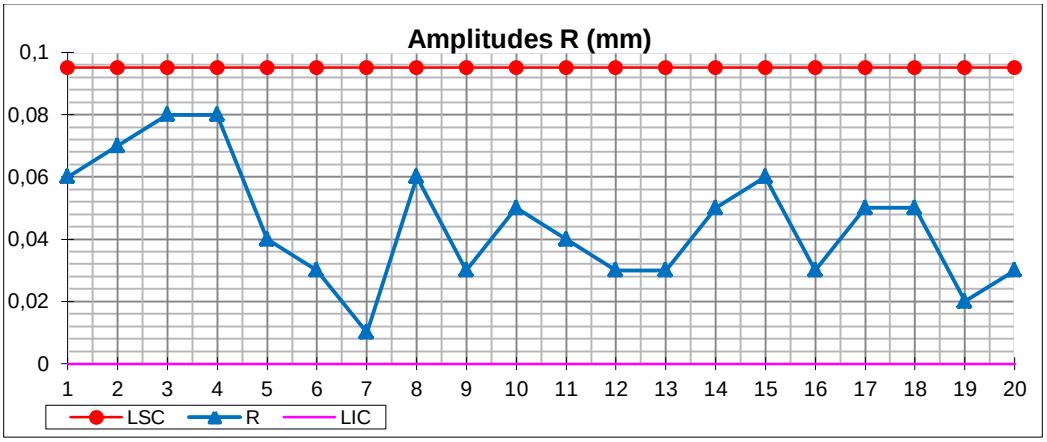


Figura 4.8 - Amplitudes das amostras coletadas das medidas da canela da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

Com as mesmas 20 amostras, foi preenchida a carta (anexo E 2) referente às medidas da ponta da pinça, possibilitando o cálculo do índice C_{pk} que atingiu o resultado de 2,56 – processo eficiente com pequena fração de defeitos. A figura 4.9 apresenta o gráfico das médias obtidas pela amostra coletadas das medidas da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm. A figura 4.10 ilustra o gráfico das amplitudes das amostras coletadas das medidas da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

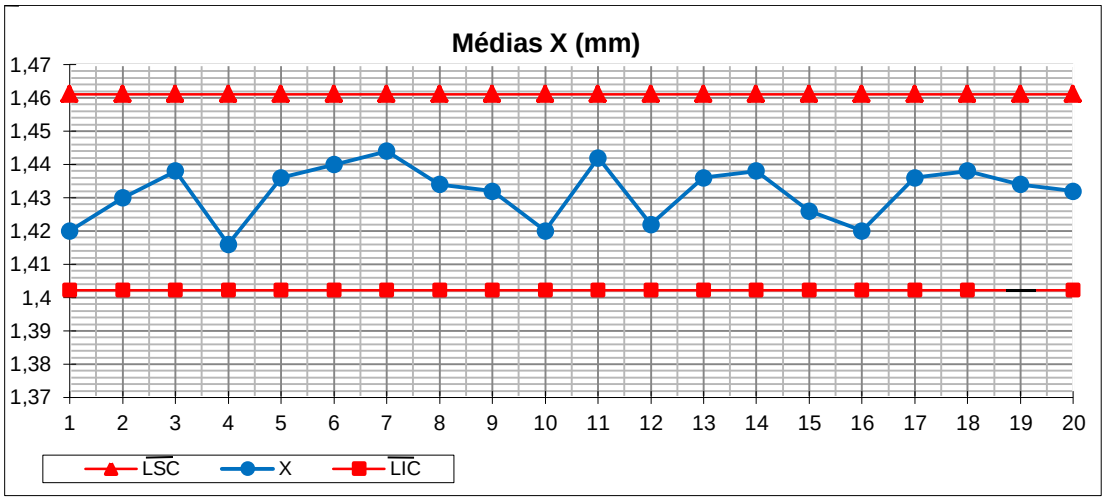


Figura 4.9 - Médias obtidas pelas amostras coletadas das medidas da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

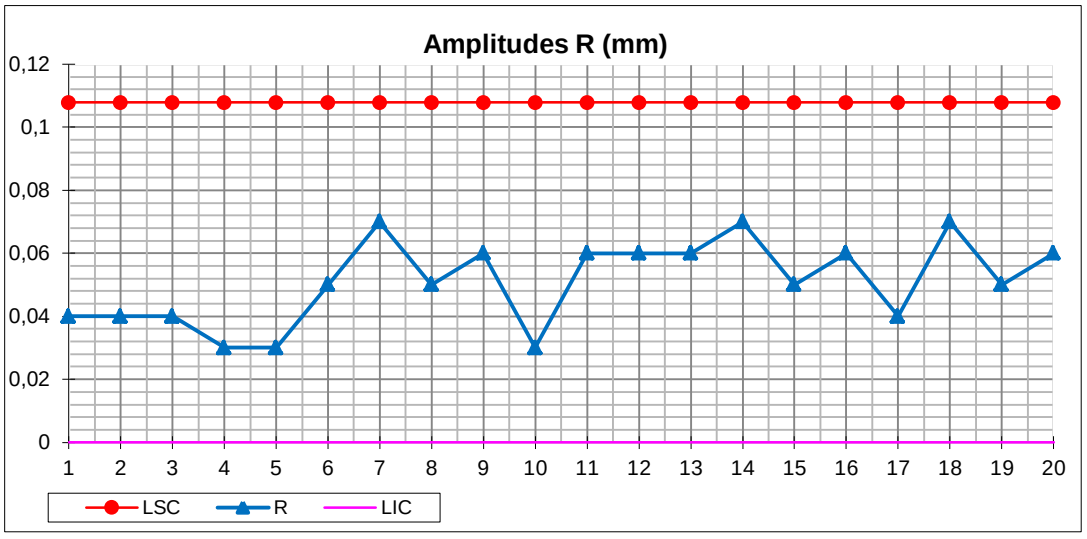


Figura 4.10 - Amplitudes das amostras coletadas das medidas da ponta da pinça Halsted Mosquito Reto 12 cm.

4.4 Resultados da produtividade da célula automatizada de acabamento

A produção inicial de uma linha de um processo de acabamento manual possui 7 operações com 6 funcionários. O tempo médio de operações para produzir uma pinça é de 19,17 min. Por dia são produzidas em média 30,5 pinças por linha. Por mês são produzidas 671 pinças por linha. A figura 4.11 apresenta o gráfico com os tempos médios de operações do acabamento manual para produzir uma pinça.

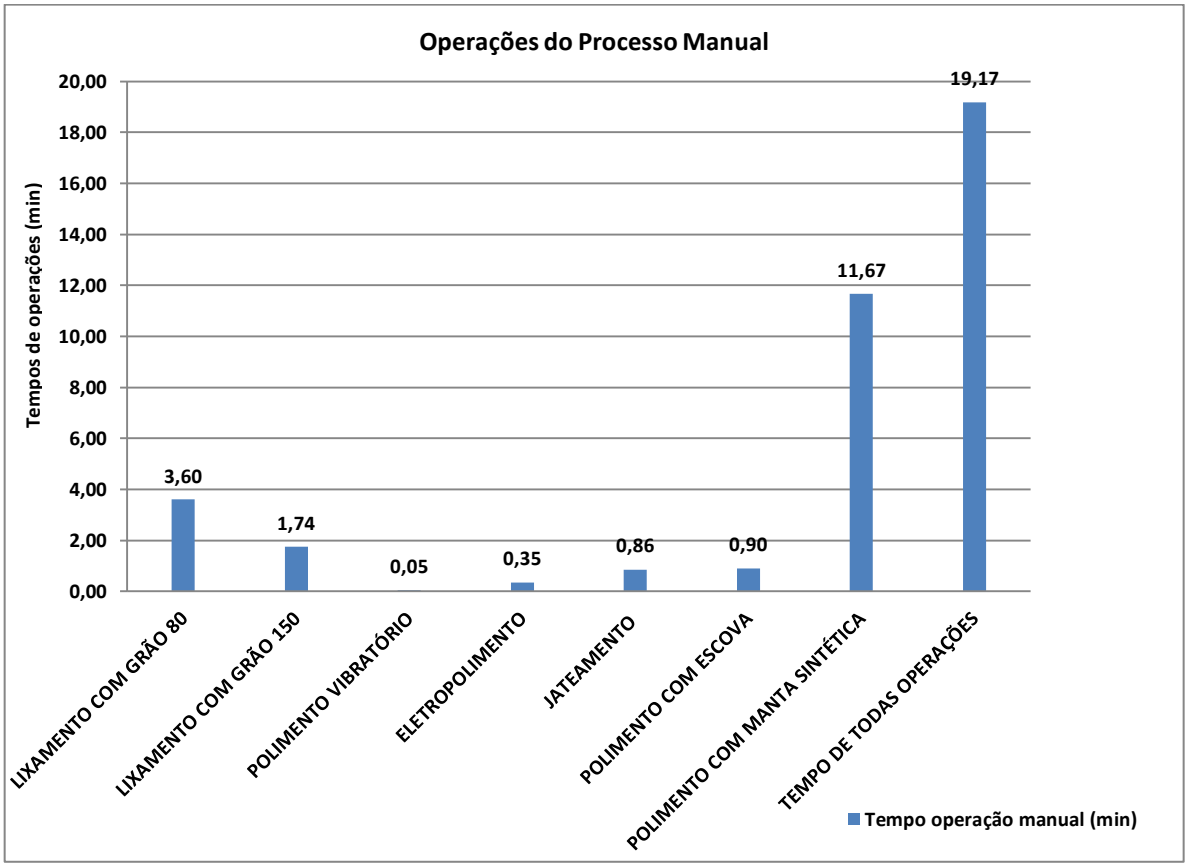


Figura 4.11 – Tempos médios das operações de acabamento manual por pinça.

Na célula automatizada de acabamento foram automatizadas 5 operações de uma linha manual. As operações que não foram automatizadas são as do lixamento com grão 80 e com grão 150, podendo ser observadas na figura 4.11 e também na figura 4.12 juntamente com as operações automatizadas. Para obter o tempo total de acabamento de uma pinça que é produzida na célula automatizada é necessário somar o tempo das operações manuais que não puderam ser automatizadas (5,34 min) juntamente com o tempo das operações automatizadas (4,40 min), totalizando 9,74 min. Por dia são produzidas em média 60 pinças e em um mês

são produzidas 1.321 pinças. A figura 4.12 ilustra o gráfico dos tempos médios das operações de acabamento automatizadas e das operações de lixamento para produzir uma pinça.

