

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
E DE MATERIAIS - PPGEM

JEFERSON ROBERTO DANTE

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA
IDENTIFICAÇÃO DE PANES DE MÁQUINAS

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2009



JEFERSON ROBERTO DANTE

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA
IDENTIFICAÇÃO DE PANES DE MÁQUINAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Engenharia de Manufatura, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

Orientador: Prof. Luiz Carlos A. Rodrigues, Dr.

CURITIBA

2009

TERMO DE APROVAÇÃO

JEFERSON ROBERTO DANTE

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA IDENTIFICAÇÃO DE PANES DE MÁQUINAS

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Engenharia de Manufatura, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

Prof. Giuseppe Pintaúde, Dr.
Coordenador de Curso

Banca Examinadora

Prof. Leandro dos Santos Coelho, Dr.
(PUC-PR)

Prof. João Antonio Palma Setti, Dr.
(UTFPR)

Prof. Milton Luiz Polli, Dr.
(UTFPR)

Curitiba, 30 de Novembro de 2009.

*Dedico esta conquista à minha esposa Fernanda e às minhas
filhas Kassia e Pietra, que nos momentos mais difíceis, me
apoiaram e me incentivaram a cumprir esta jornada.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Luiz Carlos A. Rodrigues, pelo seu apoio incondicional e inspiração, que contribuíram para o amadurecimento dos meus conhecimentos e, assim, que eu pudesse executar e concluir esta dissertação.

Ao Professor. Dr. João Antonio Palma Setti por me incentivar a iniciar esta jornada.

Aos alunos da graduação Alexandre Gomes da Costa e Bárbara Moreira de Castilho por me auxiliarem na implementação gráfica do sistema.

DANTE, JEFERSON ROBERTO. Avaliação qualitativa de um sistema especialista para identificação de panes de máquinas - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

RESUMO

Sistemas de manufatura flexível (*FMS*) dependem da automação para promover a integração de *CNC* (comando numérico computadorizado), *AGV* (veículos guiados automaticamente) e equipamentos robóticos, conectados a uma rede industrial. Devido à complexidade da integração de sistemas de manufatura flexíveis (*FMS*), é desejável a disponibilidade de ferramentas de monitoramento e supervisão. O *PIMS* (*Plant Information Management System*) é o ambiente computacional que coleta dados do processo de equipamentos de produção e transporte em uma rede industrial, permitindo o monitoramento e a supervisão *on-line* de sistemas de produção. O *PIMS* também possibilita relatórios de indisponibilidade de equipamentos, da frequência e do tempo decorrido em uma falha de equipamentos, de operações críticas e outros relatórios associados ao monitoramento e à supervisão *on-line* de sistemas de produção. Os desafios relacionados à utilização de *PIMS* são evitar erros e a interpretação dos dados. Os erros podem ser provocados por má interpretação e entrada manual de dados. Por outro lado, o *PIMS* fornece informações sobre falhas da unidade, mas podem existir diversas causas para uma falha. A interpretação incorreta de causas de falhas também pode levar a erros. O objetivo deste trabalho é uma proposta de utilização de sistemas especialistas baseado em regras para auxiliar a identificação de panes de máquina em um *FMS*. Mostra-se que o sistema especialista foi capaz de eliminar erros de apontamento/interpretação de paradas de máquina e que o operador de máquina passou a ser auxiliado nestes casos.

Palavras-chave: Sistema especialista, Sistema flexível de manufatura, Sistema de gerenciamento de informações da planta.

Jeferson Roberto Dante, Qualitative evaluation of an expert system that identifies machine failures, 2009 - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

ABSTRACT

Flexible Manufacturing Systems (FMS) rely on automation to promote the integration of CNC (computer numerical control), AGV (automatic guided vehicle), and robot equipment; which may be interconnected within an industrial network. Due to integration complexity of FMS systems, availability of monitoring, supervision tools are desired. *Plant Information Management System* (PIMS) is a software that collects process data from production and transportation equipment within an industrial network. It enables an online monitoring and supervision of production systems. PIMS also enables reports of equipment units' unavailability, of frequency, and elapsed time on an equipment unit's failure, as well as reports of critical operations and other reports associated to an online monitoring and supervision of production systems. The challenges concerning the use of PIMS are on error avoidance and interpretation of data. Errors can be caused by bar code misuse and manual input of incorrect data. On the other hand, PIMS provides information on unit's failures but there may be several causes for a failure. Misinterpretation of failure causes may also lead to errors. The goal of this work is the proposition of an expert system to assist the identification of machine failures in the FMS. It is shown that the expert system has been able to eliminate misinterpretation of machine failures and that the expert system provided assistance on machine interventions under such circumstances.

Keywords: Expert system, Flexible manufacturing system, Plant information management system.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo Geral	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
2 REVISÃO DE SISTEMAS DE MANUFATURA.....	5
2.1 AUTOMATIZAÇÃO DO TRABALHO.....	5
2.2 ABRANGÊNCIAS DOS SISTEMAS DE MANUFATURA.....	5
2.3 SISTEMAS PRODUTIVOS	5
2.4 DIFERENÇAS ENTRE SISTEMAS DE MANUFATURA E SISTEMAS PRODUTIVOS ...	6
2.5 SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA	7
2.5.1 Componentes de um <i>FMS</i>	8
2.5.2 Sistema Central de Controle.....	12
2.6 COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL.....	14
2.7 CONTROLE DO SISTEMA DE MANUFATURA.....	15
2.8 MANUFATURA INTEGRADA POR COMPUTADOR - <i>CIM</i>	16
2.8.1 Enterprise production system – <i>EPS</i>	16
2.8.2 Sistemas <i>SCADA</i>	17
2.8.3 Componentes de um sistema <i>SCADA</i>	18
2.8.4 Sistema de execução da manufatura – <i>MES</i>	19
2.8.5 Sistema de gerenciamento de informações da planta- <i>PIMS</i>	21
2.9 METODOLOGIA DE REDUÇÃO DE PERDAS	24
3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA ABORDADO	28
3.1 AMOSTRA DOS ELEMENTOS TECNOLÓGICOS	28
3.2 AMOSTRA DO ELEMENTO HUMANO	29
3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	30
3.4 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA DE CAMPO	31
3.5 SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRABALHO A	32
3.6 SISTEMA <i>PIMS</i> DA EMPRESA	32
3.7 REALIMENTAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO QUANTO ÀS PANES DE MÁQUINA.	34
3.8 ESTUDO DE CASO: PRIMEIRA TENTATIVA DE MONITORAMENTO DE FALHAS UTILIZANDO <i>PIMS</i>	34
4 SISTEMAS ESPECIALISTAS	36
4.1 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO	36
4.2 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	37

4.3	SISTEMAS BASEADOS NO CONHECIMENTO	38
4.3.1	Organização do Conhecimento	38
4.4	MANIPULAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	39
4.5	AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	39
4.6	ARQUITETURA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS	40
4.7	HISTÓRICO DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS	41
4.8	ESTRUTURAS DE SISTEMAS BASEADOS EM REGRAS	43
4.9	O PROCESSO DE INFERÊNCIA.....	44
4.10	EXPLICANDO COMO OU POR QUE.....	45
5	IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE REDUÇÃO DE PERDAS	47
5.1	RESULTADOS DAS AÇÕES DEFINITIVAS	53
6	SISTEMA ESPECIALISTA PROPOSTO	55
6.1	NECESSIDADE DE SISTEMAS ESPECIALISTAS EM FMS	55
6.2	CARACTERÍSTICA DO SISTEMA ESPECIALISTA PROPOSTO	56
6.2.1	A arquitetura do Sistema Proposto (Versão 1.00)	56
6.2.2	A arquitetura de programação e atualização do banco de dados	57
6.2.3	Partes ou Módulos do sistema especialista Versão 1.00.....	59
6.3	ABRANGÊNCIA DA SIMULAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO	60
6.4	A ESTRUTURA DO SISTEMA	61
6.4.1	Interface do sistema especialista proposto (V 1.00)	61
6.5	MODO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA - VERSÃO 1.00	63
7	APLICAÇÃO DO SISTEMA V 1.00 AO ESTUDO DE CASO	66
7.1	LISTAGEM DE FALHAS E INDICAÇÃO DOS ALARMES GERADORES	66
7.2	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA V1.00 A UM TIPO DE FALHA.....	68
7.3	RELATÓRIO DO SISTEMA APLICADO AO ALARME 4250	73
7.4	APRESENTAÇÃO DO DIAGNOSTICO DA FALHA 4250 CONFORME MANUAL DO FABRICANTE	74
8	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	ANEXOS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comunicação dos Subsistemas (CHIAVENATO, 1990)	6
Figura 2 - Funcionamento do Macro Sistema Produtivo (BLACK, 1998).....	7
Figura 3 - Funcionamento de um <i>FMS</i> (Adaptado de CANO (2006)).....	8
Figura 4 - Alguns Tipos de Manipuladores (Adaptado de SHHEIBIA (2001))	10
Figura 5 - Exemplos de Manipuladores Industriais (Adaptado de SHHEIBIA (2001))	10
Figura 6 - AGV Carregando um Chassi (FERREIRA 1998)	11
Figura 7 - Exemplo de <i>RGV</i> (CANO, 2006).....	11
Figura 8 - <i>RGVs</i> / Armazéns Verticais (CANO, 2006)	12
Figura 9 - Esteira de Correia (ALLWARE, 2007)	12
Figura 10 - Rede de Comunicação (Adaptado Cano (2006))	13
Figura 11 - Arquitetura de Rede (Adaptado SOUZA (2006)).....	14
Figura 12 - Atuação dos Protocolos (Constantino, 2004).....	15
Figura 13 - Modelo Y- <i>CIM</i> Processos de Negócio (Adaptado de SCHEER (1994)).	17
Figura 14 - Relações Entre as Áreas (Adaptado de SCHUMANN (1997)).....	21
Figura 15 - Fluxo de Informações <i>PIMS</i> (Becerra e Palacios (2003))	22
Figura 16 - Conectividade <i>PIMS</i> (Adaptado de Becerra e Palacios (2003)).....	23
Figura 17 - Planta Estudada: <i>FMS</i> de Bloco de Motores (DANTE, 2005)	31
Figura 18 - Sistema Base (CHIAVENATO, 1990)	32
Figura 19 - Tela Sinóptica (DANTE, 2005).....	34
Figura 20 - Análise e Plano de Ação (DANTE, 2005).....	35
Figura 21 - Estrutura de um Sistema Especialista (PATTERSON, 1990).....	44
Figura 22 - Processo de Inferência (PATTERSON, 1990)	46

Figura 23 - Semana 6 (DANTE <i>et al.</i> , 2007).....	50
Figura 24 - Comparativo Semana 7 x Semana 8 (DANTE <i>et al.</i> , 2007)	51
Figura 25 - Comparativo Semana 8 x Semana 9 (DANTE <i>et al.</i> , 2007)	51
Figura 26 - Comparativo Semana 9 x Semana 10 (DANTE <i>et al.</i> , 2007)	52
Figura 27 - Comparativo Semana 10 X Semana 11 (DANTE <i>et al.</i> , 2007).....	53
Figura 28 - Comparativo Semana 11 X Semana 12 (DANTE <i>et al.</i> , 2007).....	53
Figura 29 - Comparativo Total de <i>NS</i> e <i>TS</i> da Semana 1 a 12 (Dante <i>et al.</i> , 2007)..	54
Figura 30 - Cadastro de Alarmes	57
Figura 31 - Cadastro de Instruções e Procedimentos no Sistema V 1.00	59
Figura 32 - Estrutura do Sistema Especialista Proposto (V 1.00).....	60
Figura 33 - Tela de Abertura do Sistema Especialista	61
Figura 34 - Demonstrativo da Aba Menu.....	62
Figura 35 - Demonstrativo da Tela de Alarmes	62
Figura 36 - Demonstrativo da Tela de Ajuda	63
Figura 37 - Fluxo do Encadeamento para Frente (REZENDE, 1996)	64
Figura 38 - Tela de Dialogo 1	64
Figura 39 - Tela de Dialogo 2	65
Figura 40 - Descrição de Alarme NCK 2102 (Adaptado de SIEMENS, 2008)	68
Figura 41 - Seleção de Máquina para Carregamento do Arquivo	69
Figura 42 - Tela de Informação do Código de Alarme.....	69
Figura 43 - Primeira Iteração do Estado do <i>CNC</i>	70
Figura 44 - Verificação da Recorrência do Alarme	70
Figura 45 - Execução de Procedimentos.....	71
Figura 46 - Conferência das Informações	71
Figura 47 - Tela da Segunda Execução de Procedimentos	72

Figura 48 - Confirmação de Recorrência de Alarme	72
Figura 49 - Tela Resultante da Recorrência do Alarme.....	73
Figura 50 - Tela de Finalização do Alarme 4250	73
Figura 51 - Relatório do Alarme 4250	74
Figura 52 - Diagnóstico da Falha 4250 (Adaptado de SIEMENS, 2008).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nomenclatura dos tipos de falha (TP)	49
Tabela 2 Nomenclatura dos tipos de falha x alarmes geradores.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	<i>Automatic Guided Vehicles</i> (Veículos Guiados Automaticamente)
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Desenho Auxiliado por Computador)
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i> (Manufatura Auxiliada por Computador)
CIM	<i>Computer-Integrated Manufacturing</i> (Manufatura Integrada por Computador)
CLP	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controladores Lógicos Programáveis)
CNA	<i>Numerical Control Adjustable</i> (Comando Numérico Ajustável)
CNC	<i>Computer Numerical Control</i> (Controle Numérico Computadorizado)
DAKS	<i>Digital Alarm Communications Server</i> (Monitor Digital de Comunicação de Alarme)
DLL	<i>Data Link Layer</i> (Camada de Ligação de Dados)
EPS	<i>Enterprise Production System</i> (Sistema de Gerenciamento de Produção)
FMS	<i>Manufacturing Flexible System</i> (Sistema Flexível de Manufatura)
HSE	<i>High Speed Ethernet</i> (Rede de Alta Velocidade)
I.A	<i>Artificial Intelligence</i> (Inteligência Artificial)
IHM	<i>Man Machine Interface</i> (Interface Homem Máquina)
kpi	<i>Key Performance Indicators</i> (Indicadores Chave de Performance)
MES	<i>Manufacturing Execution System</i> (Sistema de Execução de Manufatura)
MESA	<i>Manufacturing Execution System Association</i> (Associação Internacional de Sistemas de Execução de Manufatura)
MRP	<i>Material Requirement Planning</i> (Planejamento das Necessidades de Materiais)
NS	<i>Number of Stops</i> (Numero de Paradas)
PIMS	<i>Plant Information Management Systems</i> (Sistema de Gerenciamento de Informações Da Planta)
PCP	<i>Planning and Production Control</i> (Planejamento e Controle de Produção)
PMA	Plano de Manutenção Autônoma
RIA	<i>Robotic Institute Association</i> (Associação e Instituto Robótico)
RGV	<i>Rail Guided Vehicles</i> (Veículo Guiado por Trilho)
RTS	<i>Remote Terminal Unit</i> (Unidade de Terminal Remoto)
R.U.R	<i>Rossum's Universal Robots</i> (Robô Universal Rossum)
SCADA	<i>Supervisory Control and Data</i> (Supervisório e Controle de Dados)
TS	<i>Time of Stops</i> (Tempo de Paradas)

1 INTRODUÇÃO

O tema deste estudo é a avaliação qualitativa de um sistema especialista para identificação de panes de máquinas, esta avaliação está baseada em um estudo de caso de uma linha flexível de usinagem. Neste estudo de caso analisa-se a aplicação de um ambiente computacional *PIMS*, que monitora um processo automatizado de usinagem de blocos para fabricação de motores, de uma organização situada na região metropolitana de Curitiba. São abordados na pesquisa os fatores de coleta de dados, a transformação de dados em informações, a realimentação do sistema e suas inter-relações.

A eficiência de um sistema de acompanhamento de parada de máquinas em uma linha flexível de manufatura depende do fator humano e tecnológico (DANTE *et al.*, 2007). O primeiro está vinculado à condição de alimentação, de transformação, de interpretação e da utilização dos dados do sistema, que pode ser adequado ou não. O segundo refere-se à capacidade do sistema na leitura de dados e no seu processamento, mas que também está condicionado ao elemento humano responsável pela sua implementação tecnológica.

Em face da verificação da problemática citada, busca-se uma resposta para o seguinte problema: Quais são os impactos causados pela má alimentação do sistema *PIMS* no acompanhamento de paradas de máquinas na gestão da produção? E, finalmente, como resolver este problema? Tais questões serão, respectivamente, respondidas nos capítulos 3 (descrição do problema abordado) e 6 (abordagem proposta).

O tema deste projeto está relacionado à indústria de manufatura, mais precisamente aos sistemas automatizados e a implementação de sistemas especialistas para apoio na tomada de decisão no chão de fábrica.

A indústria de manufatura desenvolveu-se ao longo dos anos e em todas as fases de sua história esteve ligada ao aperfeiçoamento da tecnologia. Sua expansão deu-se com o advento das máquinas eletromecânicas, durante a segunda revolução industrial, mas que ainda não apresentava flexibilidade na produção, o que predominou até a década de 1980 (TOFLER, 1992). As máquinas-ferramenta, convencionalmente utilizadas pelas indústrias de manufatura, traziam a desvantagem de exigir um tempo de *set-up* (preparação de máquina) elevado, o que contribuía para que se tornasse cada vez mais difícil uma estrutura flexível e eficiente de organização das empresas para a confecção de produtos diversificados.

O avanço tecnológico que se apresenta, revolucionou as relações entre as empresas e os consumidores. Atualmente, o consumidor tem uma percepção bem maior de seus direitos e poderes, o que passou a exigir das indústrias a produção de produtos capazes de satisfazer seus desejos e aspirações cotidianas. Além da persuasão do consumidor, outro

fator influenciou na mudança de foco para o consumidor: a competitividade no mercado. O macro ambiente de negócios impõe a uma companhia sobreviver no mercado com uma alta flexibilidade e com qualidade, a preços competitivos, satisfazendo a demanda e com produtos diversificados que atendam os diversos nichos de mercado.

A explosão tecnológica das indústrias eletrônicas nos anos 80 possibilitou o desenvolvimento de *chips* integrados. Atualmente, é fácil e viável o uso de computadores na substituição dos componentes mecânicos e elétricos, tradicionalmente usados. Revolucionando o projeto e a concepção de máquinas e sistemas industriais, o controle das máquinas-ferramentas por computadores foi denominado Controle Numérico Computadorizado (CNC). Atualmente, as mais atrativas características do CNC são seu custo-benefício, flexibilidade e alta produtividade.

Os arranjos físicos funcionais (sistemas de distribuição de máquinas) tendem a ser modificados para explorar melhor as vantagens do CNC, aliados a *softwares* de CAD (desenho auxiliado por computador)/CAM (manufatura auxiliada por computador). A evolução do *layout* nos processos automatizados resultou na geração de sistemas de células e linhas FMS (sistema flexível de manufatura)/CIM, (manufatura integrada por computador) (KALPAKJIAN e SCHIMID, 2001). Estas células e linhas completamente automatizadas são responsáveis desde a alimentação de matérias-primas até a estocagem de produtos acabados utilizando robôs transportadores.

Os sistemas FMS e CIM podem ser controlados remotamente por sistemas de controle. Neles pode se verificar o andamento da linha, níveis de estoque, problemas na produção e disfunções de máquinas e outros recursos (GROOVER, 1987).

Em sistemas flexíveis, envolvendo várias células, os processos CIM/FMS podem trabalhar interligados. Devido ao possível tamanho e complexidade destes sistemas, os sistemas de controle normalmente funcionam em nível operacional e individual por célula de manufatura (DANTE, 2005). Para concentrar as informações de controle, utilizam-se *softwares* de monitoramento (BARBOSA, 2006). Estes *softwares* recolhem e monitoram as informações dos sistemas de controle, das máquinas individuais e dos diversos equipamentos que interligam as células de fabricação.

Os sistemas PIMS em sua concepção somente disponibilizam e armazenam dados, referentes ao sistema de manufatura. O desafio está na interpretação destes dados, transformando-os em informações úteis para os diferentes setores fabris como processo, qualidade, melhoria contínua, confiabilidade, produção e gerência de custos (DANTE *et al.*, 2007). Aborda-se nesta pesquisa a perspectiva de uma das funções do PIMS, que é o monitoramento de paradas de máquinas aplicadas a panes, essencial para se definir o desempenho de uma célula flexível de manufatura.

A importância deste estudo está em: i) identificar os distúrbios causados pelas informações que são extraídas do sistema do monitoramento de paradas de máquinas aplicado a panes; ii) na relevância de se trabalhar estas informações de forma correta; e iii) disciplinar o uso das ferramentas de gestão. Além disso, dentro do contexto apresentado, chega-se à seguinte problemática: Quais as ações necessárias para monitorar de maneira eficaz os parâmetros de produção, visando a redução das panes e aprimorando a operação de máquinas em um *FMS* de usinagem? Esta dissertação visa apresentar uma resposta factível para esta questão.

O restante do presente trabalho foi organizado da seguinte forma. No capítulo 2 é apresentada uma revisão da automação, operação e controle de sistemas de manufatura. No capítulo 3 descreve-se o problema abordado. No capítulo 4 é feita uma revisão de sistemas especialistas. No capítulo 5 descreve-se uma primeira tentativa de resolver o problema de panes no *FMS* de usinagem utilizando a metodologia de redução de perdas. No capítulo 6 é apresentada a abordagem proposta com a descrição do sistema especialista proposto. No capítulo 7 é feita a aplicação do sistema especialista em uma das principais falhas apresentada no capítulo 5. E no capítulo 8 são apresentadas as conclusões da presente dissertação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Pretende-se propor uma alternativa para a confiabilização das informações geradas pelo *PIMS* na monitoração de panes de máquinas em uma linha flexível de manufatura. Basicamente, será proposto um sistema especialista baseado em regras que permita o diagnóstico das falhas, já que a monitoração de panes de máquinas ocorre por meio de mensagens, por vezes, insuficientes para a tomada de ações corretivas adequadas. Além disso, no caso estudado, como a alimentação dos dados de panes de máquinas no sistema *PIMS* ocorre manualmente, o uso de um sistema especialista guiará o usuário na identificação da falha e na execução das ações corretivas primárias que permitam reinicializar o sistema em pane de forma segura ao usuário e ao sistema.

1.1.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos deste trabalho cita-se:

- Identificar o fluxo das informações do sistema de acompanhamento de paradas de máquinas aplicado a panes de máquinas, este apresentado no capítulo 3;
- Documentar a dependência do sistema de acompanhamento de paradas de máquinas em relação ao fator humano, apresentado no capítulo 3;
- Identificar o impacto causado pelas informações extraídas do sistema de acompanhamento de paradas de máquinas, este apresentado no capítulo 5;
- Propor um sistema especialista para permitir um diagnóstico das falhas adequado;
- Analisar o resultado da aplicação do sistema de acompanhamento de paradas de máquinas e sua relação com o fator humano e tecnológico.

2 REVISÃO DE SISTEMAS DE MANUFATURA

2.1 AUTOMATIZAÇÃO DO TRABALHO

O crescimento da tecnologia da informação tem sido determinante no desenvolvimento das tecnologias de automação. Graças a elas alteraram-se as hierarquias e estruturas nos mais diversos setores da indústria, e alteraram-se também os processos de manufatura e seus sistemas lógicos. A capacidade de comunicação entre dispositivos e o uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes é um componente indispensável do conceito de automação de hoje (BLACK, 1998).

Segundo BLACK (1998), um meio de maximizar os benefícios da automação é adaptar a manufatura à filosofia *Just in time*. O sistema adaptado é refinado através de melhorias contínuas até alcançar o pico de eficiência. Neste ponto, deve-se começar o processo de automação. Para BLACK (1998), na filosofia *Just in time*, automatizar não significa comprar novos equipamentos, mas sim extrair o máximo do potencial dos equipamentos e melhorar sua eficiência.

2.2 ABRANGÊNCIAS DOS SISTEMAS DE MANUFATURA

Para BLACK (1998), um sistema de manufatura é uma coleção ou arranjo de operações e processos utilizados para fabricar um determinado produto ou componentes. Apresentado na Figura 1, para CHIAVENATO (1990), cada sistema de manufatura é constituído de varias partes, isto é, de vários subsistemas. Cada subsistema tem suas entradas e saídas, de tal modo que as saídas de um subsistema constituem as entradas do subsistema seguinte, e assim por diante. Conforme indicado na Figura 1, existe uma interdependência entre os diversos subsistemas fazendo com que cada um dependa do outro para funcionar.

2.3 SISTEMAS PRODUTIVOS

Citando BLACK (1998), o termo mais elevado na hierarquia é o sistema produtivo. Um sistema produtivo inclui pessoas, capital, equipamentos, materiais e suprimentos, mercados, administração e o sistema de manufatura. Segundo CHIAVENATO (1990), as

empresas são sistemas abertos em constante intercâmbio com seu ambiente. As empresas importam recursos do ambiente através de suas entradas, processam e transformam esses recursos, e exportam esse resultado de processamento e transformação de volta ao ambiente através de suas saídas. As relações entre entradas e saídas fornecem a indicação da eficiência do sistema. A Figura 2 representa a interação do sistema produtivo com o sistema de manufatura.

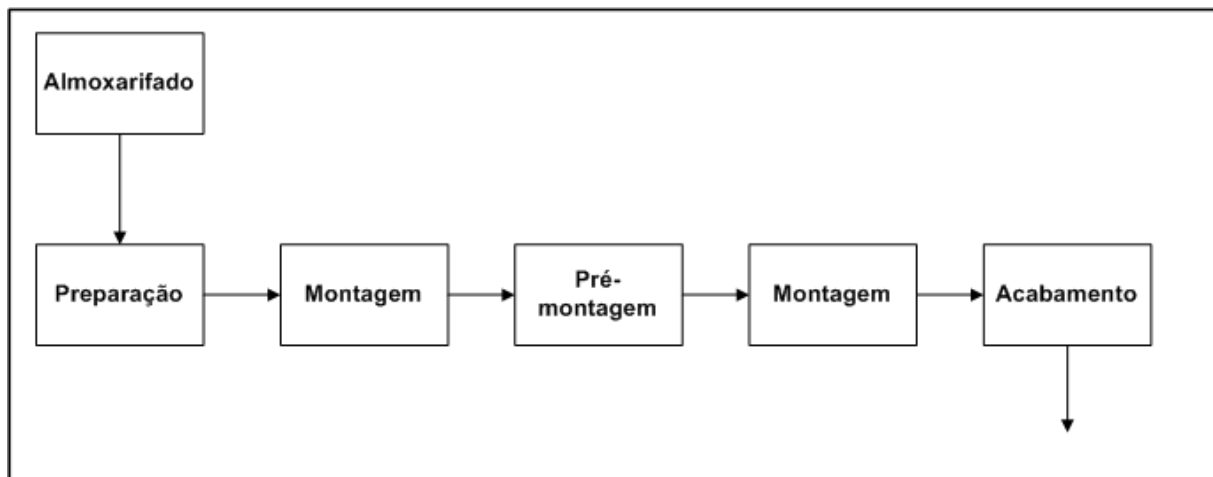


Figura 1 - Comunicação dos Subsistemas (CHIAVENATO, 1990)

2.4 DIFERENÇAS ENTRE SISTEMAS DE MANUFATURA E SISTEMAS PRODUTIVOS

Conforme a definição já apresentada, os sistemas produtivos constituem o macro ambiente da empresa ou toda a interação entre os processos. Na atualidade não é possível manufaturar sem controlar as variantes mercadológicas e sociais. Os sistemas de manufatura se encarregam de controlar o micro ambiente: a produção em si.

