

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Fernando Mário Reis Santana e Santos

**PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA GERENCIAR USO DE
FERRAMENTAS EM MÁQUINA OPERATRIZ**

**Taubaté – SP
2017**

Fernando Mário Reis Santana e Santos

**PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA GERENCIAR USO
DE FERRAMENTAS EM MÁQUINA OPERATRIZ**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação
do Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté,
Área de Concentração: Automação.
Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Parquet
Bizarria.
Coorientador: Prof. Dr. José Walter Parquet
Bizarria.

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas – UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

S237p

Santos, Fernando Mario Reis Santana e
Proposta de arquitetura para gerenciar uso de ferramentas
em máquina operatriz. / Fernando Mario Reis Santana e
Santos - 2017.

92f. : il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área
de Automação) – Universidade de Taubaté. Departamento de
Engenharia Mecânica, 2017

Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Parquet Bizarria,
Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Substituição de ferramenta. 2. Interface gráfica. 3.
Arquitetura de gerenciamento. 4. Automação. I. Título.

FERNANDO MÁRIO REIS SANTANA E SANTOS

**PROPOSTA DE ARQUITETURA PARA GERENCIAR USO DE FERRAMENTAS
EM MÁQUINA OPERATRIZ**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação
do Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté,
Área de Concentração: Automação

Data: 27/05/2017

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Carlos Parquet Bizarria Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. José Rubens de Camargo Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Alexandre Garcia IAE/DCTA

Assinatura _____

Dedico este trabalho aos meus pais, esposa, filhos e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais Maria e José pelo exemplo de simplicidade e honestidade, prezando sempre pela minha educação. À minha esposa Adriana pelo incentivo dado a mim para realização deste mestrado, e aos meus filhos Pâmela e Felipe pela paciência nos momentos em que deixei de dar atenção a eles, para me concentrar neste trabalho, e principalmente pela alegria estampada em seus rostos quando eu mostrava o protótipo deste trabalho em desenvolvimento e em funcionamento.

Ao Professor Dr. Francisco Carlos Parquet Bizarria, pela disponibilidade, incentivo e estruturação das etapas para realização e conclusão desta dissertação.

“Apenas os que dialogam podem
construir pontes e vínculos.”

Papa Francisco

RESUMO

A indústria de transformação tem que buscar meios para reduzir os custos de manufatura, como uma forma de sobreviver no mercado com competição em crescente evolução. Essa competição tem se tornado cada vez mais estimulada com a globalização, pois uma indústria tem que dividir o seu mercado consumidor com outras instaladas no mundo inteiro. Um dos possíveis caminhos para reduzir os custos de manufatura está relacionado com a utilização eficiente de insumos básicos. Entre os principais insumos utilizados na manufatura estão aqueles relacionados com as ferramentas que são instaladas em máquinas, como tornos, retíficas, prensas e outras relacionadas. Tipicamente, as ferramentas desenvolvidas pela engenharia de processo de uma indústria possuem características dedicadas que devem ser mantidas para realizar a transformação adequada do produto que está sendo manufaturado. A preservação dessas características está vinculada, principalmente, com a vida útil especificada para o uso de cada ferramenta, a fim de efetuar a sua substituição antes que o produto seja acometido por desconformidades oriundas do processo de manufatura. A substituição de ferramenta no correto momento se torna essencial, porém para executar essa tarefa devem ser considerados os aspectos relacionados com a substituição prematura e tardia, sendo que ambas podem gerar aumento de custos por aquisição de ferramentas ou retrabalhos em peças produzidas com as características divergentes do especificado. Nesse contexto, este trabalho propõe uma arquitetura que utiliza interface gráfica e módulo de controle para gerenciar o uso de ferramentas em máquina operatriz, sendo concentrado o estudo em uma prensa excêntrica industrial. Os componentes virtuais elaborados para as janelas da interface gráfica são expressivos e relacionados com os procedimentos definidos para efetuar a substituição de cada ferramenta da prensa. A validação da funcionalidade dessa arquitetura é obtida por meio de testes realizados em protótipo que adota os elementos básicos previstos na mencionada arquitetura. Os resultados positivos observados nesses testes sugerem que a arquitetura proposta é adequada para a finalidade a qual se destina.

Palavras-chave: Substituição de Ferramenta, Interface Gráfica, Arquitetura de Gerenciamento e Automação.

ABSTRACT

The processing industry has to find ways to reduce manufacturing costs, as a way to survive in the market with increasing competition. This competition has become increasingly driven by globalization, that is, an industry has to share the consumer market with other industries that are installed worldwide. One of the possible ways to reduce manufacturing costs is related to the efficient use of basic inputs. Among the main inputs used in the manufacture, some are specifically related to the tools that are installed on machines such as lathes, grinding machines, presses and others related. Typically, the tools developed by the industry in the process engineering sector have dedicated characteristics that must be maintained to perform the appropriate transformation of the product being manufactured. The preservation of these characteristics is linked mainly with the specified service life for the use of each tool, in order to make the substitution before the product is affected by non-conformities arising from the manufacturing process. The tool replacement at the right time becomes essential, but to perform this task should be considered aspects related to the early and late replacement, both of which can lead to increased costs for the purchase of tools or rework parts produced with different characteristics what was envisaged in the specification. In this context, this paper proposes an architecture that uses graphical interface and control modules to manage the use of tools for industrial machines, in this case focused on industrial eccentric press. All virtual components designed for the windows of the graphical interface are significant and related to the procedures set out to make the replacement of each of the press tool. The validation of the functionality of the architecture is obtained by means of tests on the prototype that adopts the basic elements provided in said architecture. The positive results observed in practical tests suggest that proposed architecture is appropriate for the purpose which it is intended.

Keywords: Tool replacement, Graphical Interface, Management architecture and Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frequência de falhas em matrizes de forjamento.	21
Figura 2 - Gráfico de utilização do tempo de produção programada.....	22
Figura 3 - Composição dos Custos na Substituição de Ferramentas.....	23
Figura 4 - Prensa Mecânica Excêntrica.....	26
Figura 5 - Forjamento Livre.	27
Figura 6 - Forjamento em Matriz.	28
Figura 7 - Prensa Hidráulica.....	29
Figura 8 - Prensa Excêntrica.	30
Figura 9 – Sensor analógico LDR.	31
Figura 10 – Sensor digital por Par Óptico.	32
Figura 11 - Sensor Óptico Difuso.	33
Figura 12 - Diagrama de Blocos Típico para o Sistema Óptico por Barreira.	33
Figura 13 - Diagrama de Blocos Sistema Óptico Reflexivo.	34
Figura 14 - Diagrama de Blocos Sistema Óptico por Difusão.	34
Figura 15 - Diagrama de Blocos Sistema Óptico por Difração.	35
Figura 16 - Esquema Simplificado de Motor CC.	36
Figura 17 - Forças Atuando sobre Armadura.	38
Figura 18 – Elementos Típicos do Motor de Imã Permanente.	39
Figura 19 - Arduino Mega Conectado a LEDs.....	41
Figura 20 - Janela Principal IDE Arduino.	42
Figura 21 - Ponte H com interruptores.	43
Figura 22 - Funcionamento circuito ponte H.....	44
Figura 23 – Componentes físicos básicos de um sistema de supervisão.	46
Figura 24 - Exemplo de interface de um sistema de supervisão.....	46
Figura 25 – Primeiro Nível do Mapa Mental da Interface Gráfica.....	55
Figura 26 – Mapa Mental da Janela Cadastrar Ferramentas.	55
Figura 27 - Mapa Mental da Janela Prensa.	56
Figura 28 - Mapa Mental das Janelas da Sala Preparação de Ferramentas.	57
Figura 29 - Arquitetura Proposta.	60
Figura 30 - Componentes do Protótipo.	63
Figura 31 - Detalhes Modelo Representativo de Prensa (MRP).....	64
Figura 32 - Computador Hospedeiro (CH).	65
Figura 33 - Controle Dedicado da Prensa (CDP).	66

Figura 34 - Esquema Elétrico do Controle Dedicado da Prensa (CDP).	67
Figura 35 - Esquema de ligação Motor de Corrente Contínua.	68
Figura 36 - Fluxograma de Gerenciamento do Sistema.	70
Figura 37 - Fluxograma Janela Cadastrar Ferramentas.	71
Figura 38 - Fluxograma Janela Seleção de Ferramentas.	72
Figura 39 - Fluxograma Janela Estoque Ferramentas.	73
Figura 40 - Fluxograma Janela Prensa - Seleção Modo de Operação.	74
Figura 41 - Fluxograma Janela Prensa - Funções Modo Manual.	75
Figura 42 - Fluxograma Janela Prensa - Funções Modo Automático.	76
Figura 43 - Janela de Cadastro de Ferramentas.	77
Figura 44 - Janela da Prensa.	79
Figura 45 - Janela de Seleção de Ferramentas.	81
Figura 46 - Janela de Estoque de Ferramentas.	83
Figura 47 - Cadastro de Ferramenta em Interface Específica.	85
Figura 48 - Seleção de Produto para Produção.	86
Figura 49 - Sinalização de Substituição de Ferramenta.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos Lógicos.....	48
Tabela 2 - Requisitos Físicos.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Unidade microcontrolada do tipo Arduino MEGA 2560
AU	Unidade microcontrolada do tipo Arduino UNO
BDF	Base de Dados de Ferramentas
Bit	Binary Digit
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CDP	Controle Dedicado da Prensa
CH	Computador hospedeiro
CSG	Circuito de Separação Galvânica
IG	Interface Gráfica
IHM	Interface Homem-Máquina
LCD	Linha de Comunicação de Dados
LDR	Light Dependent Resistor
MRP	Modelo Representativo de Prensa
PCM	Painel de Comando e Monitoramento
PE	Prensa Excêntrica
SCADA	Supervisory, Control and Data Acquisition
UCP	Unidade Central de Processamento

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 - Descrição do Problema	14
1.2 - Solução Proposta	16
1.3 - Objetivos do Trabalho	16
1.4 - Metodologia.....	17
1.5 - Estrutura do Trabalho.....	18
CAPÍTULO 2 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	20
CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
3.1 - Prensas	25
3.1.1 - Processo de Forjamento	26
3.1.2 - Prensas de Forjamento	28
3.2 - Sensores	30
3.2.1 - Sensores Ópticos.....	32
3.3 - Motores Elétricos de Corrente Contínua	35
3.3.1 - Funcionamento Motor de Corrente Contínua	37
3.3.2 - Tipos de Motores de Corrente Contínua	38
3.3.2.1 - Motor de Imã Permanente	39
3.4 - Unidade Microcontrolada Arduino	40
3.4.1 - Programação da Unidade Arduino	41
3.4.2 - Acionamento de Motor de Corrente Contínua com Arduino.....	43
3.5 - Sistema Supervisório.....	44
CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO.....	47
4.1 - Requisitos Lógicos e Físicos	47
4.1.1 - Requisitos Lógicos	48
4.1.2 - Requisitos Físicos	57
4.2 - Arquitetura Proposta.....	60
4.3 - Protótipo	63
4.3.1 - Programa de Gerenciamento	69
4.3.2 - Interface Gráfica.....	77
4.4 - Testes Práticos.....	84
4.4.1 - Resultados	88
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....	89

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como finalidade apresentar para o leitor o tema abordado nesta dissertação, o qual propõe uma arquitetura para gerenciar o uso de ferramentas em máquina operatriz, como meio de aumentar a eficiência na utilização de ferramentas nesses tipos de máquinas, e está composto por: descrição do problema, solução proposta, objetivos, metodologia e estrutura de trabalho. Na descrição do problema é apresentada a importância de se buscar a eficiência na utilização das ferramentas de máquinas operatrizes. Na solução proposta é sugerida uma forma para se gerenciar a vida útil de ferramenta, visando aumento da eficiência na utilização da mesma. Em objetivos são definidas as metas que deverão ser alcançadas pela arquitetura proposta em executar o gerenciamento da utilização de ferramentas em máquinas e, também, o modo para validação dessa arquitetura. A metodologia descreve os procedimentos seguidos para elaboração desta dissertação. A estrutura do trabalho apresenta a forma como foi organizada esta dissertação, com uma breve descrição de cada capítulo.

1.1 - Descrição do Problema

O aumento da concorrência no mercado industrial tem demandado das indústrias ações para redução de custos operacionais. A participação de novas empresas no mercado, influenciada pela globalização, faz com que a disputa por consumidores se torne mais acirrada. Esse cenário, com aumento de oferta de produtos, faz com que os preços tendam a reduzir ou se manterem estáveis, inviabilizando repasse de aumentos de custo ao preço final do produto, sob o risco de tornar o preço do produto fabricado não mais atrativo para o mercado no qual ele está inserido.

Entre os possíveis caminhos para a redução de custos de manufatura está a utilização eficiente de insumos básicos, no qual se enquadram as ferramentas, utilizadas em máquinas operatrizes presentes nas indústrias metalúrgicas, para diversas funções como retificação, torneamento, inspeção e outras. Para o adequado funcionamento dessas máquinas é necessário que os procedimentos para trocas de ferramentas sejam seguidos conforme definidos pela engenharia de processo. A forma convencional de se gerenciar essas atividades é por meio de inspeção visual em gráficos ou tabelas, a qual precisa ser realizada por operadores em intervalos definidos de tempos, para assegurar o cumprimento do plano de trocas de ferramenta definido pela engenharia. Ocorre que, em certos momentos esse controle pode se tornar vulnerável, como por exemplo, nos momentos de ida do operador para toalete, refeição ou intervenção em outra máquina nos casos em que um mesmo operador supervisiona mais de uma máquina.

Tipicamente, as ferramentas desenvolvidas pela engenharia de processo de uma indústria possuem características dedicadas que devem ser mantidas para realizar a transformação adequada do produto que está sendo manufaturado. A preservação dessas características está vinculada, principalmente, com a vida útil especificada para o uso de cada ferramenta, a fim de efetuar a sua substituição antes que o produto seja acometido por desconformidades oriundas do processo de manufatura. A substituição de ferramenta no correto momento se torna essencial, porém para executar essa tarefa devem ser considerados os aspectos relacionados com a substituição prematura e tardia, sendo que ambas podem gerar aumento de custos por aquisição de ferramentas ou retrabalhos em peças produzidas com as características divergentes do especificado.

A substituição prematura de ferramenta em máquinas operatrizes, ocasionada por desgaste prematuro ou quebra da ferramenta, gera uma utilização ineficiente da ferramenta, pois a mesma foi projetada para ser capaz de produzir uma quantidade definida de peças ou ciclos de máquina. Substituí-la antes do programado trará um consumo maior de ferramentas, por consequência, elevando o custo, para empresa, com aquisição de novas ferramentas.

A substituição tardia de ferramenta, originada pela falta de controle no processo de troca de ferramenta ou falta de uma ferramenta nova para substituição, traz como prejuízo a não conformidade do produto que está sendo fabricado. A utilização da

ferramenta acima do limite para o qual ela foi projetada faz com que as peças produzidas tenham características de acabamento ou dimensionais fora do especificado, por conta do desgaste da ferramenta. A substituição da ferramenta após o período programado acarretará em gastos com retrabalho de produtos produzidos, ou até mesmo a rejeição de produtos que impactará em perda de matéria-prima, tempo de produção e outros recursos da empresa.

1.2 - Solução Proposta

Neste trabalho é proposta a adoção de arquitetura dedicada para um sistema gerenciar os procedimentos definidos pela Engenharia de Processo, a fim de efetuar a troca de ferramentas de máquina operatriz, como torno CNC, retífica cilíndrica ou prensa excêntrica por exemplo, em momento estratégico, sendo gerados sinais de alerta para os operadores, equipe da sala de preparação de ferramentas, e supervisores de produção. Assegurando assim, o cumprimento do plano definido por essa engenharia para cada máquina.

1.3 - Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem por principal objetivo apresentar os módulos de uma arquitetura, física e lógica, capaz de efetuar o gerenciamento de uso de ferramentas por meio de interface gráfica munida com recursos que permitem a parametrização de ferramentas com as respectivas vidas úteis, o gerenciamento de estoque de ferramentas e a comunicação com máquina operatriz que utiliza a ferramenta cuja vida útil está sendo gerenciada. Essa arquitetura deverá ser composta por três

partes, sendo a primeira a máquina operatriz cuja ferramenta terá sua vida útil gerenciada; a segunda composta por um sistema dedicado para controle dos movimentos da máquina por meio do monitoramento de sensores e ação sobre os atuadores, além da comunicação com um computador hospedeiro; e a terceira parte a interface gráfica.

Avaliar a eficácia da arquitetura proposta por meio de testes com protótipo destinado para esse fim.

1.4 - Metodologia

Os principais procedimentos realizados para elaborar esta dissertação, são apresentados a seguir:

- Realização da pesquisa bibliográfica, direcionada principalmente em identificar trabalhos cujos conceitos tenham como base o gerenciamento de uso de ferramentas em máquinas operatrizes, por meio de sistema de controle e supervisão, como por exemplo, prensas industriais.
- Pesquisa por informações sobre os atuais recursos utilizados no gerenciamento de uso de ferramentas em máquinas operatrizes.
- Elaboração de proposta de arquitetura física e lógica para auxiliar o gerenciamento do uso de ferramentas utilizadas em máquina operatriz.
- Montagem de protótipo de prensa, para simular o uso de ferramenta com vida útil programada.
- Elaboração de janelas para interface gráfica, com leiaute de componentes virtuais capaz de: i) comandar os modos de acionamento do protótipo de prensa, ii) cadastrar produtos para manufaturar, com respectivas ferramentas utilizadas, iii) auxiliar seleção de produto para manufaturar com escolha de ferramenta específica, e iv) visualizar estoque de ferramentas.

- Realização de testes práticos para avaliar eficácia operacional de módulos individuais estabelecidos na arquitetura proposta.
- Integração entre os recursos dos módulos individuais que foram estabelecidos na arquitetura proposta.
- Realização de testes práticos, para avaliar a eficácia da arquitetura proposta com os módulos integrados.
- Elaboração de texto para atender cada capítulo proposto na estrutura estabelecida para esta dissertação.

1.5 - Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 apresenta a descrição do problema, solução proposta, objetivos do trabalho, metodologia e estrutura do trabalho. A descrição do problema apresenta a importância de utilizar ferramentas conforme período definido pela engenharia de processo em máquinas operatrizes. Na solução proposta é apresentada uma sugestão de sistema que tem como propósito gerenciar o uso de ferramenta em máquina operatriz e monitorar estoque de ferramenta. Nos objetivos do trabalho são estabelecidas as metas que deverão ser atingidas com o desenvolvimento deste trabalho, ou seja, propor arquitetura capaz de gerenciar o uso de ferramentas em máquina operatriz e validar essa proposta por meio de teste em protótipo. Em metodologia são apresentados os procedimentos adotados para elaboração desta dissertação. Em estrutura do trabalho é apresentada a sequência utilizada para a elaboração dos capítulos desta dissertação, com os respectivos comentários.

O Capítulo 2 apresenta pesquisa bibliográfica com referências de artigos técnicos que guardam relação com o tema abordado neste trabalho.

No Capítulo 3 é apresentada a fundamentação teórica com os conceitos básicos dos principais sistemas e termos técnicos que são utilizados no desenvolvimento

deste trabalho, abordando as ilustrações relevantes, a fim de formar uma base mínima de informações para auxiliar o leitor no entendimento desta dissertação.

No Capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do trabalho, sendo definidos os requisitos lógicos e físicos, a arquitetura proposta, o protótipo desenvolvido, os fluxogramas do programa de gerenciamento do uso de ferramentas, a interface gráfica com respectivas janelas, os algoritmos desenvolvidos, os fluxogramas analíticos, os testes práticos e os resultados obtidos na validação da arquitetura proposta.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões relacionadas ao desenvolvimento deste trabalho e as propostas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar resumos de artigos técnicos, dissertações e outros trabalhos que possuam relação com o tema abordado nesta dissertação.

Por meio de pesquisas realizadas entre os anos de 2014 e 2016, foram observados vários artigos técnicos, dissertações e literaturas que guardam relação com o presente trabalho, sendo aqueles considerados de maior importância e relevância mencionados nesta subseção. Entretanto, não foram identificados registros de trabalhos específicos sobre o desenvolvimento de arquitetura para gerenciar uso de ferramentas em máquina operatriz.

Com base no descrito em Mariani (2012), a dinâmica atual dos mercados, tem tornado inviável o repasse de aumentos dos custos dos insumos e outros custos operacionais, para o preço de venda dos produtos manufaturados. Dessa forma, a utilização eficiente dos recursos disponíveis passa a ser um dos pontos-chaves para manter a competitividade no mercado e/ou manutenção das atividades de uma indústria.

Baseado no explicitado por Favaretto et al. (2009) a indústria automotiva possui processos complexos e com alto grau de desenvolvimento tecnológico, para realizar a transformação de matéria-prima em produtos a serem comercializados. Essas características devem se alinhar as necessidades de redução de custos. No que se referem aos custos, os processos de fabricação respondem por uma parcela significativa na indústria automotiva, sendo que grande parte desses custos deve-se as ferramentas utilizadas nas máquinas dentro dos processos de fabricação. As ferramentas não geram custos apenas com a sua aquisição, essas afetam o custo final do produto de diversas outras formas, e entre elas está a não realização da produção programada, por falta de ferramentas adequadas no momento correto. Nesse sentido, gerenciar a utilização de ferramentas de forma apropriada impacta de modo positivo na eficiência do sistema produtivo por meio da: i) disponibilidade de máquina, ao evitar parada de máquina por falta de ferramenta em estoque,

ii) qualidade do produto em fabricação, e iii) manutenção de estoque adequado de ferramentas, evitando desperdício ou superdimensionamento do estoque de ferramentas.

Segundo Flausino (2010), o processo de forjamento, onde as prensas realizam a transformação da matéria-prima, é utilizado amplamente em diversas indústrias para a conformação de metais, obtendo produtos para variadas indústrias como a automotiva e mecânica. A capacidade¹ do processo de forjamento possui relação, entre outros requisitos, com a vida útil das matrizes (ferramentas de forja), sendo o desgaste da ferramenta o principal limitador dessa vida útil, como apresentado na Figura 1.