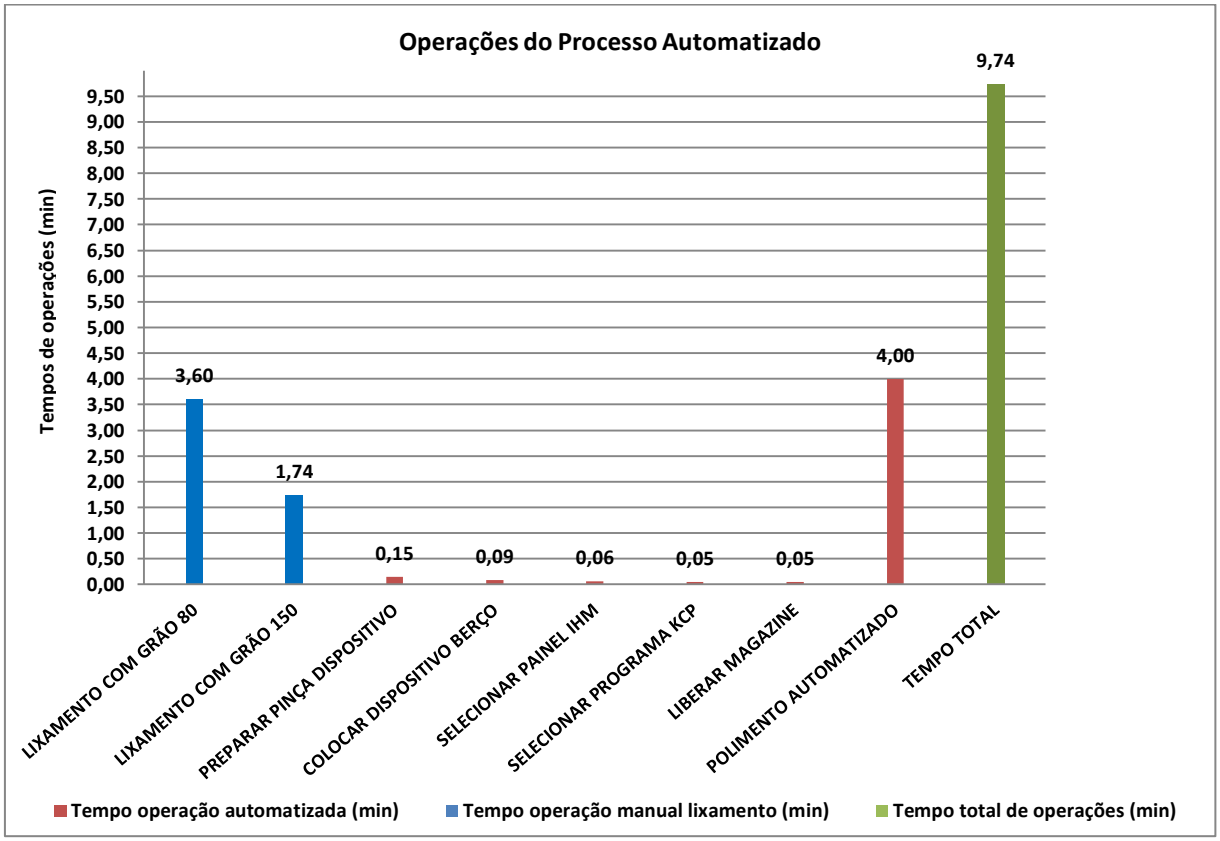


Figura 4.12 – Tempos médios das operações de acabamento automatizado e das operações de lixamento por pinça.

Foi utilizado o percentual de 100% referente ao valor de uma pinça produzida no processo manual para comparar o custo entre os dois processos (manual e célula robotizada) estudados.

Verificou-se uma diminuição em relação aos resíduos gerados na produção da célula robotizada de acabamento. Os mesmos consumíveis (correias e rodas de manta sintética) são utilizados nas duas linhas de acabamento, tanto na manual quanto na célula robotizada. No processo manual, para produzir uma pinça é gasto em consumíveis 10,57% do valor total, enquanto na célula robotizada de acabamento, para produzir a mesma, é gasto 6,02% do valor total, isto é, 4,55% a menos de consumíveis se comparado com o processo de acabamento manual.

O custo da mão de obra para produzir uma pinça no processo manual de acabamento é de 62,36% do valor total. Para obter o custo da mão de obra para produzir uma pinça na célula

robotizada de acabamento é preciso somar a mão de obra da mesma (4,23%), com a mão de obra das operações manuais de lixamento (12,15%), totalizando 16,38%. Desta forma se obteve uma redução de 45,98% no custo da mão de obra por pinça produzida na célula automatizada de acabamento.

Desta forma constatou-se que há uma redução no custo de produção de uma pinça na célula robotizada de 50,54% em relação à mesma produzida no processo manual. A figura 4.13 apresenta o gráfico dos percentuais dos custos de produção no acabamento automatizada e manual de uma pinça.

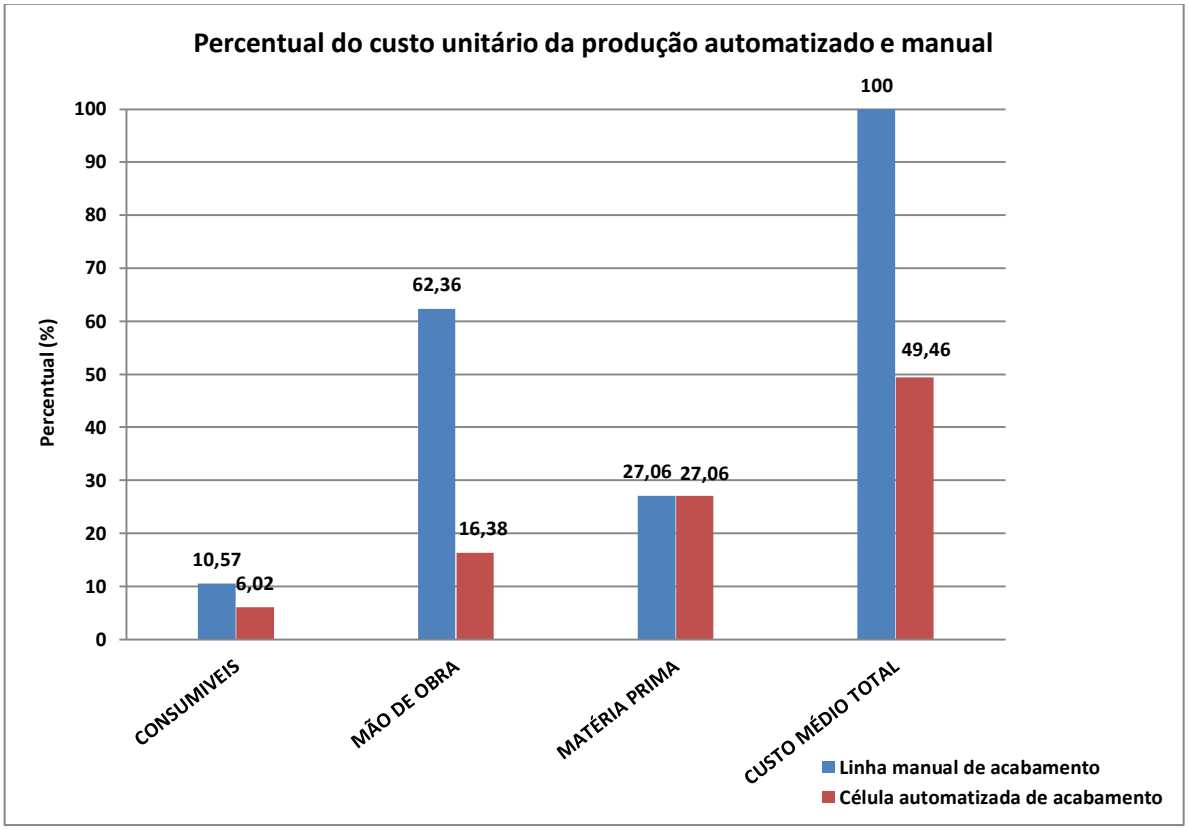


Figura 4.13 – Percentual do custo de produção no acabamento automatizado e manual por pinça.

A produção de uma linha de acabamento manual é de 671 pinças mensais. Enquanto a célula automatizada produz 1.321 pinças mensais. Portanto é possível concluir que a célula robotizada é economicamente viável, pois comparando uma linha manual com a automatizada obteve-se um aumento na produção de 96,92%, alcançando assim o objetivo proposto neste trabalho.

Também se obteve um resultado satisfatório na trajetória de contato da programação de polimento das pinças através da compensação de força pneumática das máquinas politriz (conforme as figuras 3.10 e 3.11) da célula robotizada. Este recurso utilizado é uma compensação de força do contato da peça com a máquina de polimento, através de regulagem manual. Enquanto Liao et al., 2008, desenvolveu uma ferramenta semelhante, porém com sistema de controle, utilizando um sensor de pressão para um atuador pneumático ligado a ferramenta e a um controlador PID (integral proporcional derivativo) que realiza a trajetória de polimento da peça.

A inclusão das operações 1 e 2 de lixamento, observadas na figura 3.4, poderia ter um resultado satisfatório se fosse utilizado a alternativa estudada por Nagata et al., 2007, que utilizou um robô com uma ferramenta abrasiva circular que possui um sensor de força baseado em um sistema CAD/CAM que desempenha simultaneamente controle de força e posição para polimento de um molde. Outra alternativa seria o estudo de Feng-yun e Tian-sheng, 2004, que utiliza um sistema CAD para gerar a trajetória do polimento robotizado e para melhorar a qualidade da superfície da peça, utiliza um algoritmo de interpolação quaternião (QI) que realiza a interpolação suave das posições do robô no polimento final.

Como sugestão, esta pesquisa propõe incluir na célula robotizada um sistema CAD/CAM com um controlador de força e posição para melhorar a trajetória de polimento, adicionar um turno a mais na célula automatizada para dobrar a sua produção e, para futuros desenvolvimentos no processo de acabamento na célula automatizada, aplicar a mesma metodologia para incluir outros instrumentos cirúrgicos.

5 CONCLUSÕES

Este projeto utilizou os conceitos de célula flexível de manufatura e de automação com robótica para desenvolver uma célula robotizada de acabamento para diferentes modelos de pinças cirúrgicas. Os modelos das pinças foram selecionados através da análise da demanda produtiva durante o período de 1 ano.

O conhecimento sobre o processo de acabamento manual existente foi estudado através de cronoanálise e adaptado para um conceito novo de acabamento automatizado. A proposta de automação para o processo de acabamento de pinças cirúrgicas foi desenvolver uma célula de manufatura flexível, envolvendo equipamentos (robô e máquinas) e o desenvolvimento de manipuladores (dispositivos suporte) das pinças.

O estudo inicial da célula robotizada previa o lixamento e o acabamento das pinças cirúrgicas. Foi realizada uma análise entre o forjamento e o corte a laser na produção das pinças cirúrgicas com o intuito de escolher o melhor processo a ser utilizado nas pinças que irão ser trabalhadas na célula robotizada. Comparativamente, o corte a laser para a fabricação das pinças apresentava-se atraente, mas o processo de forjamento conferiu melhores características. Este fato direcionou o projeto da célula para realizar apenas o acabamento com pinças forjadas.

Desenvolveram-se dispositivos para manipulação das pinças pelo robô. Os dispositivos possuem diferentes fixações para facilitar o acesso das pinças nas máquinas que fazem parte da célula automatizada de polimento. Para validação dos dispositivos foram realizados testes que confirmaram a repetitividade do processo.

Para avaliar a qualidade das pinças cirúrgicas produzidas na célula robotizada foi confeccionado lote piloto. A partir deste lote foi realizado ensaio de dureza, simulação de funcionalidade e controle estatístico de processo (CEP), comprovando a eficiência da automação do processo de acabamento.