Conforme SLACK (1995), “flexibilidade significa ser capaz de mudar a operação de alguma forma. Pode-se alterar o que a operação faz como faz ou quando. Mudança é a idéia chave”. Os sistemas de manufatura precisam ter a flexibilidade para atender a demanda do sistema produtivo. A concepção dos novos sistemas de manufatura busca atender esta demanda e as comunicações entre os sistemas devem ocorrer de forma transparente e imediata, pois uma quebra na comunicação pode levar a sérios problemas. A Figura 2 ilustra o funcionamento do macro sistema produtivo.

Muitas das entradas do sistema de manufatura não podem ser controladas (pela gerência da empresa) e os efeitos e distúrbios devem ser neutralizados manipulando as entradas controláveis ou o próprio sistema. Controlar a disponibilidade ou prever flutuações

na demanda pode ser difícil. A economia nacional pode causar mudanças no ambiente comercial que podem transformar seriamente algumas dessas entradas (BLACK, 1998).

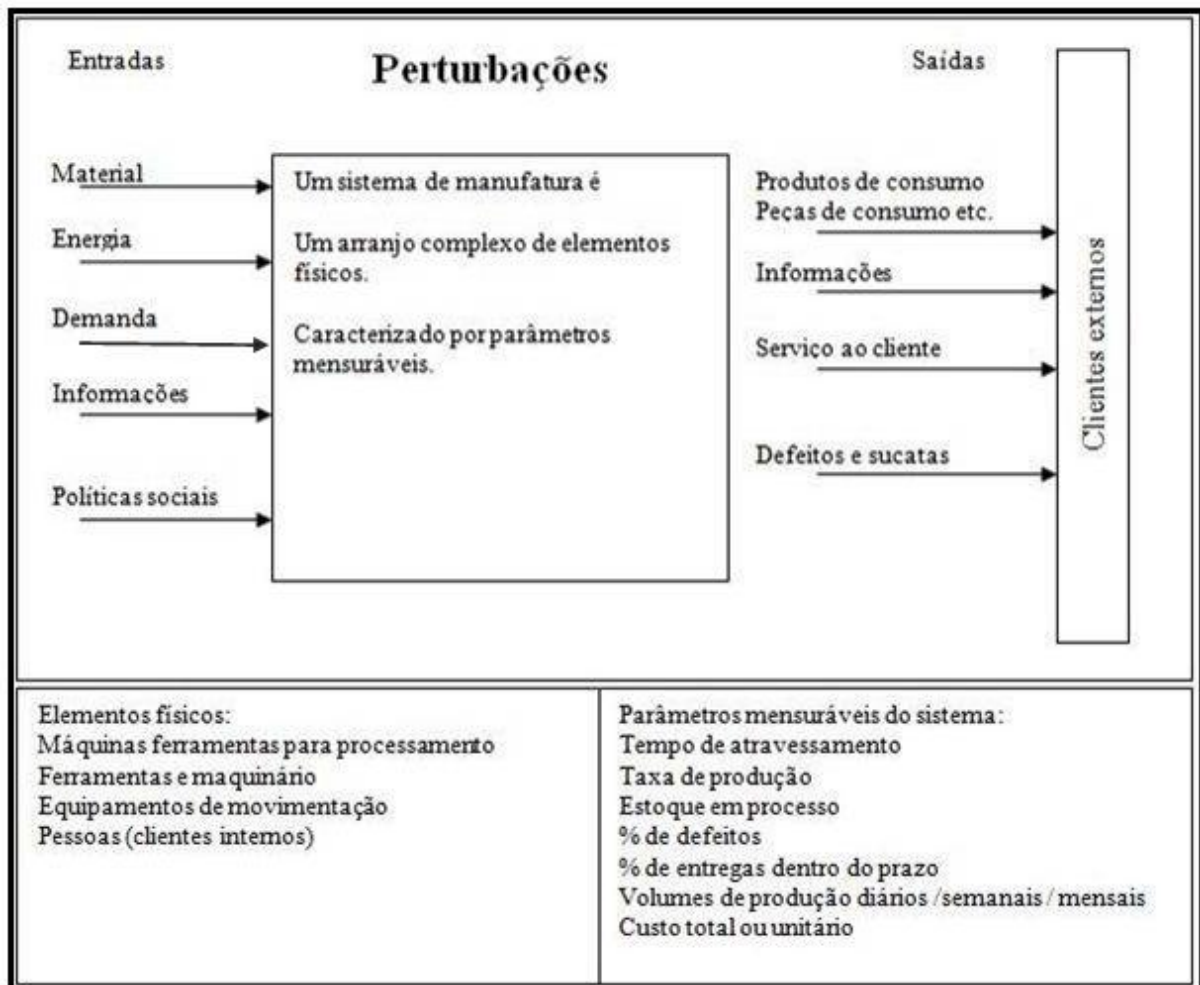


Figura 2 - Funcionamento do Macro Sistema Produtivo (BLACK, 1998)

2.5 SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA

Segundo CANO (2006), um *FMS* pode ser definido como “uma configuração controlada por computador de estações de trabalho semi-independentes, conectadas por manuseio de materiais e carregamento de máquinas automatizado”.

MARTINS e BREMER (2002) definem um *FMS* como “um agrupamento de estações de trabalho semi-independentes controladas por computador e interligadas por um sistema automatizado de transporte”. Segundo GAITHER (1992), *FMS* “são grupos de máquinas de produção organizados em seqüência, ligados por máquinas automatizadas de manuseio de materiais e transferência, e integrados por um sistema de computador”.

Ainda citando GAITHER (1992), *kits* ou conjunto de materiais são carregados no

sistema de manipulação, faz-se então o carregamento de um código no computador para identificar o produto e qual sua sequência. Este produto segue o processo para ser manufaturado e automaticamente transportado para a operação seguinte, cada operação (ou grupo de máquinas) tem sua função na geração do produto, conforme é apresentado na Figura 3.

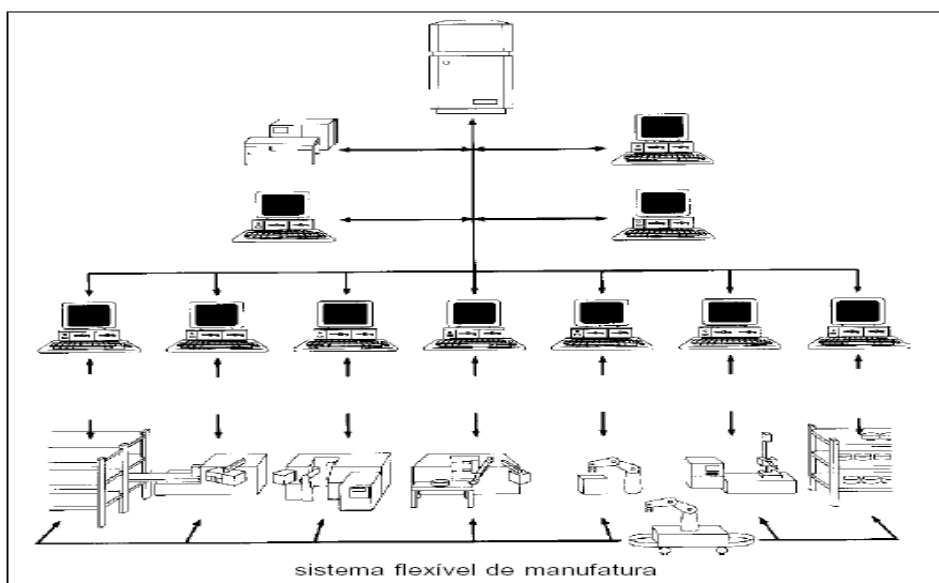


Figura 3 - Funcionamento de um *FMS* (Adaptado de CANO (2006)).

Segundo CANO (2006), embora não haja consenso entre os vários autores quanto à origem do primeiro sistema flexível de manufatura, alguns consideram a indústria Inglesa de máquinas-ferramentas Mollins como sendo a primeira a implantar, em 1968, um sistema desse tipo. Ele teria sido construído para fabricar uma grande variedade de componentes e poder operar, sem a presença do homem, por longos períodos.

2.5.1 Componentes de um *FMS*

❖ Comando Numérico

Segundo CANO (2006), os componentes de um *FMS* são estações de trabalho compostas de máquinas-ferramentas *CNC*. O processo de agregar valor a um produto no processo de usinagem em um *FMS* se dá com o uso de máquinas *CNC*. Estas afastam a interferência humana que é suscetível a erros, além de possuírem um grau de repetição e precisão que um operador jamais conseguiria alcançar.

De acordo com SILVA e BEVILACQUA (2003), o termo CN significa comando numérico, ou seja, técnicas e métodos que permitem acionar e dirigir uma máquina-ferramenta. As informações do tipo numérico são decodificadas e, por um comando

eletrônico, são transmitidas à máquina. Pode-se dizer que o comando numérico assume a função de uma máquina-ferramenta, executando tarefas simples ou complexas com maior rapidez, confiabilidade e precisão.

Segundo SLACK (1995), a máquina “CN” é uma máquina automatizada que faz seus movimentos e avanços por meio de programação de uma fonte externa e o “CNC” é uma máquina automatizada que faz seus movimentos e avanços por meio de uma programação já armazenada em seu próprio computador.

A implementação de sistemas automatizados de inspeção para o controle de processos também pode ser considerado como uma revolução do CNC. Segundo GAITHER (1992), “os sistemas de inspeção automatizada do controle da qualidade são máquinas que foram integradas às inspeções de peças de produtos para propósito de controle de qualidade. Esses sistemas executam uma ampla variedade de testes e inspeções”. Pode ser usado para tomar as dimensões físicas de peças, comparar as medições com os padrões e determinar se as peças cumprem as especificações de qualidade. A medição e controle na máquina-ferramenta é uma evolução do “CNC”, para o “CNA” (comando numérico adaptativo). A palavra adaptativa é acrescentada porque a máquina se adapta às variações do processo, que não é constante.

Para certificar-se da qualidade do produto manufaturado, o uso de inspeções automatizadas tem se tornado amplamente aplicado nos sistemas FMS. Estas inspeções podem ocorrer dentro da máquina-ferramenta com o uso de sensores, que controlam as dimensões toleradas do produto, ou podem ocorrer com o desvio de amostras do produto entre os processos de transporte.

❖ Robô industrial

Tipos de robôs aplicados a carregamento e descarregamento de peças são conhecidos por manipuladores. Eles fazem o carregamento/d Descarregamento e transporte de peças em máquinas ferramentas. Segundo SALVENDY e KARWOWSKI (1994), a RIA (*Robotic Institute Association*), define como “um manipulador multifuncional re-programável projetado para mover materiais, pallets, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos programados para o cumprimento de tarefas variadas”. A Figura 4 exemplifica vários tipos de manipuladores, divididos conforme a movimentação de seus eixos e, segundo SHHEIBIA (2001), os tipos de manipuladores são:

- Articulado ou Rotacional;
- Cilíndrico;

- Esférico ou Polar;
- Cartesiano ou Retangular;
- Scara (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*);
- *Spine*;
- Pórtico ou Móveis.

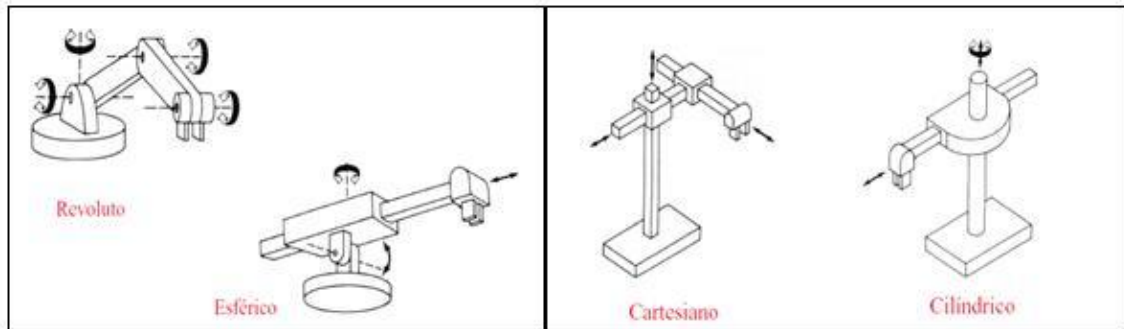


Figura 4 - Alguns Tipos de Manipuladores (Adaptado de SHHEIBIA (2001))

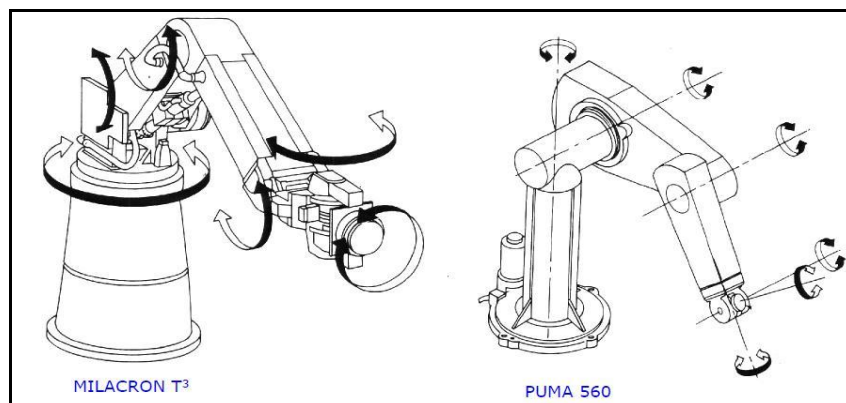


Figura 5 - Exemplos de Manipuladores Industriais (Adaptado de SHHEIBIA (2001))

❖ Veículo autômato

Há instalações de transporte/manuseio de materiais que movem peças entre estações de trabalho. O tempo de transporte do produto de uma operação de manufatura até a outra não agrega valor algum ao produto e, para maximizar este tempo nos *FMS*, pode-se fazer uso de transportadores automatizados como esteiras, robôs ou carros. Há vários tipos de carros transportadores, mas os mais usuais na indústria são os *AGV* (veículo guiado automaticamente) e os *RGV* (veículo guiado por trilho).

Conforme SLACK (1995), *AGV* são pequenos veículos autômatos que movem materiais para locais de operações que agregam valor. Os *AGVs* são pequenos carros sobre rodas. Eles apresentam um suporte para carga que é composto por mecanismos de elevação, correntes, correias ou simplesmente por roletes, sobre os quais é disposto o

pallet, que é uma base de sustentação do material, como demonstra a Figura 6. Os RGVs possuem a mesma função dos AGVs, mas sua diferenciação está no uso de trilhos para guiar sua rota ou trajetória.



Figura 6 - AGV Carregando um Chassi (FERREIRA 1998)

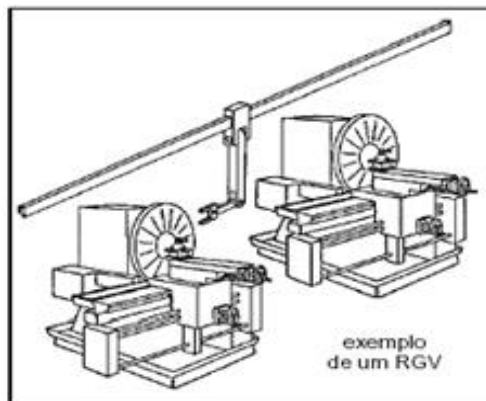


Figura 7 - Exemplo de RGV (CANO, 2006)

O sistema de controle dos RGV são mais simples, pois sua rota já se encontra predefinida pelo próprio trilho. E, como é ilustrado nas Figuras 7 e 8, os RGVs são largamente utilizados para transporte de cargas em armazéns industriais. A atividade de armazenamento também pode ser automatizada por meio de depósitos atendidos por RGVs. Em FMS, o uso de armazéns verticais é comum para a estocagem de dispositivo de fixação para usinagem.

❖ Esteiras transportadoras

Além dos carros transportadores, é comum na indústria o uso de esteiras para trajetórias fixas. O baixo custo seria um dos fatores que viabilizam sua implementação e sua utilização. Entre os vários tipos de esteiras transportadoras destacam-se as esteiras de roletes, correias e correntes. A Figura 9 ilustra a utilização de uma esteira de correias em uma linha de montagem automatizada.

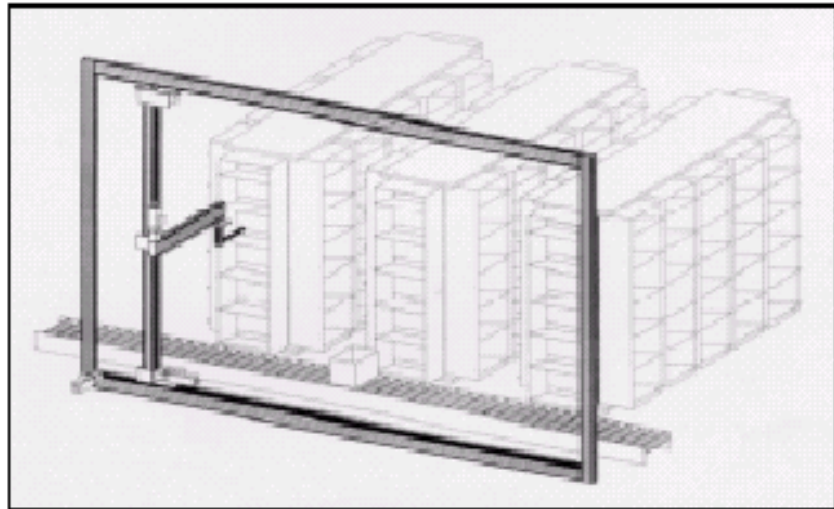


Figura 8 - RGVs / Armazéns Verticais (CANO, 2006)



Figura 9 - Esteira de Correia (ALLWARE, 2007)

2.5.2 Sistema Central de Controle

Segundo FERREIRA (1998), para o funcionamento integrado dos equipamentos e das máquinas é necessário a sua interligação a um controle central, encarregado de monitorá-los e controlá-los de forma coesa. O controlador central recebe os dados das máquinas, os codifica e transforma em informações. Estas informações são analisadas e as máquinas são realimentadas para corrigir dispersões do processo. A realimentação pode acontecer de forma eletrônica por meio de cabos de comunicação que são ligados aos CLPs (controladores lógicos programáveis) dos equipamentos de produção.

Além de receber e enviar informações do controle central, que também pode ser um *CLP*, os *CLPs* das máquinas comunicam-se por meio de sinais elétricos. Para a comunicação entre os controladores das máquinas e equipamentos, estes devem ser equipados com *softwares* (programas de comunicação) e *hardwares* (placas de rede) que possibilitem esta comunicação.

A interface dos equipamentos com o homem é conhecida por *IHM* (interface homem-máquina) por meio de *softwares* que são capazes de interagir com os dados dos controladores de maneira amigável, facilitando ao usuário entender os dados da máquina. Todos esses caminhos de comunicação agrupados formam a rede de comunicação nos sistemas fabris, como é ilustrado na Figura 10.

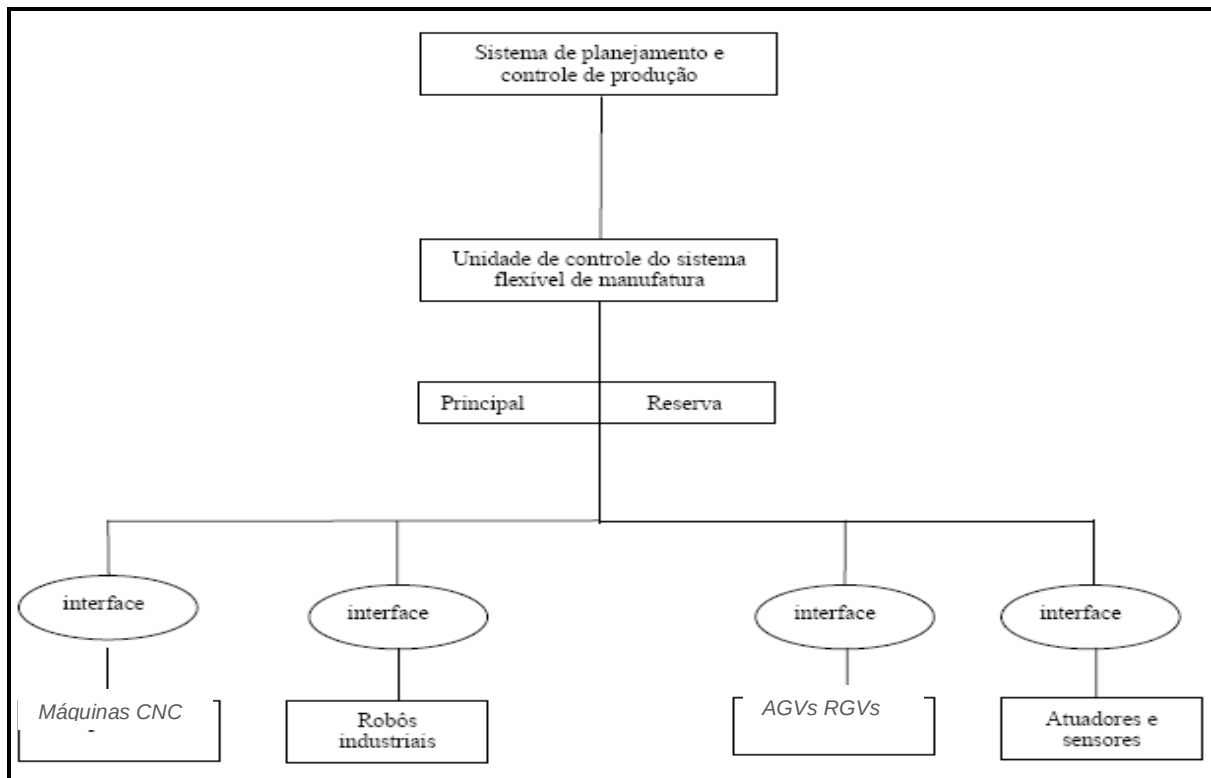


Figura 10 - Rede de Comunicação (Adaptado Cano (2006))

A disseminação da informação ao longo da rede em relação ao controle central pode ocorrer de várias maneiras. Esta distribuição denomina-se arquitetura de rede. As quatro arquiteturas básicas de rede de comunicação são: estrela, barramento, anel e árvore (SOUZA, 2006). Estas arquiteturas funcionam conforme apresentado na Figura 11.

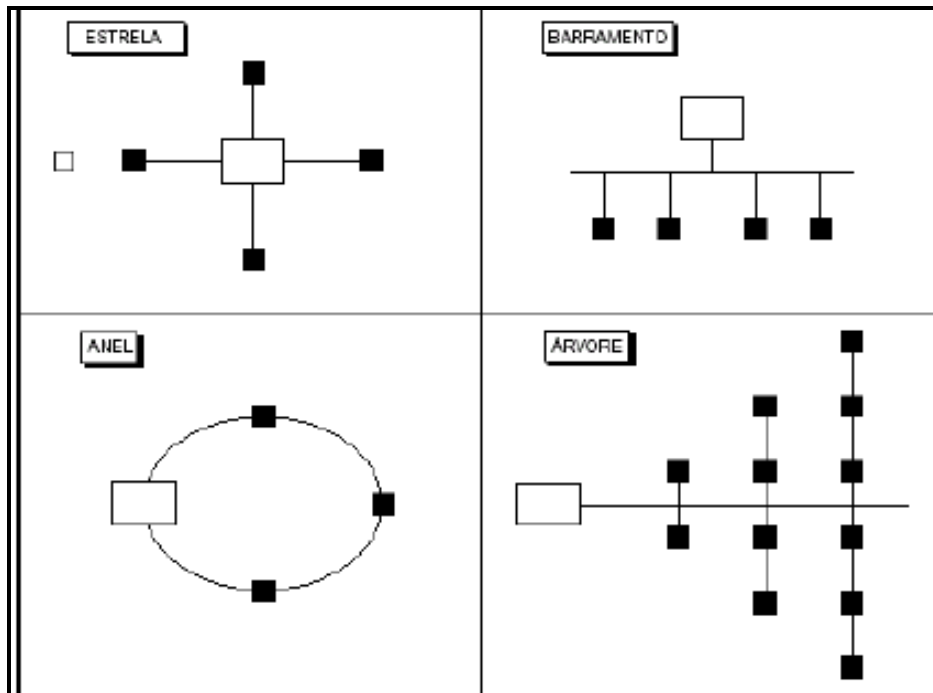


Figura 11 - Arquitetura de Rede (Adaptado SOUZA (2006))

2.6 COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

A comunicação industrial é um tema extenso e em constante evolução, não havendo a intenção de apresentar uma ampla revisão deste tema nesta seção. A comunicação pode ser expandida no sentido horizontal, nos níveis inferiores (*field level*), como também no sentido vertical, integrando todos os níveis hierárquicos. De acordo com as características da aplicação e do custo máximo a ser atingido, uma combinação gradual de diferentes sistemas de comunicação, tais como Ethernet e Profibus, e interfaces oferecem as condições ideais de redes abertas em processos industriais (CONSTANTINO, 2004).

Num exemplo de comunicação industrial, a necessidade de fazer os equipamentos fabris se comunicarem rapidamente e em rede pode levar a indústria a desenvolver um protocolo “paliativo” que utiliza a cablagem (conjunto de cabos) já existente e que transita sinais digitais sobre sinais analógicos. Este protocolo conhecido como Hart tem aplicação permanente nos sistemas fabris (MATA, 2002).

Segundo CONSTANTINO (2004), a Fieldbus Foundation decidiu implementar a rede 100 MBPS com *TCP/IP*, conservando a *DLL* (*Data Link Layer*) utilizada no padrão *Field Bus*. Esta rede promove a interligação de segmentos de baixo nível com o controle de processo. A Figura 12 ilustra os tipos de protocolo e sua atuação. Os protocolos mais conhecidos e usados são:

- *Sensor bus*: integra sensores e atuadores discretos (transmissão *HSE (High Speed Ethernet) bits*);
- *Device bus*: integra dispositivos inteligentes e mais complexos (transmissão *bytes*);
- *Field bus*: especializada em variações analógicas e controle. (transmissão em blocos).

2.7 CONTROLE DO SISTEMA DE MANUFATURA

Segundo BLACK (1998), os elementos físicos importantes para todo sistema de manufatura são pessoas, processos de manufatura e equipamentos auxiliares, usados para estocar e manusear materiais. Estes sistemas tendem a ser difíceis de modelar porque:

- O tamanho e a complexidade do sistema podem inibir o seu controle, devido ao tempo envolvido nesta ação;
- A dificuldade de se obter dados ou informações corretas, diretas e não conflitantes;
- Dificuldade na definição de metas, principalmente em questões que gerem conflitos sociais;
- Mudança do sistema devido ao fator de tentativa de controle;
- Erros nos dados que foram introduzidos no sistema.

A Figura 12 ilustra a atuação dos protocolos de comunicação em seu nível de atuação.