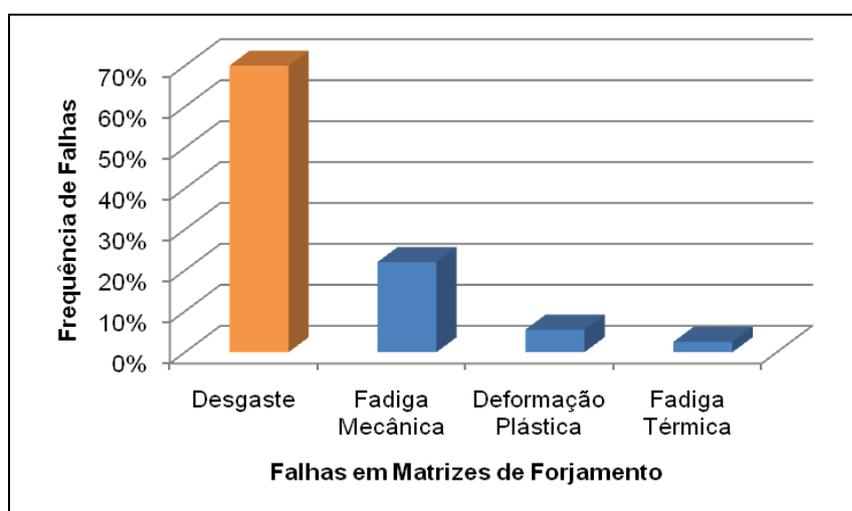


Figura 1 - Frequência de falhas em matrizes de forjamento.
Fonte: Baseado em Flausino (2010 e p. 54)

De acordo com Turino (2002), o gerenciamento adequado do estoque das ferramentas utilizadas, se faz necessário para evitar interrupção de processos de fabricação, por dimensionamento abaixo do necessário para cumprimento do plano de produção, o que possivelmente gerará impacto nas entregas para clientes. Por outro lado, o superdimensionamento do estoque de ferramentas gera aumento nos custos operacionais, impactando diretamente nos lucros operacionais. As ferramentas representam uma despesa considerável para as empresas. O

¹ Capacidade - habilidade que o processo tem de atuar mantendo as especificações definidas.

gerenciamento adequado dessa despesa não significa, unicamente, economia no processo de compra de ferramentas, mas também aperfeiçoa o controle do estoque de ferramentas.

Conforme descrito em Anumolu e Shewchuck (2000), dos recursos necessários para o processo de manufatura de uma indústria, as ferramentas figuram entre as mais importantes. Para a realização das operações em um processo produtivo, é necessário entre outros itens, que as ferramentas adequadas estejam disponíveis para serem utilizadas no momento definido para tal. Entretanto, dados estatísticos indicam que 16% da produção planejada não é realizada em consequência da indisponibilidade de ferramenta. Nesse sentido, a Figura 2 apresenta um gráfico que retrata os valores em questão, o qual ratifica a importância do gerenciamento de ferramentas para uma empresa minimizar impactos negativos na produção.



Figura 2 - Gráfico de utilização do tempo de produção programada.

Fonte: Baseado em Anumolu e Shewchuck (2000, e p. 221)

Ainda como exposto por Anumolu e Shewchuck (2000), de 40% a 60% do tempo de trabalho utilizado pelo líder de seção é investido em atividades relacionadas com a execução de atividades vinculadas com o preparo, em tempo hábil, de ferramentas e outros materiais para as máquinas no processo produtivo.

De acordo com o explicitado por Babu et al. (1999), dentro dos custos envolvidos no processo de forjamento, o custo referente a ferramenta de forja, é um dos mais

relevantes. Sendo assim, gerenciar de forma adequada o momento de substituição da ferramenta se torna essencial para aumentar a vantagem competitiva da indústria no mercado ao qual está inserida, evitando perdas na produtividade por paradas não planejadas de máquinas que são motivadas por falta de ferramenta, ou por substituição prematura de ferramenta, além de minimizar custos adicionais referentes a possível perda de peças que tenham sido produzidas fora da especificação, causadas por substituição tardia da ferramenta.

Ainda como expressado por Babu et al. (1999), as despesas com compra de ferramentas equivalem a um valor entre 10% e 15% dos custos em processos de forjamento. Entretanto indiretamente esses custos podem assumir valores maiores, podendo atingir 70% do custo do processo de forjamento. Entre as perdas envolvidas com a substituição de ferramentas pode-se citar o tempo de máquina parada durante a realização da atividade de substituição de ferramenta, que pode variar com a complexidade do processo e habilidade dos operadores. A vida útil da ferramenta de forja tem papel importante na competitividade econômica em um processo de forjamento. O gráfico apresentado na Figura 3 ilustra a participação dos principais custos envolvidos no processo de substituição de ferramentas, aplicado a um produto forjado específico.

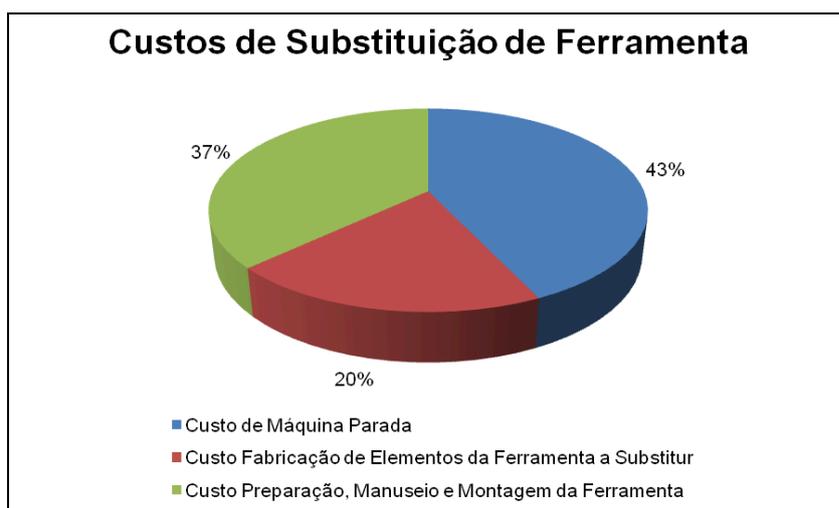


Figura 3 - Composição dos Custos na Substituição de Ferramentas.

Fonte: Baseado em Babu et al. (1999 e p. 12)

Conforme apresentado por Coppini et al. (2009), o avanço da tecnologia no projeto e fabricação de ferramentas, tem gerado uma gama maior de ferramentas disponíveis aos processos. Cada uma dessas é desenhada para trazer o melhor rendimento e produtividade aos processos aos quais estão envolvidas. Esse aumento de ferramentas presentes nas operações exige um controle preciso dos estoques de ferramentas, com o objetivo de evitar paradas de processo e desperdícios, que podem impactar diretamente nos custos das operações.

Ainda conforme Coppini et al. (2009), a aplicação de um sistema computacional para gerenciar o estoque e a utilização de ferramentas, se torna uma alternativa para auxiliar na redução de paradas de processo e de desperdícios. Trazendo como benefícios para a operação melhorias de rendimento por meio da redução de tempo ocioso de máquinas aguardando entrega de ferramentas para produzir; redução de custos com o dimensionamento adequado dos estoques físicos evitando falta ou superdimensionamento da quantidade de ferramentas a serem mantidas em estoque; redução da necessidade de fretes adicionais para compras emergenciais de ferramentas. Melhorando assim os custos operacionais.

CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma sucinta e no contexto deste trabalho, conceitos básicos sobre: prensas, sensores, motor de corrente contínua, unidade microcontrolada e sistema supervisor. Esses conceitos formam a base teórica recomendável para o entendimento do conteúdo e das terminologias utilizadas no desenvolvimento desta dissertação.

3.1 - Prensas

Prensas são máquinas usadas em forjamento, que é o processo de conformação mecânica onde se obtém a forma da peça a ser produzida pela aplicação gradativa de pressão. Uma grande parte das operações de forjamento é efetuada a quente, entretanto existem metais que podem ser forjados a frio (FILHO et al., 2011).

A Figura 4 apresenta as partes básicas contidas em uma prensa mecânica excêntrica, na qual pode-se observar o volante que transmite o movimento do motor da prensa para a engrenagem principal, sendo que essa engrenagem está acoplada ao eixo principal excêntrico por meio de uma embreagem (AJAX, 2017). A biela transforma o movimento de rotação do eixo principal em linear, para o martelo comprimir o material a ser forjado (FLAUSINO, 2010). A retirada do material forjado é auxiliada pelo sistema de extração, sendo que a interrupção do movimento do martelo é realizada pelo freio do eixo principal. (AJAX, 2017).

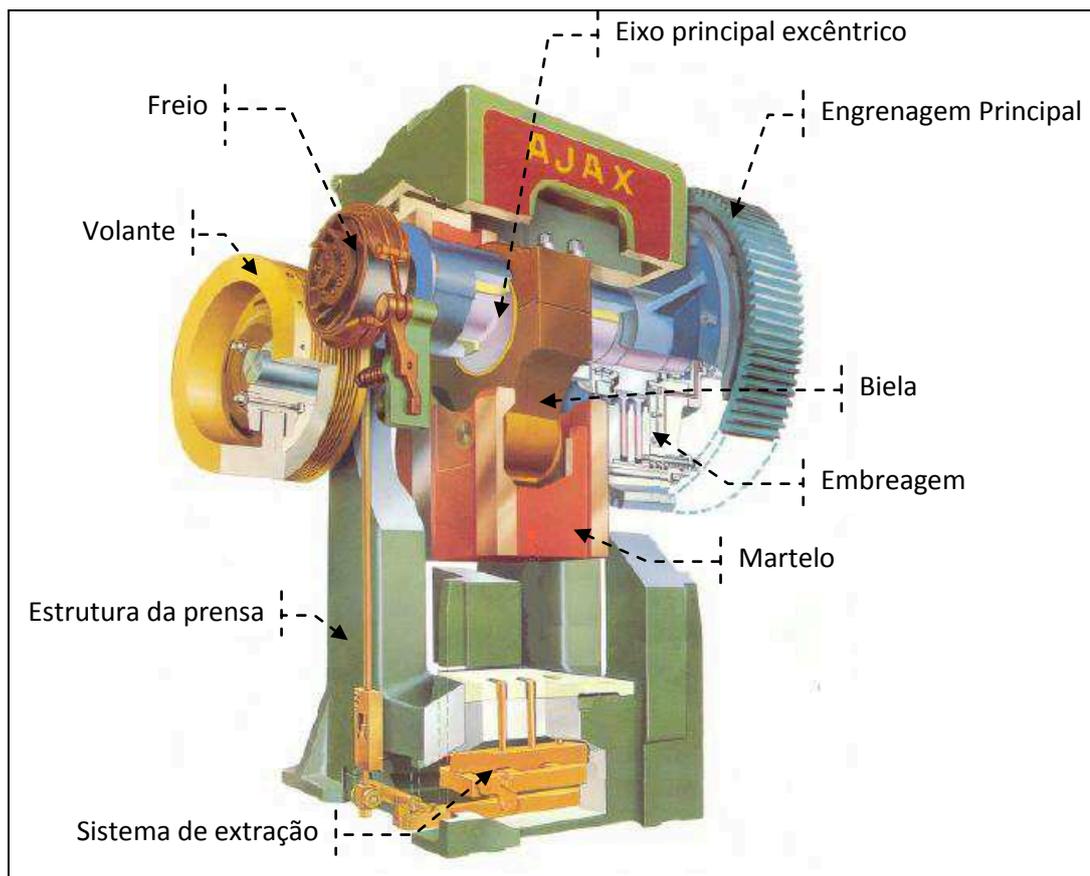


Figura 4 - Prensa Mecânica Excêntrica.

Fonte: Modificado de *Forging Presses AJAX* (2017 e p. 2)

3.1.1 - Processo de Forjamento

O processo de forjamento pode ser dividido em duas categorias sendo elas: i) forjamento livre ou em matriz aberta, e ii) forjamento em matriz fechada, ou simplesmente forjamento em matriz (FILHO et al., 2011).

O processo de forjamento livre, conforme apresentado Figura 5, tem como característica a realização da deformação do material entre ferramentas planas ou de formato simples. O processo de deformação ocorre pela compressão da matéria prima que escoar em sentido perpendicular à direção da força aplicada pela ferramenta. O forjamento livre é comumente utilizado na conformação de peças com

grande porte, podendo também ser empregado na pré-conformação de uma peça para posterior forjamento em matriz (FILHO et al., 2011).

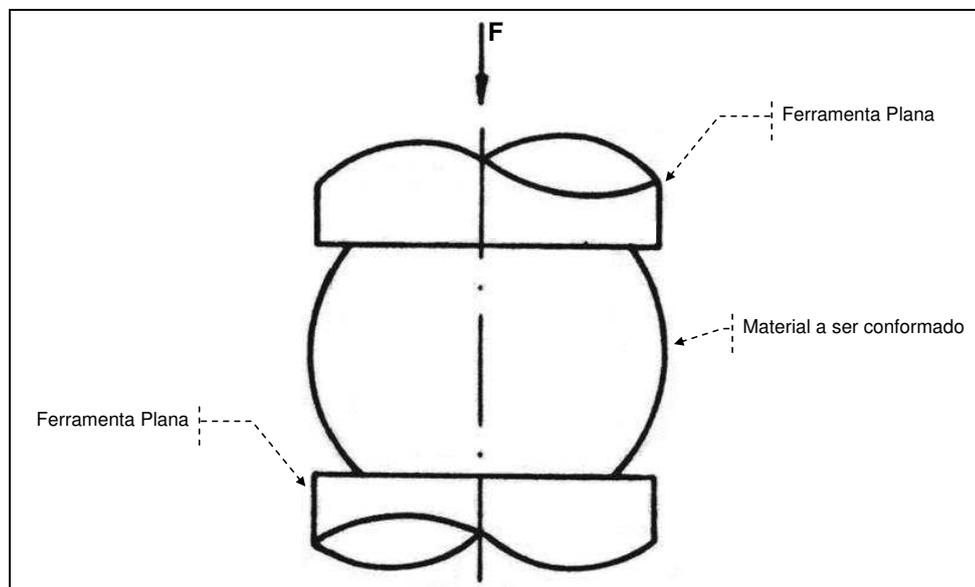


Figura 5 - Forjamento Livre.

Fonte: Modificado de Filho et al. (2011 e p 78)

No forjamento em matriz, apresentado na Figura 6, o material a ser conformado sofre deformação entre duas metades de matrizes, a fim de dar a esse a forma da peça desejada. A deformação ocorre com condição de alta pressão em uma cavidade fechada permitindo, assim, a obtenção de peças forjadas com maior precisão dimensional. A aplicação do forjamento em matriz é indicada para volumes consideráveis de produção devido ao custo de fabricação das matrizes. Outro fator importante é a quantidade de material utilizada, pois essa deve ser dimensionada de forma a permitir o completo preenchimento da matriz. Pela dificuldade em se dimensionar essa quantidade, torna-se corriqueiro trabalhar com material sobressalente, sendo que esse excesso é absorvido pela área prevista no desenho da matriz para acúmulo de rebarba. Sendo que essa rebarba é removida em operações posteriores (FILHO et al., 2011).

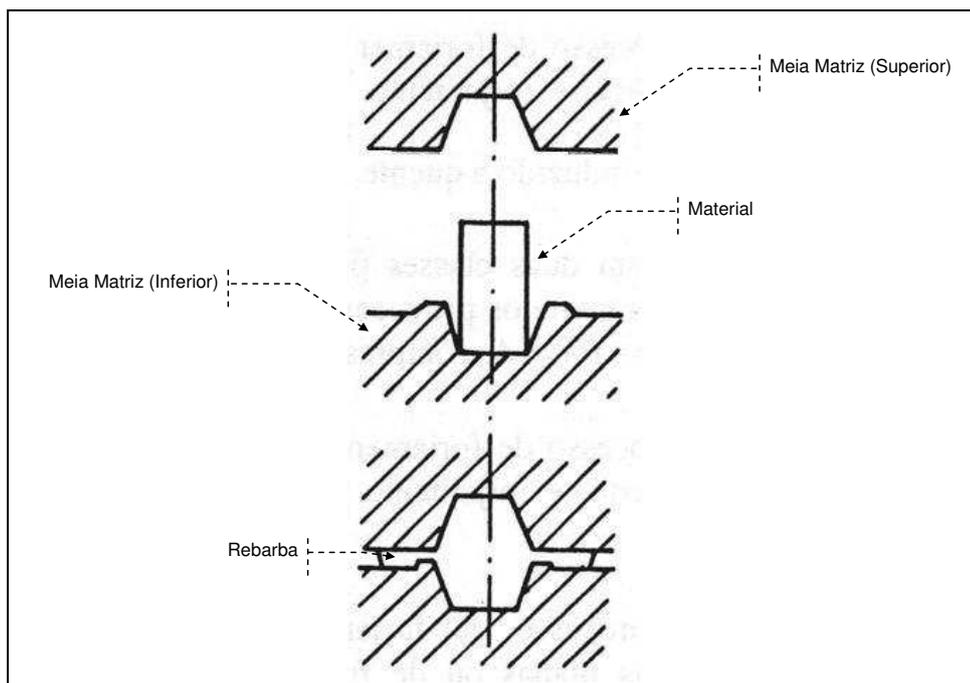


Figura 6 - Forjamento em Matriz.
Fonte: Modificado de Filho (2011 e p. 78)

Um processo convencional de forjamento pode ser composto por uma série de passos característicos, sendo que os principais são: i) corte do material, ii) aquecimento, iii) forjamento livre e/ou forjamento em matriz, em uma única etapa ou em mais, iv) remoção de rebarba, e v) tratamento térmico (FILHO et al., 2011).

3.1.2 - Prensas de Forjamento

Entre os vários tipos de prensas para forjamento, os modelos de prensa hidráulica e de prensa excêntrica serão abordados neste tópico.

As prensas hidráulicas verticais, dotadas de cilindro em sua parte superior, são recomendadas para o forjamento de peças com grande porte por terem a capacidade de aplicar pressão uniforme, por meio de seu martelo, a uma velocidade de deformação praticamente constante. Nesse tipo de equipamento a capacidade de realizar operação de forjamento está diretamente vinculada a sua capacidade

máxima de carga especificada (FILHO et al., 2011). Um exemplo de prensa hidráulica para aplicação industrial é apresentado na Figura 7, incluindo seu painel de operação.



Figura 7 - Prensa Hidráulica.

Fonte: Modificado de Prensa Jundiaí (2015 e p.20)

As prensas mecânicas excêntricas são recomendadas para o forjamento de peças de médio e pequeno porte, por conta de sua facilidade de manuseio e também devido ao seu custo relativamente baixo de operação. Esse tipo de equipamento aplica força, sobre o material a ser conformado por meio do martelo regido pela ação de seu eixo excêntrico (FILHO et al., 2011). Um exemplo de uma prensa excêntrica é apresentado na Figura 8, onde se pode visualizar também o seu painel de operação.



Figura 8 - Prensa Excêntrica.

Fonte: Modificado de Prensa Jundiaí (2015 e p.6)

3.2 - Sensores

O sistema sensor tem a função de responder a um estímulo e convertê-lo em sinal elétrico que possa ser entendido pelo circuito ao qual ele está conectado. Esse sinal de saída do sensor pode ser gerado em forma de tensão ou corrente elétrica (MAZZAROPPI, 2007).

Os sistemas sensores podem ser interpretados como um tipo de transdutor, pois são componentes capazes de converter um tipo de energia em outra. No caso específico dos sistemas sensores, um tipo de energia é convertido em energia elétrica (PATSKO, 2006).

Entre os sistemas sensores eletrônicos existentes podem ser destacados dois tipos: os sensores digitais e os sensores analógicos (PATSKO, 2006).

Os sensores analógicos são baseados em sinais que podem assumir diferentes valores intermediários, entre dois valores específicos, como por exemplo tensão, corrente etc. Dessa forma para cada nível de condição medida, há uma resposta correspondente. Um exemplo de sensor analógico é o LDR (*Light Dependent Resistor* - Resistor Dependente de Luz), o qual é apresentado na Figura 9, sendo que nesse a resistência se altera conforme a condição de incidência de luminosidade (PATSKO, 2006).

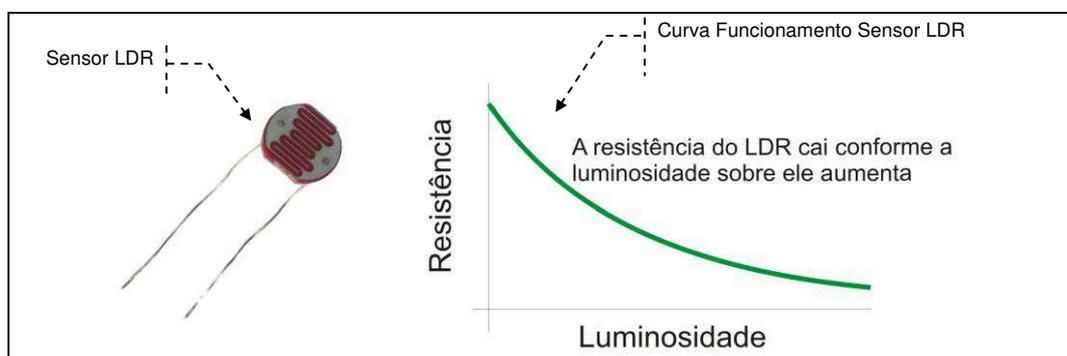


Figura 9 – Sensor analógico LDR.

Fonte: Modificado de Patsko (2006 e p. 2)

Os sensores digitais possuem princípio de funcionamento fundamentado em sinais digitais, que são sinais claramente definidos, podendo ser interpretados como níveis elétricos de tensão Alto ou Baixo. Esses sensores utilizam lógica binária, e seus valores podem assumir, apenas, dois estados determinados. Um exemplo de sensor digital é um par óptico, apresentado na Figura 10, que é formado por um emissor e um receptor de feixe infravermelho, no qual se tem um nível de tensão baixo quando o feixe atinge o receptor, e um nível de tensão alto quando há alguma interrupção da passagem do feixe (PATSKO, 2006).



Figura 10 – Sensor digital por Par Óptico.

Fonte: Modificado de Patsko (2006 e p. 3)

Os sistemas sensores de presença e os de movimento figuram entre os mais usados na indústria. Sendo que os sistemas sensores de presença são capazes de detectar a presença de pessoas ou objetos na área a ser monitorada. Enquanto que o sistema sensor de movimento é capaz de detectar unicamente o movimento de objetos ou pessoas (MAZZAROPPI, 2007).

3.2.1- Sensores Ópticos

Sensores ópticos são sensores cujo funcionamento está fundamentado na emissão de um feixe de luz, em direção a um elemento fotossensível. Nesses sensores a interrupção ou incidência do feixe de luz, gerado pelo emissor, sobre um elemento fotorreceptor provoca um chaveamento eletrônico. O feixe de luz, em questão, é tipicamente proveniente da emissão de onda eletromagnética na faixa infravermelha. Um exemplo de sensor óptico é apresentado na Figura 11 (WEG, 2014).

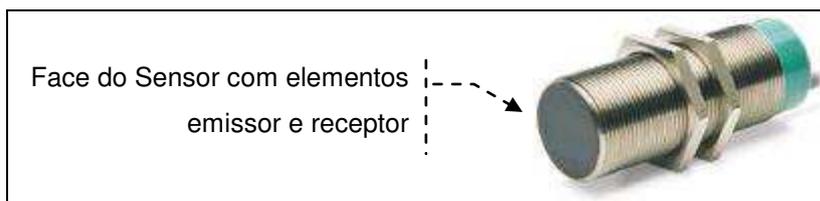


Figura 11 - Sensor Óptico Difuso.