O objetivo deste estudo é aumentar a produção e reduzir o custo da família de produtos selecionados. A produção de pinças cirúrgicas mensais de uma linha de acabamento manual é de 671 pinças, enquanto da célula robotizada de acabamento é de 1.321 pinças, isto é, um aumento de 96,87% na produção. Os custos em consumíveis e mão de obra, na confecção das pinças na célula robotizada de acabamento em relação a linha manual reduziram 50,53%. Deste modo é possível concluir que a abordagem adotada permitiu atingir os objetivos, aumentando a produtividade, reduzindo os custos e padronizando a qualidade dos produtos.

A pesquisa realizada neste estudo permite outros enfoques que podem potencializar os resultados obtidos, permitindo desenvolver novos projetos.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como sugestões futuras, incluir na célula robotizada de acabamento de superfície um sistema CAD/CAM para melhorar a trajetória de polimento.

Estudar e aplicar sistema de controle de força e posição para incluir as operações de lixamento na célula robotizada de acabamento.

Aplicar a mesma metodologia para incluir outros instrumentos cirúrgicos na célula automatizada de acabamento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, F. B. **Uma abordagem metodológica para o projeto de produtos inclusivos.** Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Espaço Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Projeto Mecânico, Campinas, p. 218, 2006.

AMARAL, D. C. **Medida do tempo.** Aula 4, (Numa) Engenharia de Métodos e Produtividade. Disponível em: <http://www.numa.org.br/sep451/Documentos/A004_MedidaDoTempo_v9_imp_P.pdf>. Acesso em: 2 de set. 2010.

ASTM. **Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis.** Committee E11 on Quality and Statistics, 8º ed., West Conshohocken, Dean V. Neubauer, p. 99, 2010

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos, Projeto e Medida de Trabalho.** São Paulo: Edgar Blucher, 1977.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos, Projeto e Medida de Trabalho.** São Paulo: Edgar Blucher, 1999.

BASANEZ L.; ROSELL J. **Robotic Polishing Systems.** IEEE Robotics & Automation Magazine, v. 12, p. 35-43, set./2005. Disponível em: <http://link.periodicos.capes.gov.br.ez45.periodicos.capes.gov.br/> Acesso em: 05 maio 2011.

BLACK, J. **O Projeto da Fábrica com Futuro.** Porto Alegre: Bookmann, p. 288, 1998.

BRESCIANI FILHO, E.; et al. **Conformação plástica dos metais.** 5ed., Campinas, SP, Unicamp, p. 385, 1997.

BRITES, F. S. **Desenvolvimento Integrado de Produto para Forjamento.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, PROMEC - Escola de Engenharia da UFRGS, Porto Alegre, RS, 2009.

CAMPOS, V. F. **TQC Controle de qualidade total: no estilo japonês.** 8 ed. Nova Lima: INDG, p. 256, 2004.

CARBÓ, H. M. **Aço Inoxidável Aplicações e Especificações**, Catálogo Acesita, volume único, 2001.

CARDOSO, K. A. **Forjamento de Metais Características do Processo e Maquinário.** Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC / Departamento de Engenharia de Materiais, Criciúma. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/forjamento-de-metais-caracteristicas-do-processo-e-maquinario-doc-a41602.html>. Acesso em: 4 set. de 2010.

CECMIC – Centro Especializado em Cirurgias Minimamente Invasivas. **Ontem e hoje, a evolução do instrumento cirúrgico**. 2009. Artigo disponível em: <http://cecmi.wordpress.com/2009/11/23/ontem-e-hoje-a-evolucao-do-procedimento-cirurgico/>. Acesso em: 2 set. 2010.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica.** 2ed., São Paulo: McGraw-Hill, p. 259, 1986.

CROSBY, P.B. **Quality without tears: the art of hassle free manegement.** New York: McGraw-Hill, 1995.

DEMENICIS, L. E. S. **Construção e análise de célula robótica para usinagem de modelos tridimensionais aplicados a estrutura navais.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Set. 2006.

DEMING, W.E. **Out of crisis.** Cambridge: MIT Press, 2000.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Medizinische Instrumente: Normen und weitere Unterlagen.** DIN 58 298, Berlin, Köln: Beuth, 1990.

FENG-YUN L.; TIAN-SHENG L. **Developmante of robot system for complex surfaces polishing based on CL data.** Int. J. Adv. Manuf. Technol., v. 26, p. 1132-1137, abr/2004, Disponível em: <http://link.periodicos.capes.gov.br.ez45.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 10 de maio 2011.

FERRAZ, A. **A evolução dos instrumento, da anatomia e da cirurgia.** 2º aula – História da Medicina, FMUP, 2005. Disponível em: <http://users.med.up.pt/m04021/2aula_evolucao_instrumento.doc>. Acesso em: 2 set. 2010.

Gestão pela Qualidade, 2006. Disponível em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info63/63.html>. Acesso em: 10 de mar. 2011

GOLDRATT, E. M.; COX, J.F. **A Meta.** 35º edição. São Paulo: Educator, 1997.

GOLDRATT, E. M; FOX, R. E. **A corrida pela vantagem competitiva**. 6. ed. São Paulo: Educator, p. 180, 1993.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta: um processo de aprimoramento contínuo.** Educator, São Paulo, 1993**.**

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing.** 2 ed. Upper Sandler River, New Jersey: Prentice-Hall, p. 856, 2001.

HORIKAWA, O.; MARUYAMA, N; SANTOS FILHO, D. J. et al. **Seleção de Robôs Industrial.** In: Vitor Romano. (Org.). **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos.** 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, p. 126-138, 2002.

JURAN, J. M.; GODFREY, A. B. **Juran's quality handbook.** 5ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

KRICK, E. **Introdução à Engenharia.** 1ª edição. São Paulo, Atlas, 1976.

LIAO, L.; XI, F.; LIU, K. **Modeling and control of automated polishing/deburring process using a dual-purpose compliant toolhead.** International Journal of Machine Tools e Manufacture, v. 48, p. 1454-1463, 2008. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/ijmactool >. Acesso em: 8 jun. 2011.

LIMA et al. **PCP – Avaliação da curva ABC no gerenciamento de estoques,** Faculdade Integrada de Espiritosantences, Vitória, Espírito Santo, 2008.

LORINI, F. **Sistemas de Fabricação – Planejamento de Layout,** Apostila, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção.** 2º edição, São Paulo, Saraiva, 2005.

MIRANDA, D. **Cronoanálise e o Lean Manufacturing.** Artigonal diretório de artigos gratuitos, 2009. Disponível em: <http://www.artigonal.com/ciencias-artigos/cronoanalise-e-o-leanmanufacturing-897751.html>. Acesso em: 3 set. 2010.

MIRANDA, D. **Os conceitos de "Tempo" na cronoanálise.** Artigonal diretório de artigos gratuitos, 2009. Disponível em: <http://www.artigos.com/artigos/engenharia/producao/osconceitos-de-%93tempo%94-na-cronoanalise.-6389/artigo/>. Acesso em: 3 set. 2010.

NAGATA, F. et al. **CAD/CAM-based position/force controller for a mold polishing robot**. Mechatronics, v. 17, p. 207-216, 2007. Disponivel em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=1770809992&_sort=r&_st=13&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=7ec95094cf85fcab3aeadb7d66eb02b9&searchtype=a>. Acesso em: 08 jun. de 2011.

NORTON, R. L. **Projeto de maquinas – Uma abordagem integrada**. São Paulo: Bookman, p. 931., 2004.

NUNES, R. **Instrumentos médico-odontológicos.** Dossiê Técnico – Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.

OLIVEIRA, C. L. P. A. **Análise e Controle da Produção em Empresa Textil, Através da Cronoanálise.** Trabalho de Conclusão de Engenharia de Produção – UNIFOR-MG, 2009.

PAHL, G., et. al. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher, p. 412, 2005.

PALLAMOLLA, F. **Painel Setorial Inmetro – Visão do setor produtivo sobre a nova série IEC 60601-1.** ABIMO, 2010. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/FrancoPallamolla_ABIMO.PDF acessado em: 1 setembro 2010.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção (Operações Industriais e de Serviços)**. Curitiba: [s.n.], 2004.

PERBONI, F. **Análise do controle de produção através da cronoanálise, visando melhorias produtivas em uma empresa de esquadrias de madeira.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração)-Universidade do Contestado (UNC), Caçador, p. 54 2007.

PERONI, W. J. **Manual de Tempos e Movimentos.** 2 ed.Rio de Janeiro:Apex, 1985.

PIRES, J. N. **Automação Industrial**, Lidel, ETEP, Lisboa, Portugal, 2003.

RIBEIRO, J. L. e CATEN, C. T. **Série Monográfica Qualidade Estatística Industrial.** Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, p. 149, 2000.

STEVENSON, W. J. **Administração das Operações de Produção.** 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 701, 2001.

SUGAI, M. **Avaliação do uso do MTM (Methods-Time Measurement) em uma empresa de metal-mecânica.** Dissertação de mestrado (Mestre em Engenharia mecânica)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 115, 2003.

TAGUCHI, G.; TAGUCHI, S.; CHOWDHURY, S. **Robust engineering.** New York: McGraw-Hill, 1999.

TOLEDO Jr, I. F. B. **Balanceamento de linhas.** 7. ed. Rio de Janeiro: Raphael A.Godoy, 2004.

TOLEDO Jr, I. F. B. e KURATOMI, S. **Cronoanálise base da racionalização, da produtividade da redução de custos.** 16. ed. Mogi das Cruzes: O&M Itys Fides, p. 199, 2007.

TOLEDO Jr, I. F. B. **Produção, produtividade e eficiência.** 8. ed. São Paulo: Raphael A.Godoy, 2004.

WORLD ROBOTICS. **Relatório para a Comissão Econômica Européia das Nações Unidas.** 2006. Disponível em: <http://www.unece.org/stats/robotics/>. Acesso em: dez. 2010.

WU C.; RANDHAWA S.; BURHANUDDIN S. **An Integration Architecture for Flexivek Manufacturing Cells.** The International. Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 14, p. 286-297, 2005. Disponível em: <http://link.periodicos.capes.gov.br.ez45.periodicos.capes.gov.br/> Acesso em: 21/05/2011.

3M. **Manual Geral de Treinamento – Divisão de Sistemas Abrasivos.** Campinas-SP, 2000.

APÉNDICE A – CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Conforme ASTM, 2010, o Controle Estatístico de Processo (CEP) é um método preventivo de se comparar continuamente qualquer processo com os padrões de qualidade. É um método de aprimoramento da qualidade que não espera o produto ficar pronto para descobrir suas falhas, utilizando-se de técnicas estatísticas que indicam as tendências para variações, com o objetivo de reduzi-las cada vez mais. Portanto, é um método de gerenciamento da qualidade que não espera o produto ficar pronto para descobrir suas falhas.

A carta de controle é uma ferramenta estatística utilizada para verificar o comportamento do processo durante a execução, indicando os problemas que podem afetá-lo. É constituída por uma folha de controle onde, na frente, tem-se a carta de controle e, no verso, o diário de observações de problemas.

Servem para estabelecer e controlar os limites de uma variável (característica onde o controle é feito com um instrumento de medição com escala), ou de um atributo (característica onde o controle é visual).