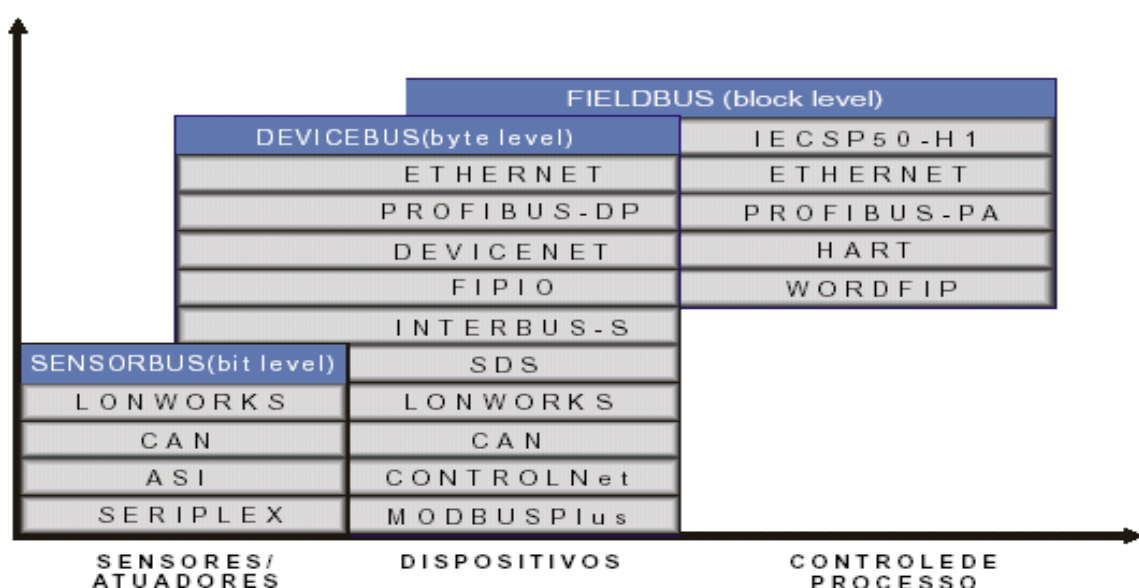


Figura 12 - Atuação dos Protocolos (Constantino, 2004)

2.8 MANUFATURA INTEGRADA POR COMPUTADOR - CIM

Conforme VERNADAT (1996), o conceito *CIM* (*Computer Integrated Manufacturing*) é um conceito de manufatura que integra as atividades de homens e máquinas através de uma melhor comunicação, cooperação e coordenação entre as diversas funções de uma empresa de manufatura. Esta maior integração desde o projeto até a execução e expedição, passando pelo planejamento, programação e controle da produção é possibilitada por meio de tecnologias de informação e comunicação. A Figura 13 ilustra o modelo Y-CIM, com seus inter-relacionamentos entre os subsistemas logísticos e de controle da fábrica (braço esquerdo do Y) e o processo de desenvolvimento de produtos/processos (braço direito do Y) (SCHEER, 1994).

2.8.1 Enterprise production system – EPS

Conforme SOUZA (2005), atualmente a automação vive uma revolução causada pela compreensão de diversos tipos de processos e busca uma maneira mais ampla de aplicação da automação de negócios, conforme é apresentado na Figura 13. Esta automação gerou um novo sistema de gerenciamento de produção chamado *EPS* ou *enterprise production system*.

Segundo SOUZA (2005), o gerenciamento de toda cadeia de produção é realizado por sistemas que são englobados no termo geral EPS. Neles estão incluídos, basicamente, o *MES* (*Manufacturing Execution System*) e o *PIMS* (*Plant Information Management System*), que são responsáveis por concentrar todas as relações relevantes da célula de produção diretamente ligadas aos sistemas de supervisão e controle (SCADA).

O marco inicial para o nascimento do *EPS* foi o aparecimento dos computadores pessoais ou *PC*. O *PC* vem a substituir os antigos painéis sinóticos e as antigas mesas de controle, substituídas por *softwares* SCADA. Para operar neste novo universo de mudanças, o uso do *CLP* (controlador lógico programável) foi padronizado pela criação de uma nova linguagem de comunicação para poder trabalhar neste novo contexto de integração. A linguagem *ladder* já era utilizada na documentação de gabinetes de relês e era uma alternativa para o tratamento de variáveis lógicas. Além de caber nas pequenas memórias dos *CLP*, era a linguagem universal dos eletricitas. Criou-se a norma IEC 61 131-3 que normaliza o *ladder* como linguagem oficial dos *CLP* (LIMA, 2005).

armazenam em uma base de dados em tempo real, para que esta possa ser acessada posteriormente com o intuito de tomada de decisões estratégicas de caráter econômico-financeiro.

Conforme URZÊDA (2006), um sistema *SCADA* permite que um operador faça mudanças, de um ponto remoto, em controladores (*CLP*) distantes, para válvulas, chaves de abrir ou fechar, monitorar alarmes e/ou juntar informações de um instrumento de um processo local para um processo amplamente distribuído, como campos de óleo ou gás, sistemas de oleoduto, sistemas de distribuição de energia ou sistemas geradores hidroelétricos. Neste contexto, o sistema *SCADA*, refere-se à resposta do sistema de controle a mudanças no processo e os faz de maneira semelhante em tempo real ao controle do sistema em um ambiente virtual.

Segundo URZÊDA (2006), inicialmente, os *softwares SCADA* eram basicamente telemétricos e informavam periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos através de um painel de lâmpadas e indicadores, sem que houvesse qualquer interface aplicável com o operador. A evolução tecnológica dos computadores permitiu um papel de gestão de escolha e tratamento de dados, e a geração de comandos de programação para a execução de funções de controle complexas.

Citando MARTINS e BREMER (2002), os sistemas *SCADA* melhoram a eficiência do processo de monitoração e controle. Além disso, disponibilizam em tempo útil o estado atual do sistema, através de um conjunto de previsões gráficas e relatórios, permitindo a tomada de decisões apropriadas, quer automaticamente ou por iniciativa do operador.

2.8.3 Componentes de um sistema *SCADA*

Segundo THRAMBOULIDIS, (2002), os componentes de um sistema *SCADA* são:

- Sensores - Os sensores fazem a conversão de parâmetros físicos para parâmetros digitais ou analógicos que podem ser lidos por uma estação remota;
- Atuadores - Os atuadores trabalham ligando e desligando determinados equipamentos de um sistema. Os sensores e atuadores são ligados aos equipamentos e controlados e monitorados pelos sistemas *SCADA*;
- Estações remotas - As estações remotas são computadores que se comunicam com as estações centrais. O processo de aquisição de dados começa nas estações remotas. As estações remotas podem ser de dois tipos:
 1. *CLP* (controlador lógico programável) que apresenta como principal vantagem a

facilidade de programação e controle de I/O (entradas e saídas).

2. *RTU* (unidade de terminal remoto) que possui capacidade de comunicação, incluindo comunicação via rádio. São indicados para comunicação entre as estações onde as condições são adversas.
- Redes de comunicação. A rede de comunicação é o meio pelo qual as informações das estações remotas são transferidas para o sistema *PIMS*. Os meios físicos utilizados são:
 - Cabos, que indicados para pequenas distâncias;
 - Linhas *dial-up*, que são indicadas para sistemas que não precisem de atualizações periódicas e de longas distâncias;
 - Linhas dedicadas, para uso em sistemas de longa distância e que precisem de atualizações periódicas;
 - Rádio *modems*, para uso em longas distâncias onde o uso de sistemas dedicados não se viabiliza, e onde o uso de repetidores/transmissores se faz necessário.
 - Estações de monitoração central. As estações de monitoramento central são as unidades principais dos sistemas *SCADA*, responsáveis por recolher as informações geradas pelas estações remotas e agir conforme os eventos detectados. Podem estar centralizadas em um computador ou distribuídas em rede. A interação entre os operadores e as estações de monitoração central acontece por um “*IHM*” (ou interface homem-máquina), onde é comum a visualização de um diagrama que representa a estação fabril, a representação gráfica das estações remotas, os valores atuais dos instrumentos e os alarmes detectados.

2.8.4 Sistema de execução da manufatura – *MES*

Conforme SCHUMANN (1997), a tarefa de um sistema produtivo é produzir produtos adicionando valor. Para cumprir esta tarefa, os fluxos de entrada de material nas linhas de produção devem ser coordenados e documentados. Diferentes grupos de trabalho são envolvidos neste processo. Por exemplo, a expedição supervisiona o estoque de materiais; o *PCP* (planejamento e controle de produção) realiza as programações, coordenando as ordens de produção e os fluxos dos materiais; o laboratório recebe as amostras e analisa os resultados; e a logística fornece a matéria prima para a produção e encaminha os produtos para a entrega aos clientes; o gerente de manufatura é o responsável pelo sucesso econômico da produção, monitorando e coordenando as atividades na planta, as análises dos resultados e otimizações do processo. A Figura 14 retrata o trabalho entre as áreas.

Todos estes trabalhos estão inter-relacionados. A finalidade do *MES* é dar a sustentação funcional para estas tarefas, coletando todas as informações das atividades em uma base de dados comum e disponibilizando-as de forma orientada e organizada dentro da organização.

Segundo a *Manufacturing Execution System Association (MESA International)*, um *Manufacturing Execution System (MES)* é um sistema de chão-de-fábrica orientado para a melhoria de desempenho que complementa e aperfeiçoa os sistemas integrados de gestão (planejamento e controle) da produção. Estes sistemas destinam-se a aumentar a dinâmica dos sistemas de planejamento da produção (como o *MRP-II*, por exemplo) que não seriam capazes de lidar com aspectos como o andamento de uma ordem de produção, enquanto a mesma está em progresso e sujeita a restrições de capacidade variáveis em curto prazo. Um *MES* coleta e disponibiliza informações do chão-de-fábrica, fazendo a ligação entre o sistema de planejamento e a fábrica em si (ROZENFELD e ZANCUL, 2000).

Para CORRÊA *et al.* (1997), basicamente, o *MES* realiza dois papéis principais. O primeiro é *controlar a produção*. Para tal, considera o que efetivamente foi produzido e como foi produzido, permitindo comparações com o planejado e, em caso de incoerências, auxiliando na tomada de ações corretivas. O segundo é *liberar ordens de produção*. Através do detalhamento da programação da produção, definida pelo *MRP*, o sistema se preocupa em garantir que o plano seja cumprido.

Citando WESTERLUND (1996), independentemente de quão eficiente seja o planejamento, a realidade nem sempre ocorre conforme o programado. Erros de previsão, problemas de qualidade, gargalos de capacidade, quebras de máquina, falhas de comunicação e ineficiências variadas podem prejudicar o plano, diminuindo o desempenho da produção. Os sistemas, em geral, não conseguem “enxergar” estes problemas e nem sempre suprem as necessidades da organização quanto às informações de correção e prevenção. Desta forma, o *MES*, quando efetivamente implantado, complementa os recursos de planejamento, fornecendo informações coordenadas e detalhadas dos eventos no chão de fábrica na medida em que eles ocorrem. Portanto, a importância dos *MES* está diretamente relacionada com os seguintes aspectos:

- **Controle:** é responsável pela realimentação do realizado no chão de fábrica. Possibilita comparações com o planejado para que ações, em caso de não conformidade, possam ser tomadas de forma rápida e precisa. Este controle também permite que uma ordem de produção seja rastreada e gerenciada durante a sua execução;
- **Liberação e alocação:** para que se possa elaborar um plano de produção factível, em termos de capacidade e materiais, certos índices de produtividade do processo, definidos *a priori*, devem ser ajustados de forma que representem algo próximo da

realidade. Garantir que estes índices estejam alinhados com a realidade é responsabilidade do *MES*.

Um dos principais limitadores na implantação de um *MES* é a dificuldade de se colher, dinamicamente e com a frequência adequada às características do sistema, as informações do chão de fábrica. As informações disponíveis formam a base para o seu funcionamento.

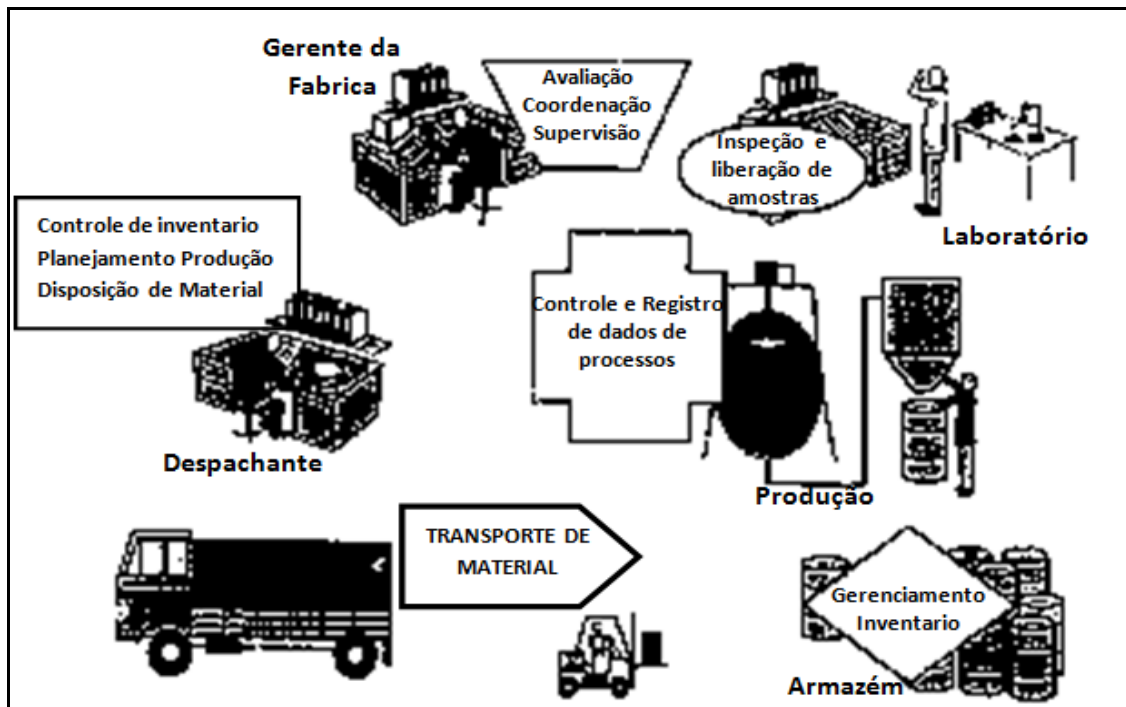


Figura 14 - Relações Entre as Áreas (Adaptado de SCHUMANN (1997))

2.8.5 Sistema de gerenciamento de informações da planta- *PIMS*

Segundo CARVALHO *et al.* (2003), o *PIMS* (*Plant Information Management System*) é um sistema de aquisição de dados que, basicamente, amostra os dados dos processos residentes em fontes distintas, os armazena num banco de dados temporal (em tempo real) e os disponibiliza através de diversas ferramentas. A partir de qualquer estação de trabalho pode-se visualizar tanto os dados de tempo real como históricos da planta. Pode-se montar tabelas, gráficos de tendência, telas sinópticas e relatórios dinâmicos, concentrando a informação e possibilitando uma visão de todo o processo produtivo (CORREA *et al.* 2003).

Segundo BECERRA e PALACIOS (2003), o objetivo do *PIMS* é abranger os processos de tomada de decisão desde o nível operacional até os níveis gerenciais e executivos, permitindo a tomada de decisões utilizando informações confiáveis retiradas da integração dos processos fabris, utilizando todos os níveis dos processos informáticos.

As informações podem ser geradas por processos de coleta de dados automáticas e manuais integrando a tecnologia com procedimentos e estratégias. A tecnologia de transformação de dados em informações permite o gerenciamento da planta fabril em tempo real. Além de possibilitar a formação de estratégias de gerenciamento de *key performance indicators*¹ (KPI) disponibilizando informações que alimentam os indicadores e informações para o reconhecimento das causas de não performance dos mesmos.

Os dados manuais podem ser gerados para relatar o recebimento e o consumo de matérias primas, consumo de energia, defeitos de equipamentos, qualidade do produto e vendas. Os dados automáticos incluem a informação capturada dos dados de *CLP*, *CNC*, sensores e atuadores que monitoram o processo. Todos estes dados, quando disponibilizados no sistema, geram informações vitais em relatórios que são distribuídos entre a hierarquia da companhia. A Figura 15 indica o fluxo de informações de um sistema *PIMS* (BECERRA e PALACIOS, 2003).

Com o uso de protocolos padrões, pode-se conectar o sistema *PIMS* e os sistemas de negócios da companhia. As Figuras 15 e 16 ilustram uma arquitetura típica de um sistema *PIMS* e como acontece a conectividade do nível de controle do processo com os níveis de gerência da empresa.

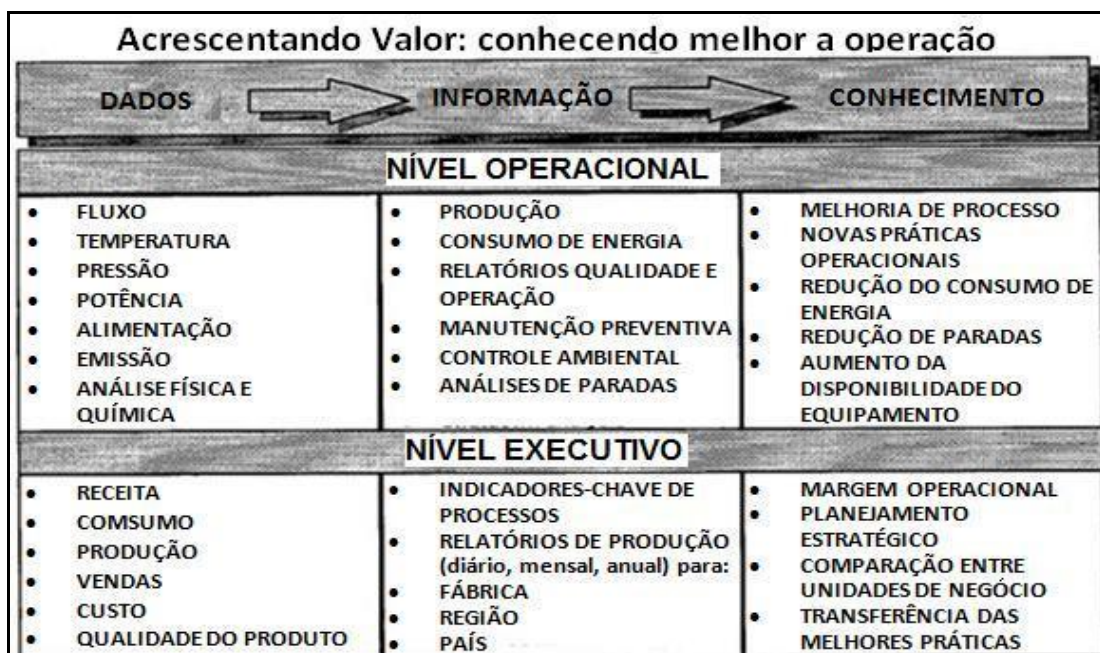


Figura 15 - Fluxo de Informações *PIMS* (BECERRA e PALACIOS (2003))

CONSTANTINO (2004) descreve que uma das vantagens do *PIMS* está na sua alta capacidade de compactação de dados e seu tempo de resposta para consulta de uma base

¹ KPI ou *key performance indicator* é um indicador de performance e desdobramento dos objetivos da empresa.

histórica. A integração com sistemas de gestão de negócios pode levar a empresa a um diferencial competitivo devido a sua rápida capacidade de gestão de recursos.

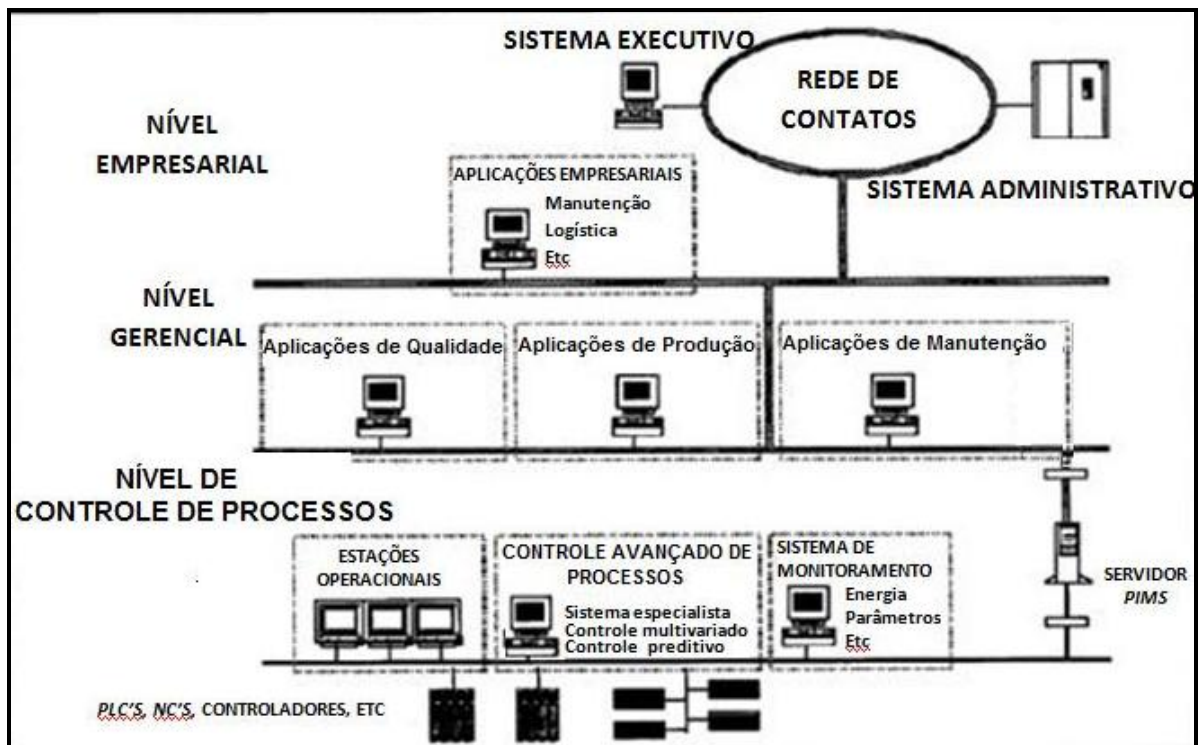


Figura 16 - Conectividade PIMS (Adaptado de BECERRA e PALACIOS (2003))

❖ Componentes do Software PIMS

Os sistemas PIMS dispõem de ferramentas especiais, chamadas *Drivers* de comunicação, que são desenvolvidos com a finalidade de conectar os sistemas de supervisão industriais. Pela variedade de fabricantes, os sistemas de supervisão podem apresentar heterogeneidade. Atualmente, os sistemas PIMS apresentam uma vasta gama de *drivers* para comunicação entre os sistemas, que englobam tecnologias de comunicação de troca de informação (SOUZA, 2005). Não havendo *drivers* de comunicação que não se integrem aos sistemas PIMS, os fabricantes disponibilizam ferramentas que facilitam a confecção de novos *drivers* para a mesma.

O armazenamento de dados acontece de forma compacta, por meio de algoritmos, o que viabiliza o armazenamento em discos rígidos ocupando o mínimo de espaço possível. Estes algoritmos trabalham de uma forma excludente que eliminam parâmetros desnecessários para o armazenamento. Além da divisão das informações em níveis hierárquicos, o sistema disponibiliza as informações que podem ser acessadas por *sites* remotos ou pela *Internet*. Vários *softwares* PIMS possibilitam a visualização de informações

a grandes distâncias, entre plantas manufatureiras que estão em lados opostos do globo terrestre (FEIJÓ, 2007).

Os fabricantes de *softwares PIMS* disponibilizam ferramentas gráficas para visualizar as informações de forma mais simples e com maior agilidade, possibilitando aos usuários consultar as informações *online* e também “cruzar” as informações históricas com as atuais (CONSTATINO, 2004). As informações contidas dentro do banco de dados do *PIMS* possuem uma característica de interação com os *softwares* mais usados no mercado, tais como *®EXCEL* e *®ACCESS*. Estas possibilidades garantem ao usuário que ele mesmo gere seus relatórios personalizados, sem estar amarrado às limitações do *PIMS*. Além destas formas de visualização, as informações podem ser acessadas através de uma tela de resumo e pela *internet*.

O sistema permite também a Investigação de problemas podendo-se comparar uma situação de produção normal com uma situação problemática. A comparação ressalta quais variáveis não se encontravam em seu valor previsto ou típico. Estas variáveis podem corresponder à mesma operação historicamente ou em comparação com outras operações diferentes.

Outra vantagem do sistema é o cruzamento de informações de operações diferentes. Uma das maneiras de se extrair a real capacidade produtiva de uma operação está no cruzamento das informações de diferentes operações, realizando-se um *benchmark*. Também se faz possível a verificação de variáveis externas que influem no processo. O *software* permite classificá-las como variantes da manufatura. Por exemplo, a leitura de sensores que detectam a temperatura do ambiente fora da fábrica, o consumo de energia de algumas operações, etc. O *PIMS* armazena esses dados possibilitando a verificação histórica dos mesmos, disponibilizando e cruzando informações.

2.9 METODOLOGIA DE REDUÇÃO DE PERDAS

Segundo SILVA (2002), a *metodologia de redução de perdas* tem o objetivo de eliminar sistematicamente todas as categorias de perdas e aprimorar a *performance* dos equipamentos e linhas de manufatura de uma organização. O nome “metodologia de redução de perdas” é o nome usado, na empresa estudada, para o método *Kaizen*. A ferramenta utiliza métodos estruturados para identificar, quantificar e tratar as perdas pelo ciclo *PDCA*. O objetivo da apresentação desta seção é relatar ações que são tomadas por muitas empresas, mas que, como será apresentado, não foram capazes de resolver ou mesmo detectar as causas mais importantes para as paradas de máquinas.