Fonte: Modificado de WEG (2014 e p. 26)

As principais vantagens do sensor óptico estão concentradas na simplicidade, potencial capacidade de aplicação em distâncias relativamente longas, e insensibilidade à presença de campos magnéticos e interferências eletrostáticas (MAZZAROPPI, 2007).

Entre os modelos de sensores ópticos tem-se o sistema por barreira, o sistema reflexivo, o sistema por difusão e o sistema por difração (WEG, 2014).

O diagrama de blocos típico para o sistema por barreira é apresentado na Figura 12, sendo que esse é formado por dois módulos ópticos alinhados, no qual o dispositivo emissor de luz é posicionado com visada para o dispositivo do receptor e mantendo o mesmo alinhamento entre eles (WEG, 2014).

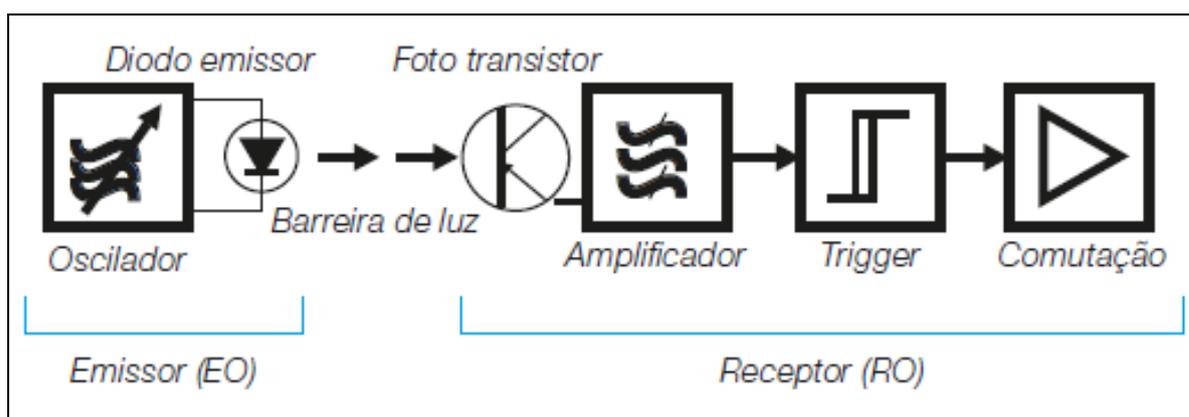


Figura 12 - Diagrama de Blocos Típico para o Sistema Óptico por Barreira.

Fonte: WEG (2014 e p. 25)

O sistema reflexivo é constituído pelo dispositivo emissor de luz e receptor instalados no mesmo conjunto, nesse sistema o feixe de luz gerado atinge uma superfície com propriedade refletora, fazendo com que esse retorne para a origem

sensibilizando o receptor, que está montado ao lado do emissor, o diagrama de bloco desse sistema é apresentado na Figura 13 (WEG, 2014).

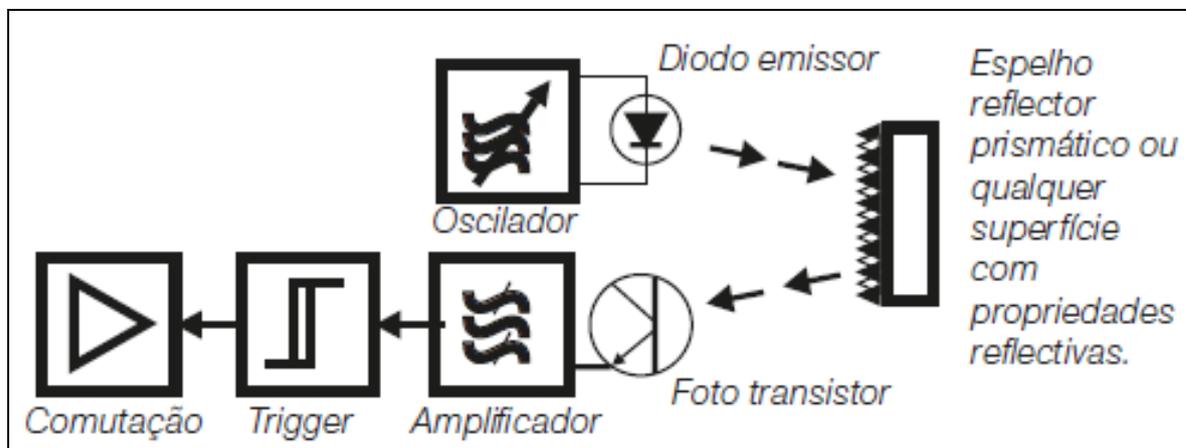


Figura 13 - Diagrama de Blocos Sistema Óptico Reflexivo.

Fonte: WEG (2014 e p. 25)

No sistema por difusão os dispositivos de emissão e recepção de luz estão montados um ao lado do outro, no mesmo conjunto óptico. Nesse sistema, os raios infravermelhos gerados pelo transmissor atingem a superfície de um objeto, e retornam ao receptor, como apresentado no diagrama de bloco da Figura 14 (WEG, 2014).

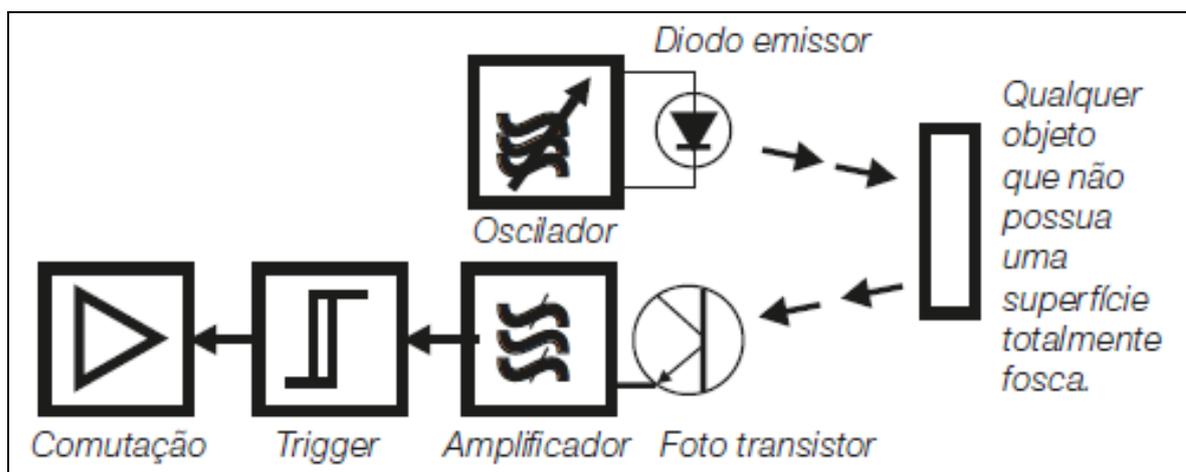


Figura 14 - Diagrama de Blocos Sistema Óptico por Difusão.

Fonte: WEG (2014 e p. 25)

O diagrama de bloco da Figura 15 apresenta o sistema por difração, no qual os dispositivos de emissão e recepção de luz estão montados um ao lado do outro no mesmo conjunto óptico, sendo esses dispositivos direcionados para um prisma cristalino. Nesse sistema, as ondas eletromagnéticas na faixa infravermelha geradas pelo emissor atingem o prisma de onde são direcionados para o receptor. Ao mergulhar esse prisma em algum líquido translúcido ocorre a dispersão dos raios infravermelhos, fazendo com que esses se desviem de sua trajetória convencional provocando uma comutação eletrônica (WEG, 2014).

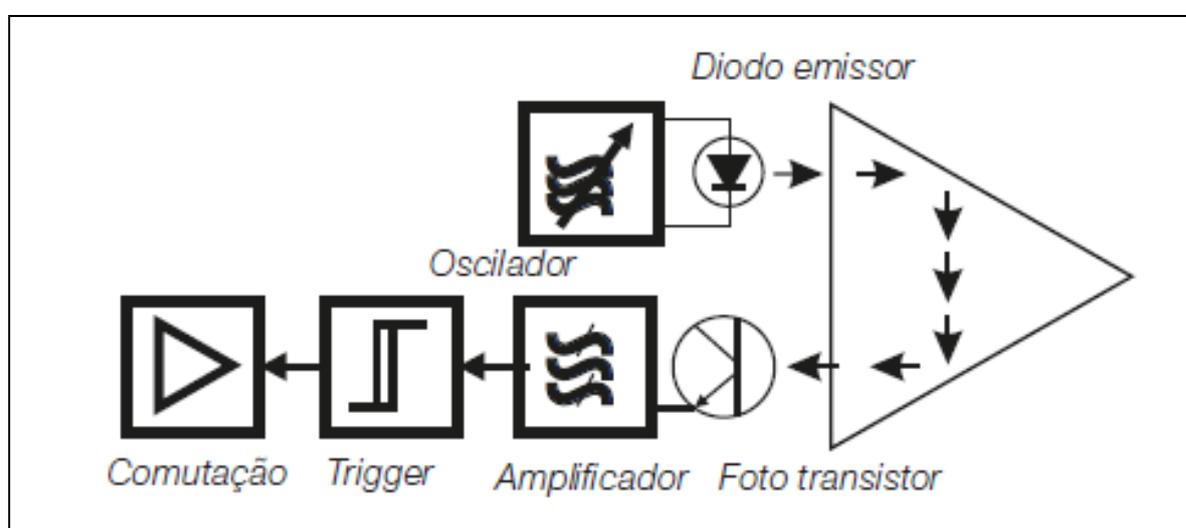


Figura 15 - Diagrama de Blocos Sistema Óptico por Difração.

Fonte: WEG (2014 e p. 25)

3.3 - Motores Elétricos de Corrente Contínua

O motor elétrico é uma máquina desenvolvida para transformar energia elétrica em energia mecânica rotativa. Dentre os tipos de motores existentes, estão os de corrente contínua que são utilizados em aplicações nas quais há a necessidade de partir o motor com toda a carga (ELETROBRÁS, 2009).

O motor elétrico de corrente contínua utiliza uma fonte de energia elétrica contínua para o seu funcionamento. A fonte de energia elétrica contínua aplicada ao motor energiza os seus enrolamentos, gerando pólos eletromagnéticos que produzirão força magnetomotriz² (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

A aplicação do motor de corrente contínua é indicada principalmente para os casos em que é indispensável o controle de velocidade mantendo o torque em níveis consideráveis (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

Referente à construção do motor de corrente contínua (CC), as partes mais destacadas são: i) Estator, ii) Armadura, iii) Comutador, e iv) Escovas (Nascimento Junior, 2006). A Figura 16 apresenta o esquema simplificado do motor de corrente contínua (CC).

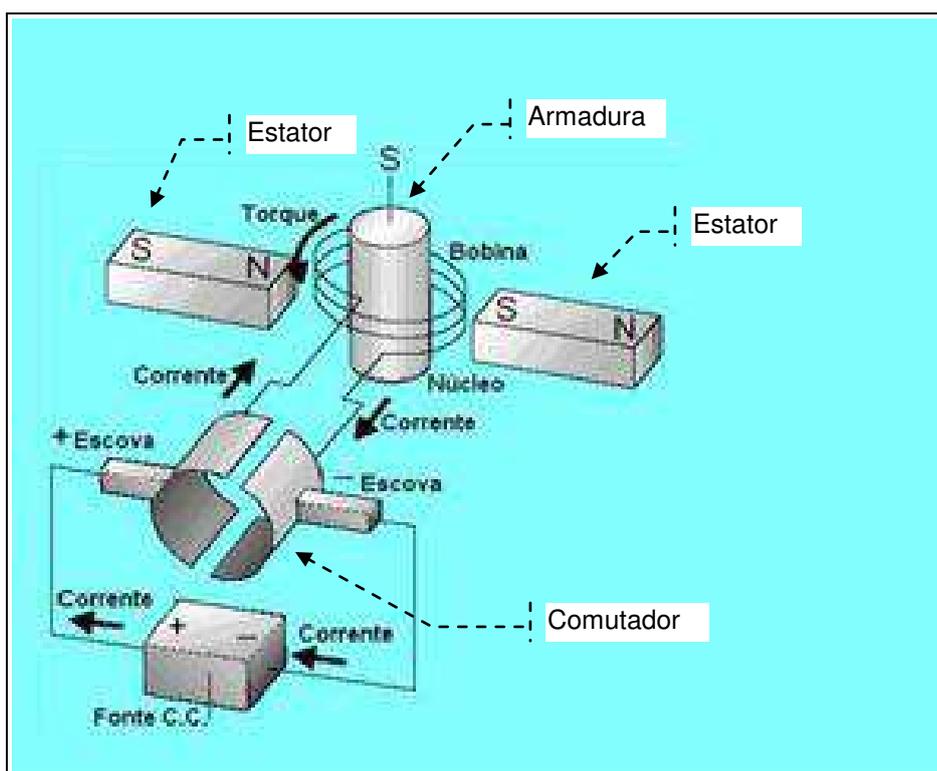


Figura 16 - Esquema Simplificado de Motor CC.

Fonte: Adaptado de Honda (2006 e p. 6)

² Força Magnetomotriz - força capaz de produzir fluxo magnético entre dois pontos em um circuito magnético.

O estator constitui a parte fixa do motor a qual também pode ser denominado por bobina de campo, montado em volta da armadura, é construído em material ferromagnético³ envolto em enrolamentos, cuja função é gerar campo magnético fixo quando uma corrente contínua é aplicada, interagindo assim com o campo magnético da armadura (ELETROBRÁS, 2009).

A armadura representa a parte rotativa do motor, é formada por um rotor bobinado que tem como função gerar campo magnético quando lhe é aplicada corrente contínua (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

O comutador atua como conversor mecânico, sendo responsável pela transferência de energia às bobinas do rotor (WEG, 2006). Esse realiza a inversão do sentido da corrente durante a rotação, em momento adequado para permitir a manutenção do sentido de giro do rotor (HONDA, 2006).

As escovas são construídas em material condutor e estão em contato físico com o comutador, nesse sentido possuem como função permitir o contato elétrico entre as partes fixa e rotativa do motor (NASCIMENTO JUNIOR, 2006).

3.3.1 - Funcionamento Motor de Corrente Contínua

O funcionamento do motor de corrente contínua (CC) se dá pela reação as forças geradas com a interação entre o campo magnético fixo, e o campo magnético gerado pela corrente que percorre a armadura no rotor, essa reação às forças produz o movimento do rotor. O sentido de rotação do motor está diretamente relacionado aos sentidos do campo magnético fixo, e do campo magnético gerado pela corrente que percorre a armadura. O sentido das forças que agem sobre a armadura é apresentado na Figura 17 (WEG, 2006).

³ Material Ferromagnético - material que se imanta fortemente quando está na presença de um campo magnético.

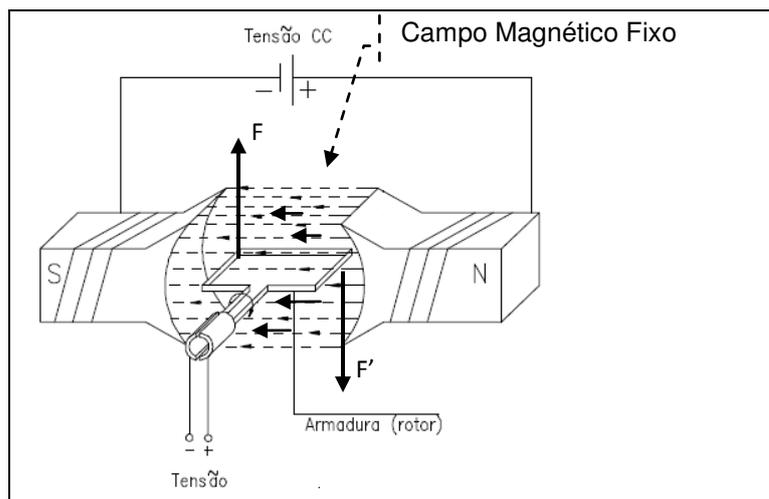


Figura 17 - Forças Atuando sobre Armadura.

Fonte: Adaptado de WEG (2006 e p. 12)

O movimento de rotação da armadura ocorre por conta do fenômeno das forças de atração e repulsão, presentes na interação entre o campo magnético fixo gerado pelo estator, e o campo magnético gerado pela corrente que percorre a armadura (CORREIA, 2014).

3.3.2 - Tipos de Motores de Corrente Contínua

A classificação dos motores de corrente contínua se dá conforme o tipo de excitação de seus campos, onde se tem: i) Motor de ímã permanente, ii) Motor de campo série, iii) Motor de campo paralelo (*shunt*), iv) Motor de excitação independente, e v) Motor composto (*compound*) (ELETROBRÁS, 2009).

O foco da pesquisa deste trabalho se concentra no motor de ímã permanente. Conforme apresentado com mais detalhes, a seguir.

3.3.2.1 - Motor de Imã Permanente

Este motor é formado por imã permanente instalado no estator, e rotor bobinado, que recebe alimentação em corrente contínua, por meio do conjunto escova e comutador (ELETROBRÁS, 2009).

A Figura 18 apresenta elementos típicos de um motor de imã permanente, no qual se pode observar o rotor instalado dentro de um imã permanente, recebendo alimentação em corrente contínua (CC), por meio do comutador (ELETROBRÁS, 2009).

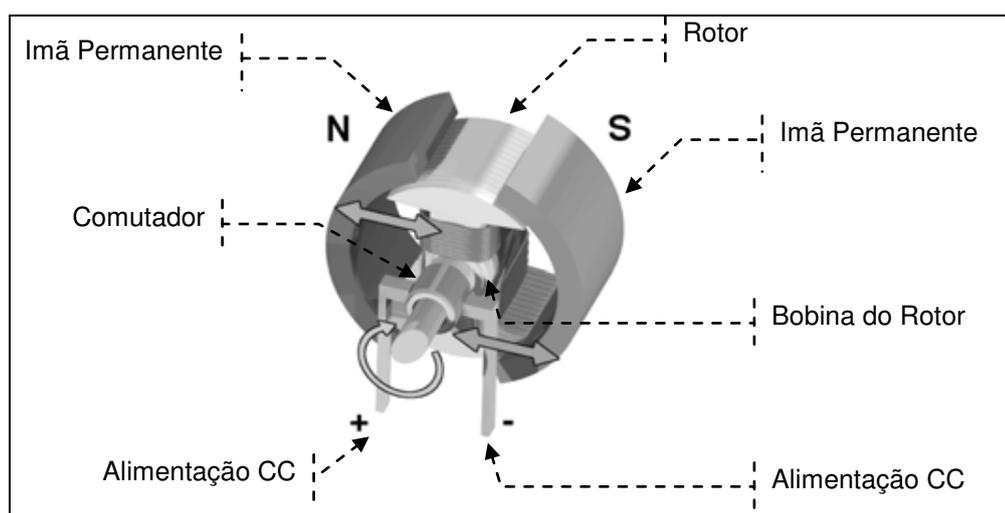


Figura 18 – Elementos Típicos do Motor de Imã Permanente.

Fonte: Adaptado de Eletrobrás (2009 e p. 24)

Os motores de ímã permanente apresentam normalmente a característica de serem de pequena potência. Esse tipo de motor oferece como vantagem a facilidade de variar a sua velocidade por meio da variação da tensão em seus terminais. A desvantagem apresentada por esse tipo de motor está no fato de proporcionar baixa vida útil devido ao atrito e ao faiscamento que ocorre no conjunto escova e comutador (ELETROBRÁS, 2009).

O motor de ímã permanente é empregado em indústrias de brinquedos, do setor automotivo e outras aplicações industriais pertinentes (ELETROBRÁS, 2009).

3.4 - Unidade Microcontrolada Arduino

A unidade Arduino integra o conceito de *hardware Open Source*⁴ ficando disponível para uso e contribuição da sociedade em geral. Essa unidade surgiu na Itália em 2005 como uma forma de auxiliar projetos que requerem dispositivos de controle, oferecendo uma solução menos onerosa para esse fim, quando comparado a outras soluções existentes no mercado (BARROS, 2012).

O Arduino permite desenvolver projetos para interação com iluminação, áudio, toque e movimentos. Nesse sentido, tem sido utilizado para uma variada gama de aplicações como robôs e outras relacionadas (MARGOLIS, 2011).

Plataformas de computação física são formadas por sistemas digitais conectados a sensores e atuadores, viabilizando a construção de sistemas capazes de reconhecer a realidade a sua volta, respondendo a esses estímulos com ações físicas. Nesse contexto, a unidade Arduino pode integrar essas plataformas, sendo formado por placa de entrada e saída microcontrolada, que permite realizar programação em linguagem de alto nível baseada em códigos C/C++. A unidade Arduino admite a implementação de projetos interativos *stand-alone*⁵ ou conectados ao computador (BARROS, 2012).

O Arduino pode ser considerado um pequeno computador onde é possível programar o processamento de entradas e saídas conectadas a componentes externos. Sendo um sistema capaz de interagir com o ambiente onde está inserido por meio de *hardware* e *software*. (MCROBERTS, 2011).

A Figura 19 apresenta uma placa microcontrolada denominada Arduino MEGA conectada a LEDs.

⁴ *Open Source* – significa fonte aberta, ou seja, um *hardware open source* pode ter seu projeto usado de forma livre, para diversos fins.

⁵ *Stand Alone* - qualquer sistema que não precisa estar conectado a outro para funcionar.