Se os valores de variável ou atributo ultrapassarem os limites de controle ou mostrarem tendências, é sinal de que há uma anormalidade. Logo, as causas da falha devem ser encontradas e tomadas as devidas ações contra a sua reincidência. Por fim, todas as ações ou modificações ocorridas devem ser anotadas no diário de observações, para que haja entendimento sobre o processo em análise.

No desenvolvimento da carta de controle os dados devem ser coletados em pequenas amostras (sub-grupos) de tamanho constante. Em geral, de quatro a sete peças consecutivas formam uma amostra. As peças dentro de uma amostra são produzidas em condições muito similares e, portanto, a variabilidade dentro de cada amostra será primariamente devido às causas comuns. As amostras devem ser coletadas a uma frequência periódica, por exemplo, um sub-grupo a cada 30 minutos, ou duas por lote. A frequência de amostragem deve ser definida de forma que exista uma chance potencial de mudança dos resultados de uma amostra para a outra. A frequência de amostragem deve ser selecionada de forma a maximizar a chance de ocorrer diferenças entre amostras. O controle estatístico do processo é realizado através da média ($\bar{X}$) e da amplitude (R).

O cálculo dos limites de controle é realizado após coleta de 20 a 30 amostras sem indícios de uma situação fora de controle. A amplitude média é calculada pela equação (A.1)

e a média do processo é calculada pela equação (A.2). E “n” é o número de amostras do processo.

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + \ldots + R_n}{n} \tag{A.1}$$

$$\overline{\overline{x}} = \frac{\overline{x}_1 + \overline{x}_2 + \ldots + \overline{x}_n}{n} \tag{A.2}$$

Os limites de controles da amplitude são calculados pela equação (A.3) que representa o cálculo do limite superior de controle e equação (A.4) que representa o cálculo do limite inferior de controle.

$$LCS = D_4\overline{R} \tag{A.3}$$

$$LCI = D_3\overline{R} \tag{A.4}$$

Os limites de controles da média são calculados pela equação (A.5) que representa o cálculo do limite superior de controle e a equação (A.6) que representa o cálculo do limite inferior de controle.

$$LCS = \overline{\overline{x}} + A_2\overline{R} \tag{A.5}$$

$$LCI = \overline{\overline{x}} - A_2\overline{R} \tag{A.6}$$

Na tabela 5, pode-se ver as constantes D_3, D_4 e A_2 que dependem do tamanho da amostra “n” :

Tabela 5 – Constantes D3, D4 e A2 definidas pela amostra “n”

n	2	3	4	5	6	7
D_4	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92
D_3	0	0	0	0	0	0,08
A_2	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42

Fonte: adaptado [ASTM, 2010, p.45]

A interpretação da estabilidade do processo é através dos limites de controle que são calculados de forma que a probabilidade de um ponto cair fora dos limites é muito pequena (<1%). Um forte indício da presença de causas especiais que devem ser investigadas e corrigidas são pontos fora dos limites de controle. É importante também investigar eventuais padrões na sequência dos pontos. Identificar padrões pode disparar uma ação antes mesmo que um ponto apareça fora dos limites de controle. Solucionar o problema é a etapa mais difícil e que consome maior tempo.

O estudo de capacidade avalia a habilidade do processo de produzir peças que atendam as especificações. Após identificar a distribuição dos valores individuais, calculam-se os limites naturais. A distribuição dos valores individuais sendo normal, calculam-se os limites naturais considerando a extensão de 6 σ que, representa 99,73% dos valores, isto é, 99,73% são peças produzidas dentro dos limites naturais e 0,27% estarão fora dos limites naturais. Na equação (A.7) é calculado o limite natural inferior e na equação (A.8) é calculado o limite natural superior.

$$LNI = \mu - 3\sigma \tag{A.7}$$

$$LNS = \mu + 3\sigma \tag{A.8}$$

Estima-se o desvio-padrão dos valores individuais a partir da média das amplitudes das amostras. Na equação (A.9) o cálculo do desvio-padrão e na tabela 6 a média das amplitudes das amostras.

$$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_2} \tag{A.9}$$

Tabela 6 - Média das amplitudes das amostras

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08

Fonte: adaptado [ASTM, 2010, p.45]

Na figura 8 é possível observar o gráfico dos limites naturais.

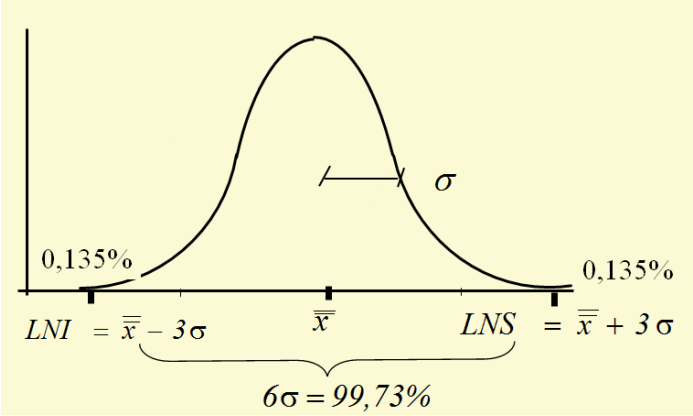


Figura 8 - Gráfico dos limites naturais

Fonte: adaptada [Rideiro e Caten , 2000]

O índice de capacidade é uma medida quantitativa simples capaz de expressar uma capacidade do processo. O cálculo é realizado supondo que as variáveis provêm de uma distribuição normal. O índice usado com frequência para avaliação de características com limites bilaterais é o C_p, que expressa a capacidade potencial do processo, não se preocupando com a centragem. A equação (A.10) mostra como é calculada a capacidade potencial do processo.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \tag{A.10}$$

O Cp não avalia a capacidade real, pois não verifica se o processo está centrado ou não. A capacidade atual do processo é melhor estimada pelo índice Cpk. Na equação (A.11) é calculado o índice capacidade atual do processo.

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{\overline{\overline{X}} - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \overline{\overline{X}}}{3\sigma}\right\} \tag{A.11}$$

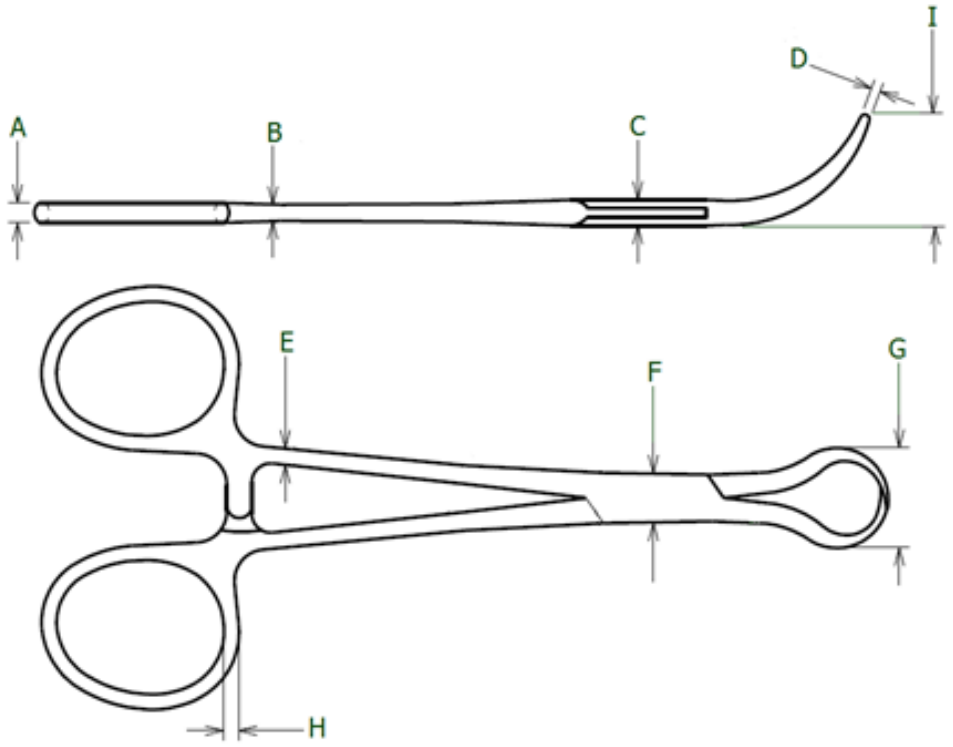
Na equação (A.12) é calculado quando existe apenas um limite inferior de especificação e, na equação (A.13), é calculado quando há apenas um limite superior de especificação.

$$C_{pi} = \frac{\overline{\overline{X}} - LIE}{3\sigma} \tag{A.12}$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \overline{\overline{X}}}{3\sigma} \qquad \text{(A.13)}$$

O índice de capacidade atual C_{pk}>1 é condição necessária para que a fração de defeituosos seja pequena (<1%). Muitas empresas utilizam como padrão de qualidade a meta C_{pk}>1,33. O valor do C_{pk} auxilia na decisão sobre onde concentrar os esforços de engenharia. Processos com menor C_{pk} devem ser priorizados nas ações de melhoria.

ANEXO A – PROJETO DA PINÇA DE BACKHAUS 13 cm.



Observações: **Especificações técnicas do projeto para célula rodotizada.**
Todas as medidas possuem uma tolerância de ± 0,2mm.

Código	Descrição da Peça	Medidas (mm)								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
30160	Pinça Backhaus 13cm	3,2	2,5	4,2	1,7	2,5	7,7	15	2,4	

ANEXO B – TABELA DE ESTUDO DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS (FMEA)

EDLO
Cada Vez Mais Completa

FORMULÁRIO DE FMEA

Revisão: 0 | Pag. 1/1

Produto: **Pinça Halsted Mosquito Reto 12cm**

Data: 08/04/2009

Item	Ponto de falha	Descrição da falha	Possíveis efeitos	SEV	OCO	DET	NPR	Análise das causas	Ações tomadas	Responsáveis	Prazo	Resultados Obtidos			
												SEV	OCO	DET	NPR
1	Ponta (parte ativa da pinça)	- Dimensão menor ou maior.	- Sem pressão no aperto de vasos de menor calibre; - Na aplicação, perfuração de vasos ou órgãos.	9	6	2	108	- Medidas fora da tolerância especificada na forjaria e usinagem; - Não foram conferidas as medidas determinadas para célula robotizada.	- Definir padrões de medida, como passa ou não passa; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada; - Avaliação de corte da matéria prima a laser.	Marcelo Domeles Eduardo Diehl Sandro Vieira	29/05/09	9	3	1	27
2	Caixa Central	- Abertura entre a peça (macho/fêmea)	- Acúmulo de sujeira dentro da caixa, propiciando contaminação do mesmo.	8	6	2	96	- Verificar a ferramenta de brochar, se a mesma estiver retirando material a mais da peça fêmea; - Ajuste na montagem da peça (macho/fêmea).	- Controle na ferramentaria de confecção das brochas; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada.	Marcelo Domeles Raul Oliveira	Imediato	8	3	1	24
3	Canela	Dimensão da haste menor ou maior	- Para menor, dificuldade no aperto da cremalheira; - Para maior, perde a sensibilidade na aplicação.	7	6	2	84	- Medidas fora da tolerância especificada na forjaria e usinagem; - Não foram conferidas as medidas determinadas para célula robotizada.	- Definir padrões de medida como passa ou não passa; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada; - Avaliação de corte da matéria prima a laser.	Fabio Galvane Eduardo Diehl Sandro Vieira	29/05/09	7	3	1	21
4	Cremalheira	- Dentes curtos ou compridos; - Cantos vivos.	- Não trava a cremalheira na posição desejada; - Na aplicação, perfuração de vasos ou órgãos.	9	6	2	108	- Retirada dos cantos vivos no rebolo de esmeril; - Não foram conferidos 100%. dos lotes.	- Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada.	Domingos Aristides Sergio Mattei	Imediato	9	3	1	27
5	Anel Interno	Dimensão menor ou maior	- Pode dificultar o acesso do dedo do usuário.	7	6	2	84	- Velocidade do programa da máquina de fikar anel; - Não foram conferidos os lotes em 100%.	- Verificar se estão utilizando o procedimento com os parâmetros de programação de cada peça; - Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada.	Domingos Aristides Sergio Mattei	Imediato	7	3	1	21
6	Anel Externo	Dimensão menor ou maior	- Pode tirar a sensibilidade na aplicação.	7	6	2	84	- Medidas fora da tolerância especificada na forjaria e usinagem; - Não foram conferidas as medidas determinadas para célula robotizada.	- Inspecionar as peças antes de ir para célula robotizada; - Avaliação de corte da matéria prima a laser.	Fabio Galvane Sergio Mattei Eduardo Diehl Sandro Vieira	29/05/09	7	3	1	21