A metodologia de eliminação de perdas possibilita o uso de ferramentas de gestão

padronizadas, adotadas por muitas empresas. As ferramentas são *QC Story*, *PDCA*, 5 Por Ques, Diagramas de Pareto, Trabalhos em Grupo, Lições Pontuais e Padronização. E como estas ferramentas de gestão não focam os objetivos da pesquisa, estas serão citadas e a explicação dos seus significados apresentados no glossário. O manual da metodologia de redução de perdas propõe que para o sucesso na implementação da metodologia deve-se seguir o cronograma estruturado passo a passo (DANTE, 2005). Sucintamente, descreve-se os passos do cronograma da metodologia de redução de perdas. No capítulo 5 é apresentada a aplicação deste método na tentativa de solução do problema proposto.

a) Seleção do equipamento piloto

- **Fixação dos objetivos a serem atingidos pela linha de manufatura:** A fixação dos objetivos da linha produtiva acontece com o atendimento da demanda, levando-se em conta o tempo ciclo da linha e o custo do valor de transformação do produto;
- **Identificação do equipamento problema:** O uso do *PIMS* possibilita a visualização do equipamento com problema e a detecção pode ocorrer com a interpretação *online*, vendo a repetição de saturações e repetição de panes ou no modo *offline* na leitura dos *KPI* (*key performance indicator*), como o número de panes ou tempo de panes de máquinas;
- **Estudo da possibilidade de capitalização:** A empresa estudada entende como capitalização o sincronismo das intervenções necessárias dentro do período de auto-manutenção (manutenção preventiva executada pelos operadores); ou seja, parar o equipamento para melhoria ou correção fora do período produtivo.

b) Construção e organização de grupos de trabalho

- **Montagem de equipes para atuação no equipamento problema:** O material de apoio da empresa define que deve ser montada uma equipe multidisciplinar para a resolução do problema. Esta equipe é formada pelos seguintes personagens: gerentes / chefes de linha; supervisores; representante da área de progresso contínuo; confiabilista; representante da área de métodos; mecânico / eletrônico (15 minutos máximo), e condutor / operador (15 minutos máximo);
- **Animação em painéis de trabalho:** A animação dos painéis de trabalho consiste em retratar numericamente a situação atual do equipamento, célula ou posto de trabalho e a definição de metas para a qual o grupo está trabalhando.

c) Quantificação de perdas

- **Identificação das categorias de perdas:** Para melhorar o foco de atuação da

equipe, o grupo define quais são os tipos de perdas (pane, tempo de ciclo, ergonomia e ergologia);

- **Definição de hierarquia de perda:** Com a identificação dos tipos de problemas, a equipe analisa os impactos de cada tipo de perda e define o grau de importância de cada anomalia, levando-se em conta o tempo de atuação para a resolução, o custo estimado e o grau de impacto no *KPI*;
- **Validação pelo grupo:** A escolha e definição das perdas são de competência do grupo de trabalho, não podendo sofrer influências externas pela legitimidade da metodologia e todas as ações devem ser tomadas em comum acordo na equipe.

d) Tema e objetivo

- **Determinar as perdas a serem eliminadas a partir da análise:** A identificação e quantificação pontual de cada perda são necessárias para a interpretação exata dos problemas;
- **Fixar objetivos:** Trata-se da determinação de prazos e resultados das intervenções.

e) Programação das intervenções

- **Planejar as medidas corretivas:** Para o planejamento das medidas corretivas é necessária a análise do cronograma de fabricação para utilização dos tempos de ociosidade e determinação dos recursos humanos e financeiros;
- **Priorizar as categorias de perdas de acordo com o objetivo:** A adequação das intervenções deve coincidir com o objetivo principal da equipe;
- **Fixar os avanços do grupo de trabalho:** Os resultados e avanços da equipe são divulgados em períodos semanais nos painéis de trabalho de cada equipe.

f) Programação e avaliação das análises e medidas corretivas

- Utilizar as diferentes ferramentas de análise para identificar as causas: A análise de causa deve obedecer a uma interpretação científica para a validação da análise. Isto se faz com o uso de ferramentas como a análise dos 5 por quês, análise de causa e efeito e 5W2H, por exemplo;
- **Acompanhamento das análises até encontrar as verdadeiras causas para erradicar as perdas:** Também é necessária a medição dos resultados das intervenções para certificar a eficácia e eficiência das mesmas.

g) Aplicação das ações

- **Alterar o orçamento (*budget*), caso necessário, para aplicar as ações:** Para aplicação das intervenções é necessária a verificação de viabilidade, conforme orçamento. Caso haja a não disponibilidade de recursos financeiros, a equipe deve comprovar retorno de investimento para alteração do orçamento do setor;
- **Aplicar as ações:** As ações de intervenção devem seguir o fluxo PDCA.

h) Confirmação de ações

- **Verificar os resultados do plano de ação:** A verificação dos resultados consiste em medir os resultados em relação ao objetivo definido e implementar correções, se necessárias.

i) Ações de eliminação do risco de reaparecimento da perda

- **Aplicar o PMA (Plano de Manutenção Autônoma), Ficha de capitalização e Lições pontuais para evitar o reaparecimento da perda:** Com os objetivos alcançados, há necessidade de adequação das documentações dos postos de trabalho, das fichas técnicas de funcionamento e operação, implementação das ações de MPT (manutenção produtiva total), divulgação das mudanças por meio de lições pontuais e treinamentos;
- **Capitalização:** Há a necessidade de oficializar todas as mudanças e divulgar os resultados, as implementações e os problemas abordados.

j) Capitalizar para outras máquinas e linhas

- **Capitalizar a solução para outras máquinas, linhas e processos:** Para o sucesso da metodologia de resolução de perdas, a disseminação do conhecimento auxilia na resolução de problemas parecidos em outros cenários;
- **Valorizar os resultados:** A valorização dos resultados aumenta a satisfação dos membros da equipe e motiva o empenho para a obtenção de resultados nas próximas resoluções de perdas;
- **Animar novas frentes de trabalhos para outras perdas:** O incentivo para a criação de novos grupos de trabalho para a resolução de perdas coloca a empresa em um ciclo de melhoria continua.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA ABORDADO

O local estudado é um *FMS* (sistema flexível de manufatura) implantado numa fábrica da região metropolitana de Curitiba, Paraná, sendo utilizado para manufaturar blocos, virabrequins e cabeçotes automotivos, divididos por produtos em três linhas de produção diferenciadas, que alimentam uma linha de montagem de motores (produto final da planta fabril).

Aplica-se o estudo de caso no setor de usinagem de blocos de motores, da fábrica da região metropolitana de Curitiba. Para melhor identificação dos objetivos e não tornar o estudo de caso muito amplo definiu-se como objeto de estudo uma célula de fabricação (estação de trabalho) onde inicialmente foi aplicada a Metodologia de Resolução de Perdas, sem a obtenção dos resultados almejados. Para a identificação da estação de trabalho na pesquisa dentro do setor, esta foi identificada como estação de trabalho A.

3.1 AMOSTRA DOS ELEMENTOS TECNOLÓGICOS

Como na identificação do local, são identificados os elementos tecnológicos necessários para a delimitação do universo pesquisado. A seguir são descritos os elementos tecnológicos estudados.

- ❖ **Componentes da Estação de Trabalho A:** A estação de trabalho A é composta de:
 - 2 elevadores de paletização manual;
 - 1 talha para carregamento de esteiras manual;
 - 2 esteiras de entrada (modelos de produtos diferenciados);
 - 1 estação *PC* para controle de entradas. (automatizado);
 - 1 portal (central de comando dos robôs);
 - 2 robôs independentes, sendo um para carregamento e um para descarregamento;
 - 3 centros de usinagem;
 - 1 armazém de adaptadores (armazenamento automático por *RGV*);
 - 2 *RGVs*, sendo um para carregamento e um para descarregamento.

- ❖ **Sistemas de comunicação industrial:** Para a conexão dos equipamentos no *FMS* e comunicação com o sistema *PIMS*, utilizam-se tecnologias de comunicação industrial como: *PROFIBUS*, *ETHERNET*, *MPI* e *DAKS* (*Digital Alarm Communications*

Server) ou Monitor Digital de Comunicação de Alarme.

- ❖ **Sistema PIMS:** O sistema *PIMS* foi desenvolvido com exclusividade e adaptado para o sistema de manufatura implantado. Esta adaptação foi necessária para a interconectividade das plantas fabris da empresa estudada no mundo. Mesmo se as plantas fabris possuírem diferentes sistemas produtivos de manufatura, estas utilizam o *PIMS* para facilitar a troca de informações e experiências num contexto global.

3.2 AMOSTRA DO ELEMENTO HUMANO

As pessoas envolvidas no campo do estudo foram selecionadas com os seguintes critérios:

- Ser colaborador na empresa estudada;
- Ter conhecimento operacional ou técnico do *software PIMS*;
- Interagir com o sistema de *PIMS*;
- Trabalhar no setor ou com o setor de usinagem de blocos da empresa estudada;
- Interagir na estação de trabalho estudada indistintamente de sexo, idade ou hierarquia.

Dentro deste universo, selecionaram-se as pessoas, segundo sua inteligibilidade com o sistema *PIMS* e a estação de trabalho A:

- 1 integrador do sistema, responsável pela análise do funcionamento do *PIMS*;
- 1 processista que analisa as informações já processadas pelo sistema;
- Supervisores de produção responsáveis pelo gerenciamento *online* de todo o processo produtivo;
- Condutores de máquinas responsáveis pelas células de fabricação, atendimento de chamadas geradas pelo *PIMS* alimentação codificada e descritiva no sistema;
- 1 supervisor de manutenção que analisa as informações já processadas pelo sistema;
- Manutentores eletrônicos responsáveis pelo atendimento das chamadas efetuadas pela produção.

A seguir são descritas a coleta e análise dos dados, que foram utilizados neste trabalho.

3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Identificados os fatores humanos e tecnológicos, e determinado o objetivo da pesquisa, foi realizada a coleta sistemática de informações utilizando para isso várias formas de instrumentos e técnicas.

Como fontes nesta pesquisa utilizaram-se fontes primárias e fontes secundárias. Segundo MONDIN (2001), fontes primárias possuem relação direta com a realidade e utiliza-se de várias técnicas, tais como: observação, entrevistas, questionários e formulários. Como fonte primária, a entrevista semi-estruturada é a mais adequada para este estudo, pois esta combina perguntas abertas e fechadas e permite ao entrevistado discorrer sobre o assunto sem que se fixe sobre determinadas perguntas e respostas (MONDIN, 2001). Outro fator chave para escolha do método foi a inteligibilidade do entrevistador (perguntas abertas) e, para que o assunto não saísse fora dos objetivos, algumas perguntas tiveram que ser alteradas ou reformuladas no decorrer da entrevista.

Outra fonte primária utilizada foi o método da observação. Segundo FACHIN (2001), o método da observação trabalha com fatos sociais colhidos em seu ambiente natural, sem interferência e apresentados meramente como eles se sucedem em uma determinada sociedade. Como o pesquisador trabalhava na empresa em questão, a observação do ambiente foi imprescindível para a coleta e análise dos dados e para uma melhor análise. Além disso, o pesquisador não se envolveu com o problema para não prejudicar ou alterar de forma tendenciosa a interpretação dos dados. As perguntas elaboradas foram retiradas da interpretação do manual do *software PIMS* e da observação do ambiente, tendo como referência os objetivos da pesquisa.

Segundo MONDIN (2001), as fontes secundárias são constituídas de materiais informativos tais como documentos, jornais, revistas, procedimentos e relatórios que possam fornecer informações ao estudo em si, e complementem as fontes primárias para obtenção de dados. Como fonte secundária foram utilizados a *intranet* da empresa, os manuais de utilização dos equipamentos, o sistema de troca de *e-mails*, o modo de funcionamento do sistema de manufatura e os procedimentos técnicos de operação.

A primeira entrevista serviu como base para compreender o funcionamento do sistema e como os dados eram processados e distribuídos na organização, sendo que a entrevista ocorreu somente com hora marcada e no ambiente de trabalho do entrevistado, gerando várias interrupções, o que dificultou a primeira coleta de dados.

3.4 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA DE CAMPO

Esta seção tem como objetivo descrever e caracterizar a pesquisa de campo, principalmente na limitação da área e funções do *PIMS* aplicado ao sistema *FMS* estudado. O *FMS* é subdividido em 24 operações, entre usinagens, montagens, lavagens e teste de vedação. Para o transporte de uma operação a outra são utilizados esteiras de roletes e pórticos. O controle da qualidade do produto acontece de forma automatizada, durante processo e por controle estatístico de amostras, utilizando-se de máquinas tridimensionais, calibradores e demais instrumentos de medição. A Figura 17 apresenta o *FMS* estudado.

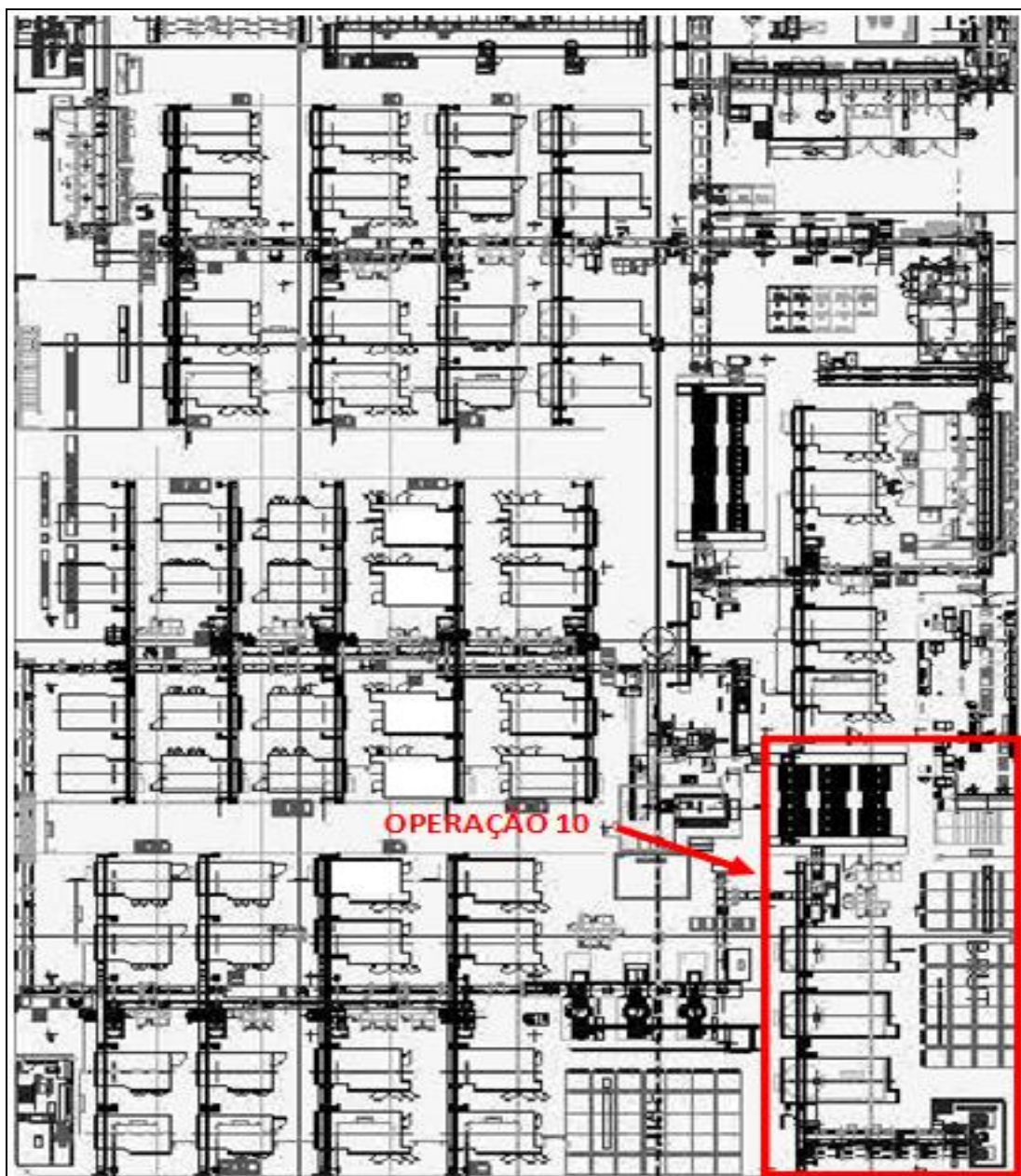


Figura 17 - Planta Estudada: *FMS* de Bloco de Motores (DANTE, 2005)

3.5 SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRABALHO A

Chamaremos de estação de trabalho A a junção de três operações que trabalham em conjunto e se intercomunicam, mesmo sendo máquinas de diferentes fabricantes. Como já citado, a estação de trabalho A está dividida em três operações: operação de carregamento manual, operação de usinagem e operação de aplicação de produto sobre adaptadores.

3.6 SISTEMA PIMS DA EMPRESA

Para melhor entendimento do sistema *PIMS* da organização, abordou-se o sistema em 6 etapas sendo:

- Objetivos;
- Entradas;
- Processo;
- Saídas;
- Controles;
- Retro-alimentação.

A Figura 18 representa a interação dos componentes do sistema.

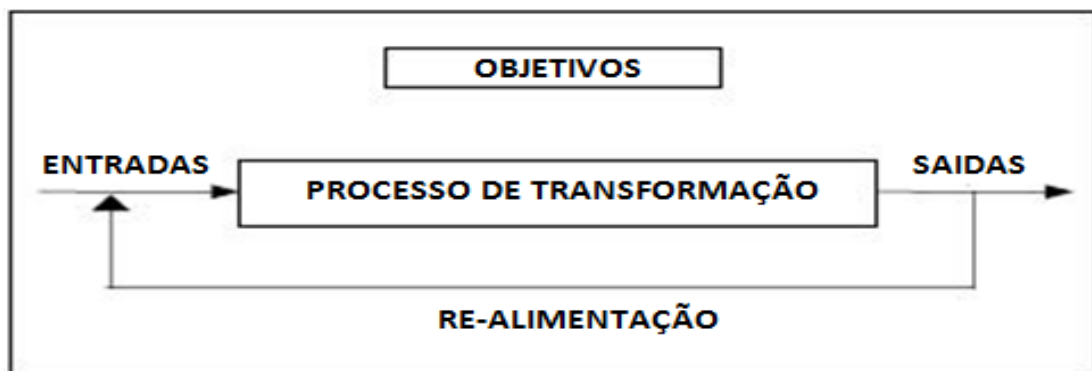


Figura 18 - Sistema Base (CHIAVENATO, 1990)

O objetivo do *PIMS* está na atuação direta das causas de performance e não performance, onde *performance* pode ser definida dentro dos parâmetros da capacidade teórica produtiva do equipamento como as máquinas em estado de referência, funcionamento contínuo (fluxos constantes sem intervalos), tempo de ciclo do fabricante e ausência de falhas e *não performances* no contexto de perda de produtividade com paradas próprias e induzidas, ultrapassagem de tempo ciclo e não qualidade do produto.

❖ Entradas ou alimentação do sistema

Para o sistema *PIMS*, esta alimentação é gerada a partir de dados introduzidos no sistema, que podem ocorrer de três formas:

- Alimentação automática;
- Alimentação codificada;
- Alimentação manual.

❖ Saídas de informação

As saídas de informação são o resultado do processo de transformação de dados em informação. No contexto do estudo, a abordagem de saídas de informação no sistema *PIMS* aplicado no acompanhamento de paradas de máquinas, se dá com a apresentação das principais informações disponibilizadas pelo *software* adotado pela empresa estudada.

As informações estão disponibilizadas automaticamente em tempo real pela função sinóptica. As informações de análise de indisponibilidade são disponibilizadas apenas após o carregamento manual dos dados.

❖ Função sinóptica

A função sinóptica ou tela sinóptica retrata a condição de funcionamento da linha em tempo real. A interface de apresentação de informação acontece com a representação das máquinas e equipamentos em vista superior com a identificação numerada de sua operação e seu estado atual. Para identificação do estado do equipamento, o *software* disponível utiliza um código de cores onde:

	Verde indica máquina em funcionamento;
	Amarela indica máquina ou operação saturada;
	Vermelha indica máquina parada por pane;
	X vermelho indica falta de serviço;
	Azul indica falta de peça;
	Roxa indica falta externa (falta de programa ou ferramentas).

Além da representação do estado pelo código de cores, a tela sinóptica indica o tempo de parada, o número de peças produzidas e os alarmes da alimentação automática, em ordem cronológica. As representações dos alarmes automáticas aparecem em uma barra de rolagem na parte inferior da tela. Estes são atualizados automaticamente no decorrer do período. A Figura 19 apresenta a tela sinóptica do *FMS* de blocos de motores estudado.

3.7 REALIMENTAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO QUANTO ÀS PANES DE MÁQUINA

Para que ocorra a correta realimentação do sistema produtivo é necessária a tomada de ações. Em posse das informações trabalhadas no quadro de indicadores, monta-se um plano de ação sobre os equipamentos mais penalizantes do processo. Este plano de ação aborda diferenciadamente cada operação, o tipo de análise sobre a pane, a causa da pane, o responsável geral, a ação a ser tomada, o responsável pela intervenção, o prazo, o avanço e a data da resolução.

A informação do *avanço* retrata a situação atual da intervenção, o que pode ser dividido em 3 níveis: intervenção em análise; em implantação; e implantado e validado. A Figura 20 apresenta o funcionamento do quadro de indicadores do *FMS* de bloco de motores.

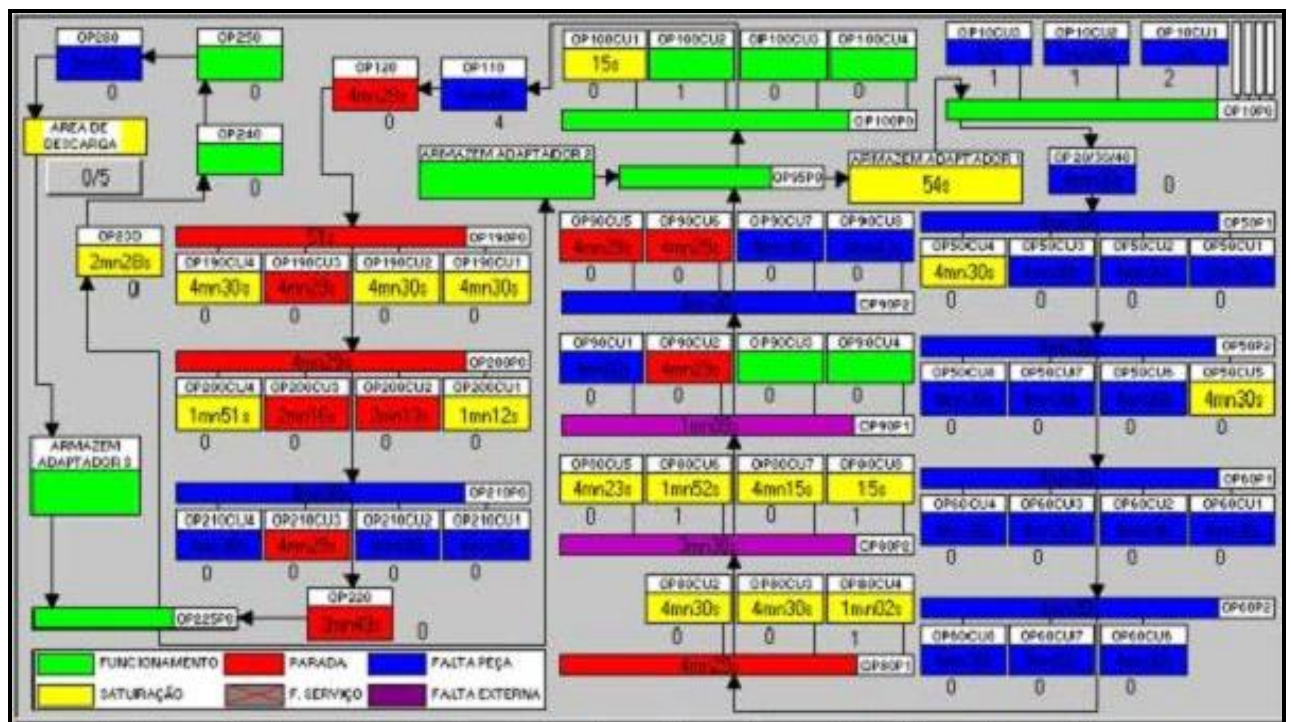


Figura 19 - Tela Sinóptica (DANTE, 2005)

3.8 ESTUDO DE CASO: PRIMEIRA TENTATIVA DE MONITORAMENTO DE FALHAS UTILIZANDO *PIMS*

Esta seção retrata a primeira tentativa de monitoramento de falhas, utilizando um *software PIMS*, no *FMS* da empresa estudada. As informações de parâmetros de

manufatura foram obtidas com um *software* PIMS SAM®. Quando as informações sobre falhas de equipamentos foram analisadas, a intenção era obter uma indicação clara sobre as ações corretivas que deveriam ser executadas no FMS. Isso é particularmente importante quando o objetivo das ações corretivas é aprimorar a confiabilidade do FMS. No caso estudado, o PIMS foi abastecido corretamente com informações do FMS, mas houve uma análise conflitante das falhas. O *software* PIMS SAM® foi capaz de fornecer tabelas e relatórios gráficos sobre parâmetros de operação e desempenho de máquinas, como, por exemplo, utilização, disponibilidade e interrupções de operação das máquinas. Informações de alarmes e sensores, que impõem interrupções de operação, também estavam disponíveis no PIMS.

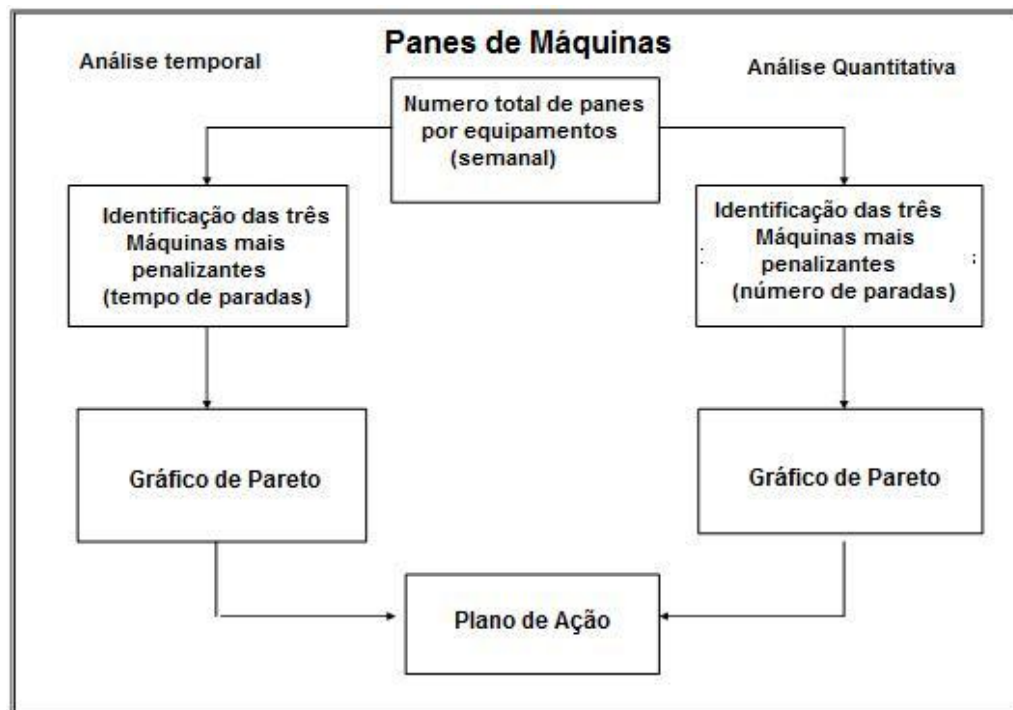


Figura 20 - Análise e Plano de Ação (DANTE, 2005)

Este estudo se concentrou em uma estação de trabalho específica porque sua indisponibilidade teve um impacto negativo na performance global do FMS. Essa estação de trabalho era composta por um centro de usinagem Grob®, um RGV (veículo guiado por trilhos) Steiff® para o transporte de peças produzidas, um equipamento de avanço de peças Grob® e um robô de coordenadas cartesianas Grob®. De acordo com os relatórios do PIMS, essa estação de trabalho apresentou o número mais alto de paradas de máquina e também o maior tempo de indisponibilidade devido a falhas do equipamento. Para tratar deste problema, a empresa aplicou a metodologia de redução de perdas, descrita na seção 5 e que se assemelha a um *Kaizen*.