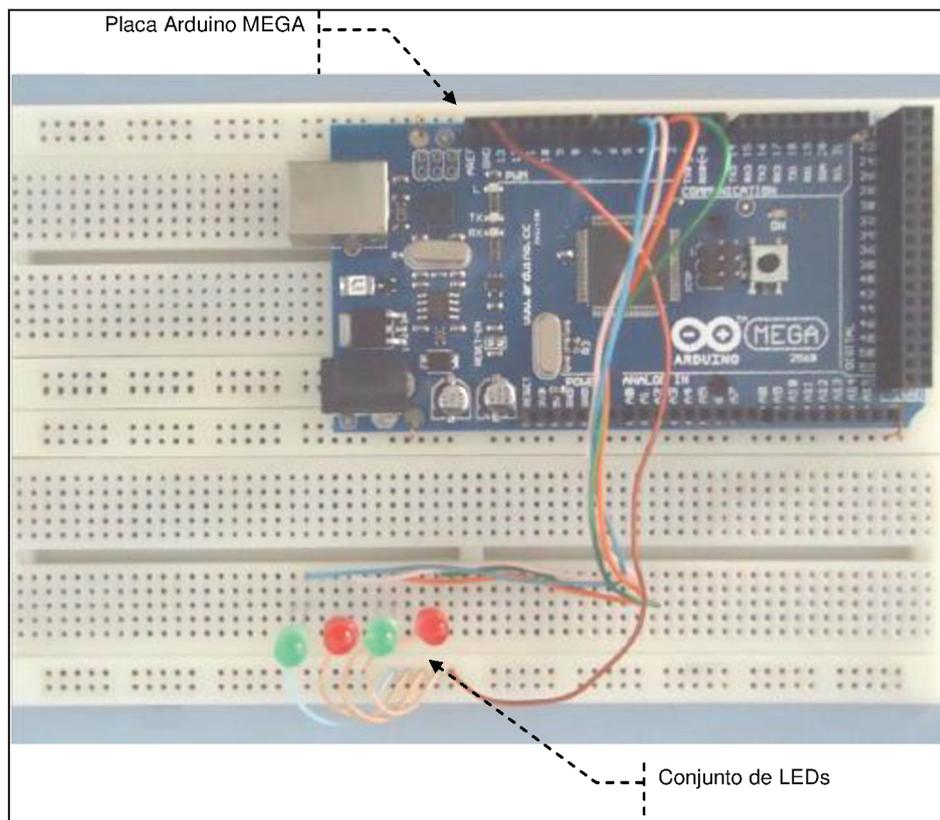


Figura 19 - Arduino Mega Conectado a LEDs.

Fonte: Adaptado de Barros (2012 e p. 32)

3.4.1 - Programação da Unidade Arduino

A programação das placas Arduino é realizada por meio de um IDE (*Integrated Development Environment* - Ambiente de Desenvolvimento Integrado). O IDE possui os recursos necessários para escrita, edição, compilação, envio e carregamento de programas nas placas Arduino (MARGOLIS, 2011).

A Figura 20 apresenta o leiaute do IDE de programação das placas Arduino, na qual a programação é realizada em linguagem de alto nível baseada em códigos C/C++. Nessa figura é possível identificar áreas relacionadas com: i) menu de opções que permite entre outras funções a abertura, edição, elaboração, compilação e carregamento de programas, ii) área de edição de programa é utilizada para inserir

códigos de programa, e iii) indicação de estado e mensagens de erro para apresentação de informações sobre compilação, carregamento de programa e mensagens de erro (MARGOLIS, 2011).

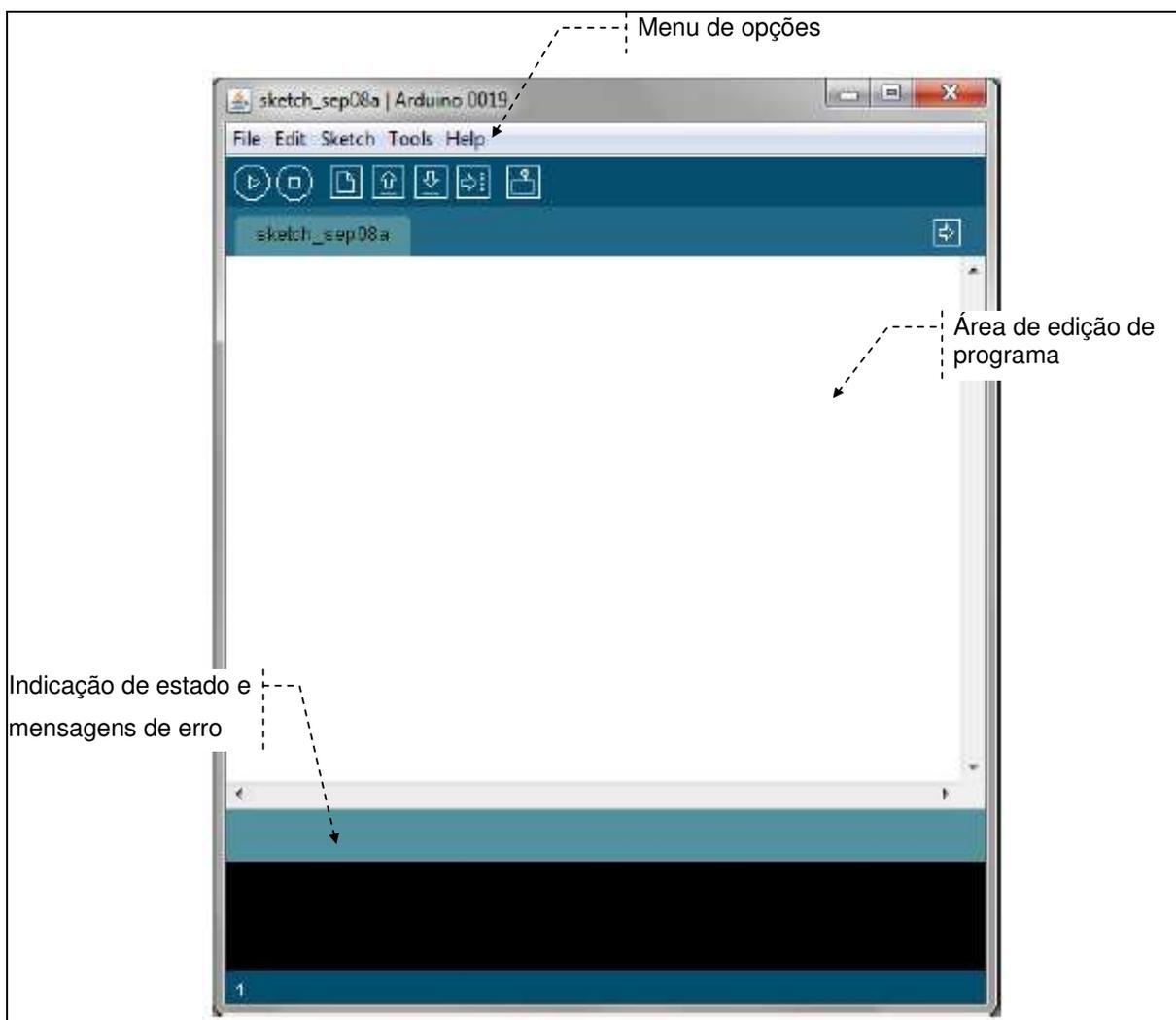


Figura 20 - Janela Principal IDE Arduino.

Fonte: Modificado de Margolis (2011 e p. 5)

3.4.2 - Acionamento de Motor de Corrente Contínua com Arduino

O acionamento de um motor de corrente contínua (CC) com Arduino pode ser realizado com o uso de circuito integrado dedicado a esse fim, como por exemplo, o modelo L293D, por meio desse circuito integrado é possível controlar o sentido de rotação do motor (MCROBERTS, 2011).

O circuito integrado L293D é um circuito denominado como Ponte H (MCROBERTS, 2011), cujo esquema simplificado é apresentado na Figura 21.

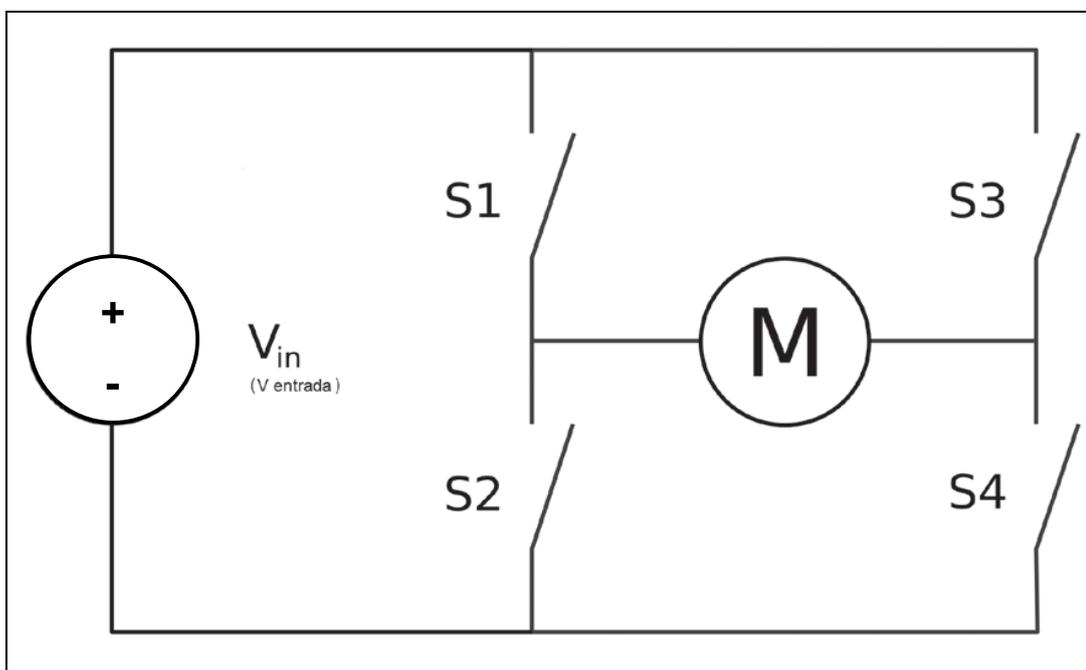


Figura 21 - Ponte H com interruptores.

Fonte: Modificado de McRoberts (2011 e p. 130)

A Figura 22 apresenta o modo de funcionamento de uma ponte H, sendo que na Figura 22(a) podem ser visualizadas as chaves S1 e S4 fechadas e as chaves S2 e S3 abertas, permitindo à corrente fluir da esquerda para a direita, fazendo com que o eixo do motor gire em um sentido específico. Na Figura 22(b), as chaves S1 e S4 estão abertas e as chaves S2 e S3 estão fechadas, invertendo o sentido da corrente

fazendo com que o eixo do motor gire em sentido inverso ao estado anterior (MCROBERTS, 2011).

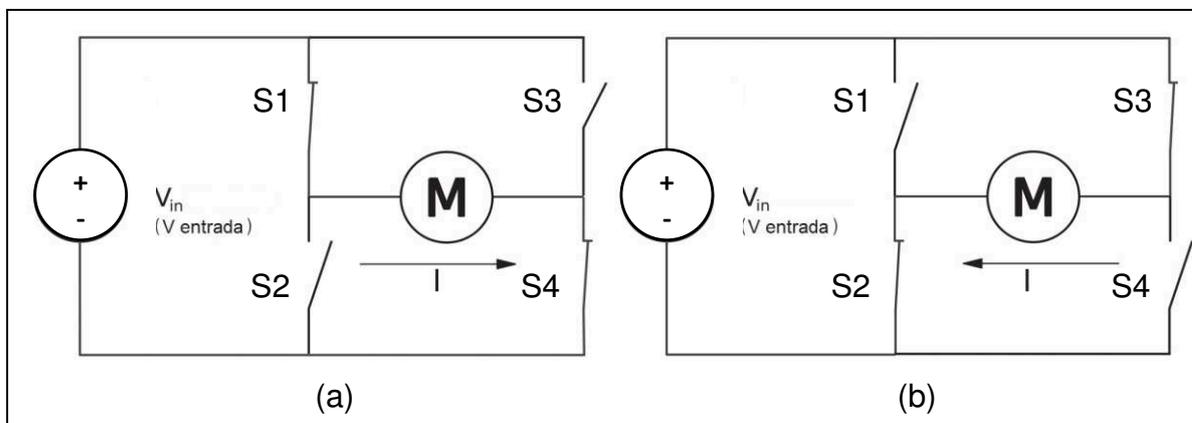


Figura 22 - Funcionamento circuito ponte H.

Fonte: Modificado de McRoberts (2011 e p. 130)

3.5 - Sistema Supervisório

O Sistema Supervisório pode ser entendido como um sistema capaz de supervisionar e/ou monitorar processos realizados em uma indústria, por meio da leitura de variáveis existentes no processo da planta automatizada, e pela tomada de decisões e realização de ações sobre o sistema de automação. Tais sistemas são geralmente utilizados com o objetivo de permitir a identificação de potenciais falhas em componentes da planta ou processo antes que essas venham efetivamente a ocorrer (JURIZATO E PEREIRA, 2003).

O sistema supervisório viabiliza a operação e visualização dos processos industriais por meio de interfaces gráficas que podem ser desenvolvidas para variados tipos de aplicações industriais, adequando-se ao tamanho da planta automatizada (JURIZATO E PEREIRA, 2003).

Por meio do sistema supervisório o operador do processo é capaz de interagir com a planta automatizada, visualizando informações de processo coletadas pelos

equipamentos em campo, atuando sobre o processo e gerando relatórios. Sendo o sistema supervisor apto, também, a agir de forma automática sobre o processo automatizado (CAVALCANTI, 2008).

Os sistemas supervisórios monitoram e rastreiam informações do processo industrial automatizado. Os dados do processo são obtidos por meio de equipamentos apropriados para aquisição de dados, sendo esses dados interpretados, processados, avaliados, arquivados e apresentados ao operador do processo e/ou outros usuários interessados no mesmo. Os sistemas supervisórios são também denominados por SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition – Supervisão Controle e Aquisição de Dados*) (SILVA E SALVADOR, 2005).

Os sistemas de automação industrial recentes fazem uso de tecnologias de computação e comunicação de dados, como forma de tornar automática a visualização de informações e controle de processos industriais. Adquirindo dados em ambientes complexos, onde os equipamentos e dispositivos podem estar dispostos geograficamente distantes uns dos outros, e apresentando as informações do processo de forma simples e funcional aos operadores da planta automatizada, por meio de interfaces gráficas dedicadas (SILVA E SALVADOR, 2005).

Os sistemas SCADA são capazes de monitorar condições de alarme, por meio da avaliação do estado das variáveis de processo dentro dos valores limites definidos previamente como a faixa permitida para atuação. Qualquer variação fora dos limites pré-estabelecidos produzirá a geração de um alarme, com possibilidade de registrar os estados das variáveis em bancos de dados, gerar mensagens na interface gráfica, e avisos sonoros e/ou visuais (SILVA E SALVADOR, 2005).

Os componentes físicos básicos de um sistema de supervisão são apresentados de forma simplificada na Figura 23.

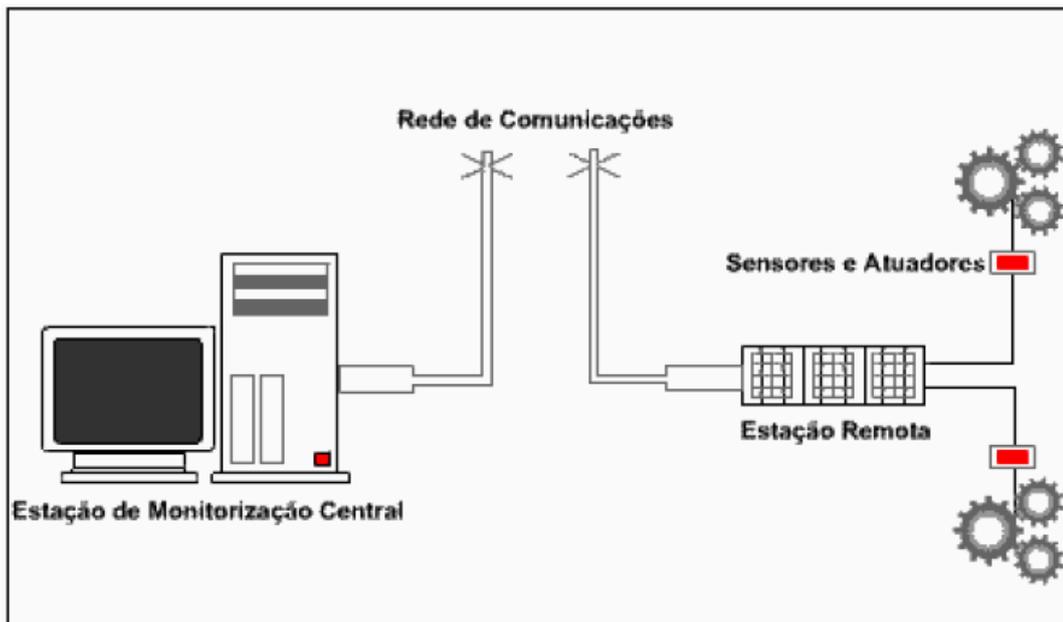


Figura 23 – Componentes físicos básicos de um sistema de supervisão.

Fonte: Silva e Salvador (2005 e p. 3)

A Figura 24 apresenta um exemplo de interface gráfica de um sistema de supervisão.

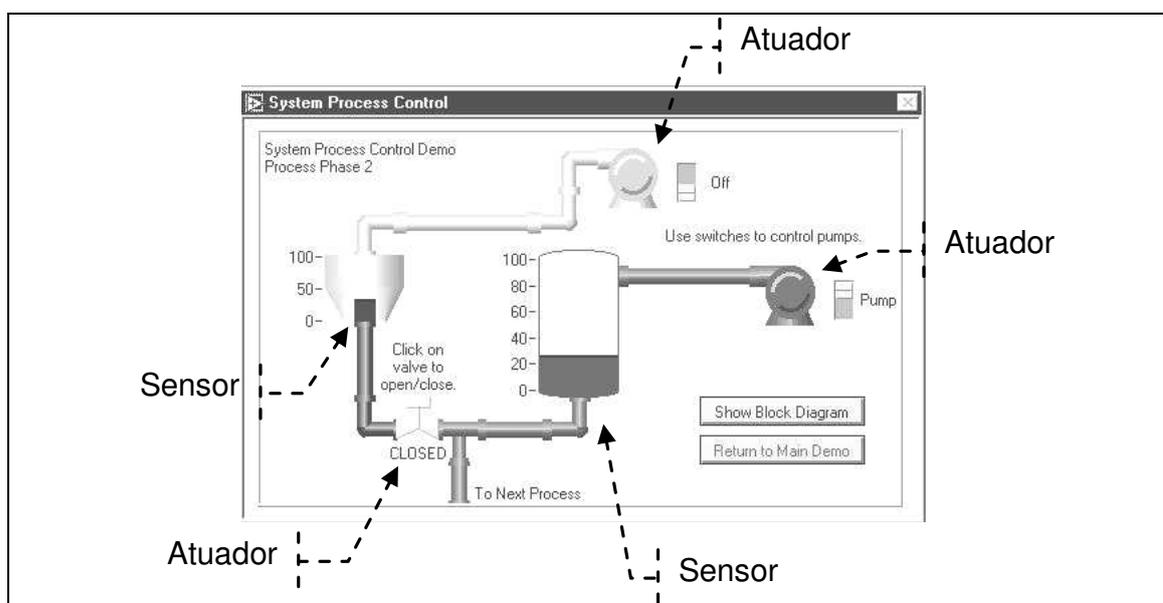


Figura 24 - Exemplo de interface de um sistema de supervisão.

Fonte: Modificado de Jurizato e Pereira (2003 e p.109)

CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta as principais fases utilizadas para a elaboração e validação da proposta de arquitetura que é aplicada em sistema automatizado para gerenciar uso de ferramentas em máquina operatriz. Nesse contexto, também é mostrado o protótipo desenvolvido para validar os componentes previstos nessa arquitetura, o diagrama de ligações adotado, o programa de gerenciamento do sistema, as janelas da interface gráfica e os resultados obtidos na validação dos componentes do protótipo.

4.1 - Requisitos Lógicos e Físicos

Os principais requisitos, físicos e lógicos, que devem ser atendidos pela proposta de arquitetura apresentada neste trabalho para o sistema gerenciar o uso de ferramentas em máquina operatriz estão listados na Tabela 1 e Tabela 2.

A Tabela 1 contém os requisitos lógicos previstos para a mencionada arquitetura proposta, ao passo que a Tabela 2 apresenta os respectivos requisitos físicos. Em ambas as tabelas, a coluna intitulada “Descrição dos Requisitos” contém as principais exigências físicas e lógicas que devem ser atendidas pelos componentes estabelecidos na arquitetura abordada neste trabalho.

Na coluna denominada “Tipo”, quando contiver a indicação “Funcional”, significa que o respectivo requisito compromete diretamente a operação do sistema em questão e quando contiver a indicação “Não Funcional”, essa operação não é afetada.

4.1.1 - Requisitos Lógicos

Os requisitos lógicos previstos para a arquitetura proposta são apresentados na Tabela 1. Nessa tabela a coluna “Item” enumera os dados apresentados, a coluna “Descrição do Requisito” apresenta as necessidades que devem ser atendidas para o funcionamento da arquitetura, e a coluna “Tipo” informa se o item em questão afeta (Funcional) ou não afeta (Não Funcional) o funcionamento do sistema proposto.

Tabela 1 - Requisitos Lógicos.