Coluna **Severidade**:
(efeitos sobre o cliente)

efeitos quase imperceptíveis	= 1
falha insignificante	= 2 - 3
falha moderadamente grave	= 4 - 6
falha grave(aborrecimento do cliente)	= 7 - 8
falha extremamente grave	= 9 - 10

Coluna **Ocorrência**:
(falha pode ocorrer)

Impossível	= 1
muito pequena	= 2 - 3
pequena	= 4 - 6
moderada	= 7 - 8
alta	= 9 - 10

Coluna **Detecção**:
(probabilidade da descoberta antes da entrega ao cliente)

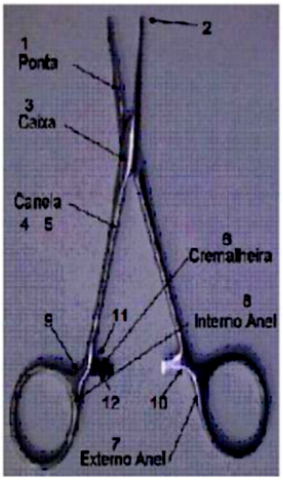
elevada	= 1
moderada	= 2 - 5
diminuta	= 6 - 8
muito pequena	= 9
improvável	= 10

Coluna **N.P.R.**
(risco)

alto	= 1000
médio	= 125
nenhum	= 1

ANEXO C – RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO TÉCNICA DO PROCESSO PRODUTIVO DAS PINÇAS

EDLO Cada Vez Mais Completa	AVALIAÇÃO TÉCNICA	Nº Lote:	Qtd.:
	Produto: Pinça de Halsted Mosquito Reto 12 cm	Data:	



Etapa da Processo	Descrição
1- Ponta	Parte mais interna perto da caixa central.
2- Ponta	Parte mais extrema da ponta.
3- Caixa Central	Caixa central da pinça (macho/ fêmea).
4- Canela	Canela da fêmea.
5- Canela	Canela do macho.
6- Cremalheira	Cremalheira dentes.
7- Anel	Anel externo
8- Anel	Anel interno.
9- Anel	Curva de junção entre canela e anel externo.
10- Cremalheira	Curva de junção entre cremalheira do macho e anel externo.
11- Cremalheira	Curva de junção entre canela e a cremalheira.
12- Cremalheira	Curva de junção entre anel externo e a cremalheira.

Nº Etapa	Data Inicial	Hora Inicial	Nº Insumo	Máquina	Nº Dispositivo	Observação	Data Final	Hora Final
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

ANEXO D – RELATÓRIO DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

EDLO
Qualidade em instrumentos cirúrgicos

Especificação Técnica

Descrição: (X) Produto ( ) Serviço:	Data:	Nº:
Aço AISI 420 D – Barra Chata	21/03/2006	ET 12 - 4

- Critérios de Aceitação:

- Forma: Barra laminada chata com cantos vivos	- Dimensões: (mm)
- Composição química:	5,0 ± 0,4 mm x 63,4 ± 1,00 mm
C: 0,18 – 0,22	5,0 ± 0,4 mm x 82,55 ± 1,00 mm
Mn: 1 máx	6,35 ± 0,4 mm x 88,9 ± 1,00 mm
Si: 1 máx	
Cr: 12,0 – 14,0	
Mo: 0,5 máx	Comprimento: 4000 a 6000 mm (aceita 10 % até 3000mm)
P: 0,040 máx	
S: 0,030 máx	
Ni: 0,75 máx	
Cu: 0,50 máx	- Empenamento: 4,00 mm/m linear
	- Dureza: 95 HRB máx (ou 220 HB máx)
	- Temperabilidade: 44 – 48 HRC
- Acabamento: Bruto	
- Tratamento térmico: Recozido	
- Estrutura metalográfica: Matriz ferrítica com carbonetos esferoidizados uniformemente distribuídos.	

- Aplicação:

Forjamento de instrumentos cirúrgicos e componentes.

- Observações:

As barras devem ser fornecidas em lotes, identificados com etiqueta contendo os seguintes dados: Nome do fabricante, tipo de aço e bitola.

- Anexos:

Rodrigo de Andrade Pinheiro *Verificado em: 14/01/2011*	*Eduardo Luiz Roggia Diehl* *Aprovado em: 15/01/2011*

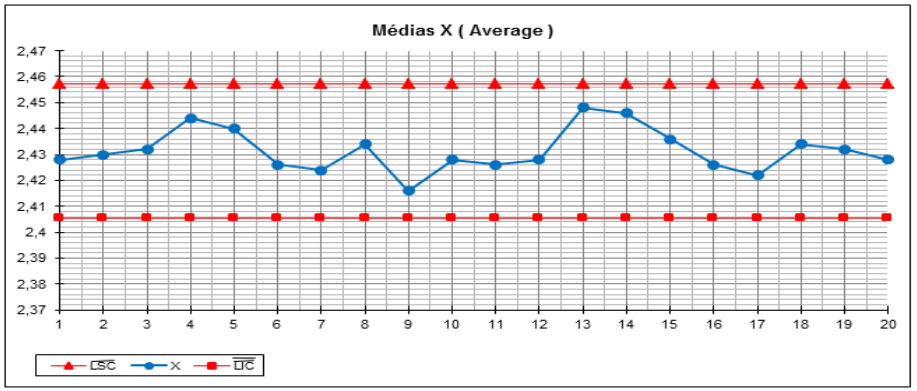
ANEXO E – CARTA DE CONTROLE DE MÉDIAS E AMPLITUDES (X,R)

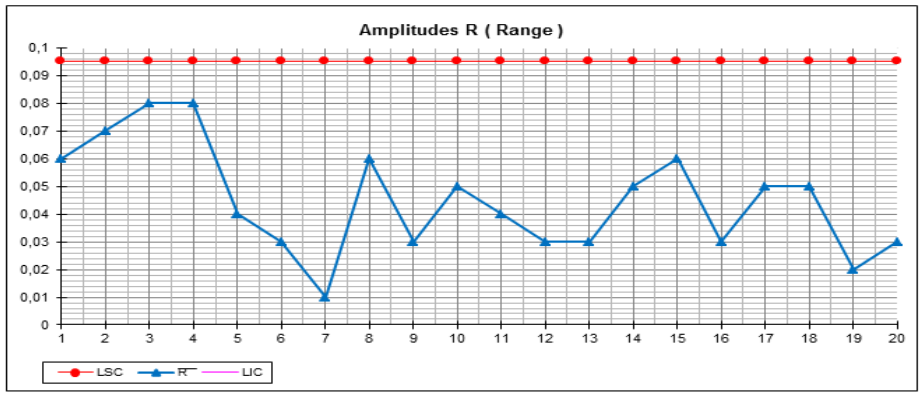
CARTA (X,R) E.1 – Carta (X,R) de controle da medida " B" da canela da pinça Halsted Mosquito 12cm.

EDLO
Cada Vez Mais Completa

Carta de Controle de Médias e Amplitudes (X,R)

Cliente:	Operação Verificada:	Referencia:	Caracteristicas:	Responsável Inspeção:
HRS	Pinça Halsted Mosquito Reta 12cm	30197	CANELA	Fábio
Data:	Dimensão Medida:	Tamanho do Lote:	Lote:	Assinatura:
10/01/2011	B (mm)	200	17449	





LSC:	LIC:	Cp:	Cpk:
2,60	2,20	3,45	2,90

Médias (Average)

$\overline{X} = \frac{\text{Sum (X)}}{k}$

$\overline{LSC} = X + A_2 * \overline{R}$

$\overline{LIC} = X - A_2 * \overline{R} =$

Cp & Cpk:

$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_2}$

$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$

$Cp\ (Sup.) = \frac{LSE - \overline{X}}{3\sigma}$

$Cp\ (Inf.) = \frac{\overline{X} - LIE}{3\sigma}$

$Cpk = Cp(Sup.) - Cp(Inf.)$

Amplitudes (Ranges)

$\overline{R} = \frac{\text{Sum (R)}}{k}$

$LSC = D_4 * \overline{R}$

$LIC = D_3 * \overline{R}$

Tabela:

n	A_2	D_3	D_4
2	1,88	0	3,267
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114

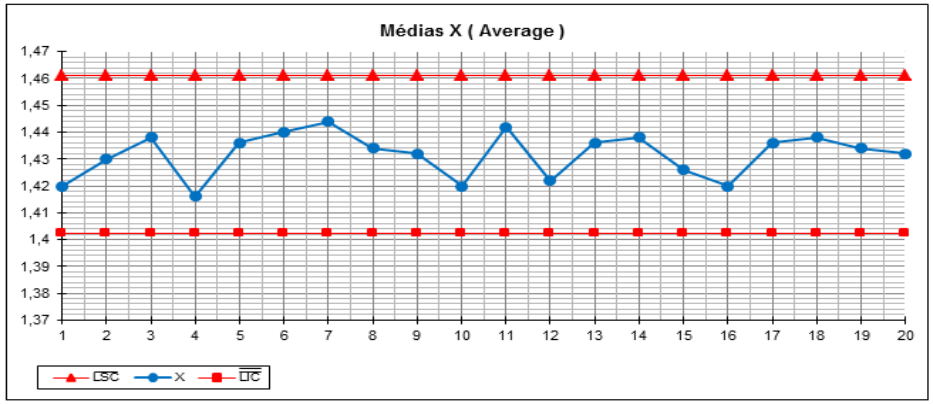
$\overline{X}$	LSC	$\overline{X}$	LIC	R	LSC	$\overline{R}$	LIC
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,06	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,07	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,08	0,09513	0,045	0
2,44	2,457365	2,4314	2,405435	0,08	0,09513	0,045	0
2,44	2,457365	2,4314	2,405435	0,04	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,03	0,09513	0,045	0
2,42	2,457365	2,4314	2,405435	0,01	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,06	0,09513	0,045	0
2,42	2,457365	2,4314	2,405435	0,03	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,05	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,04	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,03	0,09513	0,045	0
2,45	2,457365	2,4314	2,405435	0,03	0,09513	0,045	0
2,45	2,457365	2,4314	2,405435	0,05	0,09513	0,045	0
2,44	2,457365	2,4314	2,405435	0,06	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,03	0,09513	0,045	0
2,42	2,457365	2,4314	2,405435	0,05	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,05	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,02	0,09513	0,045	0
2,43	2,457365	2,4314	2,405435	0,03	0,09513	0,045	0
0,00	2,457365	2,4314	2,405435	0,00	0,09513	0,045	0
0,00	2,457365	2,4314	2,405435	0,00	0,09513	0,045	0
0,00	2,457365	2,4314	2,405435	0,00	0,09513	0,045	0
0,00	2,457365	2,4314	2,405435	0,00	0,09513	0,045	0
0,00	2,457365	2,4314	2,405435	0,00	0,09513	0,045	0