4 SISTEMAS ESPECIALISTAS

Segundo SILVA (2005), a Inteligência Artificial é uma ciência, que abrange uma variedade de subcampos, que vão desde áreas de uso geral, como aprendizado e percepção, até tarefas mais específicas, como jogos de xadrez. E, conforme RUSSELL e NORVIG (2003), a Inteligência Artificial sistematiza e automatiza tarefas intelectuais e, portanto, é potencialmente relevante para qualquer esfera da atividade intelectual humana.

Segundo PATTERSON (1990), o importante papel que o conhecimento tem na construção de sistemas inteligentes é extensamente aceito por pessoas experientes em relação à inteligência artificial. A inteligência artificial tem dado novo significado e importância ao conhecimento. Agora, pela primeira vez, é possível “empacotar” o conhecimento especializado e vendê-lo como um sistema que pode “raciocinar” e “tirar conclusões”. O potencial deste importante desenvolvimento começa a ser percebido. Imagine poder comprar um incansável e confiável conselheiro que dá conselhos de alto nível profissional em áreas específicas, como técnicas de manufatura, estratégias financeiras, formas de melhorar a saúde entre outros.

4.1 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO

Segundo PATTERSON (1990) Uma das importantes lições aprendidas com a Inteligência Artificial (I.A.) durante os anos 60 foi que o propósito geral de solucionadores de problemas que continham um número limitado de leis ou axiomas, era muito fraco para serem eficazes na resolução de problemas de qualquer complexidade. Essa conclusão eventualmente levou ao desenvolvimento dos que hoje são conhecidos como sistemas baseados em conhecimento, sistemas que dependem de uma base de conhecimento para realizar tarefas complexas.

Conforme GORZ e CRUZ (2005), Edward Feigenbaum resumiu, na Conferência Internacional sobre Inteligência Artificial em 1977, o fato de que o poder real de um sistema especialista vem do conhecimento que possui, em vez dos esquemas de inferência e outros formalismos que ele emprega. Isso formou a base para alguns dos novos sistemas especialistas emergentes que vinham sendo desenvolvidos desde os anos 70, incluindo o MYCIN, um sistema especialista desenvolvido para diagnosticar doenças infecciosas no sangue.

Segundo BRASIL (1998), trabalhos realizados em I.A. têm sido propostos referentes aos sistemas conhecidos como baseados no conhecimento, incluindo trabalhos com visão,

aprendizado, resolução geral de problemas e entendimento da linguagem natural. Esta mudança tem levado a uma maior ênfase na pesquisa de representações referentes ao conhecimento, organização da memória, uso e manipulação de conhecimento.

Os sistemas baseados em conhecimento obtêm seu poder a partir de conhecimentos especializados que têm sido codificados a partir de fatos, regras, heurísticas² e procedimentos. O conhecimento é armazenado em uma base de conhecimento separada dos componentes de inferência e controle. Isto torna possível adicionar novos conhecimentos ou refinar os existentes sem recompilar os programas de controle e inferência. Isto simplifica em muito a construção e manutenção de sistemas baseados em conhecimento (MAIA, 2007).

4.2 REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Conforme MAIA (2007), a representação do conhecimento tem se tornado uma das prioridades das pesquisas em I.A. O conhecimento consiste de fatos, conceitos e regras, entre outros, e pode ser representado de diferentes formas, como imagens mentais no pensamento de alguém, como palavras ditas ou escritas em algum idioma, como gráficos ou outras Figuras e como algoritmos ou coleções de marcas em um disco rígido de computador.

Qualquer escolha de representação depende do tipo de problema a ser resolvido e dos métodos de inferência disponíveis. Por exemplo, a lógica *fuzzy* (tipo de lógica aplicada à programação de computadores que tenta simular o pensamento humano), lógica modal e métodos de orientação a objetos. Segundo GOMIDE *et al.* (1995), lógica *Fuzzy* é uma generalização da “lógica dos predicados”, desenvolvida para permitir a variação no grau de algumas propriedades como altura. Na clássica lógica binária, uma inferência pode apenas ser verdadeira ou falsa, mas na lógica *fuzzy* esta sentença pode ser parcialmente verdadeira. Lógica modal é uma extensão da lógica clássica. Também foi desenvolvida para melhor representar raciocínios de senso comum permitindo condições como provável ou possível. Representações de orientação a objetos acondicionam um objeto junto com seus atributos ou funções, conseqüentemente escondendo estes fatos. Neste caso, operações serão desempenhadas através do envio de mensagens entre os objetos.

² Pode-se definir heurística como uma abordagem estocástica de “otimização”, onde normalmente não se conhece a solução ótima.

4.3 SISTEMAS BASEADOS NO CONHECIMENTO

Segundo PY *et al.* (2001), os sistemas baseados no conhecimento foram alvo de várias pesquisas em inteligência artificial, realizadas com sucesso. Esses sistemas são baseados num modelo explícito de conhecimento destinado a solucionar problemas. O conhecimento deve ser representado em forma de regras ou modelos de objetos.

Os sistemas Baseados no Conhecimento (SBC) ou *Knowledge-based systems* são sistemas que aplicam mecanismos automatizados de raciocínio para a representação e inferência de conhecimento.

Segundo GIARRATANO e RILEY (1989), existe uma série de formalismos que podem ser utilizados para modelar o conhecimento de sistemas baseados no conhecimento, tais como regras de produção, raciocínio baseados em casos, redes neurais e redes probabilísticas, entre outros.

A inteligência Artificial está dividida em três áreas de pesquisa relativamente independentes. Alguns pesquisadores preocupam-se em desenvolver programas de computador que leiam, falem ou entendam a linguagem que as pessoas usam em sua conversa diária, sendo conhecido como "processamento da linguagem natural. Outra área trabalha com o "desenvolvimento de robôs inteligentes". E a terceira área de pesquisa desenvolve programas que usem o conhecimento simbólico para simular o comportamento dos especialistas humanos. A ideia desenvolver programas que possibilitem a utilização dos conhecimentos dos especialistas através de uma máquina que permita o armazenamento e o seqüenciamento de informações e a auto-aprendizagem, sendo conhecido como Sistemas Especialistas (PY *et al.*, 2001).

4.3.1 Organização do Conhecimento

Segundo PATTERSON (1990), a organização do conhecimento na memória é a chave para o processamento eficiente. Sistemas baseados no conhecimento podem requerer dezenas de milhares de fatos e regras para realizar suas tarefas pré-definidas. É essencial, então, que os fatos e regras apropriados sejam fáceis de localizar e recuperar. Por outro lado, muito tempo será perdido em pesquisas e testes de grandes números de itens na memória.

Ainda citando PATTERSON (1990), o conhecimento pode ser organizado na memória para fácil acesso por um método conhecido como índice. Isso soma ao grupo o conhecimento de uma forma que palavras-chave podem ser usadas para acessar o grupo.

As palavras-chave apontam para os grupos de conhecimento. Como resultado, a busca por uma parte específica do conhecimento fica limitada apenas ao grupo, ou seja, a uma fração da base do conhecimento ao invés de toda a memória.

A escolha da representação pode simplificar as operações de organização e acesso. Por exemplo, *frames* interligados em uma rede representam uma estrutura de organização versátil. Cada *frame* irá conter todas as informações associadas e fechadas sobre um objeto e conter ponteiros associados aos *frames* dos objetos relacionados, tornando possível rapidamente acessar esta informação. Os processamentos subsequentes também envolvem tipicamente poucos *frames* relacionados.

4.4 MANIPULAÇÃO DO CONHECIMENTO

Segundo MENDES (1997), as decisões e ações em sistemas baseados no conhecimento vêm da manipulação do conhecimento de maneiras específicas. E, conforme PATTERSON (1990), tipicamente, algumas formas de entrada (*input*), a partir do teclado do usuário ou de um sensor, irão iniciar a busca por uma meta ou decisão. Isto requer que fatos conhecidos na base de conhecimento sejam localizados, comparados (equiparados) e, possivelmente, alterados de alguma maneira. Este processo pode alterar as propriedades de outras submetas e requerer entradas adicionais, e então uma solução final será encontrada. As manipulações representam o equivalente computacional ao raciocínio. Isto requer uma forma de inferência ou dedução usando o conhecimento, deduzindo-se resultados a partir de regras.

Todas as formas de raciocínio requerem certa soma de busca e equiparação. De fato, estas duas operações de longe consomem a maior parte do tempo computacional em sistemas de I.A. Por esta razão, é importante se ter disponibilidade de técnicas que limitem a quantidade de buscas e equiparações requeridas para comparar qualquer tarefa dada. Muitas pesquisas têm sido realizadas nesta área para encontrar melhores métodos. Conforme MENDES (1997), pesquisas têm buscado métodos que auxiliem a tornar solúveis muitos problemas considerados intratáveis. Eles ajudam a limitar ou evitar a chamada explosão combinatória em problemas que são de busca comum.

4.5 AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

Dois dos principais gargalos na construção de sistemas baseados no conhecimento são a aquisição e validação do conhecimento. Conhecimento pode vir de várias fontes,

como especialistas, livros, relatórios e artigos técnicos, entre outros. Para ser útil, o conhecimento precisa ser exato, apresentado no nível adequado de codificação, completo no sentido de que todos os fatos essenciais e regras estão incluídos e livre de inconsistências. Fatos deduzidos, heurísticas, procedimentos e regras de um especialista pode ser um lento e tedioso processo. A experiência em construção de dúzias de sistemas especialistas e outros sistemas baseados no conhecimento têm mostrado que esta é a etapa que consome mais tempo e dinheiro no processo de construção (PATTERSON, 1990). Isto tem levado ao desenvolvimento de algumas ferramentas sofisticadas de aquisição, incluindo uma variedade de editores inteligentes; que são editores que proporcionam assistência aos engenheiros do conhecimento e usuários de sistemas.

O problema da aquisição tem também estimulado pesquisas em sistemas de máquinas que aprendem, ou seja, sistemas que podem obter novos conhecimentos de forma autônoma sem a ajuda humana. Visto que sistemas baseados no conhecimento dependem de acentuadas quantidades de conhecimento de alta qualidade para terem sucesso, é essencial que os melhores métodos de aquisição, refinamento e validação sejam desenvolvidos. A última meta é desenvolver técnicas que permitam que sistemas aprendam novos conhecimentos de forma autônoma e continuamente aprimorem a qualidade do conhecimento que possuem.

4.6 ARQUITETURA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

Os sistemas especialistas ainda são produtos da Inteligência Artificial (*I.A.*). Eles têm se tornado umas das mais importantes inovações da *I.A.* desde que foram mostrados como produtos de sucesso comercial bem como interessantes ferramentas de pesquisa. Os sistemas especialistas têm provado ser eficazes em diversos domínios de problemas que normalmente requerem o tipo de conhecimento de um humano especialista. As áreas de aplicação são quase infinitas. Em qualquer habilidade humana que seja necessário resolver problemas, sistemas especialistas são prováveis candidatos a aplicação. Os domínios de aplicação incluem direito, química, biologia, engenharia, manufatura, atividades aeroespaciais, operações militares, finanças, negócios bancários, meteorologia, geologia, geofísica e muito mais (PATTERSON, 1990).

Sistemas especialistas diferem dos sistemas convencionais de computadores em diversas e importantes formas, indicadas a seguir:

- 1) Sistemas especialistas usam conhecimento ao invés de dados para controlar o processo de solução. “No conhecimento está o poder” é um tema repetidamente seguido.

- 2) O conhecimento é codificado e mantido como uma entidade separada do controle do programa. Da mesma forma, não é compilado juntamente com o programa de controle. Isto permite adições e modificações incrementais (refinamentos) da base de conhecimentos sem recompilação dos programas de controle. Além disso, é possível em alguns casos usar diferentes bases de conhecimento com os mesmos programas de controle para produzir diferentes tipos de sistemas especialistas. Desta maneira, estes sistemas são conhecidos como sistemas especialistas auxiliares desde que eles possam ser carregados com diferentes bases de conhecimento.
- 3) Sistemas especialistas são capazes de explicar como uma conclusão particular foi atingida e por que a informação solicitada é necessária durante a consulta. Isto é importante, pois dá ao usuário uma chance de avaliar e entender a habilidade de raciocínio do sistema, portanto, melhorando a confiança do usuário no sistema.
- 4) Sistemas especialistas usam representações simbólicas para o conhecimento (regras, redes ou *frames*) e desempenham sua inferência através de computação simbólica que impedem manipulações similares de linguagem natural. Uma exceção para isso é o sistema especialista baseado em arquitetura de redes neurais.

4.7 HISTÓRICO DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS

Os sistemas especialistas primeiro emergiram de laboratórios de pesquisa de algumas das principais universidades dos Estados Unidos da América durante os anos 60 e 70. Eles foram desenvolvidos como resolvedores de problemas especializados que enfatizavam o uso do conhecimento ao invés de algoritmos e métodos gerais de busca.

O primeiro sistema especialista a ser completado foi o DENDRAL, desenvolvido na Universidade de Stanford no final dos anos 60. Este sistema era capaz de determinar a estrutura de componentes químicos, dar a especificação dos elementos que constituem os componentes e grande quantidade de dados espectrométricos obtidos de químicos experientes para auxiliar a restringir o problema e, em consequência, reduzir o espaço de busca. Durante os testes, o DENDRAL descobriu uma grande quantidade de estruturas até então desconhecidas por químicos experientes.

Como os pesquisadores ganharam mais experiência com o DENDRAL, eles perceberam o quanto é difícil extrair conhecimento “especialista” de especialistas. Isto levou ao desenvolvimento do Meta-DENDRAL, um componente aprendiz para o DENDRAL que era capaz de aprender regras de exemplos positivos, ou seja, era uma forma de

aprendizado indutivo.

Pouco tempo após o DENDRAL ter sido completado, iniciou-se o desenvolvimento do MYCIN na Universidade de Stanford. O MYCIN é um sistema especialista que dá o diagnóstico de doenças infecciosas do sangue e determina uma lista de tratamentos para o paciente. Em Stanford, diversos projetos diretamente relacionados ao MYCIN foram também concluídos, incluindo um componente de aquisição de conhecimento chamado de THEIRESIUS, um componente tutorial chamado GUIDON e um programa auxiliar chamado EMYCIN (para o *Essential MYCIN*). O EMYCIN foi utilizado para a construção de outros sistemas de diagnóstico incluindo o PUFF, um especialista em diagnóstico para doenças pulmonares. O EMYCIN também se tornou o formato modelo para diversos sistemas comerciais especializados em ferramentas de construção.

O desempenho do MYCIN se aprimorou significativamente após um período de vários anos, conforme conhecimentos adicionais iam sendo adicionados. Testes realizados indicavam que o desempenho do MYCIN neste momento já se equiparava ao de clínicos gerais experientes. A base inicial de conhecimento do MYCIN continha aproximadamente 200 regras. Este número cresceu gradativamente para mais de 600 regras no início dos anos 80. As regras adicionais melhoraram significativamente o desempenho do MYCIN, atingindo o recorde de 65% de acerto que comparado favoravelmente em relação aos clínicos experientes que demonstravam um percentual de 60% de taxa de sucesso (LENAT, 1984).

Desde a introdução dos primeiros sistemas especialistas, a quantidade e profundidade de aplicações cresceram dramaticamente. Agora podem ser encontradas aplicações em quase todas as áreas dos negócios e do governo. Elas incluem áreas como:

- Diferentes tipos de diagnósticos médicos (medicina interna, doenças pulmonares, doenças infecciosas do sangue, entre outras) (SZOLOVITZ, 1982);
- Localização de falhas em sistemas eletrônicos e eletromecânicos (SANTINI, 2001);
- Diagnóstico de sistemas de locomoção elétricos e a diesel (SUCENA, 2002);
- Diagnóstico de projetos de desenvolvimento de *software* (VILLELA *et al.*, 2002);
- Planejamento de experimentos em biologia e genética molecular (FINAMOR *et al.*, 2005);
- Previsão de danos ao solo e a plantações (MACHADO *et al.* 2003 *apud* FERNANDES, 1997);
- Identificação de estruturas de componentes químicos (ABEL *et al.*, 2004);
- Localização de falhas em sistemas de computador e comunicações (PASSOS, 2005);
- Avaliação de empréstimos para instituições financeiras (ADAMOWICZ *et al.*, 2002);
- Análise de sistema estrutural para verificação de danos de um terremoto (BECK, 1992);

- Análise de estoques para seleção de *portfólio* de produtos (REZENDE, 2002);
- Desenvolvimento de sistemas de integração de manufatura (LESSA *et al.*, 1999);
- Aplicações militares na avaliação do campo de batalha e oceano (SANTOS, 2002);
- Diversas áreas do direito como avaliações de casos civis, falhas em produtos, assaltos, agressões e localização de diferentes precedentes da lei (ROVER, 2001);
- Planejamento de currículos para estudantes (HEIDEMANN, 1999);
- Ensino de tarefas especializadas e auxílio na resolução de falhas em equipamentos (ALKAIM, 2003);
- Diagnóstico de faltas em sistemas de potência (ZURN *et al.*, 2004).

4.8 ESTRUTURAS DE SISTEMAS BASEADOS EM REGRAS

A forma mais comum de arquitetura usada em sistemas baseados no conhecimento é o sistema baseado em regras. Este tipo de sistema utiliza conhecimento codificado na forma de regras, ou seja: se, então, regras.

Exemplo 1:

SE: Condição 1 e Condição 2 e Condição 3

ENTÃO: Tome a ação 4

Exemplo 2:

SE O pórtilho parou no meio do ciclo.

ENTÃO: Verifique o sensor de presença de pallets do RGV.

Cada regra representa um pequeno pedaço do respectivo conhecimento do dado domínio de especialidade. Uma grande quantidade de regras coletivamente pode corresponder a uma cadeia de inferências que leva, a partir de alguns fatos iniciais conhecidos, a algumas conclusões úteis. Quando os fatos conhecidos suportam as condições no lado esquerdo das regras, a conclusão ou parte da ação da regra é então aceita como conhecida. A Figura 21 ilustra a estrutura de um sistema especialista.

A inferência em sistemas baseados em regras é concluída através de um processo de encadeamento de regras, recorrentes, tanto na direção para frente quanto para trás. A seleção das regras usadas no processo de encadeamento é determinada através da equiparação de fatos correntes contra os domínios do conhecimento ou variáveis em regras e escolha entre o candidato que configura as regras para encontrar algum critério, como uma especificidade. O processo de inferência é tipicamente carregado em um modo interativo com o usuário provendo parâmetros de entrada necessários para completar o processo de encadeamento de regras.

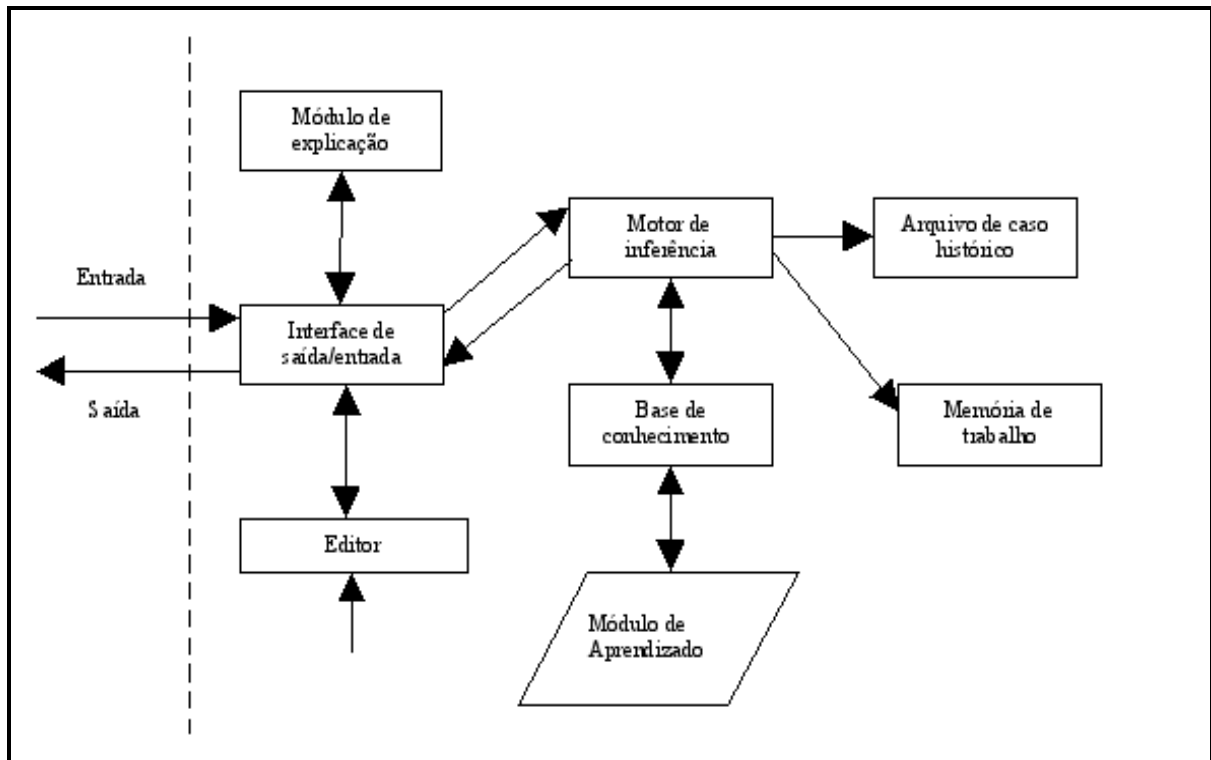


Figura 21 - Estrutura de um Sistema Especialista (PATTERSON, 1990)

4.9 O PROCESSO DE INFERÊNCIA

Segundo REZENDE (2002), o “motor” (ou procedimento) de inferência aceita a entrada de consultas e envia respostas de questões através das interfaces de entrada/saída usando informações dinâmicas (por exemplo, o estado atual de um sensor específico), juntamente com conhecimento estático (regras e fatos), armazenados na base de conhecimentos. O conhecimento na base de conhecimentos é usado para originar conclusões sobre o caso corrente ou situação que for apresentada pela entrada do usuário. O processo de inferência é carregado recorrentemente em três estágios:

- (1) Equiparar;
- (2) Selecionar;
- (3) Executar.

Durante o processo de equiparação, o conteúdo da memória de trabalho é comparado aos fatos e regras contidos na base de conhecimentos. Quando equiparações consistentes são encontradas, as regras correspondentes são postas em um ponto de conflito. Para encontrar uma equiparação apropriada, substituições podem ser requeridas. Uma vez que todas as equiparações de regras tiverem sido adicionadas ao ponto de conflito, durante um dado ciclo, uma das regras é selecionada para a execução. A regra

selecionada é então executada e carregada. A Figura 22 exemplifica o processo de inferência. Por exemplo, no MYCIN, a meta inicial em uma consulta é “O paciente tem certa doença?”. Isto gera submetas a serem estabelecidas como “certa bactéria está presente no paciente?”. Determinar que certa bactéria estivesse presente pode requerer algumas coisas como testes em amostras tiradas do paciente. Estes processos de estabelecimento de submetas são eventualmente satisfeitas ou negadas. Se satisfeitas, a cadeia de retorno é estabelecida e, portanto, confirma a meta principal.

Quando regras são executadas, a ação resultante pode ser a reposição de novos fatos na memória de trabalho, uma requisição para informações adicionais do usuário ou simplesmente a parada do processo de busca. Se o conhecimento apropriado tiver sido armazenado na base de conhecimentos e todos os valores de parâmetros requeridos tiverem sido fornecidos pelo usuário, as conclusões serão encontradas e reportadas ao usuário. O encadeamento continua conforme as equiparações possam ser encontradas entre sentenças nas memórias de trabalho e as regras na base de conhecimento.

Alguns sistemas utilizam tanto o encadeamento para frente quanto o encadeamento para trás, dependendo do tipo do problema e das informações disponíveis. Da mesma forma, regras podem ser testadas exaustivamente ou seletivamente, dependendo do controle da estrutura. No MYCIN, regras na base de conhecimentos são testadas exaustivamente.

4.10 EXPLICANDO COMO OU POR QUE

O módulo de explicação proporciona ao usuário uma explicação do processo de raciocínio quando solicitado. Isto é feito em resposta a uma pergunta “como” ou uma pergunta “por que”. Para responder a uma pergunta “como”, o módulo de explicação rastreia a cadeia de regras solicitadas durante a consulta com o usuário. A sequência de regras que levam a conclusão é impressa ao usuário em um estilo de linguagem de fácil entendimento humano. Isto permite ao usuário realmente ver o processo de raciocínio seguido pelo sistema para chegar a uma conclusão. Se o usuário não concorda com os passos do raciocínio apresentados, eles podem ser alterados usando o editor.

Para responder a uma pergunta “por que”, o módulo de explicação pode ser capaz de explicar porque certa informação é necessária para o motor de inferência para completar um passo no processo de raciocínio antes deste ser processado. Por exemplo, ao diagnosticar um carro que não pega, poderia ser perguntado ao sistema por que este precisa saber o estado do distribuidor. Em resposta, o sistema poderia replicar que precisa

da informação para determinar se o problema pode ser limitado ao sistema de ignição. Novamente, esta informação permite ao usuário determinar se o passo do raciocínio do sistema está adequado. Os módulos dos programas de explicação dão ao usuário a habilidade de seguir os passos de inferência a qualquer momento durante a consulta.

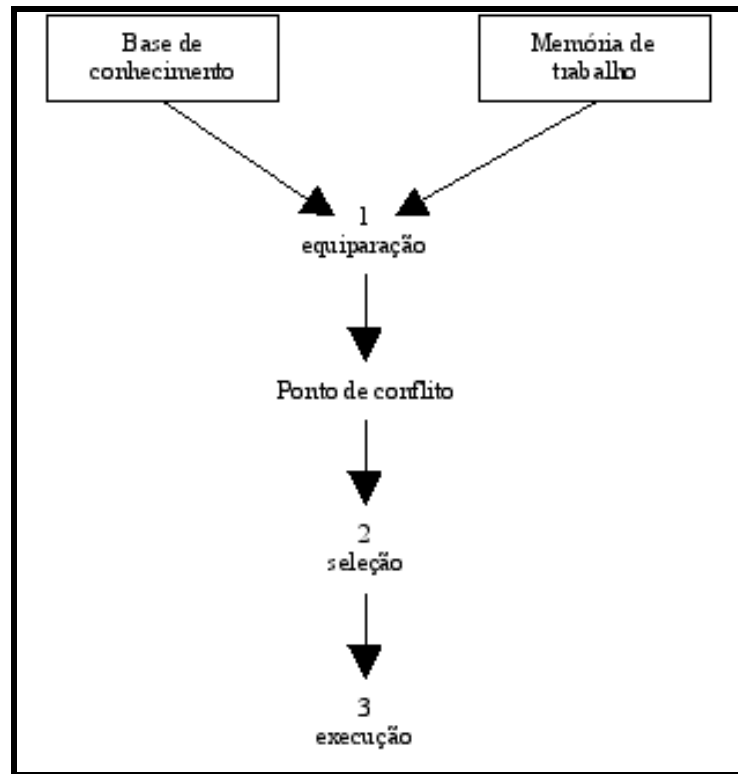


Figura 22 - Processo de Inferência (PATTERSON, 1990)

5 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE REDUÇÃO DE PERDAS

Neste capítulo descreve-se a *metodologia de redução de perdas* que foi implementada, ou que tentou-se implementá-la para estudar as causas de falhas na estação de trabalho em questão. O processo envolveu pessoal trabalhando no *FMS* (por exemplo, operadores de máquina), de manutenção, de engenharia de processos, de gestão de qualidade e um supervisor de produção. Esse grupo começou analisando o número de paradas da estação de trabalho, bem como as causas relatadas de falhas em um período de seis semanas. Com base nesse relatório de seis semanas, ficou evidenciado que os motivos indicados das falhas não foram realmente identificados ou tiveram apenas uma descrição genérica.