Item	Descrição do Requisito	Tipo
1	<p>1.1 Possuir interface gráfica, com janela dedicada para atender o setor de Engenharia de Processo da indústria.</p> <p>1.2 Possuir interface gráfica, com janela dedicada para atender a máquina operatriz Prensa.</p> <p>1.3 Possuir interface gráfica, com janela dedicada para atender a Sala de Preparação de Ferramenta da indústria.</p>	Funcional
2	<p>2.1 Permitir parametrização de código de produto, código de ferramentas e seleção de código de produto em fabricação, por meio de recursos estabelecidos nas interfaces gráficas.</p> <p>2.2 Visualizar consumo de ferramentas, e estado de disponibilidade de ferramentas para substituição, por meio de recursos estabelecidos nas interfaces gráficas.</p> <p>2.3 Definir parada planejada para substituição de ferramenta, e estado de troca da ferramenta, por meio de recursos estabelecidos nas interfaces gráficas.</p>	Funcional

Item	Descrição do Requisito	Tipo
3	<p data-bbox="344 349 820 387">Janela Cadastrar Ferramentas:</p> <p data-bbox="344 423 1262 622">3.1 Possuir recurso para cadastro de ferramentas por meio de informações relacionadas com o código do produto a ser manufaturado, código da ferramenta utilizada e vida útil planejada.</p> <p data-bbox="344 658 1262 808">3.2 Permitir salvar informações relacionadas com o código do produto a ser manufaturado, código da ferramenta utilizada e vida útil planejada, em base de dados.</p> <p data-bbox="344 844 1203 882">3.3 Possuir recurso gráfico para visualizar data e hora atual.</p>	Funcional

Item	Descrição do Requisito	Tipo
4	<p>Janela Prensa:</p> <p>4.1 Permitir acesso às funções de seleção de condição da máquina.</p> <p>4.2 Permitir acesso às funções de modo automático, conforme estado de operação da máquina.</p> <p>4.3 Permitir acesso às funções de gerenciamento da vida útil de ferramenta, conforme estado de operação da máquina.</p> <p>4.4 Permitir acesso às funções de modo manual, conforme estado de operação da máquina.</p> <p>4.5 Possuir recurso gráfico para visualizar data e hora atual.</p> <p>4.6 Funções de seleção de condição operacional da máquina:</p> <p>4.6.1 Possuir recurso para seleção do modo de trabalho da máquina, sendo esse modo automático ou modo manual.</p> <p>4.6.2 Possuir recurso gráfico para visualização do modo de trabalho da máquina selecionado, sendo esse modo automático ou modo manual.</p> <p>4.6.3 Possuir recurso gráfico para visualização de estado das condições básicas para funcionamento da máquina, por meio de informação de máquina pronta.</p>	Funcional

Item	Descrição do Requisito	Tipo
	<p>4.7 Funções de Modo Automático:</p> <p>4.7.1 Possuir recurso para ligar ou desligar ciclo de funcionamento da máquina.</p> <p>4.7.2 Possuir recurso gráfico para visualização do estado da condição de ciclo da máquina, sendo esse ligado ou desligado.</p> <p>4.7.3 Possuir recurso gráfico para visualização do estado dos sensores de posição da máquina.</p> <p>4.8 Funções de Gerenciamento de Vida da Ferramenta:</p> <p>4.8.1 Possuir recurso gráfico para visualização do contador de peças produzidas pela ferramenta em uso.</p> <p>4.8.2 Possuir recurso gráfico para indicar previsão de troca de ferramenta.</p> <p>4.8.3 Possuir recurso gráfico para visualização do código da ferramenta em uso.</p> <p>4.8.4 Possuir recurso para sinalizar o momento de substituição de ferramenta na máquina.</p> <p>4.8.5 Possuir recurso para comandar a substituição de ferramenta na máquina quando atingir o seu limite de uso.</p> <p>4.8.6 Possuir recurso para comandar a substituição de ferramenta na máquina quando ocorrer uma quebra prematura da mesma.</p> <p>4.8.7 Possuir recurso para atualizar a informação de disponibilidade de ferramenta na base de dados contida na sala de preparação de ferramenta.</p>	Funcional

Item	Descrição do Requisito	Tipo
	<p>4.9 Funções de Modo Manual:</p> <p>4.9.1 Possuir recurso para referenciar a máquina, colocando-a em condições pré-definidas para permitir o início de funcionamento da mesma, quando essa for colocada em condição automática.</p> <p>4.9.2 Possuir recurso gráfico para visualização de condições de movimentação em modo manual da máquina.</p> <p>4.9.3 Possuir recurso para realizar movimentos independentes em modo manual na máquina.</p>	Funcional

Item	Descrição do Requisito	Tipo
5	<p>Janela Seleção de Ferramentas:</p> <p>5.1 Permitir acesso à base de dados de ferramentas para seleção de ferramenta a ser utilizada na máquina por meio do código do produto.</p> <p>5.2 Possuir recurso para edição de informações relacionadas com Código de Produto, Código de Ferramenta e Vida Útil na base de dados de ferramentas.</p> <p>5.3 Possuir recurso para exclusão de informações relacionadas com Código de Produto, Código de Ferramenta e Vida Útil da base de dados de ferramentas.</p> <p>5.4 Possuir recurso gráfico para visualização do código da ferramenta selecionada.</p> <p>5.5 Possuir recurso gráfico para visualização da vida útil da ferramenta selecionada.</p> <p>5.6 Possuir recurso para confirmação da seleção da ferramenta a ser utilizada na máquina.</p> <p>5.7 Possuir recurso para permitir o registro da quantidade de vida útil e código da ferramenta para o produto selecionado na máquina.</p> <p>5.8 Possuir recurso gráfico para visualizar data e hora atual.</p>	Funcional

Item	Descrição do Requisito	Tipo
6	<p>Janela de Estoque de Ferramentas:</p> <p>6.1 Possuir recurso para visualização da condição atual do estoque de ferramentas, relacionada com código da ferramenta e quantidade em estoque.</p> <p>6.2 Possuir recurso para selecionar modo de acesso à base de dados de ferramentas, sendo esse modo leitura ou modo edição.</p> <p>6.3 Possuir recurso para edição e atualização de base de dados de ferramentas, por meio de informações relacionadas com código de ferramenta e quantidade de ferramentas em estoque, com base em entrada e saída manual de ferramentas da sala de preparação.</p> <p>6.4 Possuir recurso para exclusão de informações relacionadas com Código de Ferramenta e Quantidade em Estoque da base de dados de ferramentas.</p> <p>6.5 Possuir recurso gráfico para visualização do estado do indicador de atualização de base de dados de ferramentas, sendo esse ativo ou inativo.</p> <p>6.6 Possuir recurso gráfico para visualização do estado do indicador de modo de acesso à base de dados de ferramentas, sendo esse modo edição ou modo leitura.</p> <p>6.7 Possuir recurso gráfico para visualizar data e hora atual.</p>	Não Funcional

O mapa mental que sintetiza os requisitos lógicos citados na Tabela 1, está representado na Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28, atendendo as janelas previstas para a interface gráfica que compõe o sistema proposto. Esse mapa mental foi elaborado com os recursos contidos no ambiente integrado de desenvolvimento do aplicativo denominado FreeMind (KUMAR, 2006).

A Figura 25 apresenta o primeiro nível do mapa mental previsto para as janelas da interface gráfica que compõem a arquitetura proposta para gerenciar uso de ferramentas em máquina operatriz.



Figura 25 – Primeiro Nível do Mapa Mental da Interface Gráfica.

Por meio dos recursos contidos na janela Cadastrar Ferramentas contida na Interface Gráfica da Engenharia de Processo, os usuários desse departamento podem realizar o cadastro do código de produto, código de ferramentas e vida útil planejada em uma base de dados, para posterior utilização pelo sistema. Os dados cadastrados servirão de parâmetros para o controle da necessidade de substituição de ferramentas na máquina, e seleção de ferramentas no departamento de Preparação de Ferramenta, como apresentado no mapa mental da Figura 26.

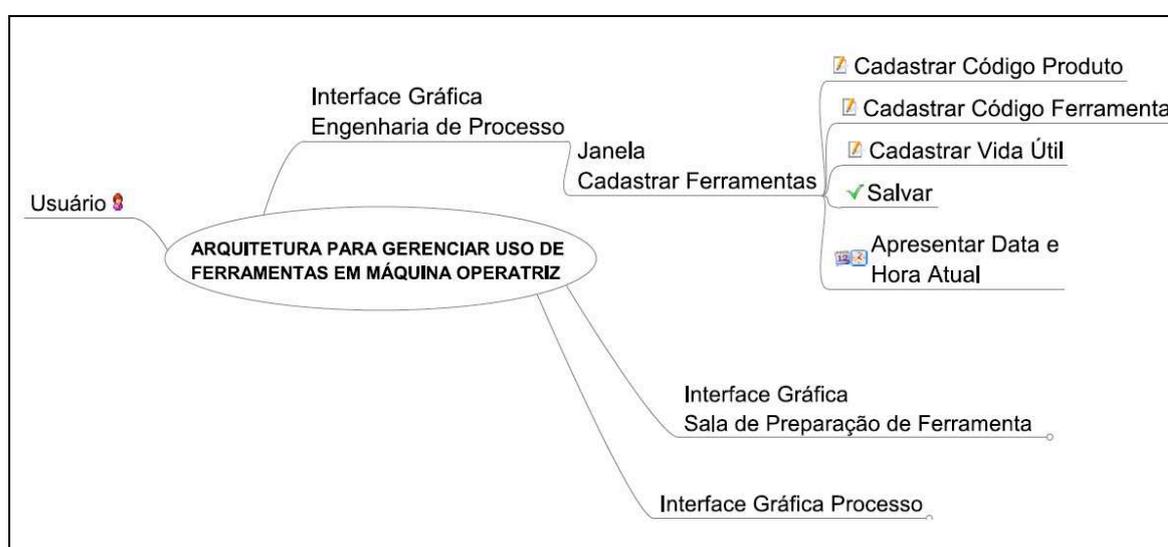


Figura 26 – Mapa Mental da Janela Cadastrar Ferramentas.

No mapa mental da Janela Prensa contida na Interface Gráfica Processo, apresentado na Figura 27, o operador poderá definir os estados de funcionamento da máquina operatriz, sendo que nessa janela estão previstos recursos que permitem ao operador: i) selecionar modo de operação da máquina automático ou manual, ii) ligar ou desligar ciclo de operação da máquina em modo automático, iii) realizar comandos manuais para efetuar movimentos dos atuadores da máquina, iv) monitorar estado de vida útil da ferramenta em uso, v) confirmar a conclusão de ação de substituição de ferramenta, e vi) indicar o momento adequado para substituição de ferramenta.



Figura 27 - Mapa Mental da Janela Prensa.

O mapa mental das janelas contidas na Interface Gráfica da Sala de Preparação de Ferramentas, apresentado na Figura 28, possui recursos que permitem ao usuário: i) visualizar e editar a disponibilidade de ferramenta em estoque, ii) editar dados de ferramentas, e iii) selecionar ferramentas para utilização na máquina operatriz. A quantidade de ferramentas em estoque será atualizada na base de dados, e servirá de referência para o controle de solicitações de compra de novas ferramentas.

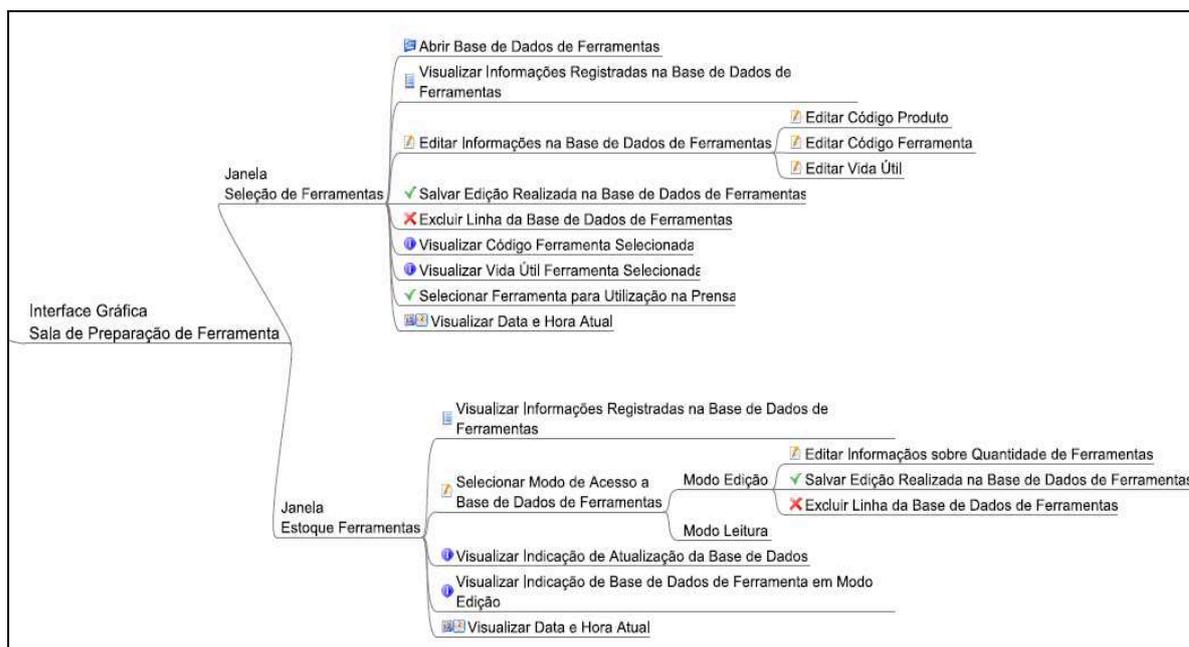


Figura 28 - Mapa Mental das Janelas da Sala Preparação de Ferramentas.

4.1.2 - Requisitos Físicos

Os requisitos físicos previstos para a arquitetura proposta são apresentados na Tabela 2. Nessa tabela a coluna “Item” enumera os dados apresentados, a coluna “Descrição do Requisito” apresenta as necessidades que devem ser atendidas para o funcionamento da arquitetura, e a coluna “Tipo” informa se o item em questão afeta (Funcional) ou não afeta (Não Funcional) o funcionamento do sistema proposto.

Tabela 2 - Requisitos Físicos.

Item	Descrição do Requisito	Tipo
1	<p>A arquitetura deve considerar três camadas para realizar o comando, o controle e a supervisão do sistema da seguinte forma:</p> <p>1.1 A primeira camada deve atender: i) os sensores para identificar os estados de interesse da máquina operatriz, ii) os atuadores para realizar as movimentações previstas na máquina operatriz cujo uso de ferramentas será gerenciado.</p> <p>1.2 A segunda camada deve conter o módulo de aquisição, tratamento e controle dos sinais relacionados com o gerenciamento do uso de ferramentas em máquina operatriz.</p> <p>1.3 A terceira camada deve abrigar as janelas da interface gráfica.</p>	Funcional
2	Possuir meio dedicado e adequado para transferir os sinais elétricos entre os sistemas sensores e atuadores da primeira camada, para a unidade de controle da segunda camada.	Funcional
3	Possuir meio dedicado e adequado para transferir os sinais elétricos entre a unidade de controle da segunda camada e interface gráfica da terceira camada.	Funcional

Item	Descrição do Requisito	Tipo
4	<p>O sistema de controle da segunda camada deverá prever:</p> <p>4.1 Interface física, com entradas e saídas, digitais e analógicas, capaz de atender as necessidades dos atuadores e sensores instalados na máquina operatriz.</p> <p>4.2 Ciclo de processamento compatível com o modo de operação e as frequências dos sinais elétricos presentes nos módulos da arquitetura.</p> <p>4.3 Interface física para atender as amplitudes e frequências dos sinais elétricos que realizam a comunicação de dados com o módulo que aloja a interface gráfica.</p> <p>4.4 Ambiente integrado de desenvolvimento capaz de operar na camada do aplicativo do computador hospedeiro com arquitetura Intel® de 64 bits, possuindo recursos capazes de:</p> <p>4.4.1 Realizar a programação dos passos de algoritmo previsto para atender os requisitos lógicos da arquitetura proposta.</p>	Funcional
5	<p>O computador hospedeiro para a terceira camada deverá possuir:</p> <p>5.1 Arquitetura Intel® de 64 bits.</p> <p>5.2 Meios necessários para alojar na camada do aplicativo, o ambiente integrado de desenvolvimento de um sistema de supervisão dotado de recursos capazes de permitir a elaboração das janelas da interface gráfica que atenderá os usuários.</p> <p>5.3 Interface física capaz de efetuar comunicação de dados com o controlador da segunda camada.</p>	Funcional

4.2 - Arquitetura Proposta

Os blocos básicos previstos na arquitetura proposta neste trabalho para integrar os recursos estabelecidos em cada janela da Interface Gráfica (IG), a fim de efetuar o gerenciamento do uso de ferramentas em prensa excêntrica, são apresentados na Figura 29.

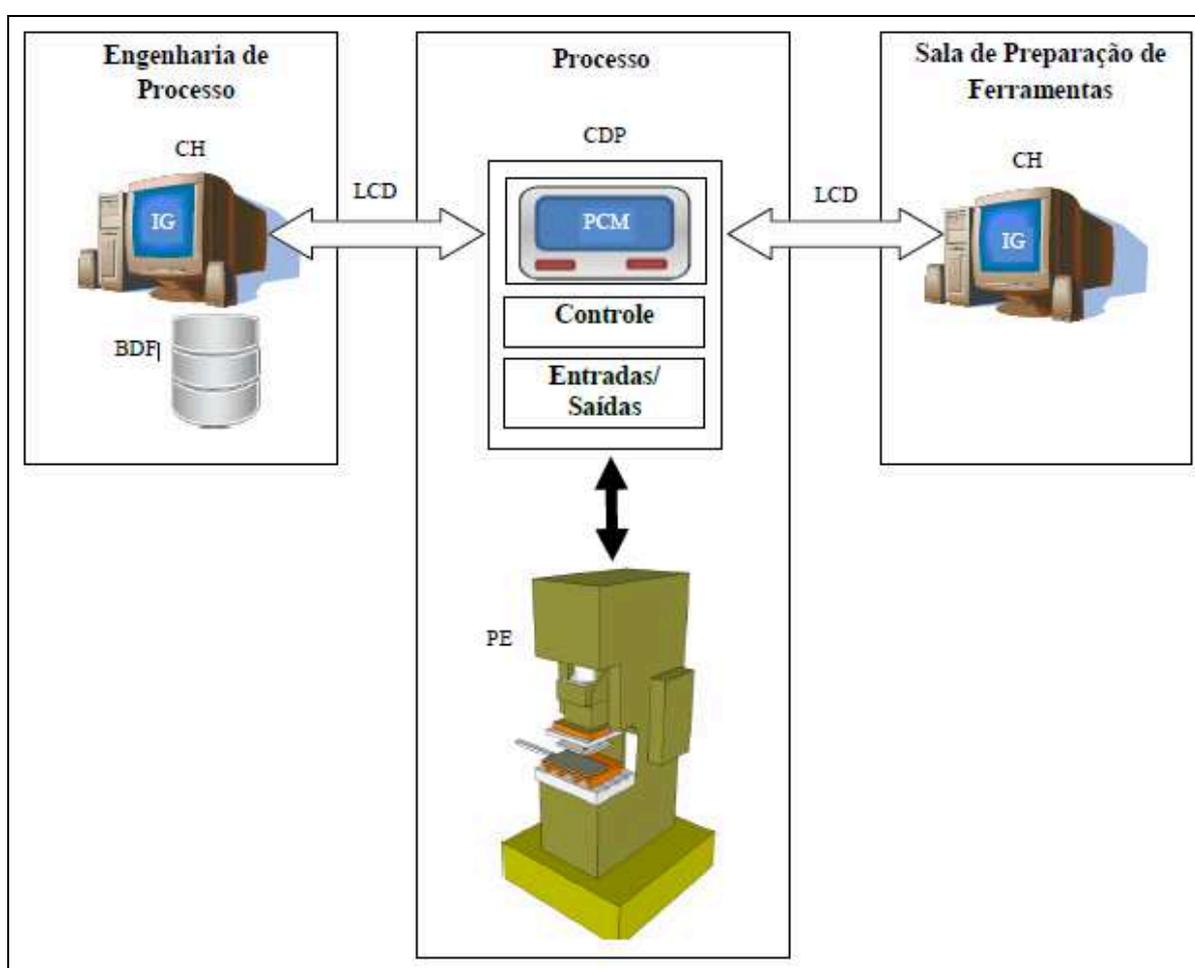


Figura 29 - Arquitetura Proposta.

Fonte: Traduzido de Bizarria et al. (2017, e p 30)

Os acrônimos definidos para os blocos contidos na arquitetura proposta que é mostrada na Figura 29 possuem os seguintes significados:

- CH: Computador Hospedeiro da Engenharia de Processo e Sala de Preparação de Ferramentas.
- IG: Interface Gráfica da Engenharia de Processo e Sala de Preparação de Ferramentas.
- BDF: Base de Dados de Ferramentas.
- LCD: Linha de Comunicação de Dados.
- CDP: Controle Dedicado da Prensa.
- PCM: Painel de Comando e Monitoramento.
- PE: Prensa Excêntrica.

O bloco denominado por Computador Hospedeiro (CH), previsto para o Setor de Engenharia de Processo, tem como principais funções:

- Alojamento, na camada do aplicativo, a janela da Interface Gráfica (IG) que permite ao usuário do sistema efetuar os cadastros dos: i) códigos dos produtos que serão fabricados pela prensa, ii) códigos das ferramentas disponíveis para atenderem os processos, e iii) tempos de vida útil estabelecidos para operações em condições nominais da prensa, em Base de Dados de Ferramentas (BDF).
- Efetuar a comunicação de dados com o Controle Dedicado da Prensa (CDP) e Computador Hospedeiro (CH) da Sala de Preparação de Ferramentas.

O bloco de Controle Dedicado da Prensa (CDP) possui recursos que permitem:

- Executar o algoritmo de controle operacional da Prensa Excêntrica (PE).
- Parametrizar os modos de operação da Prensa Excêntrica (PE).
- Comandar, monitorar e interromper a operação da Prensa Excêntrica (PE), por meio do Painel de Comando e Monitoramento (PCM) local.
- Enviar sinais para comandar os atuadores instalados na estrutura física da Prensa Excêntrica (PE).

- Receber sinais dos sistemas sensores instalados na estrutura física da Prensa Excêntrica (PE).
- Efetuar a comunicação de dados com o Computador Hospedeiro (CH) do Setor de Engenharia de Processo e da Sala de Preparação de Ferramentas.

Os recursos contidos no Computador Hospedeiro (CH) da Sala de Preparação de Ferramentas são direcionados para:

- Alojjar, na camada do aplicativo, a janela da Interface Gráfica (IG) que permite ao usuário efetuar acesso aos registros que estão cadastrados na Base de Dados de Ferramentas (BDF), para obter informações atualizadas sobre as quantidades de ferramentas disponíveis, os códigos dos produtos, códigos das ferramentas, e o tempo de vida útil de cada ferramenta.
- Selecionar e carregar informações específicas, relacionadas com ferramenta, no Controle Dedicado da Prensa (CDP) para ser utilizada no atual processo de fabricação.
- Efetuar a comunicação de dados com o Computador Hospedeiro (CH) do Setor de Engenharia de Processo e Controle Dedicado da Prensa (CDP).

A Linha de Comunicação de Dados (LCD) é o meio físico estabelecido para efetuar a comunicação de dados, de modo bidirecional, com o Computador Hospedeiro (CH) que pertence ao Setor de Engenharia de Processo, Computador Hospedeiro (CH) da Sala de Preparação de Ferramentas, e Controle Dedicado da Prensa (CDP). Cabe mencionar que essa linha prevê separação galvânica e proteção contra as interferências eletromagnéticas.

Na Prensa Excêntrica (PE) deve ser instalada cada ferramenta de produção que deverá ter o seu ciclo de vida monitorado para identificar o momento adequado de efetuar a substituição, a fim de evitar troca prematura ou tardia.

4.3 - Protótipo

Uma vista dos componentes contidos no protótipo que foi montado para avaliar os recursos estabelecidos nas janelas da Interface Gráfica (IG) da arquitetura proposta, a qual é destinada para efetuar o gerenciamento no uso de ferramentas para uma prensa excêntrica industrial, é apresentada na Figura 30. Nesse protótipo foram realizados os testes práticos para validar a eficácia operacional dos blocos da arquitetura proposta neste trabalho, sendo dada especial atenção na elaboração, operação e utilização dos componentes virtuais que estão contidos nas janelas dessa interface gráfica.