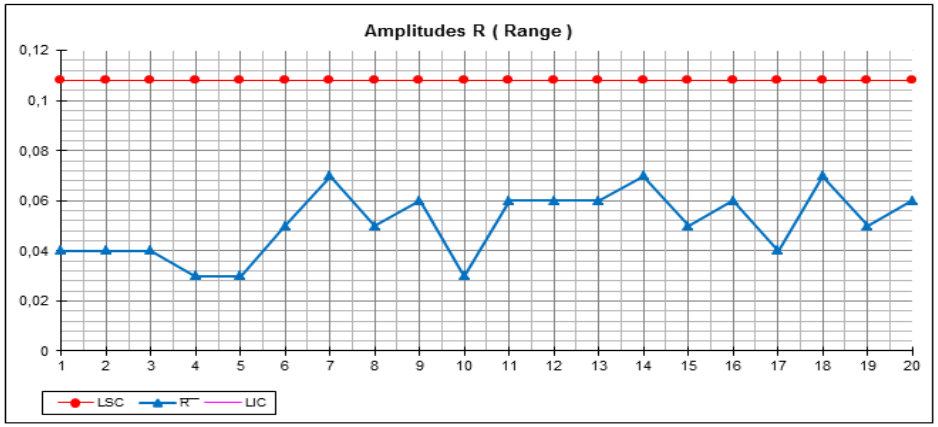
CARTA (X,R) E.2 – Carta (X,R) de controle da medida " D" da ponta da pinça Halsted Mosquito 12cm.

EDLO
Cada Vez Mais Completa

Carta de Controle de Médias e Amplitudes (X,R)

Cliente:	Operação Verificada:	Referencia:	Caracteristicas:	Responsável Inspeção:
HRS	Pinça Halsted Mosquito Reta 12cm	30197	PONTA	Fábio
Data:	Dimensão Medida:	Tamanho do Lote:	Lote:	Assinatura:
10/01/2011	D (mm)	200	17449	





LSC:	LIC:	Cp:	Cpk:
1,60	1,20	3,04	2,56

Médias (Average)

$\overline{\overline{X}} = \frac{\text{Sum (X)}}{k}$

$\overline{LSC} = X + A_2 * \overline{R}$

$\overline{LIC} = X - A_2 * \overline{R}$

Cp & Cpk:

$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_2}$

$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$

$Cp\ (Sup.) = \frac{LSE - \overline{\overline{X}}}{3\sigma}$

$Cp\ (Inf.) = \frac{\overline{\overline{X}} - LIE}{3\sigma}$

$Cpk = Cp(Sup.) - Cp(Inf.)$

Amplitudes (Ranges)

$\overline{R} = \frac{\text{Sum (R)}}{k}$

$LSC = D_4 * \overline{R}$

$LIC = D_3 * \overline{R}$

Tabela:

n	A_2	D_3	D_4
2	1,88	0	3,267
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114

$\overline{\overline{X}}$	LSC	$\overline{\overline{X}}$	LIC
1,42	1,461127	1,4317	1,402273
1,43	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,42	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,43	1,461127	1,4317	1,402273
1,43	1,461127	1,4317	1,402273
1,42	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,42	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,43	1,461127	1,4317	1,402273
1,42	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,44	1,461127	1,4317	1,402273
1,43	1,461127	1,4317	1,402273
1,43	1,461127	1,4317	1,402273
0,00	1,461127	1,4317	1,402273
0,00	1,461127	1,4317	1,402273
0,00	1,461127	1,4317	1,402273
0,00	1,461127	1,4317	1,402273
0,00	1,461127	1,4317	1,402273

R	LSC	$\overline{R}$	LIC
0,04	0,107814	0,051	0
0,04	0,107814	0,051	0
0,04	0,107814	0,051	0
0,03	0,107814	0,051	0
0,03	0,107814	0,051	0
0,05	0,107814	0,051	0
0,07	0,107814	0,051	0
0,05	0,107814	0,051	0
0,06	0,107814	0,051	0
0,03	0,107814	0,051	0
0,06	0,107814	0,051	0
0,06	0,107814	0,051	0
0,06	0,107814	0,051	0
0,06	0,107814	0,051	0
0,07	0,107814	0,051	0
0,05	0,107814	0,051	0
0,06	0,107814	0,051	0
0,04	0,107814	0,051	0
0,07	0,107814	0,051	0
0,05	0,107814	0,051	0
0,06	0,107814	0,051	0
0,00	0,107814	0,051	0
0,00	0,107814	0,051	0
0,00	0,107814	0,051	0
0,00	0,107814	0,051	0
0,00	0,107814	0,051	0

ANEXO F – FONTE PROGRAMA DO ROBÔ KUKA

FONTE PROGRAMA – Programa processo de acabamento da ponta da pinça Halsted reta 12 cm.

```
&ACCESS RVO1
&REL 95
&COMMENT MOSQUITO  RETA
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF p1_f1_m1_rd_caixa( )
;FOLD INI
;FOLD BASISTECH INI
    GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
    INTERRUPT ON 3
    BAS (#INITMOV,0 )
;ENDFOLD (BASISTECH INI)
;FOLD USER INI
;Make your modifications here
;ENDFOLD (USER INI)
;ENDFOLD (INI)
;UTILIZADO PARA PRUDUCAO DOS PRODUTOS:
;PINCA MODELO XXXXX
;FOLD INIT
    I[10]=0
    $ADVANCE=3
;ENDFOLD INIT
;FOLD PTP HOME3 CONT Vel= 100 % DEFAULT;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:HOME3, 3:C_PTP, 5:100, 7:DEFAULT
    $BWDSTART = FALSE
    PDAT_ACT=PDEFAULT
    FDAT_ACT=FHOME3
    BAS(#PTP_PARAMS,100)
    PTP XHOME3 C_PTP
;ENDFOLD
CYCLE_1:
;FOLD REL FIX
    REL_FIX=15
;ENDFOLD RELFIX
I[10]=I[10]+1
;-----------------------------------------------------------------
;CAIXA E PONTA MOSQUITO RETA
;-----------------------------------------------------------------
;APROXIMACAO
;FOLD PTP P272 CONT Vel= 100 % PDAT112 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P272,
3:C_PTP, 5:100, 7:PDAT112
    $BWDSTART = FALSE
    PDAT_ACT=PPDAT112
    FDAT_ACT=FP272
    BAS(#PTP_PARAMS,100)
```

```
    PTP XP272 C_PTP
;ENDFOLD
;LIXAMENTO CAIXA TOPO
;FOLD LIN P273 CONT Vel= 2 m/s CPDAT134 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P273,
3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT134
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT134
    FDAT_ACT=FP273
    BAS(#CP_PARAMS,2)
    LIN XP273 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD WAIT Time= 0.1 sec;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 2:0.1
    WAIT SEC 0.1
;ENDFOLD
;FOLD LIN P20 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT16 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P20,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT16
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT16
    FDAT_ACT=FP20
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP20 C_DIS
;ENDFOLD
;SAIDA
;FOLD LIN P4  Vel= 2 m/s CPDAT11 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[1]:EDLO_MAQ3;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P4, 3:, 5:2, 7:CPDAT11
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT11
FDAT_ACT=FP4
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP4
;ENDFOLD
;CHANFRO
;FOLD LIN P30 CONT Vel= 2 m/s CPDAT26 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P30, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT26
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT26
FDAT_ACT=FP30
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP30 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P32 CONT Vel= 2 m/s CPDAT28 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P32, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT28
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT28
FDAT_ACT=FP32
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP32 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P37 CONT Vel= 2 m/s CPDAT33 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P37, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT33
```

```
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT33
FDAT_ACT=FP37
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP37 C_DIS
;ENDFOLD
;SAIDA
;FOLD LIN P31 CONT Vel= 2 m/s CPDAT27 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P31, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT27
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT27
FDAT_ACT=FP31
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP31 C_DIS
;ENDFOLD
;LIXAMENTO CAIXA TOPO
;FOLD LIN P28 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT24 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P28,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT24
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT24
    FDAT_ACT=FP28
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP28 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P17 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT13 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P17,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT13
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT13
    FDAT_ACT=FP17
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP17 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P6  Vel= 2 m/s CPDAT17 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P6, 3:, 5:2, 7:CPDAT17
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT17
FDAT_ACT=FP6
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP6
;ENDFOLD
;SAIDA
;FOLD LIN P274 CONT Vel= 2 m/s CPDAT135 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P274,
3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT135
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT135
    FDAT_ACT=FP274
    BAS(#CP_PARAMS,2)
    LIN XP274 C_DIS
;ENDFOLD
```

```
;CAIXA LATERAL
;FOLD LIN P275 CONT Vel= 2 m/s CPDAT136 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P275,
3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT136
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT136
    FDAT_ACT=FP275
    BAS(#CP_PARAMS,2)
    LIN XP275 C_DIS
;ENDFOLD
;TEMPO LIXAMENTO
;FOLD WAIT Time= 0.1 sec;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 2:0.1
    WAIT SEC 0.1
;ENDFOLD
;FOLD LIN P8 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT4 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P8, 3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT4
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT4
    FDAT_ACT=FP8
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP8 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P9 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT5 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P9, 3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT5
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT5
    FDAT_ACT=FP9
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP9 C_DIS
;ENDFOLD
;LIXAMENTO
;FOLD WAIT Time= 0.1 sec;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 2:0.1
    WAIT SEC 0.1
;ENDFOLD
;SAIDA
;FOLD LIN P276 CONT Vel= 2 m/s CPDAT137 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P276,
3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT137
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT137
    FDAT_ACT=FP276
    BAS(#CP_PARAMS,2)
    LIN XP276 C_DIS
;ENDFOLD
;TOPO
;FOLD LIN P277 CONT Vel= 2 m/s CPDAT138 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P277,
3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT138
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT138
    FDAT_ACT=FP277
    BAS(#CP_PARAMS,2)
```

```
    LIN XP277 C_DIS
;ENDFOLD
;TEMPO LIXAMENTO
;FOLD WAIT Time= 0.1 sec;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 2:0.1
    WAIT SEC 0.1
;ENDFOLD
;FOLD LIN P22 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT18 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P22,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT18
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT18
    FDAT_ACT=FP22
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP22 C_DIS
;ENDFOLD
;SAIDA
;FOLD LIN P36  Vel= 1 m/s CPDAT32 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P36, 3:, 5:1, 7:CPDAT32
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT32
    FDAT_ACT=FP36
    BAS(#CP_PARAMS,1)
    LIN XP36
;ENDFOLD
;CHANFRO
;FOLD LIN P24 CONT Vel= 2 m/s CPDAT20 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P24, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT20
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT20
FDAT_ACT=FP24
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP24 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P33 CONT Vel= 2 m/s CPDAT29 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P33, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT29
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT29
FDAT_ACT=FP33
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP33 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P34 CONT Vel= 2 m/s CPDAT30 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P34, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT30
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT30
FDAT_ACT=FP34
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP34 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P35 CONT Vel= 2 m/s CPDAT31 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P35, 3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT31
$BWDSTART = FALSE
```

```
LDAT_ACT=LCPDAT31
FDAT_ACT=FP35
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP35 C_DIS
;ENDFOLD
;TOPO
;FOLD LIN P25 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT21 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P25,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT21
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT21
    FDAT_ACT=FP25
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP25 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P19 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT15 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P19,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT15
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT15
    FDAT_ACT=FP19
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP19 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P5  Vel= 2 m/s CPDAT12 Tool[3]:GARRA_PONTA Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P5, 3:, 5:2, 7:CPDAT12
$BWDSTART = FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT12
FDAT_ACT=FP5
BAS(#CP_PARAMS,2)
LIN XP5
;ENDFOLD
;SAIDA
;FOLD LIN P278 CONT Vel= 2 m/s CPDAT139 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P278,
3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT139
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT139
    FDAT_ACT=FP278
    BAS(#CP_PARAMS,2)
    LIN XP278 C_DIS
;ENDFOLD
;CAIXA LATERAL
;FOLD LIN P279 CONT Vel= 2 m/s CPDAT140 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P279,
3:C_DIS, 5:2, 7:CPDAT140
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT140
    FDAT_ACT=FP279
    BAS(#CP_PARAMS,2)
    LIN XP279 C_DIS
;ENDFOLD
```

```
;FOLD LIN P10 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT6 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P10,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT6
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT6
    FDAT_ACT=FP10
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP10 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P11 CONT Vel= 0.1 m/s CPDAT7 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P11,
3:C_DIS, 5:0.1, 7:CPDAT7
    $BWDSTART = FALSE
    LDAT_ACT=LCPDAT7
    FDAT_ACT=FP11
    BAS(#CP_PARAMS,0.1)
    LIN XP11 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD WAIT Time= 0.1 sec;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 2:0.1
    WAIT SEC 0.1
;ENDFOLD
;SAIDA
;FOLD PTP P368 CONT Vel= 100 % PDAT156 Tool[3]:GARRA_PONTA
Base[5]:EDLO_MAQ1;%{PE}%R 5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P368,
3:C_PTP, 5:100, 7:PDAT156
    $BWDSTART = FALSE
    PDAT_ACT=PPDAT156
    FDAT_ACT=FP368
    BAS(#PTP_PARAMS,100)
    PTP XP368 C_PTP
;ENDFOLD
ROB_TOK_L2_M1=TRUE
ROB_TOK_L2_M1=FALSE
IF I[10]<1 THEN
GOTO CYCLE_1
ELSE
WAIT FOR I[10]==1
I[10]=0
WAIT FOR I[10]==0
ENDIF
;FOLD PTP HOME3 CONT Vel= 100 % DEFAULT;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:HOME3, 3:C_PTP, 5:100, 7:DEFAULT
    $BWDSTART = FALSE
    PDAT_ACT=PDEFAULT
    FDAT_ACT=FHOME3
    BAS(#PTP_PARAMS,100)
    PTP XHOME3 C_PTP
;ENDFOLD
;-----------------------------------------
;COMENTE AQUI A PROXIMA ETAPA DE LIXAMENTO
;-----------------------------------------
CYCLE_2:
```

```
;FOLD REL FIX
    REL_FIX=15
;ENDFOLD RELFIX
I[10]=I[10]+1
;INSERIR TRAJETORIA DE LIXAMENTO
IF I[10]<1 THEN
GOTO CYCLE_2
ELSE
WAIT FOR I[10]==1
I[10]=0
WAIT FOR I[10]==0
ENDIF
;FOLD PTP HOME3 CONT Vel= 100 % DEFAULT;%{PE}%R
5.2.30,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:HOME3, 3:C_PTP, 5:100, 7:DEFAULT
    $BWDSTART = FALSE
    PDAT_ACT=PDEFAULT
    FDAT_ACT=FHOME3
    BAS(#PTP_PARAMS,100)
    PTP XHOME3 C_PTP
;ENDFOLD
;FOLD FINALIZACAO
    ROB_TOK_L2_M1=FALSE
;ENDFOLD FINALIZACAO
END
```