O software *PIMS* permite que os usuários programem alarmes de produção. Com base nos dados de *CLP* e *CNC*, pode ser possível diagnosticar os problemas de produção. Mas esses alarmes programados devem ser minuciosamente desenvolvidos. Como consequência da *metodologia de redução de perdas*, a eficácia e a precisão dos alarmes programados do *PIMS* foram questionados. Algumas indicações dos alarmes foram gerais e não permitiram identificar a causa efetiva das falhas da máquina. Especificamente, houve informações conflitantes geradas pelo *RGV Steiff®* e pelo equipamento de avanço de peças *Grob®*. O grupo da metodologia de redução de perdas decidiu que os operadores da estação de trabalho apontariam manualmente os alarmes de falhas e o número de vezes que eles foram acionados durante um turno de trabalho.

❖ Ações provisórias

Com base no relatório de seis semanas, foi elaborada uma série de ações provisórias de prevenção e correção de falhas. Essas ações provisórias foram aplicadas durante seis semanas. Portanto, novas informações relacionadas às falhas começaram a ser acessadas pelo *PIMS*. Foi identificado que o programador do *PIMS* não tinha todas as informações necessárias disponíveis sobre a operação do *FMS* quando os alarmes do *PIMS* foram programados pela primeira vez. Conseqüentemente, foi iniciado um processo de reprogramação dos alarmes do *PIMS*, com base no *feedback* de registros manuais de problemas de produção. Essa reprogramação do *PIMS* proporcionou a base para uma última série de ações para evitar falhas. Uma análise detalhada das ações tomadas durante

a metodologia de redução de perdas é apresentada a seguir.

As ações provisórias foram iniciadas como uma metodologia para reduzir as perdas de produção e identificar as causas de falhas de máquinas. Elas reduziram significativamente o número e o tempo das paradas na estação de trabalho. Foram observadas reduções de 28,83% no número de paradas (*NS*) e de 25,29% no tempo total das paradas (*TS*) da estação de trabalho. Portanto, as ações provisórias aumentaram um pouco a produção, enquanto ações definitivas eram planejadas. Durante a primeira semana, uma ação provisória foi executada no manipulador do robô que abastece o centro de usinagem *Grob*®. A força de fixação aplicada pelo robô a diferentes matérias-primas foi ajustada para eliminar defeitos do manipulador. Na segunda semana, outra ação provisória foi realizada. Como houve informações conflitantes geradas pelo *RGV Steiff*® e pelo equipamento de avanço de peças *Grob*®, o software de ambas as unidades foi atualizado. Quatro ações diferentes foram realizadas durante a terceira semana: *i*) A abertura e o fechamento das portas do centro de usinagem *Grob*® foram ajustados; *ii*) a posição de um sensor – usado para detectar a presença de matérias-primas para carga no centro de usinagem – foi redefinida; *iii*) esse sensor foi desligado posteriormente durante essa semana; e *iv*) os alarmes dos equipamentos também foram desligados. Essas ações tentaram verificar se a lógica do *CLP*, responsável pela carga e descarga do centro de usinagem, estava correta ou não. Durante a sexta semana, esse *CLP* foi atualizado.

❖ Tentativa de tomada de ações definitivas

Os resultados das ações provisórias e definitivas foram analisados com base nos dados do tipo de falha (TP), do número de falhas (*NS*) e do tempo decorrido para corrigir as falhas (*TS*). Esses dados foram obtidos do *PIMS*. A Tabela 1 indica a nomenclatura dos diferentes tipos de falha (TP) que foram implementados durante as ações provisórias e definitivas. Cada tipo de falha foi identificado utilizando cartões com códigos de barras. Sempre que ocorria uma falha no equipamento, era responsabilidade dos operadores do centro de usinagem identificar e inserir o tipo de falha no *PIMS*, utilizando os cartões com códigos de barras. Embora o grupo de trabalho pretendesse implementar ações definitivas após seis semanas de ações provisórias, observou-se que essas ações definitivas não se tornaram de fato definitivas. Isso ocorreu devido à falta de informações confiáveis sobre falhas e a problemas de interpretação incorreta de falhas por parte dos operadores das máquinas. Para descrever esses problemas, as principais causas relatadas de falhas durante as seis semanas seguintes – da semana 7 à semana 12 – são apresentadas nesta

seção. A nomenclatura na Tabela 1 é utilizada para relatar as falhas.

❖ Evolução semanal das ações definitivas

Como ponto de partida para a tentativa de implementar as ações definitivas, o grupo de trabalho analisou os dados sobre o número de falhas de cada tipo (TP) na semana 6 (a última semana das chamadas *ações provisórias*). As principais causas relatadas de falha na semana 6 foram os tipos de falhas A, B, C e D, conforme indicado na Figura 23. O TS (tempo total de parada das máquinas) das falhas não está disponível na Figura 23 porque sua confiabilidade foi questionada, pois os apontamentos manuais dos operadores das máquinas não corresponderam às leituras do PIMS.

Tabela 1. Nomenclatura dos tipos de falha (TP)

Notação	Falha
A	defeito elétrico
B	manipulador acessa dispositivo de fixação vazio
C	defeito do manipulador
D	defeito seqüencial em “FC191”
E	falha do bloqueio anti-retorno na entrada 2
F	defeito na saída do transportador
G	defeito da rede Profibus/magazine desliga
H	outros
I	pórtico parou devido a uma falha no centro de usinagem
J	falha do bloqueio anti-retorno na entrada 1
K	defeito do dispositivo de fixação na mesa
L	defeito seqüencial em “sep 06”
M	defeito de dimensões do item na garra 1
N	defeito mecânico
O	defeito na garra 1
P	defeito do transportador na entrada da operação 15
Q	etiqueta de identificação não lida
R	defeito na garra 2
S	falha no sensor “E105.3”
T	pré-alarme de temperatura no eixo A

• Semana 7

Duas ações corretivas foram solicitadas pelo grupo de trabalho na semana 7. Para corrigir os tipos de falhas B e C relatados na semana 6, o *software* do CLP que controla o RGV Steiff® e o equipamento de avanço de peças Grob® foi atualizado. Também foi feito

um *backup* do programa do CLP. Para corrigir o tipo de falha *D*, foi trocada uma válvula hidráulica no equipamento de avanço de peças *Grob®*. Os resultados dessas implementações foram informados como Semana 7 na Figura 24. Observe que a soma do *TS* (tempo total de parada das máquinas) de diferentes tipos de falha na Semana 7 foi 5,52 h (ou 5 horas e 31 minutos). Comparando as Figuras 23 e 24, é possível notar que o tipo de falha *A* desapareceu nas Semanas 7 e 8. Mas surgiram tipos de falha diferentes (*H*, *I* e *K*).

Também, como consequência das ações corretivas executadas na Semana 7, o tipo de falha *B* apresentou um aumento em seu tempo total de parada das máquinas (*TS*) na Semana 8, enquanto que o tipo de falha *D* apresentou uma diminuição significativa em seu *TS*. Durante o mesmo período houve uma redução no *TS* total (soma) de 35 minutos (ou 0,59 h).

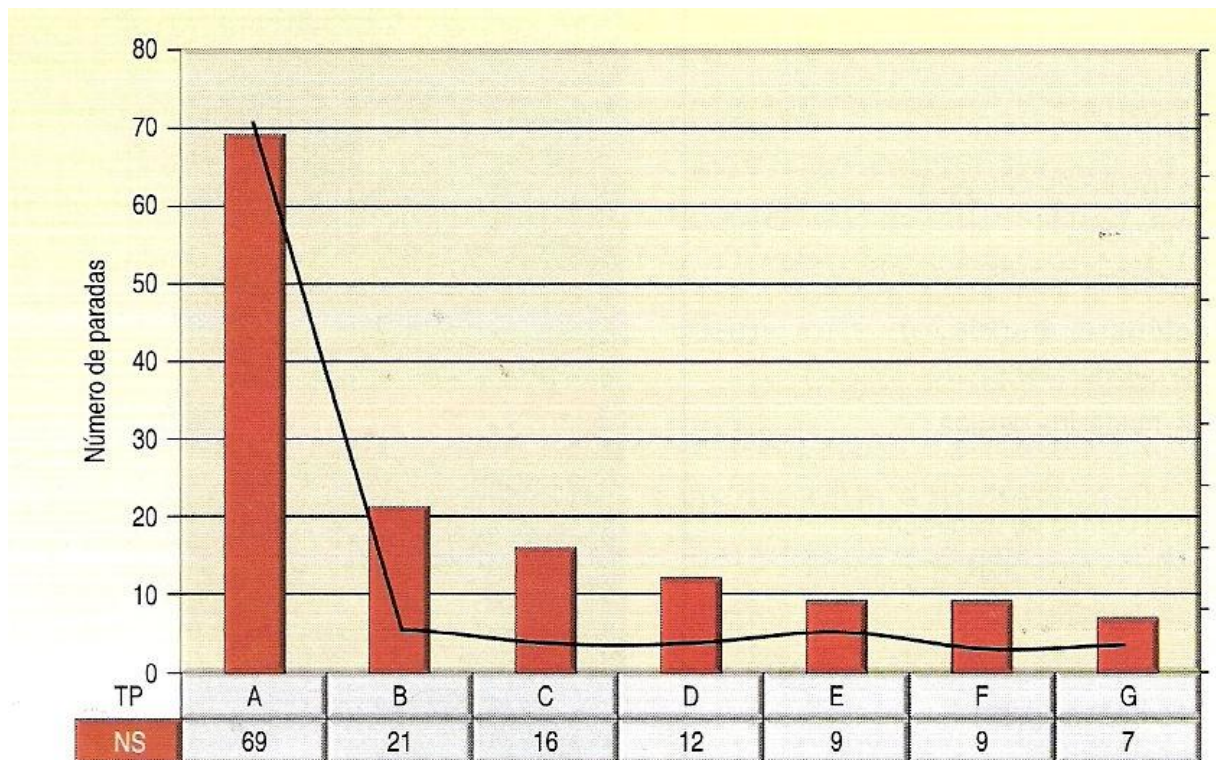


Figura 23 - Semana 6 (DANTE *et al.*, 2007)

• Semana 8

Na Semana 8, foi analisado o tipo de falha *D*, foram realizadas simulações de processos e os tempos de processamento foram corrigidos. Conforme indicado na Figura 24, não foram medidas melhoras significativas no tipo de falha *D*. Mas houve uma redução no *TS* total (soma do tempo total de parada das máquinas) de 46 minutos (ou 0,76 h). Não foi encontrada nenhuma explicação para o surgimento de novos tipos de falha

(especificamente o tipo de falha A) na Semana 9, conforme é demonstrado na Figura 25, a não ser a interpretação das falhas por parte dos operadores. Isso pode ser explicado pelo fato de o RGV Steiff® e o equipamento Grob® possuírem suas próprias interfaces homem/máquina e de que cada interface tendia a apresentar mensagens diferentes de falhas.

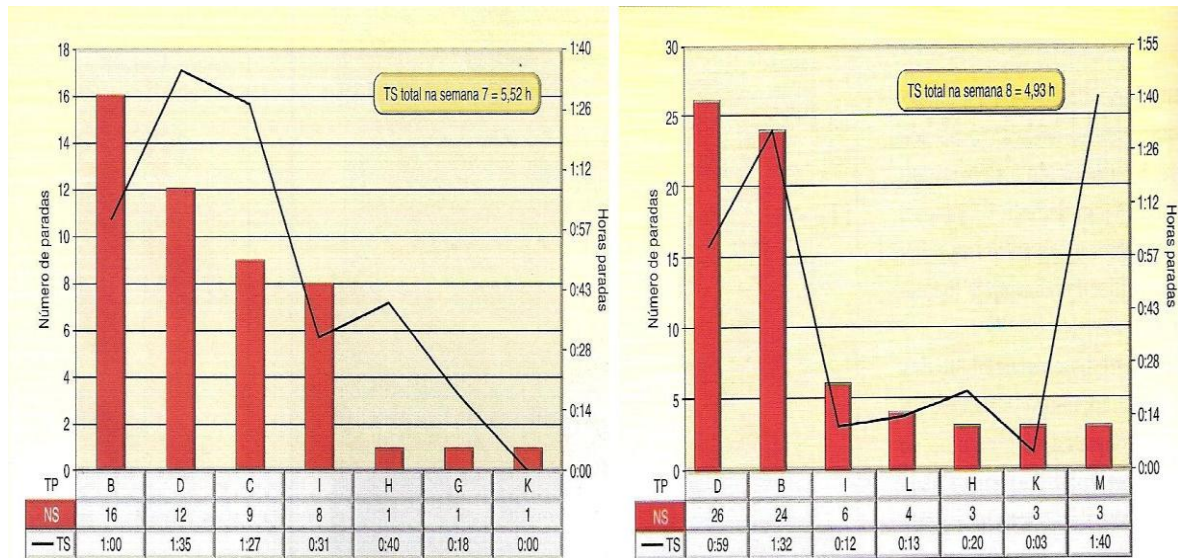


Figura 24 - Comparativo Semana 7 x Semana 8 (DANTE et al., 2007)

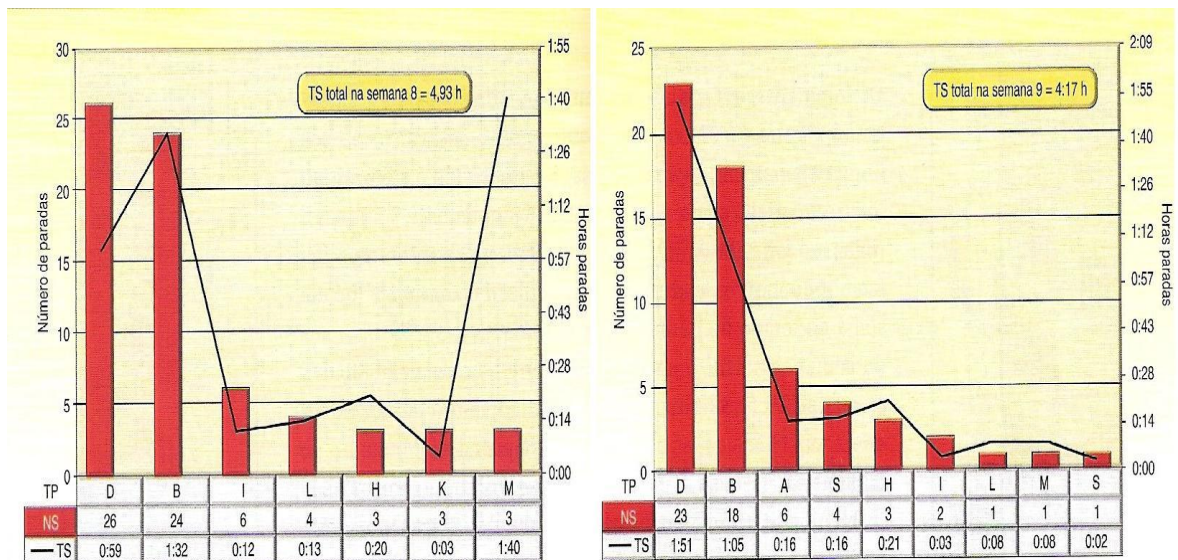


Figura 25 - Comparativo Semana 8 x Semana 9 (DANTE et al., 2007)

• Semana 9

O dispositivo de fixação acessado pelo manipulador do robô possuía um sensor para

identificar a presença de matérias-primas. Para eliminar o tipo de falha B, foi executada a manutenção e o reposicionamento desse manipulador do sensor. A programação do CLP também foi revisada para eliminar a falha D. Conforme apontado na Figura 26, os relatórios indicaram que essas ações conseguiram reduzir, mas não eliminar, a quantidade e o tempo consumido pelos tipos de falha B e D, como apresentado na Semana 10. Mas na realidade houve apenas uma migração das falhas relatadas, como indicado pelo novo tipo de falha N. De fato, não houve redução no *TS* total (soma do tempo total de parada das máquinas) da Semana 9 (4,17 h) para a Semana 10 (4,32 h).

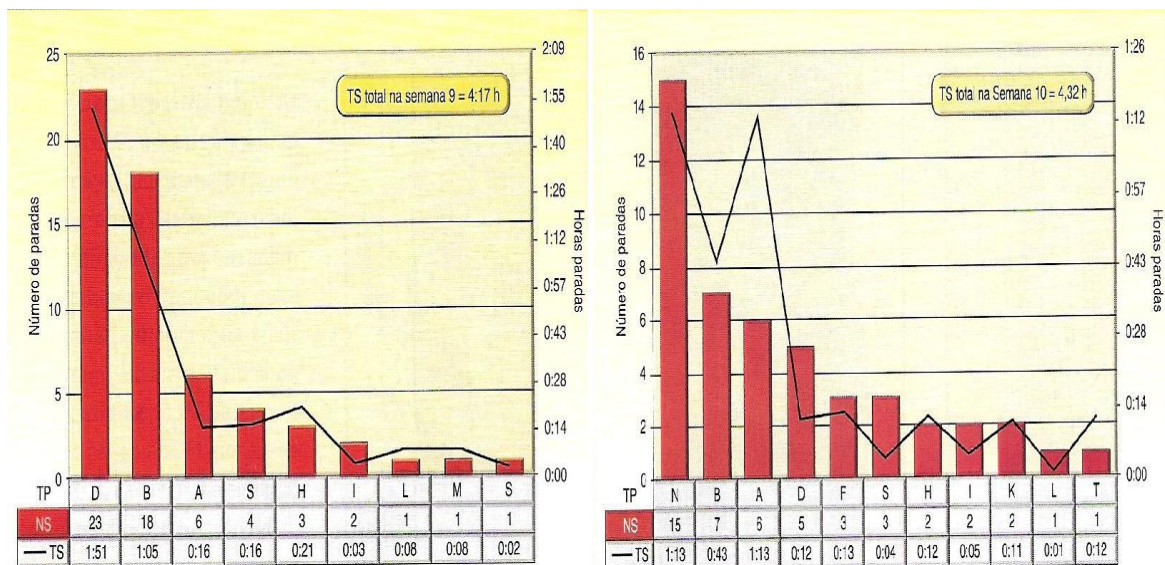


Figura 26 - Comparativo Semana 9 x Semana 10 (DANTE et al., 2007)

• Semana 10

Não foi executada nenhuma ação definitiva nesta semana. Mas mesmo assim houve um aumento no tempo total de parada das máquinas (*TS*) relatado da Semana 10 para a Semana 11. A migração das falhas relatadas continuou. A Figura 27 indica um aumento significativo na quantidade da falha I da Semana 10 para a 11. No mesmo período, também ocorreu um aumento na quantidade de falhas D e O. Por outro lado, alguns tipos de falha relatados na Semana 10 não foram relatados na Semana 11 (por exemplo, N, F, S, K, L e T), enquanto que a quantidade de relatos de outros tipos de falha diminuiu (por exemplo, A e B). Na Figura 27 também é possível observar que o *TS* total (soma do tempo total de parada das máquinas) aumentou em 67 minutos (1,09 h) durante esse período. Comparando o *TS* total nas Semanas 7 (5,52 h) e 11 (5,43 h), é possível questionar se alguma das ações tomadas durante essas quatro semanas realmente beneficiou a produção ou a confiabilidade do sistema.

• Semana 11

Na Semana 11, foram realizadas revisões de *software* para tentar reduzir os tipos de falha B e D. Como indicado na Figura 28, não houve redução no TS total (soma do tempo total de parada das máquinas) comparando as Semanas 11 e 12. Mas, novamente, houve uma grande variação nas causas indicadas de falhas, com um aumento significativo nos tipos de falha B, D e H. Por outro lado, houve uma redução no tipo de falha I.

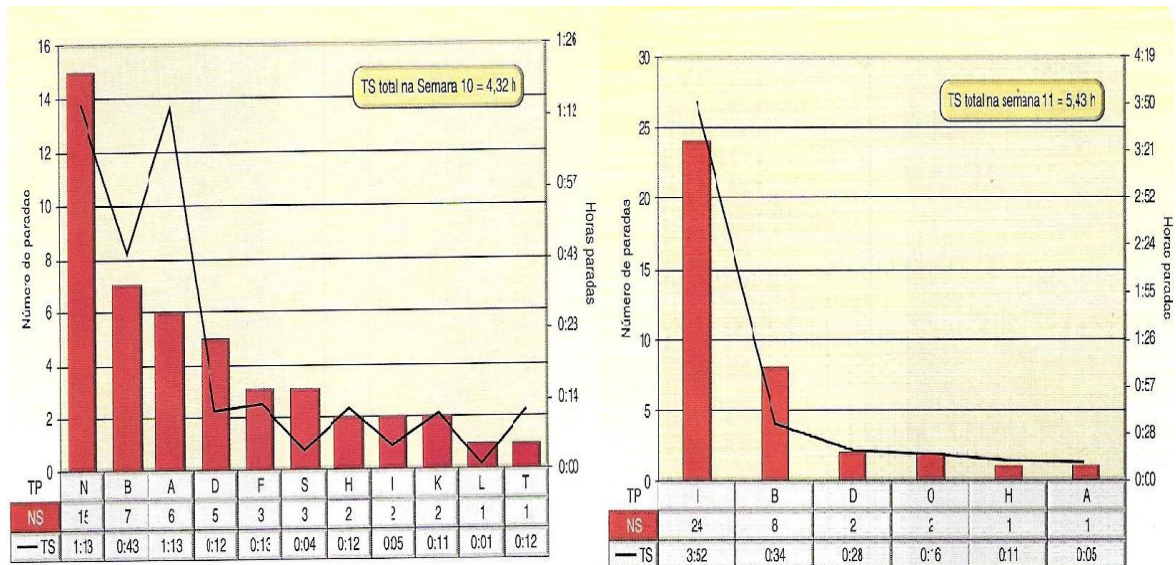


Figura 27 - Comparativo Semana 10 X Semana 11 (DANTE et al., 2007)

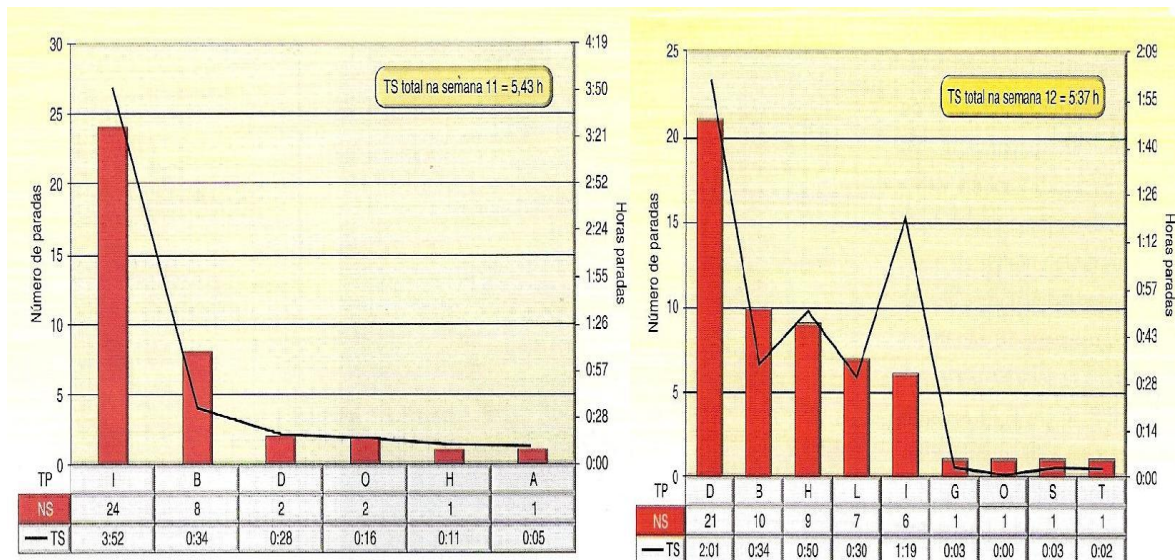


Figura 28 - Comparativo Semana 11 X Semana 12 (DANTE et al., 2007)

5.1 RESULTADOS DAS AÇÕES DEFINITIVAS

A Figura 29 indica a variação no número de falhas (NS) e no tempo total de parada

das máquinas (TS) em um período de 12 semanas. Nas primeiras seis semanas a empresa adotou as chamadas *ações provisórias* e as *ações definitivas* foram realizadas nas últimas seis semanas. A Figura 29 indica uma redução de 52,58% no NS e de 54,46% no TS quando o período das *ações provisórias* é comparado ao período das *ações definitivas*. Apesar da redução global de falhas, pode-se observar que não houve uma redução significativa de falhas após a Semana 7. Portanto, é possível identificar que a ação (atualização do CLP) tomada na Semana 6 (que teve impacto na Semana 7) foi a mais eficaz durante o período de 12 semanas. O fato de que nenhuma *ação definitiva* foi eficaz para reduzir significativamente o número de falhas (NS) e o tempo total de parada das máquinas (TS) indica que o grupo de trabalho não conseguiu identificar as causas das falhas. Durante todo o período analisado, o tipo de falha (causas de falhas) indicado sempre se alterou. Era responsabilidade dos operadores das máquinas indicar o tipo de falha sempre que ocorria uma falha e a ambigüidade das definições de tipo de falha permitiram que os operadores frequentemente selecionassem uma das diversas possibilidades.