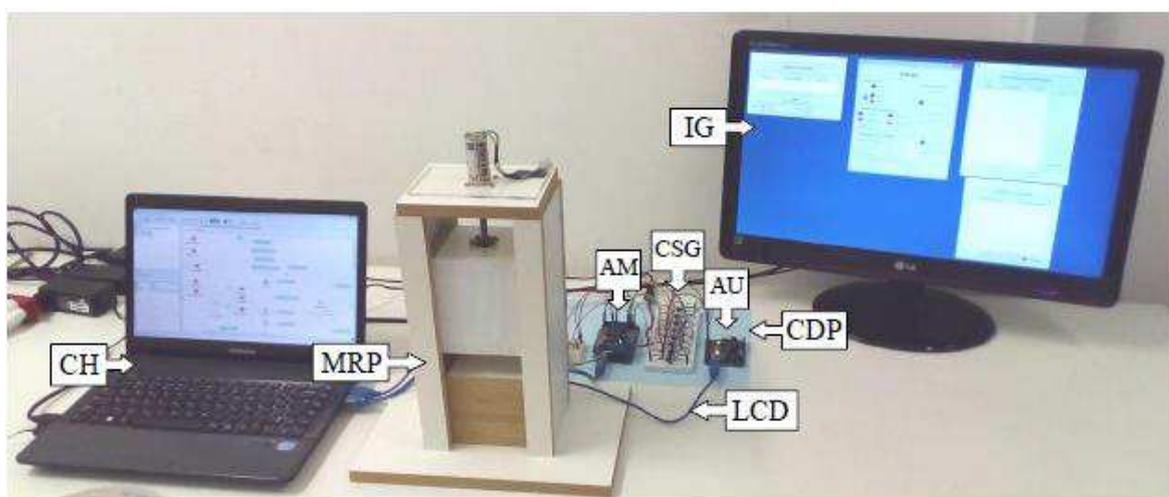


Figura 30 - Componentes do Protótipo.

Fonte: Traduzido de Bizarria et al. (2017, e p 31)

Conforme mostrado na Figura 30, os componentes estabelecidos para o protótipo são:

- Interface Gráfica (IG).
- Computador Hospedeiro (CH).
- Linha de Comunicação de Dados (LCD).
- Controle Dedicado da Prensa (CDP).

- Modelo Representativo de Prensa (MRP).

Cabe mencionar que a quantidade de módulos definidos no protótipo é inferior aquela prevista na arquitetura proposta mostrada na Figura 29, porém essa condição não é limitante para impedir a validação dos recursos virtuais que estão presentes nas janelas da Interface Gráfica (IG) do sistema em questão.

Um Modelo Representativo de Prensa (MRP) é apresentado na Figura 31, esse é dotado de componentes que tem como objetivo representar o funcionamento de uma prensa real. A estrutura do Modelo Representativo de Prensa (MRP) foi construída em madeira, possuindo um bloco móvel que representa o martelo de uma prensa. Por meio de um motor de Corrente Contínua (CC) acoplado a um fuso é possível realizar o movimento de subida e descida do bloco móvel que está preso ao fuso pela castanha. Sensores ópticos, montados na parte traseira do Modelo Representativo de Prensa (MRP), são utilizados para limitar o curso de subida e de descida do bloco móvel.

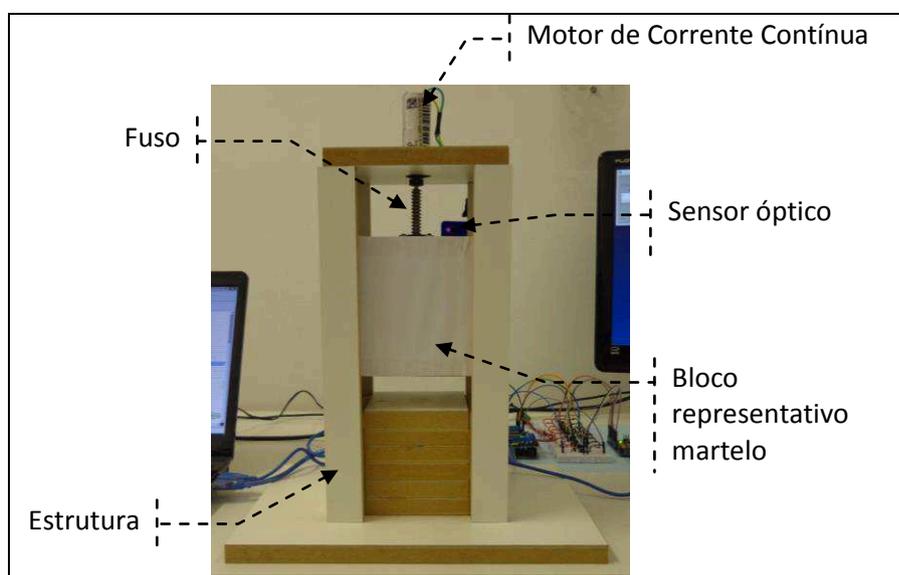


Figura 31 - Detalhes Modelo Representativo de Prensa (MRP).

O Computador Hospedeiro (CH), apresentado na Figura 32, é do tipo portátil (*notebook*), com arquitetura Intel® de 64 bits e sistema operacional Windows 8.1™. Nesse computador, a Interface Gráfica (IG) foi elaborada com os recursos

disponíveis no ambiente integrado de desenvolvimento que é denominado por MyOpenLab, build: 3.0.4.1, sob licença: GNU *general public license* (GUTIÉRREZ, 2013).

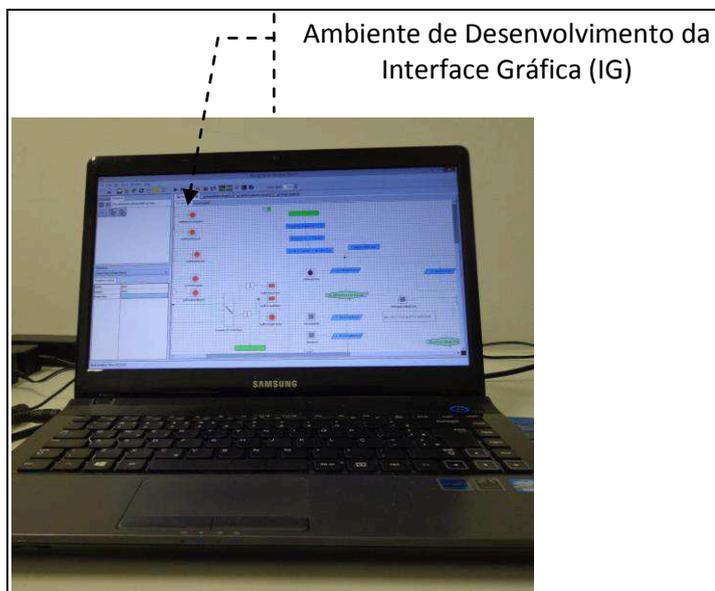


Figura 32 - Computador Hospedeiro (CH).

Na camada física, a Linha de Comunicação de Dados (LCD) adota o padrão EIA (*Electronic Industries Alliance*) 232 e na lógica o protocolo denominado por Firmata (STEINER, 2009).

O Controle Dedicado da Prensa (CDP), apresentado na Figura 33, é composto por: i) unidade microcontrolada (AU) do tipo Arduino UNO (Banzi, 2011), ii) Circuito de Separação Galvânica (CSG), e iii) unidade microcontrolada (AM) do tipo Arduino MEGA 2560 (OXER E BLEMININGS, 2009).

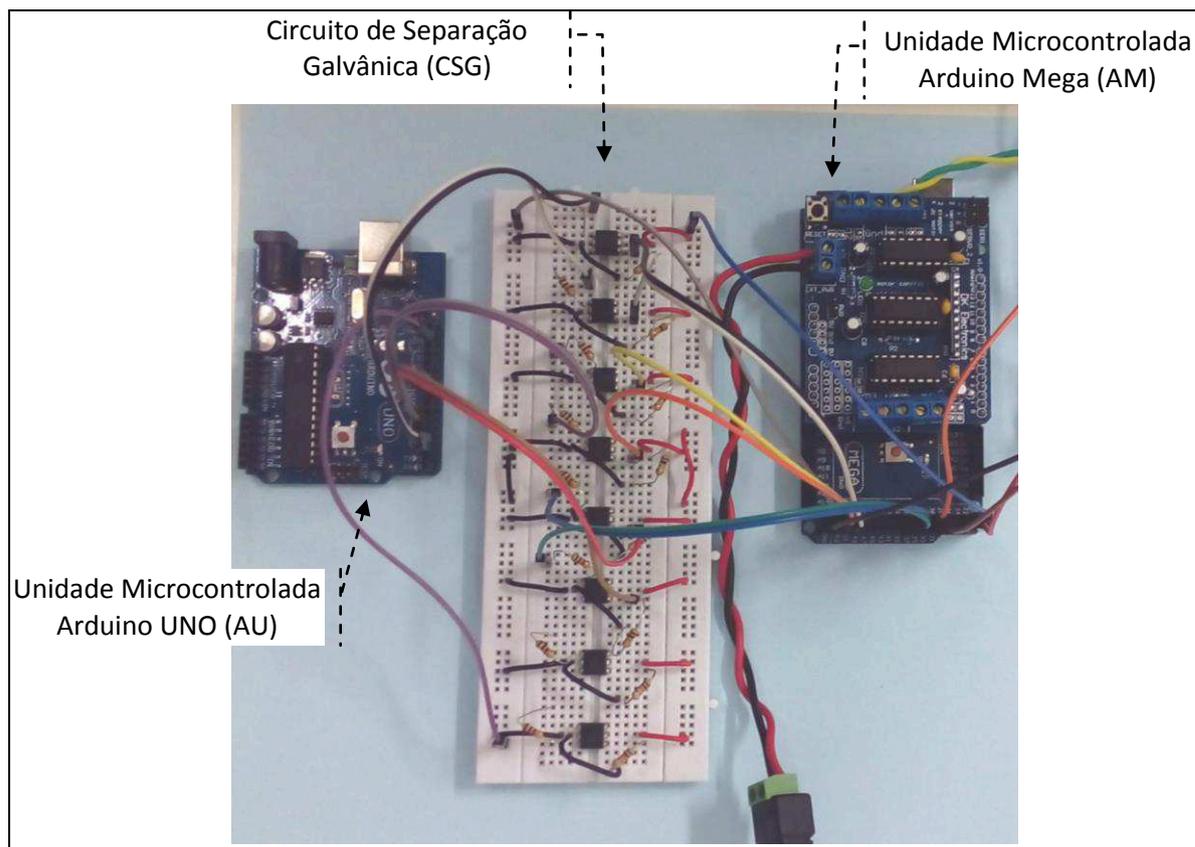


Figura 33 - Controle Dedicado da Prensa (CDP).

A unidade Arduino UNO (AU) realiza a interface de comunicação bidirecional de dados entre o Circuito de Separação Galvânica (CSG) e Computador Hospedeiro (CH), por meio do protocolo Firmata.

O Circuito de Separação Galvânica (CSG) é meio estabelecido para realizar a comunicação bidirecional de sinais elétricos entre a unidade Arduino UNO (AU) e Arduino MEGA 2560 (AM), de modo irradiado. Cabe mencionar que a utilização desse circuito visa minimizar que possíveis incompatibilidades e/ou faltas elétricas de uma unidade afete significativamente a operação da outra.

A Figura 34 apresenta o esquema de ligação do Controle Dedicado da Prensa (CDP) contendo ligação dos sensores da prensa e do Circuito de Separação Galvânica (CSG).

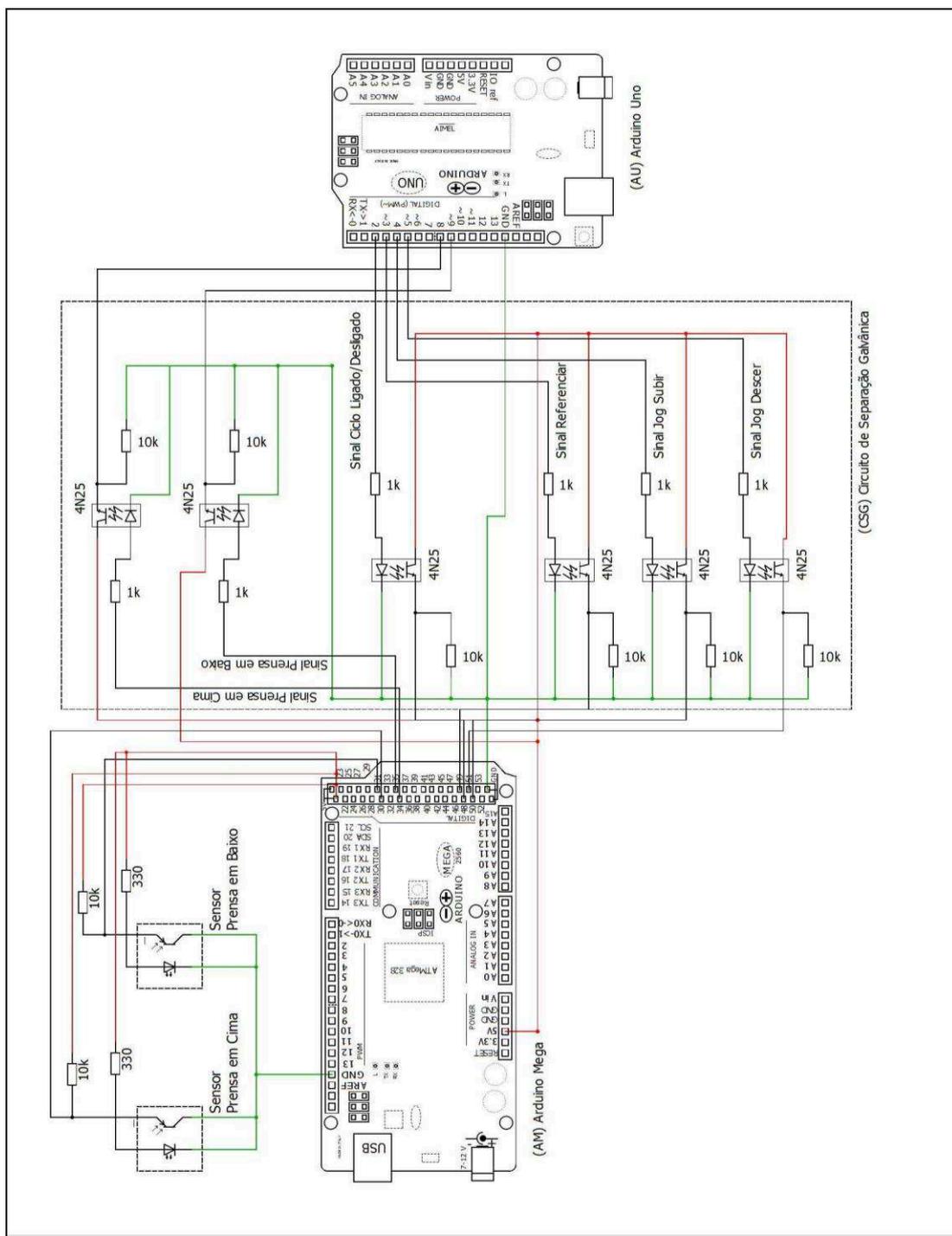


Figura 34 - Esquema Elétrico do Controle Dedicado da Prensa (CDP).

A unidade Arduino MEGA 2560 (AM) tem por finalidade:

- Executar o controle dedicado de operação do Modelo Representativo de Prensa (MRP), a partir dos sinais de comando enviados pelo Circuito de Separação Galvânica (CSG).

- Enviar sinais elétricos relacionados com os estados dos sensores instalados no Modelo Representativo de Prensa (MRP) para o Circuito de Separação Galvânica (CSG).

Essa unidade está equipada com circuito específico para efetuar o controle do motor instalado no aludido modelo, ou seja, o Motor *Shield*⁶ L293D Driver Ponte H (Margolis, 2012). O esquema de ligação do Arduino Motor Shield ao motor de corrente contínua (CC) utilizado para movimentação do martelo do Modelo Representativo da Prensa (MRP) é apresentado na Figura 35.

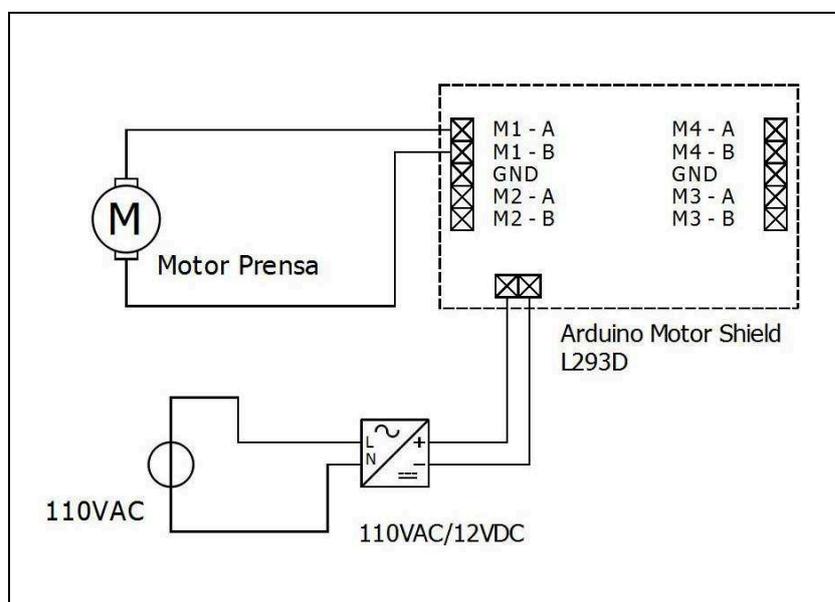


Figura 35 - Esquema de ligação Motor de Corrente Contínua.

⁶ *Shield* - Placa eletrônica, neste caso utilizada para expansão de funções em uma placa Arduino.

4.3.1 - Programa de Gerenciamento

No desenvolvimento do protótipo foi elaborada uma versão do programa que efetua o gerenciamento no uso de ferramentas para uma prensa excêntrica industrial, a fim de avaliar os recursos virtuais que foram estabelecidos para cada janela da Interface Gráfica (IG) da arquitetura proposta. Nesse sentido, o fluxograma analítico que representa uma sequência específica de ações previstas nesse programa de gerenciamento e que foi utilizada na realização dos testes práticos deste trabalho é apresentado na Figura 36.

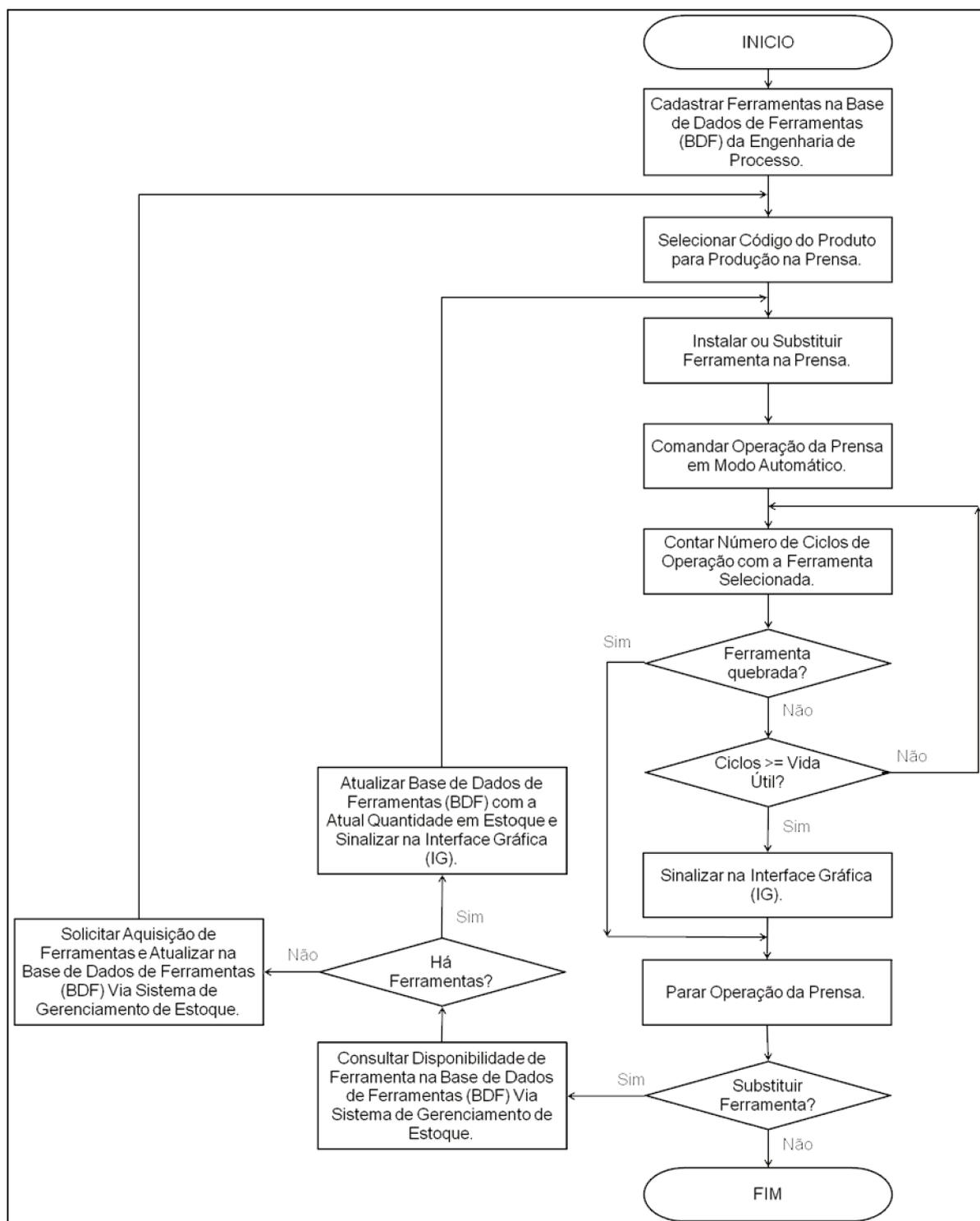


Figura 36 - Fluxograma de Gerenciamento do Sistema.

No fluxograma da Figura 37 está representada a sequência básica que deve ser realizada pelo usuário da Interface Gráfica (IG) desenvolvida para Sala da Engenharia de Processos, para efetuar cadastro de novas ferramentas na Base de Dados de Ferramentas (BDF).

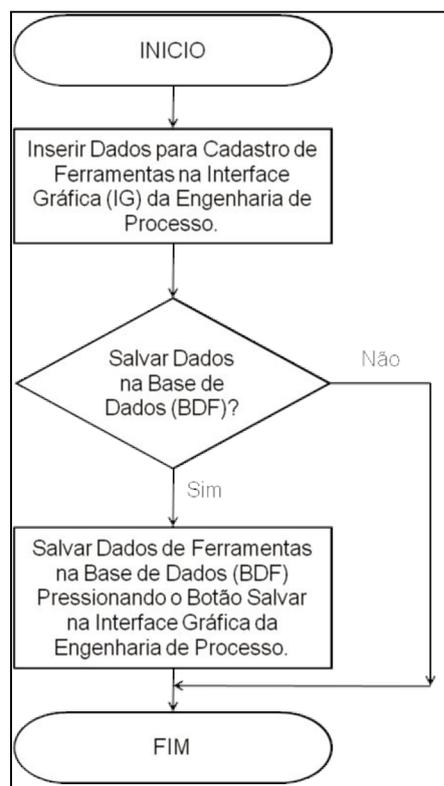


Figura 37 - Fluxograma Janela Cadastrar Ferramentas.