ANEXO G – PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DAS PINÇAS CIRÚRGICAS ESTUDADAS

O processo de produção das pinças cirúrgicas utilizadas neste estudo é composto por diversas etapas que incluem processos produtivos diferentes. As etapas serão listadas a seguir na ordem da produção com os seus respectivos maquinários utilizados no processo. Para exemplificar serão utilizadas imagens da produção de um lote de pinças Halsted Mosquito Reto 12 cm.

G.1 Forjamento das pinças cirúrgicas

No processo de forjamento é realizada a conformação inicial da pinça cirúrgica através de matrizes. As operações são realizadas em cinco etapas:

1- Corte Geratriz: nesta etapa a geratriz corta a matéria-prima numa prensa excêntrica por cisalhamento, a partir de uma barra chata laminada com dimensão 5x8x3000 mm.

2- Forjamento: no início são colocadas no forno elétrico as peças cortadas na geratriz, e é aguardado o tempo de 2h30min para atingir uma temperatura de 1150 a 1180° C. Este tempo de exposição das peças à temperatura ocasiona um excesso de carbono na superfície das mesmas. Após esta espera, as peças cortadas são forjadas numa prensa mecânica de fricção, com capacidade para 200 t, em três batidas, uma de recalque, outra de pré-formatação e, em seguida, a de formatação. Neste processo de forjamento são utilizadas duas matrizes, uma superior e outra inferior.

3- Recozimento: o recozimento ajuda a diminuir a quantidade de carbono na superfície das peças. O aquecimento deve ocorrer de maneira uniforme nas peças, numa temperatura de mais ou menos 800° C no tempo de 8h. Após, resfriar no forno ou no ar calmo. Nesta operação utiliza-se forno com o formato redondo, que possui resistências na volta e um sistema ventilador para circular o ar quente.

4- Rebarbamento: nesta etapa é retirada a rebarba que fica na peça depois de forjada e o corte é feito por matrizes de cisalhamento. As máquinas são prensas excêntricas de 60 t e com fixação de duas matrizes, a inferior e a superior.

5- Calibração: a calibração é feita através de uma prensa excêntrica de 80 t e duas matrizes de fechamento que calibram as peças.

A figura G.1 mostra no fluxograma a sequência do processo de forjamento das pinças cirúrgicas Halsted Mosquito Reto 12 cm.

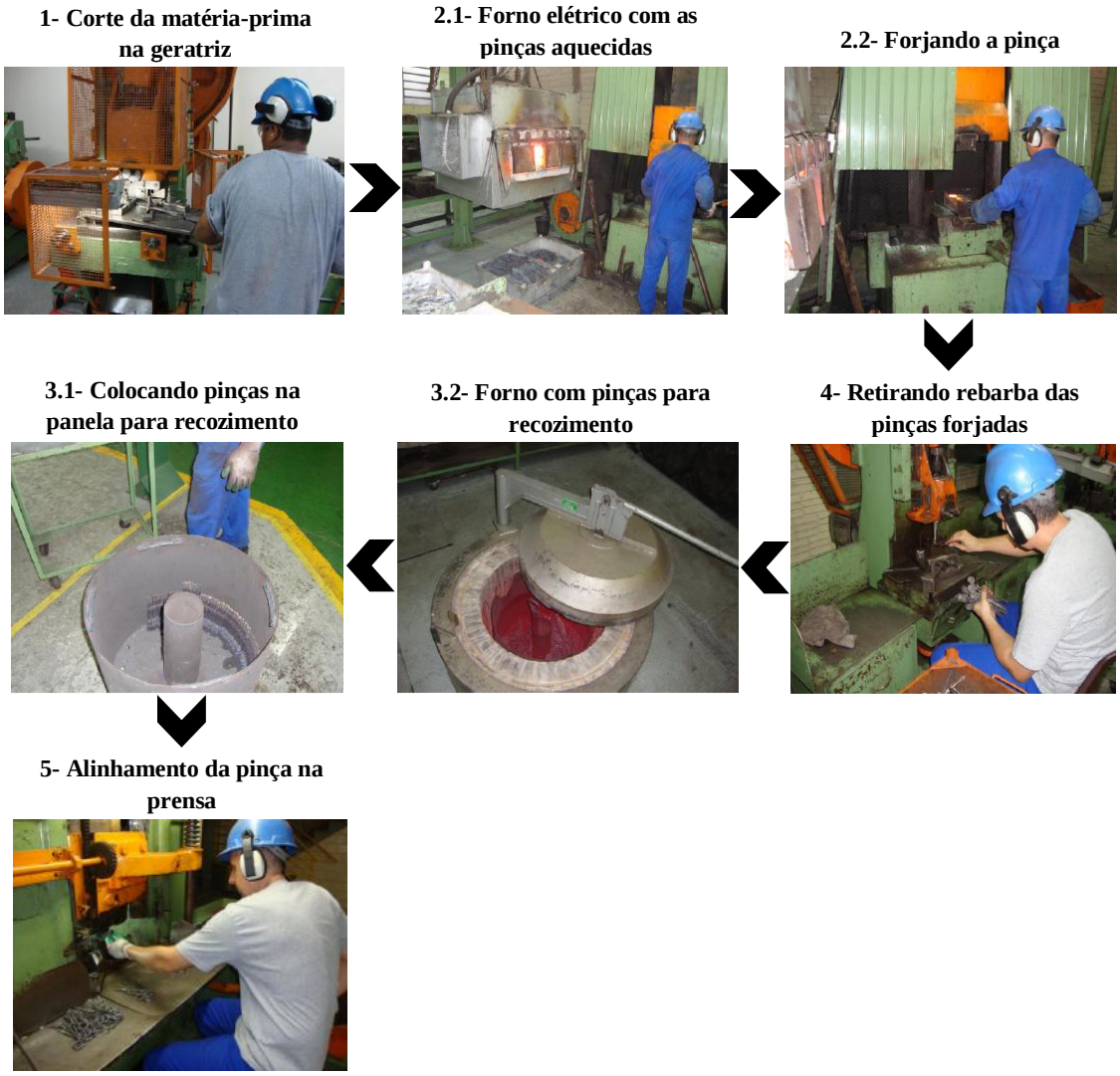


Figura G.1 – Sequência do processo de forjamento das pinças cirúrgicas.

A utilização do forjamento na fabricação das pinças se deve à melhoria das propriedades mecânicas, obtidas pelo material devido à deformação plástica e a textura

adquirida pelos metais em comparação a outros processos, como a usinagem, a fundição, etc. No processo de forjamento acontecem alterações microestruturais no material deformado, assim o grão passa a ser refinado com uma nova orientação, as porosidades e os vazios são caldeados (Bresciani et al., 1997; Norton, 2004).