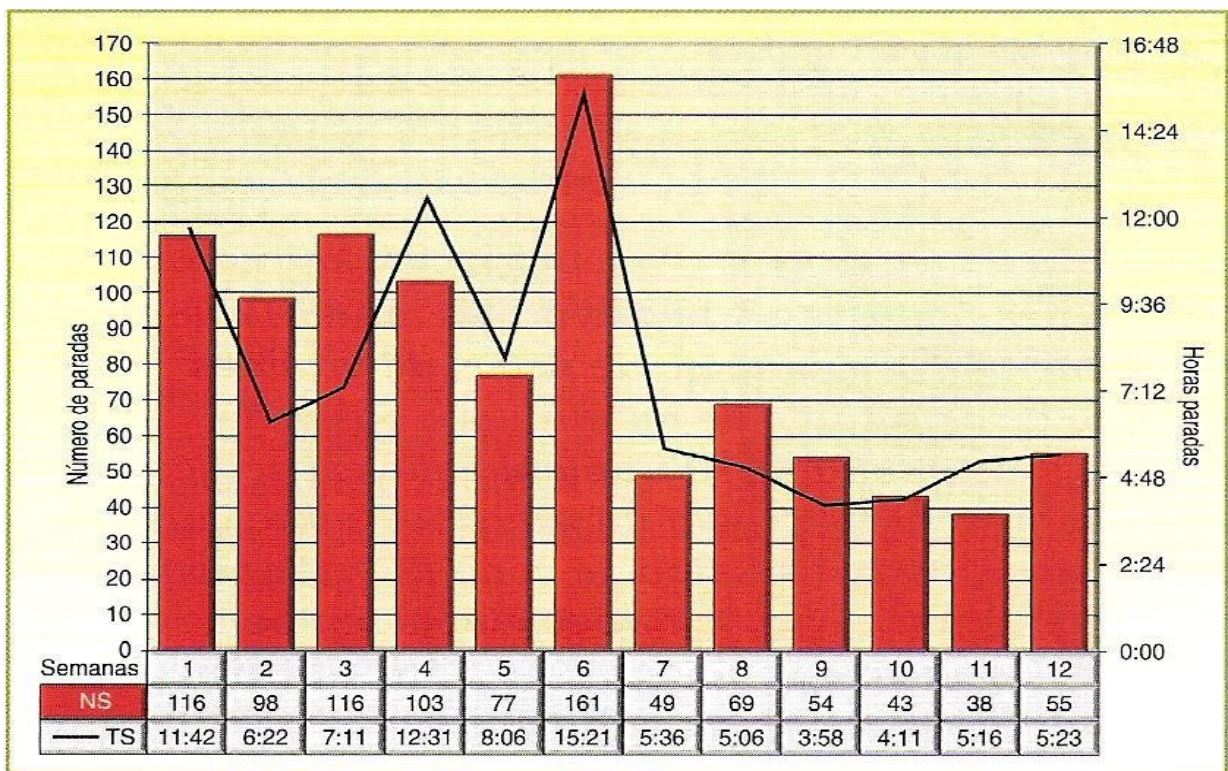


Figura 29 - Comparativo Total de NS e TS da Semana 1 a 12 (Dante et al., 2007)

6 SISTEMA ESPECIALISTA PROPOSTO

No capítulo 5 foi descrita uma tentativa de monitoramento da falhas usando-se a *metodologia de redução de perdas*, que não foi bem sucedida por não atender seus objetivos. Assim como neste estudo de caso, há uma tendência de tentar resolver os problemas de chão de fábrica usando-se conceitos de manufatura enxuta, como a filosofia do *Kaizen* (aqui chamada de *Metodologia de Redução de Perdas*). Não se pretende aqui advogar contra os conceitos de Manufatura Enxuta, mas deve-se sempre ter em mente que estes conceitos são, basicamente, filosóficos. Ou seja, a Manufatura Enxuta apresenta uma coleção de ideais (ou filosofia) a serem buscados, mas não há “ferramentas” formais e estruturadas para a solução destes problemas, sendo a sua solução usualmente dependente do “bom senso” do grupo de trabalho. Neste sentido, o presente capítulo tem o objetivo de apresentar uma solução para a confiabilização das informações para o monitoramento de panes de maquinas utilizando um protótipo de um sistema especialista que é apresentado no presente trabalho como sistema V 1.00.

A proposta deste trabalho esta pautada na implementação de um sistema especialista, para auxiliar, sistematizar e disponibilizar através do desenvolvimento incremental de um protótipo que utiliza o conhecimento dos profissionais que trabalham na resolução de panes em sistemas flexíveis de manufatura.

Dado o problema apresentado no capítulo 3, pretende-se:

- Apresentar a base de dados listando alguns dos principais problemas (elétricos e mecânicos) da célula;
- Apresentar proposta de um sistema especialista que, a partir dos alarmes (ou mensagens) apresentados nas interfaces homem-máquina (*IHM*) do centro de usinagem e do pórtico, “conduza” o operador (através de perguntas e respostas) até a identificação do problema ocorrido, e que será apontado no sistema *PIMS*;
- Fazer a implementação computacional do sistema especialista baseado em regras;
- Realizar a validação do sistema computacional gerando alarmes que podem se originar de diversas causas quando as maquinas são conectadas a um FMS.

6.1 NECESSIDADE DE SISTEMAS ESPECIALISTAS EM FMS

A concorrência de mercado automobilístico tem levado os sistemas de produção a operarem cada vez mais enxutos com eficácia e eficiência. Neste contexto é imprescindível o uso de ferramentas de apoio à tomada de decisão, capazes de aumentar a confiabilidade

do sistema produtivo, reduzindo o número e/ou duração das paradas não programadas das máquinas.

Na tentativa de reduzir o tempo e o número das panes de máquinas, algumas companhias utilizam sistemas que gerenciam *on-line* as máquinas e equipamentos, com a finalidade de dar apoio ao diagnóstico de falhas. Porém, essa saída pode se mostrar ineficaz perante a complexidade dos sistemas flexíveis de manufatura. Dentro deste contexto se faz necessária a utilização de sistemas especialistas, com uma alternativa para auxiliar a tomada de decisão e a correta interpretação dos alarmes.

Este trabalho se propõe a apresentar um protótipo de sistema especialista para o auxílio à resolução de panes de máquinas em um *FMS*. O sistema está pautado na comunicação gerada pelos *IHMs* do *FMS*, com seus códigos de alarmes e na percepção do operador quando o *FMS* pára, sem gerar informações de seu estado atual.

A simulação do sistema protótipo será apresentada no capítulo 7, utilizando os dados e informações do estudo de caso que foi apresentado no capítulo 5, onde vários problemas de interpretação de panes geraram informações contraditórias que prejudicaram o resultado do grupo de resolução de perdas, que tinham como seu objetivo a redução de tempo de parada de máquinas.

6.2 CARACTERÍSTICA DO SISTEMA ESPECIALISTA PROPOSTO

Muitos critérios podem ser utilizados para caracterizar um sistema especialista. A seguir são apresentados os critérios adotados para a realização deste trabalho.

6.2.1 A arquitetura do Sistema Proposto (Versão 1.00)

Conforme apresentado na seção 4.8, a forma mais comum de arquitetura usada em sistemas baseados no conhecimento é o sistema baseado em regras. O sistema V 1.00 utiliza conhecimento codificado na forma das regras, **se... então ... regras**. Para exemplificar o sistema, apresenta-se parte de um problema real utilizando o processamento por regras:

SE o *IHM* apresenta o código de erro 4250, ENTÃO:

SE máquina parou no final do ciclo, ENTÃO...

SENÃO SE a máquina não parou no final do ciclo, ENTÃO...

SE há recorrência do alarme, ENTÃO chamar manutenção

SE a ferramenta parou em contato com a peça, ENTÃO...

Cada regra do sistema representa uma pequena parte do conhecimento do especialista. Todo o encadeamento ou iteração das regras leva a verificação dos fatos, execução de procedimentos e a conclusões que podem ser conhecidas ou não.

6.2.2 A arquitetura de programação e atualização do banco de dados

A arquitetura para programação e atualização do banco de dados obedece aos seguintes padrões e regras:

1) A listagem para inserção de alarmes segue o seguinte padrão:

Erro: Valor
Código
00000000

O *valor* do erro (indicado acima) deve ser crescente em relação aos números de erros já listados. Por exemplo, se já existirem 10 erros cadastrados no banco de dados, o próximo erro deverá possuir o valor 11. O *código* refere-se ao código de erro apresentado pelo IHM da máquina. Por exemplo, NCK 4250.

O valor *00000000* indica o redirecionamento para a busca do erro. Este também deve obedecer a uma numeração crescente para o gerenciamento das inferências. A Figura 30 apresenta o cadastro de alarmes no sistema V 1.00.

```

Erro:1
SEM CODIGO DE ERRO.
00000000

Erro:2
NCK 4071
00000001

Erro:3
NCK 4250
00000030

Erro:4
2102
00000016

Erro:5
4291
00000042

```

Figura 30 - Cadastro de Alarmes

2) Cadastramento de instruções e procedimentos.

A listagem para inserção de instruções e procedimentos segue o seguinte padrão:

Código: 00000000
 / Instrução ou procedimento /
 Opções: 2
 Sim
 Não
 00000001
 00000002

O código 00000000 é referente ao redirecionamento das instruções e procedimentos que devem ser executados pelos operadores. Este código deve possuir uma única identificação, não podendo existir duas entradas com o mesmo código.

A instrução ou procedimento retrata a mensagem que será exibida ao operador. Para esse cadastramento é necessário a utilização dos delimitadores “/” no início e fim da mensagem. A instrução ou procedimento não pode ultrapassar 8 linhas que é o limitador do *IHM* do sistema V1.00.

A opção: 2 indica o número de alternativas para a instrução ou procedimento. Esse valor pode variar de 0 a 4 opções:

- Opção 0 → final de iteração e disponibilização de relatório;
- Opção 1 → execução de procedimento sem opções de escolha;
- Opção 2 a 4 → opções de escolha de direcionamento.

As entradas *Sim* e *Não* são os textos apresentados *IHM* do sistema especialista V 1.00 para escolha das opções. Na listagem apresentada o número de opções apresentadas são duas (sim ou não).

Os códigos 00000001 e 00000002 são os códigos das iterações sim e não, respectivamente. Por exemplo, se a opção escolhida é sim, o código da iteração será o 00000001 e se o código escolhido for o não o código da iteração será o 00000002. O exemplo a seguir apresenta o cadastramento de procedimentos ou instruções com quatro opções de iterações e a Figura 31 apresenta uma parte do cadastramento do sistema V 1.00. O cadastro completo do sistema é apresentado no anexo 11.

- Exemplo do cadastro com quatro opções de iterações:

Código: 00000004
 / Qual foi o erro sinalizado /
 Opções: 4
 Tipo A
 Tipo B
 Tipo C
 Tipo D
 00000005
 00000006
 00000007
 00000008


```

Codigo:0000001
/A máquina parou com ferramenta em contato com a peça ?/
Opcoes:2
Sim
Não
0000002
0000003

Codigo:0000002
/A máquina parou no meio de um rosqueamento ?/
Opcoes:2
Sim
Não
0000004
0000005

Codigo:0000003
/O alarme é recorrente ?/
Opcoes:2
Sim
Não
0000006
0000007

Codigo:0000004
/ATENÇÃO: EXECUTE O SEGUINTE PROCEDIMENTO:
- Coloque a máquina em modo manual;
- Abra o cofre de usinagem e solte a ferramenta do fuso;
- Afaste o eletro-fuso na peça;
- Recolha manualmente a ferramenta da peça;
- Insira manualmente a ferramenta no magazine;

Opcoes:1
Continuar ...
0000003

Codigo:0000005
/ATENÇÃO: EXECUTE O SEGUINTE PROCEDIMENTO:
- Afaste o eletro-fuso da peça./
Opcoes:1
Continuar ...
0000003

Codigo:0000006
/ATENÇÃO: EXECUTE O SEGUINTE PROCEDIMENTO:
- Comunique imediatamente a manutenção;
- Codifique o alarme no Pims como alarme de Erro de posicionamento./
Opcoes:0

```

Figura 31 - Cadastro de Instruções e Procedimentos no Sistema V 1.00

6.2.3 Partes ou Módulos do sistema especialista Versão 1.00

A Figura 32 apresenta o sistema especialista proposto (V 1.00), baseado na estrutura proposta por Patterson (1990), que foi apresentada na Figura 21. A *Interface de Entrada e Saída* é o próprio *IHM* do sistema, onde o operador interage com o sistema inserindo as respostas das opções e executando as verificações ou procedimentos que o sistema apresenta. Há um *Módulo de Ajuda (help)* que explica ao usuário como utilizar o sistema.

O *Motor de Inferência* envia à *Interface de Entrada e Saída* (IHM) informações e questões provenientes da *Base de Conhecimento*, e coleta as respostas das questões respondidas pelo usuário. Toda vez que o *Motor de Inferência* é utilizado, as questões/informações apresentadas ao usuário e também as respostas a estas questões são armazenadas, permitindo ao *Gerador de Relatório* a geração de um relatório com o histórico dos problemas de uma máquina.

A *Base de Conhecimento* armazena todas as informações referentes aos possíveis problemas de paradas de máquinas no FMS. Por fim, há o *Editor* que permite incluir/alterar as informações na base de conhecimento.

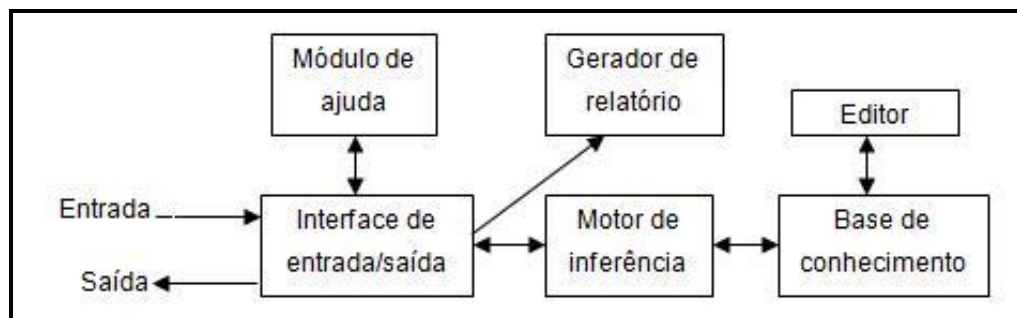


Figura 32 - Estrutura do Sistema Especialista Proposto (V 1.00)

6.3 ABRANGÊNCIA DA SIMULAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

A abrangência da simulação do sistema obedece às definições das seções 3.1 e 3.2 e tenta elucidar a problemática de redução de tempos de *panes* de máquinas apresentado no capítulo 5, onde a interpretação de uma *pane* no FMS pode gerar:

- Demora na verificação das variáveis do problema, pelo operador;
- Codificação errada da *pane* no PIMS, pelo operador ou manutenção;
- Geração de relatórios com informações sem confiabilidade, no PIMS;
- Geração de ações corretivas ineficazes, por times “kaizen” ou manutenção.

O sistema especialista proposto possui 2 formas de trabalho, *on-line* auxiliando o operador na resolução da *pane* quando ela ocorre ou na geração de relatórios *off-line* que demonstra um passo a passo os caminhos efetuados pelo operador na resolução da *pane* e do apontamento da mesma no sistema PIMS.

O modelo de sistema proposto prevê a execução das seguintes tarefas:

- Carregamento dos alarmes da máquina;
- Direcionamento de execução de verificações e tarefas;
- Modo de codificação de *panes* no PIMS;
- Geração de relatórios históricos de execução de tarefas;

- Programação de novos alarmes e soluções de panes.

6.4 A ESTRUTURA DO SISTEMA

O modelo proposto deve ter uma estrutura que atenda os objetivos da pesquisa, e os aspectos de interesse da estrutura do sistema são descritos nos próximos tópicos.

6.4.1 Interface do sistema especialista proposto (V 1.00)

Para que fosse viável o desenvolvimento do sistema, vários recursos foram utilizados. O *hardware* utilizado foi um computador HP *Pavillon* dv600, processador Turion 64x2, 4 Gb RAM. Os *softwares* utilizados foram *Windows XP Professional*, como sistema operacional, e Borland C++ para *Windows* como ferramenta para o desenvolvimento do sistema.

O sistema especialista proposto (V 1.00) apresenta uma interface amigável, de fácil navegação utilizando uma interface gráfica simples, a Figura 33 apresenta a tela de abertura do sistema.

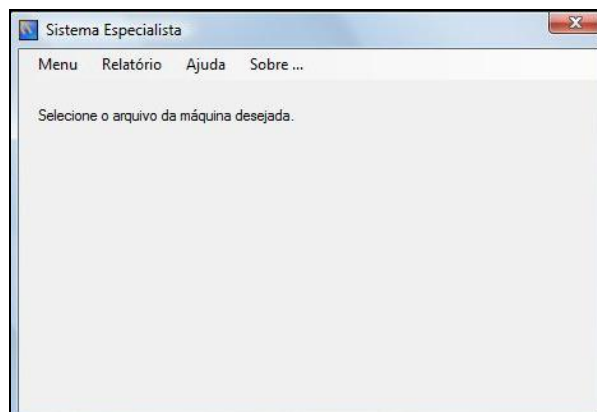


Figura 33 - Tela de Abertura do Sistema Especialista

O sistema V 1.00 apresenta em sua tela de abertura as seguintes funções:

a) Menu

A aba *Menu* disponibiliza as opções de selecionar maquina que carrega o arquivo de alarmes de uma maquina especifica, nova busca que inicia a seqüência de resolução de um novo alarme e a opção de sair que desabilita o sistema. A Figura 34 demonstra os itens da tela *Menu*.

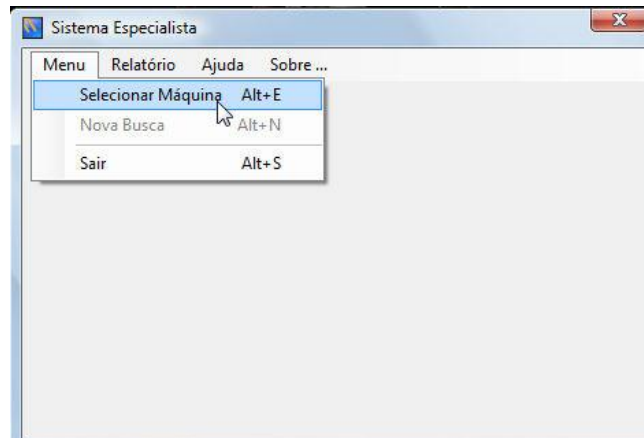


Figura 34 - Demonstrativo da Aba Menu.

b) Relatório

A aba relatório possibilita a abertura de uma nova janela, onde é possível visualizar o relatório de alarme atual, carregar o arquivo de um relatório passado, salvar o relatório atual ou apagar o relatório. A Figura 35 apresenta a tela de relatórios. Os relatórios são gerados *on-line* conforme o usuário navega nas telas de resolução de problemas (respondendo às perguntas, ou efetuando as ações pedidas pelo sistema).

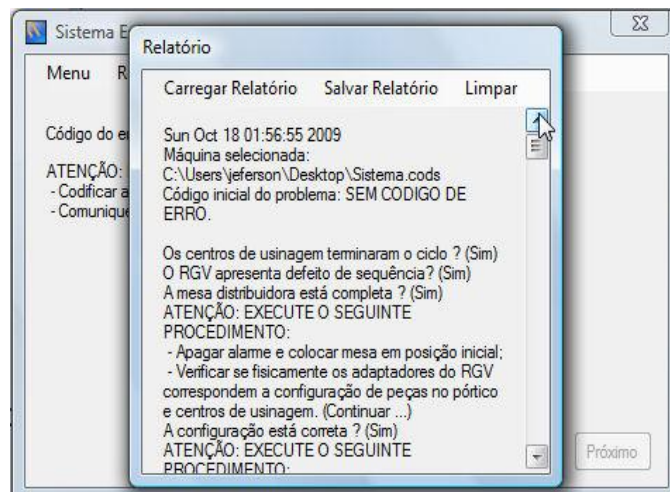


Figura 35 - Demonstrativo da Tela de Alarmes

Os relatórios do sistema V 1.00 apresentam as informações da data e hora da consulta do alarme, o arquivo de alarmes carregado, o caminho do banco de dados e o passo a passo da resolução do problema.

c) Ajuda

A ajuda do sistema V 1.00 compreende as informações de como executar o programa, como realizar a atualização do banco de dados, como a inserir novas soluções de resolução de alarmes e como manipular os relatórios gerados pelo sistema. A Figura 36 apresenta a tela de ajuda do sistema V 1.00.

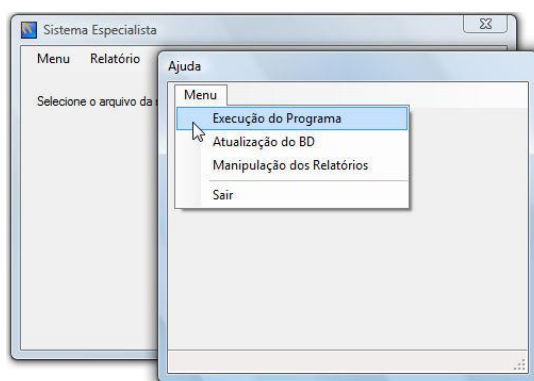


Figura 36 - Demonstrativo da Tela de Ajuda

d) Sobre

A aba sobre credita os profissionais programadores que desenvolveram a programação do sistema. Esta implementação contou com a ajuda dos alunos Alexandre Gomes da Costa e Bárbara Castilho, que foram responsáveis pela programação da interface de entrada e saída apresentada.

6.5 MODO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA - VERSÃO 1.00

Para um melhor entendimento do sistema especialista Versão 1.00, descreve-se a sistemática de funcionamento do sistema especialista. O método busca utilizado pelo sistema especialista Versão 1.00 é o sistema de encadeamento para frente, que conforme REZENDE (1996) é o método adequado para determinar quais as conseqüências de um dado fato ocorrido em um dado sistema.

Ainda citando REZENDE (1996), o encadeamento para frente pode ser descrito com base nas relações existentes entre os elementos que o constituem. O motor de inferência fica continuamente monitorando a base de conhecimento (ou de regras) com o objetivo de construir uma lista (agenda) das regras que têm suas premissas satisfeitas pelos fatos já existentes. Uma regra que seja colocada no topo da agenda será a primeira a ser

executada. A ordem em que as regras são colocadas na agenda e a sua execução são ditadas pela estratégia de identificação/solução do problema. A Figura 37 apresenta o processo de encadeamento para frente.

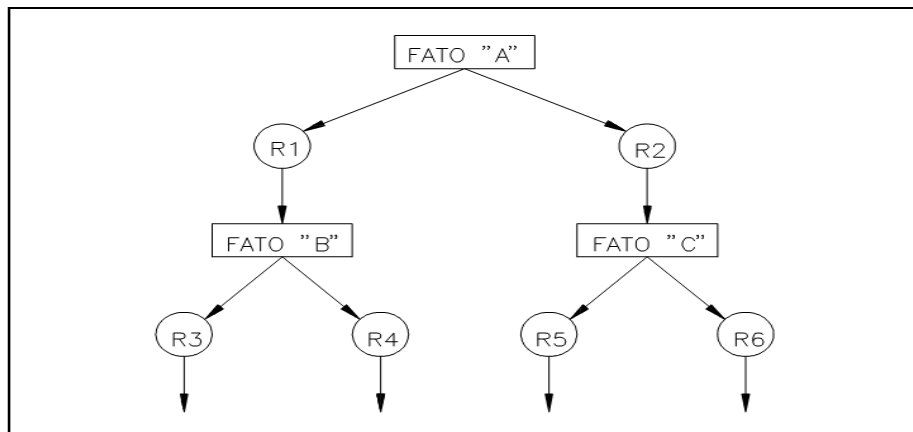


Figura 37 - Fluxo do Encadeamento para Frente (REZENDE, 1996)

O sistema especialista V 1.00 constrói suas seqüências de verificações, por premissas e fatos satisfeitos. Para isso, o sistema utiliza uma base de dados (conhecimento) com regras definidas. Essa seqüência de verificações leva o operador do sistema a uma solução conhecida, que pode ser ou não desencadeada por vários fatos.

Ao iniciar o programa o sistema pede ao operador a seleção da máquina. Este procedimento carrega a agenda com os códigos de alarmes e suas respectivas regras de encadeamento.

No sistema especialista V 1.00, o encadeamento acontece por perguntas de *status* e ordens de execução, e o sistema utiliza telas de diálogo, onde o operador responde as perguntas sim e não para cada etapa do processo. As Figuras 38 e 39 apresentam as telas de diálogo do sistema e seu processo de encadeamento.



Figura 38 - Tela de Dialogo 1

O sistema V1.00 permite ao operador voltar ao encadeamento anterior a qualquer momento no processo de resolução do problema.

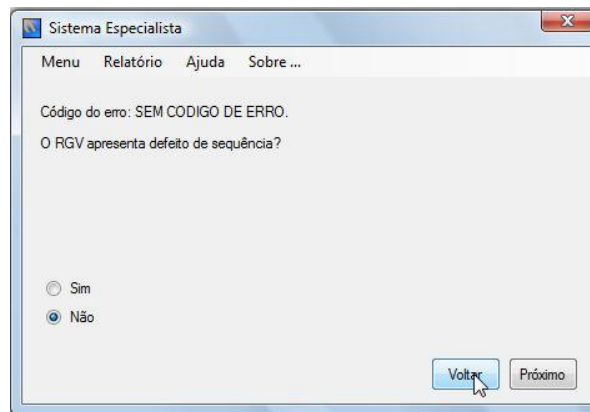


Figura 39 - Tela de Dialogo 2

7 APLICAÇÃO DO SISTEMA V 1.00 AO ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de discutir a viabilidade do sistema especialista V 1.00, apresenta-se a seguir a sua aplicação a um caso específico. Dados da aplicação da metodologia de perdas (*Kaizen*) para redução de panes de máquinas em uma célula de um *FMS* de uma empresa de fabricação de Blocos de Motores da região metropolitana de Curitiba foram utilizados como base para o desenvolvimento desta aplicação. Os tópicos que seguem descrevem os principais alarmes desta célula, o modo convencional de resolução e apontamento de panes, e, por fim, a aplicação do sistema especialista V 1.00 para a resolução da mesma. Também os detalhes de alguns alarmes segundo o manual do fabricante das máquinas são apresentados.

Como o objetivo deste capítulo é o de discutir a viabilidade do sistema V 1.00 e para não tornar o mesmo exaustivo, apresenta-se a utilização do sistema para um tipo de pane específica que pode ser interpretada e codificada de diversas formas pelo operador do *FMS* da fábrica estudada, conforme já apresentado no capítulo 5.

Outros alarmes que podem ser confundidos pelo operador são descritos em forma de fluxogramas em anexo e se aplicam às principais falhas do estudo de caso, apresentado também no capítulo 5.

7.1 LISTAGEM DE FALHAS E INDICAÇÃO DOS ALARMES GERADORES

Como exposto no capítulo 5, o fato de que nenhuma *ação definitiva* foi eficaz para reduzir significativamente o número de falhas (*NS*) e o tempo total de parada das máquinas (*TS*) indica que o grupo de trabalho não conseguiu identificar as causas das falhas. Durante todo o período analisado, o tipo de falha (causas de falhas) indicado sempre se alterou. Era responsabilidade dos operadores das máquinas indicar o tipo de falha sempre que ocorria uma falha e a ambigüidade das definições de tipo de falha permitiram que os operadores selecionassem uma das diversas possibilidades.

Para eliminação da migração ou ambigüidade das definições dos apontamentos pelo operador, analisou-se as falhas mais impactantes apresentadas na Tabela 1 e definiu-se os principais alarmes e alertas que podem ser geradores destas falhas. As principais falhas, com seus principais alarmes geradores, são apresentados na Tabela 2 e seus fluxogramas de resolução são apresentados nos anexos.