A Figura 38 apresenta o fluxograma para edição e/ou seleção de ferramentas para produção na prensa, por meio dos recursos previstos na Interface Gráfica (IG) desenvolvida para o usuário alocado na Sala de Preparação de Ferramentas.

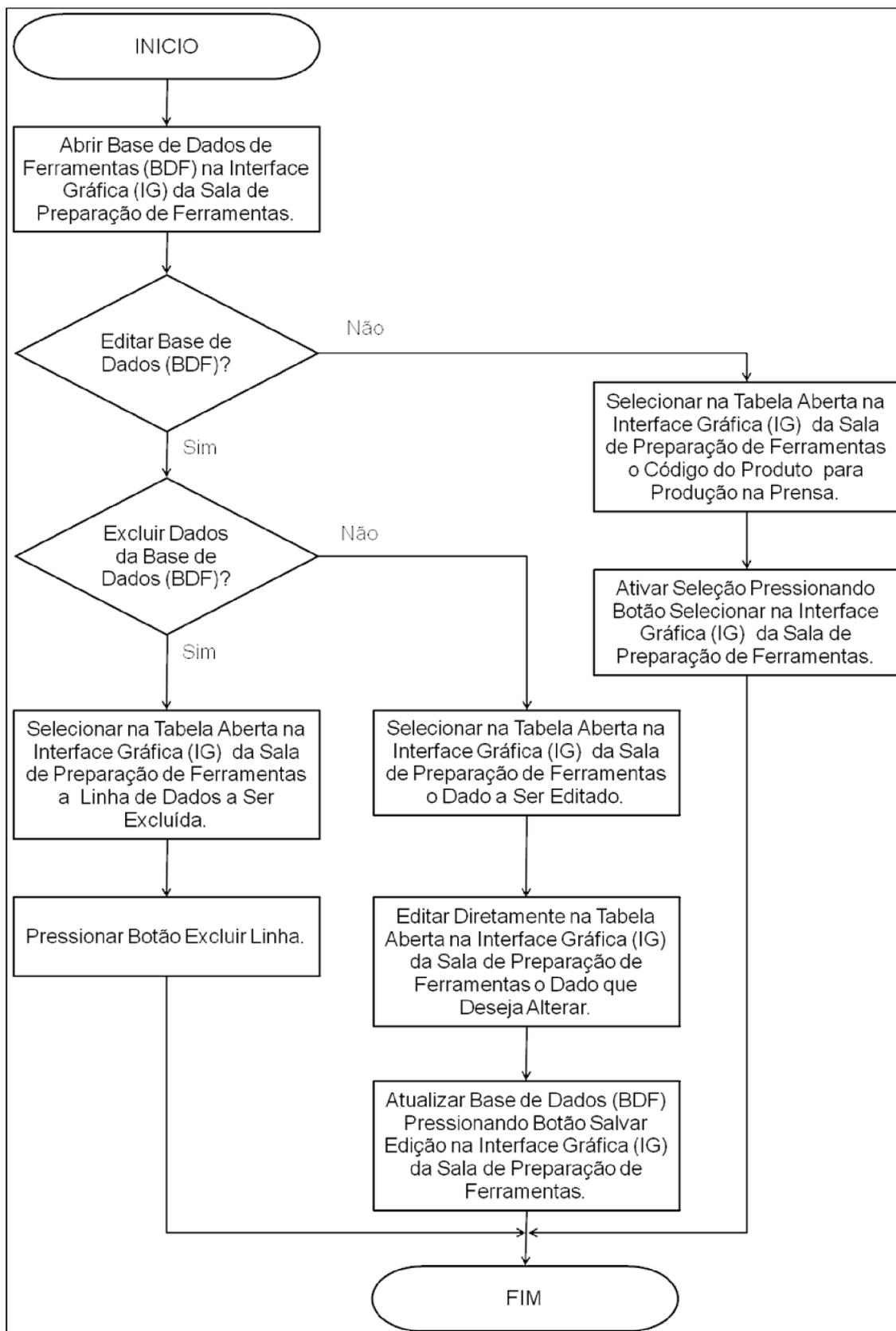


Figura 38 - Fluxograma Janela Seleção de Ferramentas.

O fluxograma da Figura 39, apresenta a sequência que deve ser realizada pelo usuário da Interface Gráfica (IG) desenvolvida para visualização do Estoque de Ferramentas, para edição e/ou exclusão de ferramentas da Base de Dados de Ferramentas (BDF).

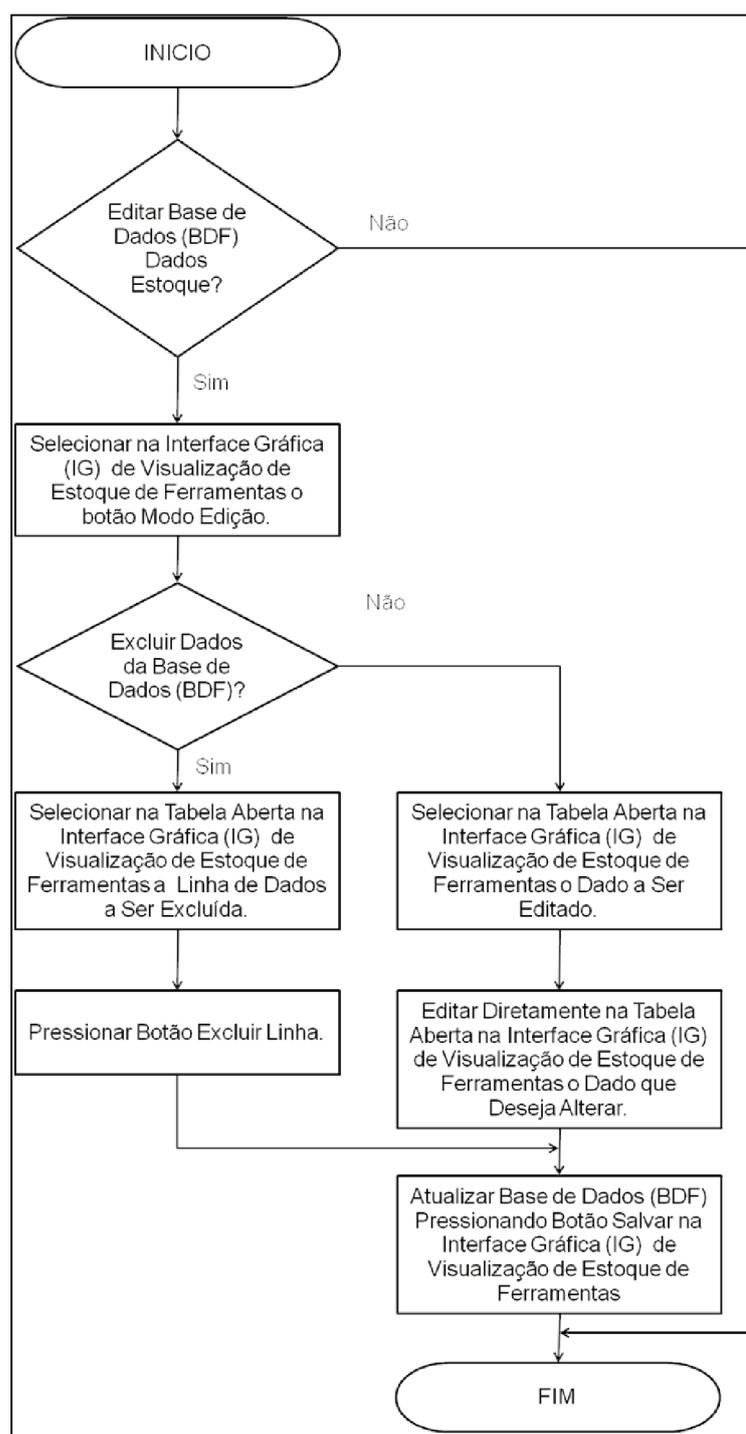


Figura 39 - Fluxograma Janela Estoque Ferramentas.

No fluxograma apresentado na Figura 40 está representada a sequência que o usuário deve realizar para operar a Prensa Industrial, bem como o funcionamento da Prensa Industrial que tem o seu uso de ferramentas submetido ao gerenciamento. Essa figura apresenta os primeiros recursos do modo de operação manual com as respectivas etapas de referenciamento da prensa e acionamento da função de movimentação em *jog*⁷ para subida do motor da prensa.

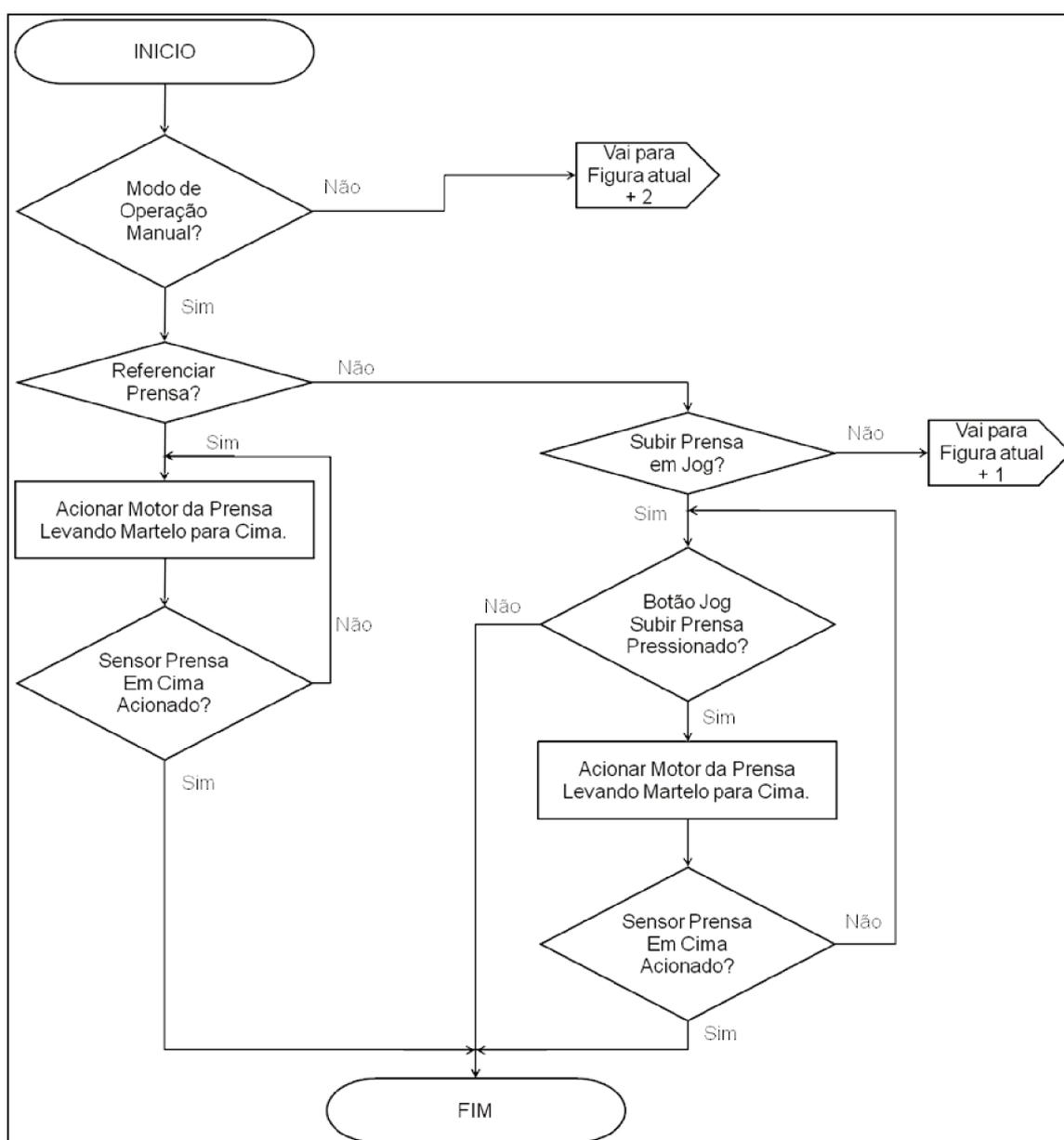


Figura 40 - Fluxograma Janela Prensa - Seleção Modo de Operação.

⁷ *Jog* - Movimento em velocidade lenta, nesse caso para ajustes de posicionamento do motor da prensa.

O fluxograma da Figura 41 apresenta demais recursos básicos de operação da prensa em modo manual, sendo esses, as etapas de acionamento da função de movimentação em *jog* para descida do martelo da prensa e confirmação de realização de troca de ferramenta.

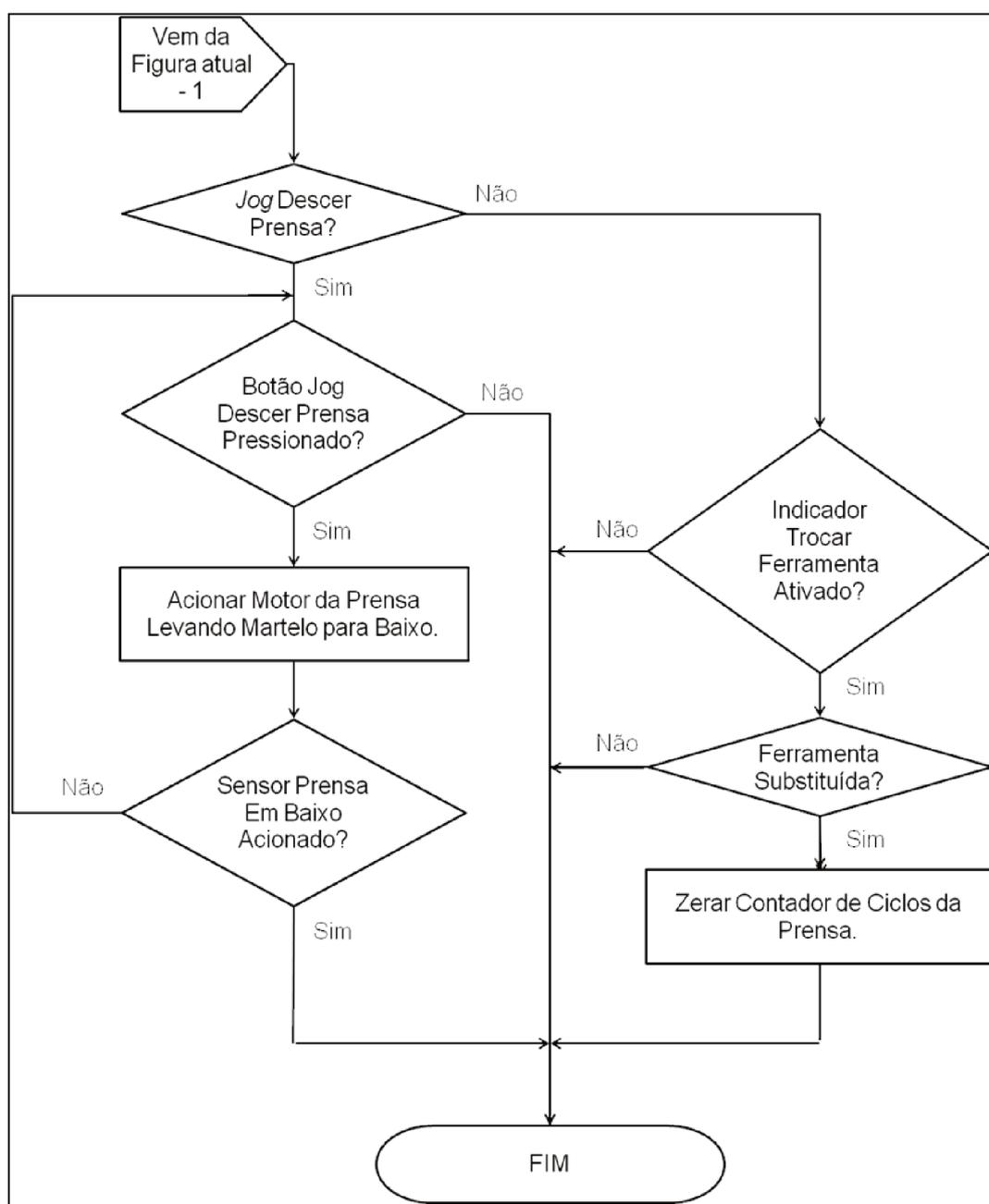


Figura 41 - Fluxograma Janela Prensa - Funções Modo Manual.

O fluxograma da Figura 42 apresenta a sequência de passos para operação da prensa em modo automático.

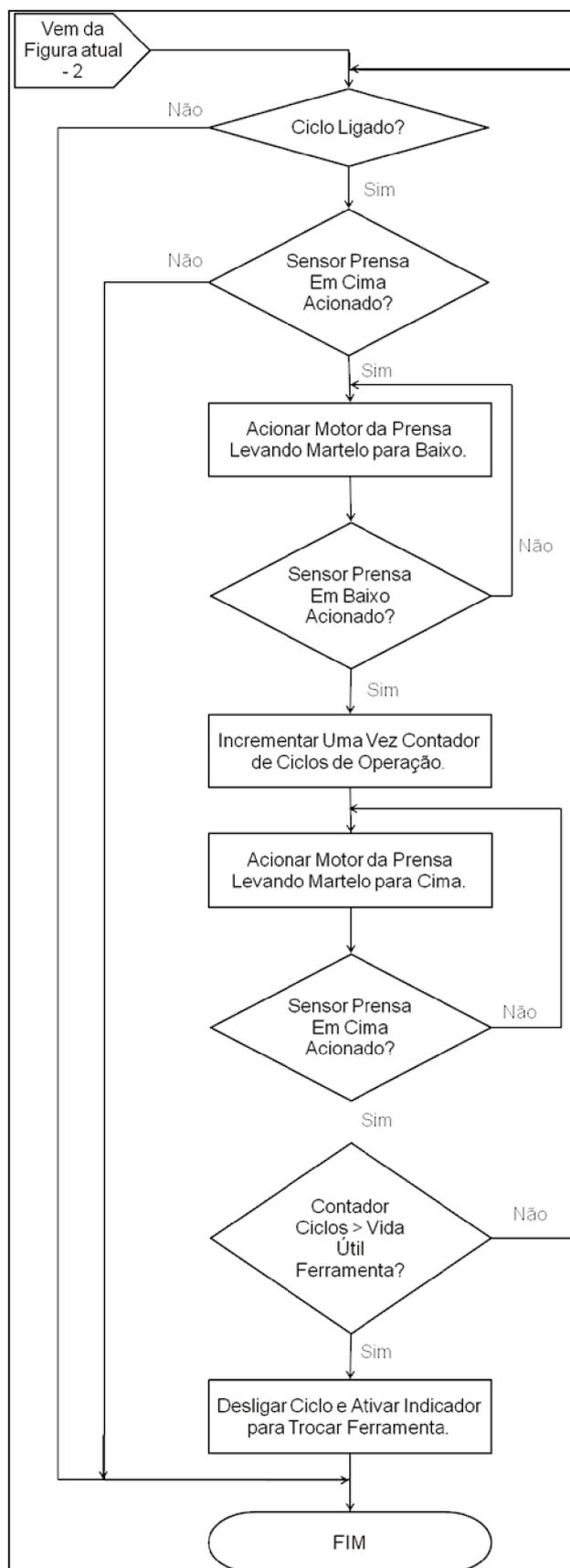


Figura 42 - Fluxograma Janela Prensa - Funções Modo Automático.

4.3.2 - Interface Gráfica

Nas janelas da Interface Gráfica (IG) do protótipo estão presentes os recursos que permitem ao usuário do sistema efetuar os cadastros dos códigos dos produtos, códigos das ferramentas e tempos de vida útil, definidos pelo departamento de Engenharia de Processo durante o projeto e testes de validação da ferramenta, e também, realizar o comando, o monitoramento e a interrupção da operação do Modelo Representativo de Prensa (MRP).

Nesse sentido, a Figura 43 apresenta os recursos virtuais que foram estabelecidos para a Janela de Cadastro de Ferramentas, a qual atende especificamente o Setor da Engenharia de Processo.

A imagem mostra a interface de usuário para o cadastro de ferramentas. O título da janela é 'Engenharia de Processo' e o subtítulo é 'Cadastrar Ferramentas'. O formulário possui três colunas principais: 'Código Produto', 'Código Ferramenta' e 'Vida Útil'. Abaixo dessas colunas, há um botão 'Salvar'. Na base da janela, há campos para 'Data' (13/04/2016) e 'Hora' (10:01).

Código Produto	Código Ferramenta	Vida Útil
a0	a1	a2
0	0	0

Salvar

Data: 13/04/2016 Hora: 10:01

Figura 43 - Janela de Cadastro de Ferramentas.

Fonte: Modificado de Bizarria et al. (2017, e p 32)

Os componentes virtuais contidos na Janela de Cadastro de Ferramentas, mostrada na Figura 43, permitem que o usuário do Setor da Engenharia de Processo realize as seguintes tarefas:

- Cadastrar cada número do código de produto no campo denominado “Código Produto”, sendo que esse campo estabelece o produto que será fabricado no processo específico de produção pela prensa.
- Cadastrar cada código da ferramenta no campo denominado “Código Ferramenta”, esse campo contém o código definido pela empresa para cada ferramenta que é utilizada pela prensa em seus processos de fabricação.
- Cadastrar cada vida útil da ferramenta no campo denominado “Vida Útil”, esse campo estabelece o tempo de vida útil para cada ferramenta que é utilizada na prensa em condição de utilização nominal.
- Salvar, em Base de Dados de Ferramentas (BDF) do Setor da Engenharia de Processo, as informações que foram cadastradas por meio da Janela de Cadastro de Ferramentas.
- Visualizar a atual data (Data) e hora (Hora) fornecidas pelo Computador Hospedeiro (CH).

A Figura 44 apresenta os recursos virtuais que foram elaborados para atender a Janela da Prensa, a qual é dedicada ao processo de produção.