No estudo realizado, o forjamento é um dos processos da fabricação dos instrumentos cirúrgicos. O material utilizado é o aço inoxidável AISI 420D. O forjamento é feito em matriz aberta e com o material aquecido até a temperatura 1100° C. Após o material ser forjado, deve-se resfriar naturalmente para evitar trincas.

Conforme Nunes, 2007, o material AISI 420D, depois de forjado e resfriado deve ser recozido a uma temperatura de 840°C, para que se tenha uma boa condição de usinagem. Na sequência, para manter o equilíbrio térmico, o material é temperado a uma temperatura entre 980°C a 1040°C e, em seguida, o resfriamento ao ar, o que garante uma estrutura martensítica sem a ocorrência de carbono no contorno dos grãos. Após a tempera é feito o revenimento que é o aquecimento do material numa temperatura 350°C a 400°C por uma hora, para adequar a dureza ou o grau de flexibilidade da pinça cirúrgica. A temperatura de revenimento é definida de acordo com as características mecânicas desejadas.

A fabricação de peças através do processo de forjamento caracteriza-se pelo melhor aproveitamento da matéria-prima, e pela produção econômica de produtos que exigem propriedades mecânicas e tolerâncias dimensionais (Brites, 2009).

G.2 Usinagem das pinças cirúrgicas

As etapas no processo de usinagem são feitas em cinco operações que definem as características da pinça cirúrgica na seguinte sequência:

1- Parte Ativa: é chamada de parte ativa porque possui ranhuras transversais em toda a extensão da sua parte onde ocorre o efeito de prensa. Estas ranhuras são usinadas em duas partes para que, no fechamento, elas casem. A operação é feita por máquinas fresadoras que utilizam fresas especificas para este fim.

2- Cremalheira: nesta etapa são usinados dentes e contra dentes com um ângulo de 14° graus para funcionar como trava na posição desejada. Na usinagem utiliza-se fresas especiais em máquinas fresadoras.

3- Caixa Central (macho): esta etapa é usinada com fresa cilíndrica. A usinagem é feita em máquinas fresadoras.

4- Caixa Central (fêmea): esta etapa é usinada com fresa no formado de disco. A usinagem é feita em máquinas fresadoras.

5- Brochamento: Esta etapa é para retirar material da parte que não foi possível usinar na caixa central da fêmea da pinça. A usinagem é realizada em uma máquina brochadora hidráulica.

A figura G.2 ilustra no fluxograma a sequência do processo de usinagem das pinças cirúrgicas Halsted Mosquito Reto 12 cm.

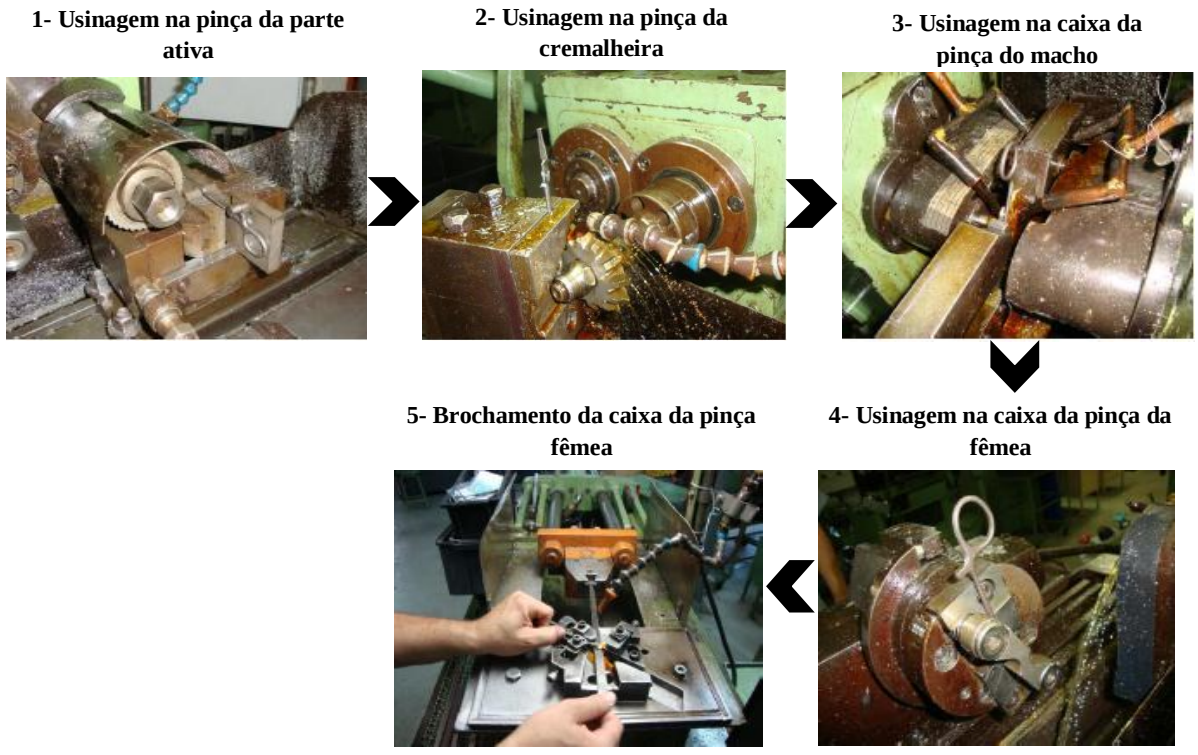


Figura G.2 – Sequência do processo de usinagem das pinças cirúrgicas.

G.3 Montagem das pinças cirúrgicas

O procedimento de montagem é composto por cinco operações, realizadas na seguinte sequência:

1- Montagem (macho/fêmea): a montagem é a união entre as peças macho e fêmea. Inicialmente a caixa fêmea é aquecida por eletroindução. Após, a mesma é aberta através de uma prensa que possui um pino punção. Em seguida são unidos macho e fêmea, sendo então prensados em uma prensa. As máquinas utilizadas nesta operação são três, uma eletroindução para aquecimento da peça e duas prensas hidráulicas.

2- Ajuste: o ajuste é o alinhamento da caixa central, o alinhamento da parte ativa e pressão na cremalheira. Este alinhamento busca a simetria entre os dois lados opostos.

3- Furação: A furação é realizada no meio da caixa central e após é fixado com um pino na peça já ajustada. A máquina utilizada para esta operação é uma furadeira de bancada.

4- Tratamento Térmico: o forno de têmpera possui uma esteira com regulagem de velocidade, que transporta as peças para a parte central do forno, cuja temperatura se situa entre 980 e 1040°C e após os componentes passam por uma câmara de resfriamento. Toda a extensão do forno é isolada da atmosfera, sendo inserido hidrogênio para evitar a presença de oxigênio, reagente da oxidação do aço inoxidável.

5- Revenimento: após a têmpera é realizado o revenimento das pinças a uma temperatura entre 350 e 400°C durante uma hora (resfriamento ao ar), a fim de eliminar tensões residuais e manter elevada dureza (cerca de 52 HRC) e resistência à corrosão.

A figura G.3 apresenta um fluxograma contendo a sequência do processo de montagem das pinças cirúrgicas Halsted Mosquito Reto 12 cm.

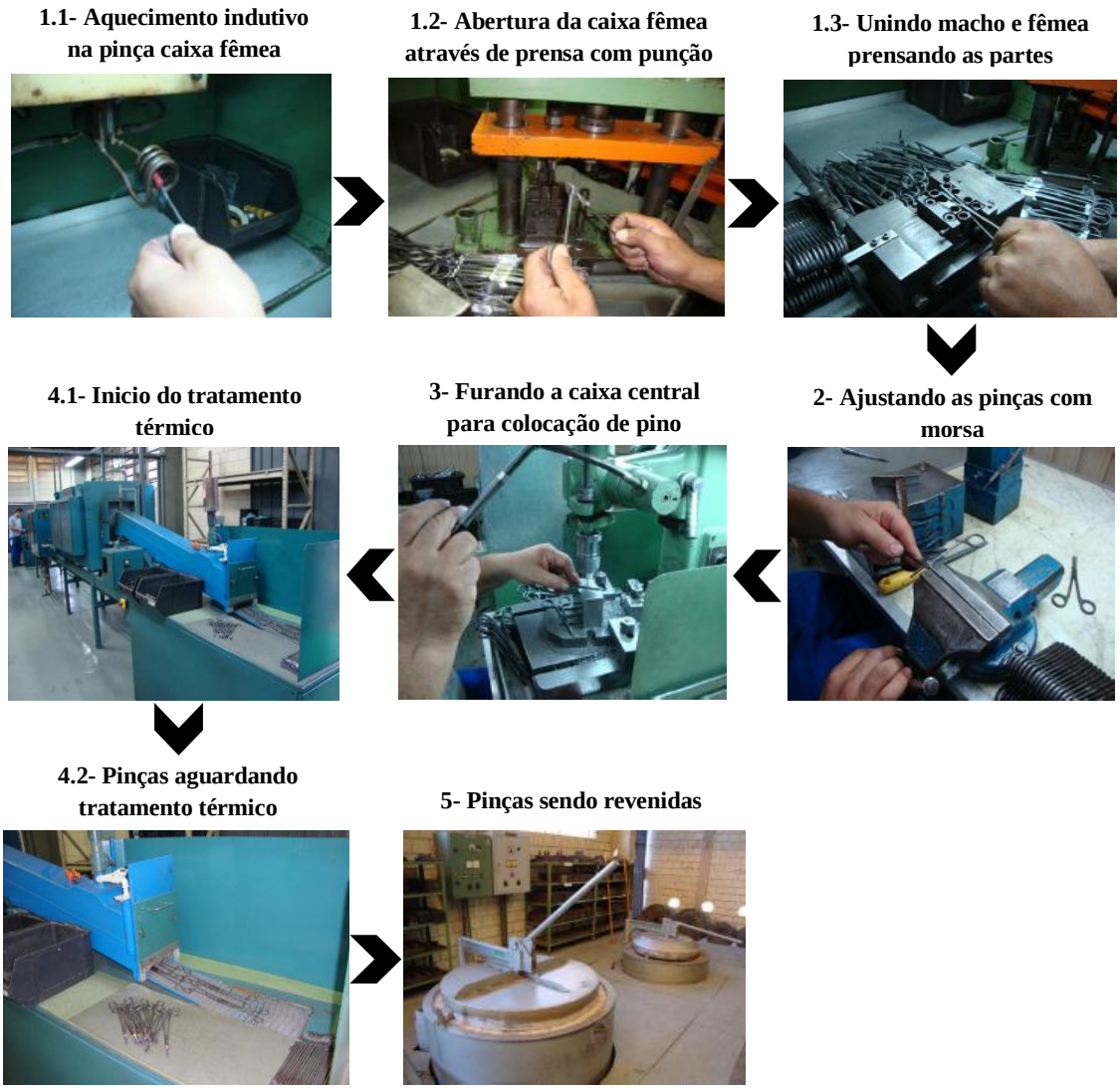


Figura G.3 – Sequência do processo de montagem das pinças cirúrgicas.