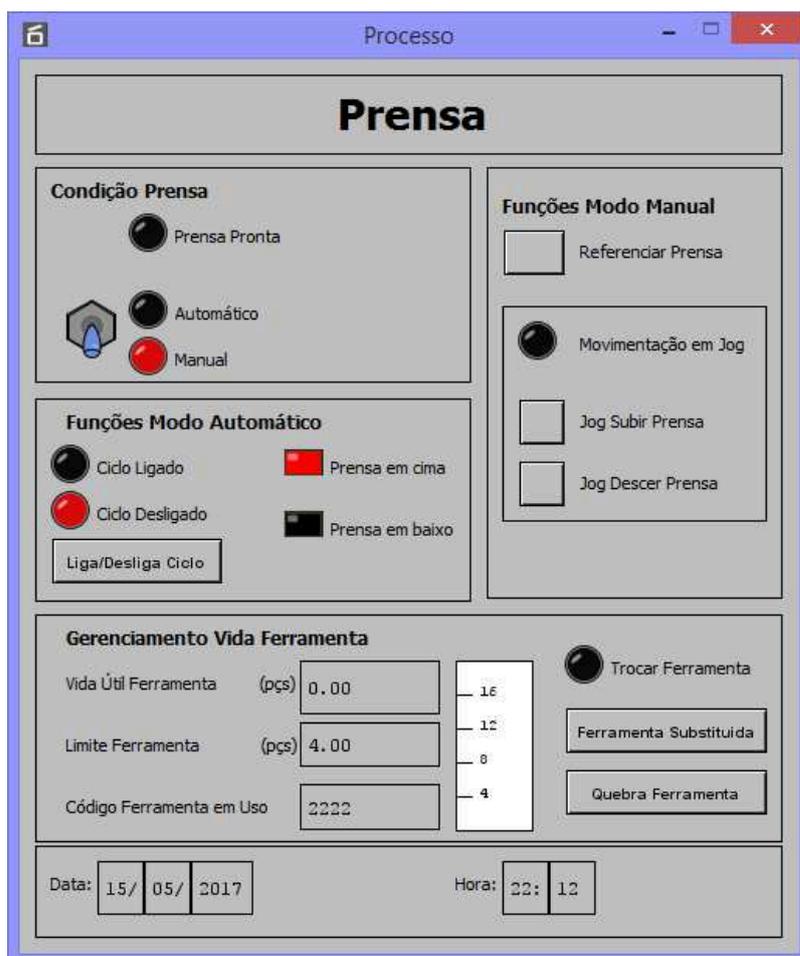


Figura 44 - Janela da Prensa.

Fonte: Modificado de Bizarria et al. (2017, e p 33)

Na Janela da Prensa, mostrada na Figura 44, estão presentes regiões com componentes virtuais que permitem ao usuário da produção realizar as seguintes tarefas:

- Definir o modo de operação automático ou manual da prensa por meio da chave virtual contida na região denominada Condição Prensa. O modo manual é basicamente utilizado para realizar a substituição de ferramenta na prensa ou definir o estado inicial do atuador (Prensa Pronta) para estabelecer a referência na operação automática.
- Executar o ciclo de produção previsto para a prensa por meio do botão denominado por “Liga/Desliga Ciclo” que está presente na região denominada por “Funções Modo Automático”. Quando esse botão estiver acionado a

sinalização visual que é designada por “Ciclo Ligado” estará ativada (cor vermelha) e a designada por “Ciclo Desligado” está inativa (cor preta), e para o botão no estado não acionado ocorre vice-versa. Cabe mencionar que também estão presentes nessa região sinalizações visuais para indicarem que o atuador da prensa está na condição de máxima retraído (Prensa em cima) ou máxima expandida (Prensa em baixo), pois o conjunto formado com as sequências de ativações dessas sinalizações define o ciclo de operação da ferramenta.

- Estabelecer uma referência para iniciar a operação da prensa (Referenciar Prensa) com os recursos contidos na região denominada por “Funções Modo Manual”. O usuário pode acionar o botão designado por “*Jog* Subir Prensa” para definir a condição de máxima retraída no atuador da prensa ou “*Jog* Descer Prensa” para a condição de máxima expandida. Quando esses botões são acionados a sinalização visual designada por “Movimentação em *Jog*” é ativada.
- Gerenciar a vida útil de ferramenta instalada na prensa com os recursos da região denominada por “Gerenciamento Vida Ferramenta”. O mostrador designado por “Vida Útil Ferramenta” apresenta o número atual de ciclos de operação que a ferramenta instalada na prensa realizou, sendo que informação correlata também é exibida no gráfico de barra como mais um recurso para sensibilizar o usuário sobre a importância desse número para o processo. O mostrador “Limite Ferramenta” mostra o número de operações que foi estabelecido pela Engenharia de Processo para o uso da atual ferramenta instalada na prensa. O mostrador “Código Ferramenta em Uso” informa o número atribuído pela empresa para a ferramenta instalada na prensa. A sinalização designada por “Trocar Ferramenta” é acionada (cor vermelha) quando o número atual de ciclos de operação da ferramenta (Vida Útil Ferramenta) for igual ou maior que o número de operações que foi estabelecido pela Engenharia de Processo (Limite Ferramenta), sendo que para essa condição a operação da prensa será interrompida até a substituição por uma nova ferramenta e acionamento do botão designado por “Ferramenta Substituída”. Em caso de quebra prematura da ferramenta, a confirmação da substituição da ferramenta é realizada pelo acionamento do

botão designado por “Quebra Ferramenta”, desde que a prensa esteja em modo de operação manual.

- Visualizar a atual data (Data) e hora (Hora) fornecidas pelo Computador Hospedeiro (CH).

A Figura 45 apresenta os recursos virtuais que foram estabelecidos para atender a Janela de Seleção de Ferramentas, a qual atende especificamente a Sala de Preparação de Ferramentas.

The screenshot shows a software window titled "Sala Preparação de Ferramenta". The main content area is titled "Seleção de Ferramentas". It contains a table with three columns: "Código Produto", "Código Ferramenta", and "Vida Útil". To the right of the table, there are three buttons: "Abrir Banco de Dados", "Salvar Edição", and "Excluir Linha". Below these buttons, there are two input fields: "Ferramenta" with the value "0" and "Vida Útil Ferramenta" with the value "0.00". A "Selecionar" button is located below the input fields. At the bottom of the window, there are two date and time fields: "Data: 15/07/2016" and "Hora: 21:40".

Figura 45 - Janela de Seleção de Ferramentas.

Os componentes virtuais contidos na Janela de Seleção de Ferramentas, mostrada na Figura 45, permitem que o usuário da Sala de Preparação de Ferramentas execute as seguintes tarefas:

- Apresentar informações sobre o número do código de produto no campo denominado “Código Produto”, o código da ferramenta no campo denominado “Código Ferramenta”, e a vida útil no campo denominado “Vida Útil”, as quais são apresentadas nas colunas do mostrador principal dessa janela.
- Atualizar os cadastros de ferramentas realizados pela Engenharia de Processo por meio do botão designado por “Abrir Banco de Dados”.
- Editar informações sobre o número do código de produto no campo denominado “Código Produto”, o código da ferramenta no campo denominado “Código Ferramenta”, e a vida útil no campo denominado “Vida Útil”, diretamente nas colunas do mostrador principal dessa janela e salvar, por meio do botão designado por “Salvar Edição”.
- Excluir linha do mostrador principal com informações sobre o número do código de produto no campo denominado “Código Produto”, o código da ferramenta no campo denominado “Código Ferramenta”, e a vida útil no campo denominado “Vida Útil”, selecionando-a diretamente no mostrador principal dessa janela, e confirmando a exclusão por meio do botão designado por “Excluir Linha”.
- Selecionar uma determinada ferramenta para atender o processo por meio do botão designado por “Selecionar”. Cabe mencionar que o usuário após escolher a ferramenta e acionar o botão “Selecionar” as informações sobre essa ferramenta são carregadas nos respectivos campos da região denominada por “Gerenciamento Vida Ferramenta” que pertence a Janela da Prensa.
- Visualizar a atual data (Data) e hora (Hora) fornecidas pelo Computador Hospedeiro (CH).

A Figura 46 apresenta os recursos virtuais que foram elaborados para atender a Janela de Estoque de Ferramentas, a qual é dedicada ao Sistema de Gerenciamento de Ferramentas.



Figura 46 - Janela de Estoque de Ferramentas.

Fonte: Modificado de Bizarria et al. (2017, e p 34)

Na Janela de Estoque de Ferramentas, mostrada na Figura 46, estão presentes componentes virtuais que permitem ao usuário do Sistema de Gerenciamento de Ferramentas realizar as seguintes tarefas:

- Visualizar informações sobre o código da ferramenta no campo denominado “Código Ferramenta”, e a atual quantidade de ferramentas disponíveis no estoque da empresa no campo denominado “Quantidade Estoque”, as quais são apresentadas nas colunas do mostrador principal dessa janela.
- Editar informações sobre o número do código da ferramenta no campo denominado “Código Ferramenta”, e a quantidade em estoque no campo denominado “Quantidade Estoque”, diretamente nas colunas do mostrador principal dessa janela, após acionamento prévio do botão designado por “Ativa/Desativa Modo Edição”. Quando esse botão estiver acionado a sinalização visual que é designada por “Modo Edição Ativo” estará ativada (cor verde), e para o botão no estado não acionado essa sinalização visual estará inativa (cor preta). Para confirmar a edição deve-se salvar, por meio do botão designado por “Salvar”.

- Excluir linha do mostrador principal com informações sobre o número do código da ferramenta no campo denominado “Código Ferramenta”, e a quantidade em estoque no campo denominado “Quantidade Estoque”, selecionando-a diretamente no mostrador principal dessa janela, após acionamento prévio do botão designado por “Ativa/Desativa Modo Edição”. Quando esse botão estiver acionado a sinalização visual que é designada por “Modo Edição Ativo” estará ativada (cor verde), e para o botão no estado não acionado essa sinalização visual estará inativa (cor preta). Com a linha a ser excluída selecionada, a exclusão se dará por meio do botão designado por “Excluir Linha”.
- Visualizar o estado da sinalização que informa a realização de atualização (Atualização) de informações na Base de Dados de Ferramentas (BDF).
- Visualizar a atual data (Data) e hora (Hora) fornecidas pelo Computador Hospedeiro (CH).

4.4 - Testes Práticos

A seguinte sequência de ações foi realizada para avaliar a eficácia dos componentes virtuais previstos nas janelas da Interface Gráfica (IG) que é proposta neste trabalho:

- Executar as montagens mecânicas e ligações elétricas necessárias para atender cada um dos componentes previstos no protótipo que é mostrado na Figura 30.
- Programar a unidade Arduino UNO (AU) e Arduino MEGA 2560 (AM), em conformidade com as respectivas propostas de utilização e os passos estabelecidos no fluxograma analítico apresentado na Figura 36.

- Elaborar a Interface Gráfica (IG) com janelas, leiautes de componentes virtuais, recursos e hierarquia estrutural, conforme apresentado na Figura 43, Figura 44, Figura 45 e Figura 46.

A execução dos testes foi dividida em três etapas, sendo que na primeira foram avaliados especificamente os recursos relacionados com a Janela de Cadastro de Ferramentas. Essa etapa avaliou a eficácia dos recursos previstos nessa janela em permitir que o usuário do Setor da Engenharia de Processo efetue o cadastramento de ferramentas conforme os padrões adotados pela empresa.

Nessa etapa foi realizado o cadastro de um novo produto a ser manufaturado registrando código de identificação do produto (9797), o código da ferramenta (2222) definida para a manufatura do produto em questão, e a vida útil (4) prevista para a ferramenta, como apresentado na Figura 47.

Código Produto	Código Ferramenta	Vida Útil
a0 9797	a1 2222	a2 4

Salvar

Data: 15/07/2016 Hora: 21:34

Figura 47 - Cadastro de Ferramenta em Interface Específica.

Na segunda etapa foram observados se os registros cadastrados na Janela de Cadastro de Ferramentas estavam atualizados na Base de Dados de Ferramentas (BDF) no Sistema de Gerenciamento de Estoque e disponíveis para seleção na Janela de Seleção de Ferramentas da Sala de Preparação de Ferramentas, como pode ser observado na Figura 48.

Para realização dessa etapa, o Modelo Representativo de Prensa (MRP) foi colocado em modo de operação Manual, permitindo assim, o acionamento da função denominada referenciamento, a qual realiza o deslocamento, em velocidade reduzida, do martelo até que esse acione o sensor instalado na posição superior da faixa de movimento do mencionado modelo. Após o referenciamento, o Modelo Representativo de Prensa (MRP) foi colocado em modo de operação Automático, habilitando assim a opção de ligar Ciclo do Modelo Representativo de Prensa (MRP), o que faz iniciar a sua operação em modo contínuo, subindo e descendo o martelo repetidas vezes, onde a cada vez que o martelo aciona o fim de curso inferior, ou seja, o martelo do Modelo Representativo de Prensa (MRP) em baixo, o contador de ciclos de operação é incrementado uma vez.

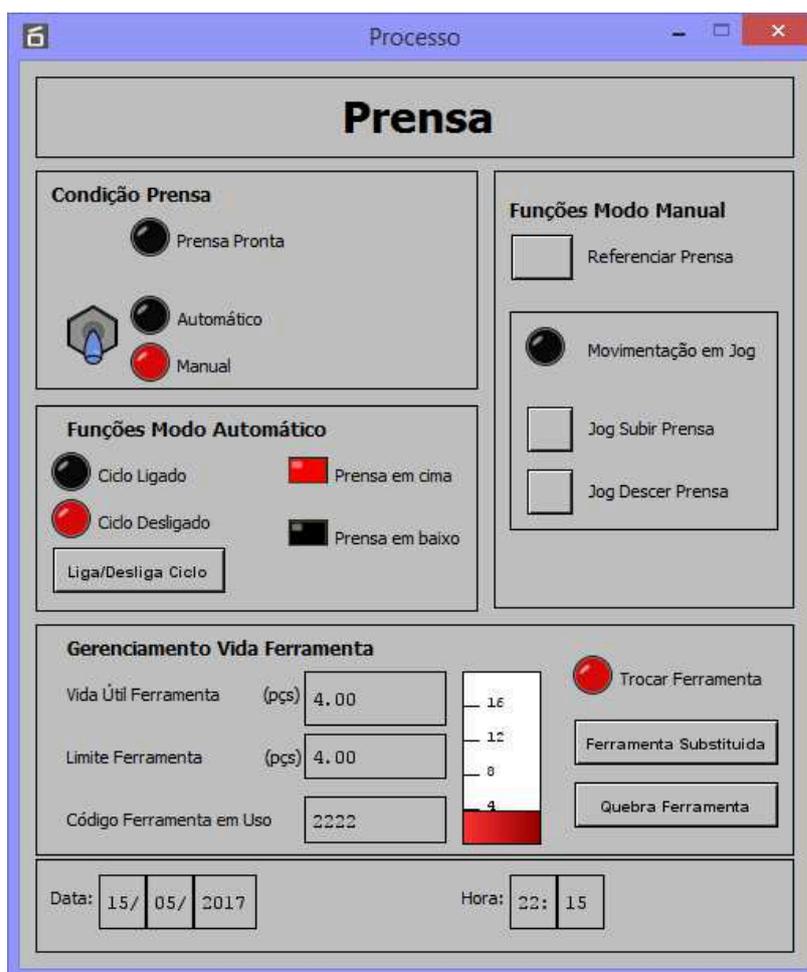


Figura 49 - Sinalização de Substituição de Ferramenta.

Fonte: Modificado de Bizarria et al. (2017, e p 35)

4.4.1 - Resultados

Os resultados observados nos testes práticos foram positivos, pois, com os componentes virtuais estabelecidos para as janelas da Interface Gráfica (IG), da arquitetura proposta neste trabalho, foi possível realizar o cadastro de ferramentas (Figura 47), a seleção de uma ferramenta específica para atender um determinado processo (Figura 48), e a identificação do momento adequado para efetuar a substituição da ferramenta (Figura 49), ou seja, o momento no qual a vida útil da ferramenta (Vida Útil Ferramenta) é igual ao número de operações que foi estabelecido para a mesma (Limite Ferramenta).

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Os resultados positivos obtidos nos testes práticos, realizados com o protótipo representativo da arquitetura proposta, mostraram que as janelas das interfaces gráficas quando forem integradas ao sistema real que efetua gerenciamento do uso de ferramentas, como por exemplo, para uma prensa excêntrica industrial, serão capazes de auxiliar a realização do cadastro de ferramentas, a seleção de uma ferramenta específica para atender o processo e, principalmente, a identificação do momento adequado para efetuar a substituição da ferramenta a fim de minimizar as consequências negativas oriundas da substituição prematura ou tardia de ferramenta. Sendo que a diminuição de quebra de ferramenta por uso além de sua vida útil contribui com a manutenção da segurança física do operador da prensa.

Os recursos virtuais contidos na Janela de Seleção de Ferramentas e Janela de Estoque de Ferramentas permitem a visualização de informações atualizadas que estão armazenadas na Base de Dados de Ferramentas (BDF), o que minimiza a possibilidade de ocorrer erros em estimar quantidades disponíveis de ferramentas no estoque da empresa.

O leiaute, a expressividade e os detalhes contidos nos componentes virtuais que foram elaborados para as janelas da Interface Gráfica (IG) da arquitetura proposta proporcionaram um ambiente intuitivo e elucidativo para o usuário do Setor de Engenharia de Processo e da Sala de Preparação de Ferramentas realizarem as respectivas atividades na empresa.

Como sugestão para trabalho futuro é recomendado efetuar a integração na arquitetura proposta de um sistema para coleta e interpretação de características dimensionais das peças que estão sendo produzidas, com o objetivo de identificar de forma preventiva a tendência de um desgaste prematuro da ferramenta que está sendo utilizada.

REFERÊNCIAS

AJAX Manufacturing Co., Forging Presses. Disponível em:

http://www.ajax-ceco.com/applications/documentlibrary/documentlibrary_docs/forging_press_brochure.pdf. Visitado em: 25 de março de 2017.

ANUMOLU, B and SHEWCHUCK, J., Design of a Tooling Database Implementation for an Existing Facility. Artigo para Computers in Industry, p. 221 – 229, EUA, 2000.

BABU, S., RIBEIRO, D. e SHIVPURI, R., Material and Surface Engineering for Precision Forging Dies. Report for Precision Forging Consortium, Ohio Aerospace Institute and National Center for Manufacturing Sciences, EUA, 1999.

BANZI, M., “Getting Started with Arduino”, Second Edition, Published by Make: Books, an imprint of Maker Media, a division of O’Reilly Media, Inc. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, 2011.

BARROS, W, Sistema de Automação Veicular com Arduino e Android. Trabalho de Graduação de Curso de Tecnólogo em Sistema para Internet, Centro Universitário Adventista de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012.

BIZARRIA, F. C. P., BIZARRIA, J. W. P., ALMEIDA, L. F., SANTOS, F. M. R. S., Graphic Interface Applied to Automated System to Manage the use of Tools in Machine. Artigo para Global Journal of Computer Science and Technology (H), Volume XVII, Issue II, Version I, Version I, p. 29 – 35, USA, 2017.

CAVALCANTI, F, Supervisório/IHM Aplicado ao Processo de uma Coluna de Destilação. Monografia Especialização em Engenharia de Instrumentação, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, 2008.

COPPINI, N., BAPTISTA, E. e SOUZA, E., Implantação de Sistema de Gerenciamento de Ferramentas de Usinagem – Um Estudo de Caso. Artigo para XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, Bahia, 2009.

CORREIA, C., Controle Fuzzy de um Motor DC Utilizando Sistema de Aquisição de Dados e o MATLAB. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil, 2014.

ELETROBRÁS [et al.], Motor Elétrico: Guia Básico. 2009.

FAVARETTO, A., VALLE, P. e JUNIOR, O., O gerenciamento de ferramentas de corte na indústria automotiva: um estudo de casos na região metropolitana de Curitiba. Publicação Produto & Produção, v. 10, n.3, p. 45-60, 2009.

FILHO, E., SILVA, I., BATALHA, G., e BUTTON, S, Conformação Plástica dos Metais. 6ª Edição. São Paulo: EPUSP, 2011.

FLAUSINO, P., Desgaste de uma Matriz de Forjamento a Quente Considerando o Amaciamento Devido ao Revenimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil, 2010.

GUTIÉRREZ, J. M. R., 2013, MyOpenLab - Versión 3.010 - Guía de Usuário. Disponível em:

http://www.myopenlab.de/downloads/Guia_usuario_MyOpenLab_3010.pdf. Visitado em: 20 de junho de 2015.

GUTIÉRREZ, J. M. R., 2013, MyOpenLab – Aprendiendo a Programar Mediante Diagramas de Flujo. Disponível em:

http://www.myopenlab.de/downloads/Aprendiendo_a_Programar_Mediante_Diagramas_de_Flujo.pdf. Visitado em: 20 de junho de 2015.

GUTIÉRREZ, J. M. R., 2013, MyOpenLab - Versión 2.4.8.3 – Tratamiento de Datos. Disponível em:

http://www.myopenlab.de/downloads/Datos_MyOpenLab.pdf. Visitado em: 20 de junho de 2015.

GUTIÉRREZ, J. M. R., 2013, MyOpenLab - Versión 3.015 – Manejo de Datos en Matrices y Tablas. Disponível em:

http://www.myopenlab.de/downloads/Matrices_y_Tablas.pdf. Visitado em: 29 de novembro de 2015.

HONDA, F., Motores de Corrente Contínua – Guia Rápido para uma Especificação Precisa. Publicação Técnica SIEMENS, 2006.

JURIZATO, L. e PEREIRA, P, Sistemas Supervisórios. Artigo para Network Technologies, Nova Odessa, v.1/2, n.1/2, p.105-114, 2002/2003.

KUMAR, S., Freemind User Guide, 2006.

MARIANI, S., A Escalada dos Automóveis. Artigo para a Publicação Deloitte - Brasil Competitivo Desafios e Estratégias para a Indústria da Transformação, p. 54 – 57, 2012.

McROBERTS, M., Arduino Básico. [Tradução Rafael Zanolli], Editora Novatec, São Paulo, Brasil, 2011.

NASCIMENTO JUNIOR, G. C., Máquinas Elétricas: Teoria e Ensaios, Editora Érica, São Paulo, Brasil, 2006.

PRENSA JUNDIAÍ S.A., Catalogo de Produtos, 2015.

MAZZAROPPI, M, Sensores de Movimento e Presença. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

MARGOLIS, M., Arduino Cookbook. Published by O’Reilly Media, Inc., 1005, Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, 2011.

OXER, J. and BLEMINGS, H., 2009, “Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware”, Distributed to the book trade worldwide by Springer-Verlag New York, Inc., 233 Spring Street, 6th Floor, New York, NY 10013.

PATSKO, L., Tutorial Aplicações, Funcionamento, e Utilização de Sensores. Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, 2006.

SILVA, A. e SALVADOR, M, O Que São Sistemas Supervisórios?, Artigo RT 025.04, Brasil, 2005.

STEINER, H. C., 2009, “Firmata: Towards making microcontrollers act like extensions of the computer”, NIME09, June 3-6, 2009, Pittsburgh, PA.

TURINO, C., Redução de Estoque de Ferramentas de Corte sem Comprometimento da Produtividade do Chão de Fábrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil, 2002.

WEG, Catalogo Automação – Sensores e Fontes. Ver.3, 2014.

WEG, Apostila DT-3 – Características e Especificações de Motores de Corrente Contínua e Conversores CA/CC. 2006.