Tabela 2 Nomenclatura dos tipos de falha x alarmes geradores

Notação	Falha	alarmes	Anexos
<i>A</i>	Defeito elétrico	NCK 2102 NCK 4250 NCK 3001 21700 27900 27354 Parada da célula de usinagem	01 03 05 09 10 08 07
<i>B</i>	Manipulador acessa dispositivo de fixação vazio	Parada da célula de usinagem	07
<i>C</i>	Defeito do manipulador	Parada da célula de usinagem 27354 27900	07 08 10
<i>D</i>	Defeito seqüencial em “FC191”	Parada da célula de usinagem 27354 27900	10 08 10
<i>E</i>	Falha do bloqueio anti-retorno na entrada 2	21700	09
<i>F</i>	Defeito na saída do transportador	Parada da célula de usinagem	07
<i>G</i>	Defeito da rede Profibus/magazine desliga	NCK 4291 NCK 4250 27354 27900	02 03 08 10
<i>H</i>	Outros	NCK 4250 7020	03 10
<i>I</i>	Pórtico parou devido a uma falha no centro de Usinagem	NCK 4291 NCK 4250 4071 27900	02 03 04 10
<i>J</i>	Falha do bloqueio anti-retorno na entrada 1	Específico ³	N.A. ⁴
<i>K</i>	Defeito do dispositivo de fixação na mesa	Específico	N.A
<i>L</i>	Defeito seqüencial em “sep 06”	Específico	N.A
<i>M</i>	Defeito de dimensões do item na garra 1	Específico	N.A
<i>N</i>	Defeito mecânico	NCK 4071 27900	04 10
<i>O</i>	Defeito na garra 1	21700	09
<i>P</i>	Defeito do transportador entrada da operação 15	Específico	N.A
<i>Q</i>	etiqueta de identificação não lida	Específico	N.A
<i>R</i>	defeito na garra 2	21700	09
<i>S</i>	falha no sensor “E105.3”	21700	09
<i>T</i>	pré-alarme de temperatura no eixo A	Específico	N.A

É importante citar que os alarmes apresentados na Tabela 2 foram retirados do

³ Especifico se refere a falhas que já possuem alarmes determinados,

⁴ N.A se refere a não aplicável para fluxogramas de alarmes específicos.

manual do fabricante (manual de instruções de diagnósticos) dos centros de usinagem e do portal e o mesmo não contempla a integração das máquinas em um *FMS*, conforme é ilustrado na Figura 40.

2102	Alarme Bateria NCK
Esclarecimento	O controle mínimo de tensão (2,4 – 2,6 V) da bateria NCK foi reacionado durante a inicialização do sistema.
Reação	O CN não está pronto. O Canal não está pronto. O início do CN é bloqueado neste canal. Os canais de comunicação são reinicializados. Visualização do Alarme. Parada do CN em caso de Alarme.
Ajuda	Solicitamos avisar o pessoal autorizado ou ao serviço técnico. No CN, retirar o módulo com a bateria/ventilador e trocar a bateria (tipo: bateria de lítio com cabo de conexão, tamanho 1/2 AA, 850 mAh, mín. 3,2V). Posteriormente deve se reinicializar o sistema, já que devido ao baixo nível de tensão existente durante a última desconexão do controle ouve uma perda dos dados na memória RAM (consultar o manual de funcionamento item 2.2). Os seguintes dados podem ter sido modificados ou perdidos completamente: - Dados da máquina CN - Dados da máquina de acionamento - Dados de opções - Dados do usuário - Variáveis do usuário - Subprogramas globais - Macros e ciclos - Dados do PLC - Programa básico do PLC - Programa do usuário do PLC - Dados do usuário do PLC Os dados de usuário na área NCK e no PLC que tenham sido modificados posteriormente ao último backup de dados (ex.: dados de ferramentas e dados de peças) deverão ser introduzidos de acordo com o estado atual da máquina.
Continuação do programa	Desconectar e voltar a conectar o controle.

Figura 40 - Descrição de Alarme NCK 2102 (Adaptado de SIEMENS, 2008)

7.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA V1.00 A UM TIPO DE FALHA

Para ilustrar o funcionamento do sistema especialista, apresenta-se a seguir o desencadeamento do alarme 4250 utilizando o sistema especialista V 1.00. Este alarme pode gerar vários problemas e desdobramentos que podem confundir, alterar ou generalizar o apontamento da real causa, como foi citado no capítulo 5 e na tabela 2, onde o alarme pode ser incluído como um defeito elétrico. Como este alarme possui várias ramificações ou desdobramentos, o exemplo apresentado não explora todas as suas possibilidades de resolução, sendo que a descrição completa não é o objetivo deste trabalho.

a) Iniciando o sistema

O operador inicia o sistema especialista para auxílio na resolução do problema, através do IHM auxiliar (Figura 41) ou através de um computador portátil disponibilizado na célula. O Sistema pede o carregamento do arquivo da máquina, que contém as regras do encadeamento para solução das falhas já alimentadas por especialistas. A Figura 41 apresenta o pedido de carregamento do arquivo.

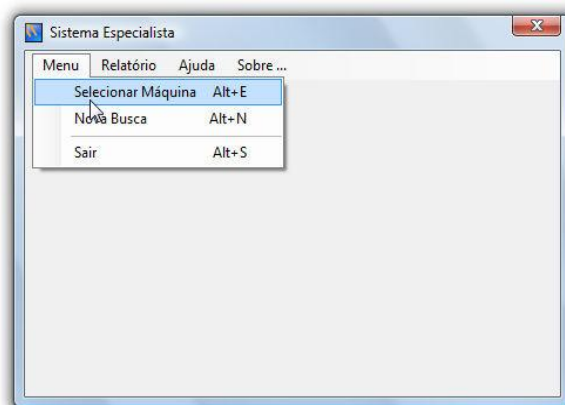


Figura 41 - Seleção de Máquina para Carregamento do Arquivo

b) Carregamento do arquivo de máquina e seleção de alarme

Assim que o arquivo é carregado, o sistema disponibiliza o início da busca e pergunta se o IHM informou o código do alarme. Em caso positivo, o operador digita o código e inicia a busca. Caso negativo, de informação do código, o sistema inicia o encadeamento para falhas sem indicação de alarmes. A Figura 42 apresenta a tela de digitação do código do alarme ou erro.

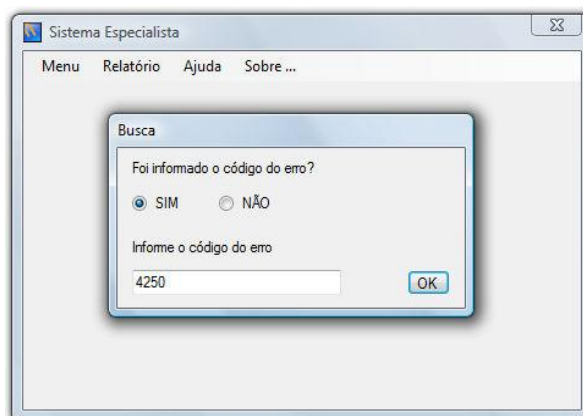


Figura 42 - Tela de Informação do Código de Alarme

c) Processo de interação

A partir do carregamento do arquivo e seleção do alarme, o sistema inicia a interação perguntando ao operador o estado do programa *CNC* nas máquinas de usinagem do *FMS*. A Figura 43 apresenta a primeira interação do sistema.

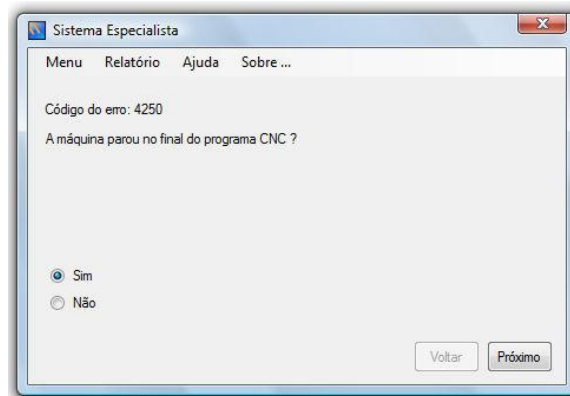


Figura 43 - Primeira Iteração do Estado do CNC

Após a verificação da situação inicial, o sistema verifica a informação de recorrência do alarme, conforme ilustrado na Figura 44. Em caso de recorrência, o sistema orienta o operador a comunicar imediatamente a manutenção e codificar o alarme como alarme de bateria NCK.

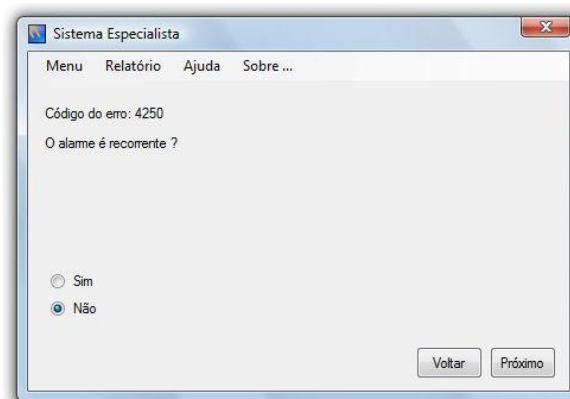


Figura 44 - Verificação da Recorrência do Alarme

Para exemplificar o sistema, a opção de não recorrência é apresentada na Figura 45, e esta interação encaminha o operador a executar diversos procedimentos como:

- Colocar a máquina em estado manual,

- Verificar fisicamente a peça na área de trabalho,
- Carregar o programa correspondente,
- Colocar o centro de usinagem em modo automático, com o potenciômetro em zero,
- Abrir o painel do *IHM* do centro de usinagem desconectar e conectar o cabo ethernet,
- Colocar o pórtico da célula de usinagem e *RGV*, em modo manual,
- Verificar as informações nos *IHMs* do pórtico, *RGV* e centro de usinagem.

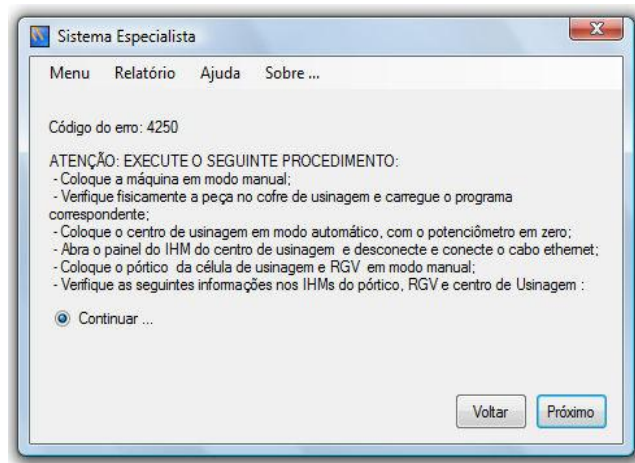


Figura 45 - Execução de Procedimentos

Após a execução dos procedimentos o sistema pede a confirmação ou negativa da conferência dos dados dos diversos *IHM* dos componentes do *FMS*. A Figura 46 apresenta a tela de conferência das informações.

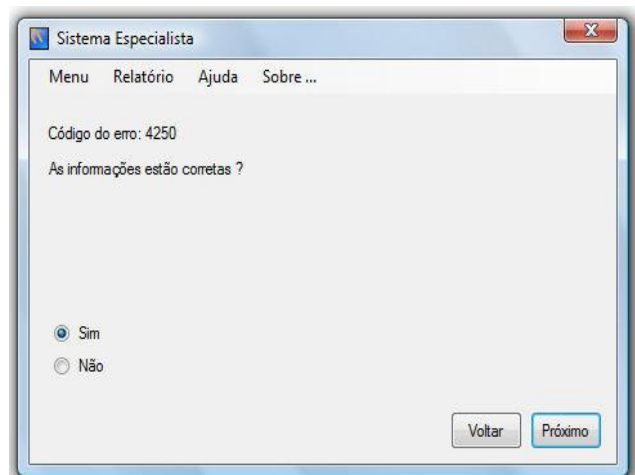


Figura 46 - Conferência das Informações

As opções de conferência das informações podem ser negadas, ou confirmadas. A negativa da pergunta leva à ação imediata de comunicação da manutenção da empresa e, caso a resposta seja sim, a tela, que é indicada na Figura 47, pede ao operador para executar os seguintes procedimentos:

- Colocar o pórtico e o *RGV* em posição inicial,
- Liberação do potenciômetro do centro de usinagem,
- Colocação do pórtico, centro de usinagem e *RGV* em modo automático,
- Acompanhamento do primeiro ciclo de usinagem em marcha reduzida do potenciômetro.

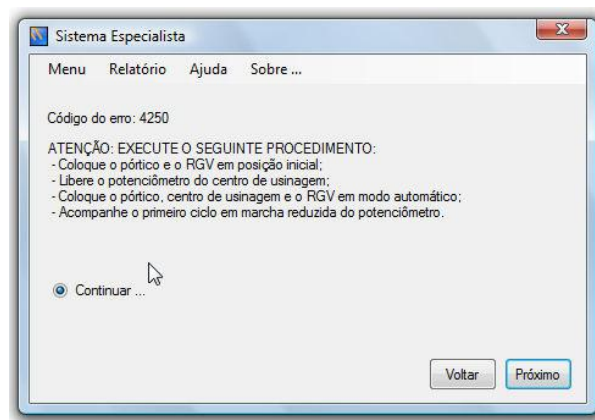


Figura 47 - Tela da Segunda Execução de Procedimentos

Assim que é concluída a execução do procedimento, o operador deve clicar no botão *próximo*, onde a tela da Figura 48 pede a confirmação ou não do operador para a recorrência do alarme.

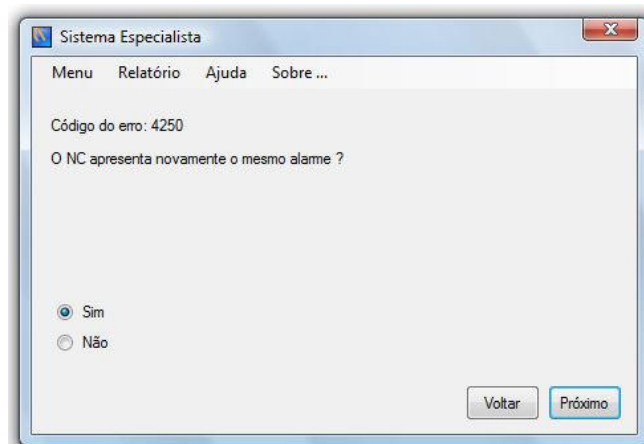


Figura 48 - Confirmação de Recorrência de Alarme

A recorrência do alarme leva o operador à tela que é apresentada na Figura 49, onde as ações tomadas pelo operador não foram suficientes para sanar o problema e a presença da manutenção é exigida para intervir no problema. A Figura 50 apresenta a tela onde a recorrência foi negada e a falha sanada. Assim, o sistema pede o apontamento da falha como descarregamento do programa, que foi a causa raiz da falha inicial.

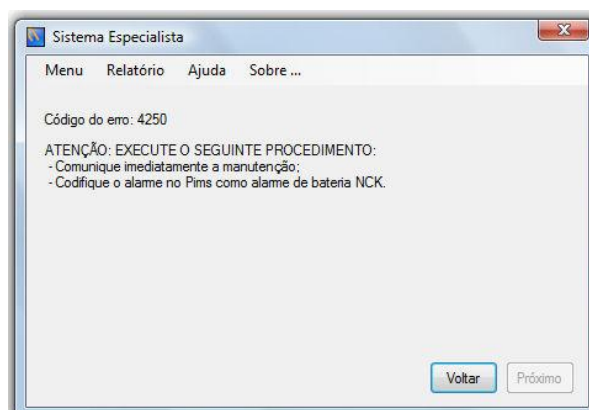


Figura 49 - Tela Resultante da Recorrência do Alarme

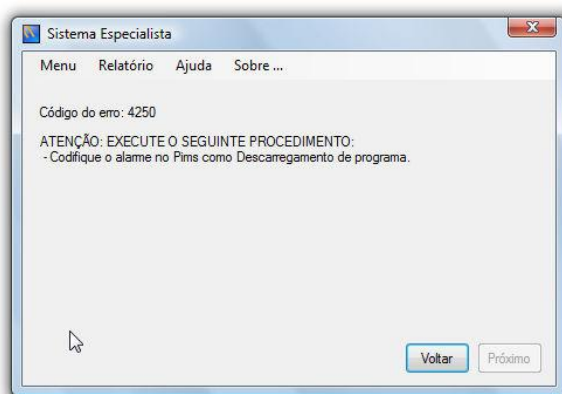


Figura 50 - Tela de Finalização do Alarme 4250

7.3 RELATÓRIO DO SISTEMA APLICADO AO ALARME 4250

O sistema V 1.00 disponibiliza ao usuário a geração de relatórios, onde são disponibilizados: o horário de início da utilização do sistema para um alarme específico, qual foi o arquivo carregado, qual foi o alarme escolhido e o passo a passo da execução da iteração. A Figura 51 apresenta o relatório do alarme 4250 apresentado na seção 7.2.

O relatório permite a criação de um histórico para rastreabilidade das execuções de diagnósticos de problemas, a verificação das execuções de procedimentos operacionais na correção ou tentativa de eliminação de falhas e na análise de causa raiz de problemas.

```

Tue Nov 03 01:13:43 2009
Máquina selecionada: C:\Users\jeferson\Desktop\Sistema.cods
Código inicial do problema: 4250

A máquina parou no final do programa CNC ? (Sim)
O alarme é recorrente ? (Não)
ATENÇÃO: EXECUTE O SEGUINTE PROCEDIMENTO:
- Coloque a máquina em modo manual;
- Verifique fisicamente a peça no cofre de usinagem e carregue o
programa correspondente;
- Coloque o centro de usinagem em modo automático, com o potenciômetro
em zero;
- Abra o painel do IHM do centro de usinagem e desconecte e conecte o
cabo ethernet;
- Coloque o pórtico da célula de usinagem e RGV em modo manual;
- Verifique as seguintes informações nos IHMs do pórtico, RGV e centro
de Usinagem : tipo de peça na garra, estado das peças nas garras, e
tipos de adaptadores na mesa distribuidora;
- Compare as informações do pórtico e do IHM do RGV com a situação
física. (Continuar ...)
As informações estão corretas ? (Sim)
ATENÇÃO: EXECUTE O SEGUINTE PROCEDIMENTO:
- Coloque o pórtico e o RGV em posição inicial;
- Libere o potenciômetro do centro de usinagem;
- Coloque o pórtico, centro de usinagem e o RGV em modo automático;
- Acompanhe o primeiro ciclo em marcha reduzida do potenciômetro.
(Continuar ...)
O NC apresenta novamente o mesmo alarme ? (Não)
ATENÇÃO: EXECUTE O SEGUINTE PROCEDIMENTO:
- Codifique o alarme no Pims como Descarregamento de programa.
-----

```

Figura 51 - Relatório do Alarme 4250

7.4 APRESENTAÇÃO DO DIAGNOSTICO DA FALHA 4250 CONFORME MANUAL DO FABRICANTE

Segundo o manual do fabricante, o alarme 4250 pode ser corrigido operacionalmente com o *reset* do alarme no *IHM* e reinício do programa *CNC*, como pode ser observado na Figura 52.

A descrição do manual não leva em conta a interação da máquina em um *FMS*, e também não descreve os procedimentos operacionais que devem ser executados para reiniciar a operação dentro deste contexto.

4250	Função FAST PLCCOM - Função não disponível
Esclarecimento	Mediante este alarme se indica que ao inicializar o PLC, a funcionalidade do FAST PLCCOM não é ativa, apesar da mesma ser requerida pelo NCK.
Reação	Visualização do alarme.
Ajuda	Equiparar o PLC com a função FAST PLCCOM e desativar a função através do DM do NCK.
Continuação do programa	Apagar o alarme apertando a tecla RESET. Reiniciar o programa da peça.

Figura 52 - Diagnóstico da Falha 4250 (Adaptado de SIEMENS, 2008)

8 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da presente pesquisa foi realizado em torno de um estudo de caso de uma fábrica de motores da região de Curitiba, que utiliza um software PIMS (Sistema de Gerenciamento de Informações de Planta) para monitoramento *on-line* e identificação de falhas através de apontamentos realizados pelos usuários do FMS (sistema flexível de manufatura) de usinagem de blocos de motores.

Os desafios relacionados à utilização do *PIMS* são: evitar o envio (cadastro de erros) e facilitar a interpretação dos dados, eliminando-se também erros de interpretação. Para o problema analisado, durante a implementação das ações, a identificação das causas das falhas não foi eficiente. Isso ocorreu principalmente devido à ambigüidade da nomenclatura de causas de falhas (TP), gerando problemas de interpretação, os operadores das máquinas freqüentemente tinham mais de um tipo de falha para escolher sempre que ocorria uma falha. Na tentativa de resolver este problema a fábrica estudada implementou um grupo de melhoria contínua (Kaizen), cujas ações foram descritas nesta dissertação.

Como o grupo Kaizen não teve sucesso na solução dos problemas expostos em função das deficiências de apontamento e de identificação das causas de falhas, propõe-se o uso de um sistema especialista que oriente o operador na sua reação (primeiras ações de reparo) em caso de parada de máquina. Ainda que não tenha sido discutido neste trabalho, sabe-se que parte do tempo de parada de máquina se deve à busca do operador de máquina pela causa desta parada. Ou seja, parte do tempo de parada deve-se à tentativa de resposta a duas indagações: 1) O que aconteceu?; e 2) O que devo fazer? O sistema especialista possibilita ações imediatas e precisas, podendo evitar perdas de tempo e danos nas máquinas. Por fim mostrou-se que o sistema especialista proposto se constitui numa alternativa para a redução dos erros de apontamento das paradas de máquina, dando aos grupos *Kaizen* (ou de melhorias contínuas) e ao *software* PIMS os meios necessários para que estes se tornem efetivos.

REFERÊNCIAS

- ABEL, M; SILVA, L. A. L; ROS, L. F. D; MASTELLA, L. S; CAMPBELL, J; NOVELLO, T. **PetroGrapher: Managing Petrographic Data and Knowledge Using an Intelligent Database Application. Expert Systems with Applications.** 2004. v. 26, n. 1. Disponível em <http://www.endeeper.com/ESWA2004-PetroGrapher.pdf>. Acesso em: Julho 2008.
- ADAMOWICZ, E, C; CARVALHO. M; EUGÊNIA. S, S; BARBOZA, A, O. **Reconhecimento de Padrões na Análise Econômico- Financeira de Empresas.** Curitiba - PR: 2002. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Disponível em http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR62_0913.pdf. Acesso em: Julho 2008.
- ALKAIM, J, L. **Metodologia para Incorporar Conhecimento Intensivo às Tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade Aplicada em Ativos de Sistemas Elétricos.** Florianópolis - SC: 2003. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Disponível em <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/3452.pdf>. Acesso em: Julho 2008.
- ALLWARE, Automação. **Allware Sistemas de Automação Ltda.** Disponível em <http://www.awautomacao.com.br/esteiras.htm>. Acesso em: Nov 2007.
- BARBOSA, H, A. **Detecção de Intrusão em Redes de Automação Industrial.** Vitória - ES: 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em http://sergio.inf.ufes.br/files/Heber_Barbosa.especializacao.pdf. Acesso em: Nov 2007.
- BATURONE, O, A. **Robótica: Manipuladores y Robots Móviles.** Barcelona. Marcombo. 2001.
- BECERRA, K; PALACIOS, G. **Converting Raw Data into Information-the CEMEX PIMS approach.** Dallas: 2003. Cement Industry Technical Conference, .Conference Record. IEEE-IAS/PCA. Issue, 4-9 May 2003 Page(s): 333 – 344. Disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/8568/27122/01204734.pdf?arnumber=1204734>. Acesso em: Nov 2007.
- BECK, U. **Risk Society. Towards a New Modernity.** Londres - UK: Sage, 1992.

BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Porto Alegre - RS: Bookman, 1998.

BRASIL, L. M., de AZEVEDO, F. M. e BARRETO, J. M. **Uma Arquitetura Híbrida para Sistemas Especialistas**, Florianópolis - SC: 1998. Technical report, Departamento de Informática e Estatística -Universidade Federal de Santa Catarina.

CANO, C, E, V. **Técnica de Navegação de um Robô Móvel Baseado em um Sistema de Visão para Integrá-lo em uma Célula Flexível de Manufatura**. Distrito Federal: 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em <http://www.unb.br/ft/enm/sistmec/villa.pdf>. Acesso em: Março 2008.

CARVALHO, F. B., TORRES, B. S., Fonseca, M. O., CONSTANTINO, S, F.. **Sistemas PIMS – Conceituação, Usos e Benefícios**. Santos - SP: 2003. VII Seminário de Automação de Processos da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM.

CHIAVENATO, I. **Iniciação ao Planejamento e Controle de Produção**. São Paulo - SP: MC GRANHILL, 1990.

CONSTANTINO, S, F. **Notas de Aula. UFMG**, Atualizado em 2004. Disponível em <http://www.delt.ufmg.br/~seixas>. Acesso em: Março 2008.

CORRÊA, H,L; GIANESI, I,G,N; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II / ERP: conceitos, uso e implantação**. São Paulo - SP: 1997. Atlas.

CORRÊA, E. J. M; REZENDE, C. F.; HERMESMEYER, J. S.; CORTES, R. F.; TORRES, B. S.; TEIXEIRA, E. L.; FONSECA, M. O. **Utilização de Sistema PIMS para Apoio às Atividades da Manutenção e Metalurgia na CST**. Santos - SP: 2003. VII Seminário de Automação de Processos da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM. Disponível em < <http://www.atan.com.br/ti/artigos.aspx>>. Acesso em: Abril 2008.

DANTE, J. R. **Proposta de Confiabilização das Informações do Sistema Pims da Organização x para Monitoramento de Panes de Máquinas. Um Estudo de Caso de Uma Linha Flexível de Usinagem**. Curitiba - PR: 2005. Monografia (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DANTE, J. R.; RODRIGUES, L. C. A.; SETTI, J. A. P.; LAUS, L. P.; FERRAZZA, P. H.; MAGATÃO, L. **Monitoring Failure On A Fms Using Pims: A Case Study**. Brasília - DF: 19th International Congress of Mechanical Engineering, November 5-9, 2007.

FACHIN, O. Fundamentos de Metodologia. 3. ed. São Paulo - SP: Saraiva, 2001.

FERREIRA, J. C. E. "Sistemas Integrados de Manufatura", Notas de aula do Curso de Graduação, UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, 1998. Disponível em <http://www.grima.ufsc.br/jcarlos/>. Acesso em: Nov 2008.

FEIJÓ, R. H. B. **Uma Arquitetura de Software Baseada em Componentes para Visualização de Informações Industriais**. Natal – RN: 2007. Dissertação Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Disponível em http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_arquivos/19/TDE-2008-06-17T044849Z-1223/Publico/RafaelHBF.pdf. Acesso em: Out 2008.

FERNANDES, E. N. **Sistema Inteligente de Apoio ao Processo de Avaliação de Impactos Ambientais de Atividades Agropecuárias**. Viçosa - MG: 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

FINAMOR, L. P. S; MARTINS, M. C; MUCCIOLI, C. **Teleophthalmology as an Auxiliary Approach for the Diagnosis of Infectious and Inflammatory Ocular Diseases: Evaluation of an Asynchronous Method of Consultation**. 2005. Revista da Associação Médica Brasileira, vol. 5, nº5. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/ramb/v51n5/a20v51n5.pdf>. Acesso em: Julho 2008.

GAITHER, N. **Production and Operations Management**. The Dryden Press International Edition, 1992.

GE FANUC. **Proficy Historian, Collectors Guide**. Manual técnico historiador proficy. Maio 2007.

GIARRATANO, J. RILEY, G. **Expert Systems: Principles and Programming**. PWS-KENT Publishing Company, 1989.

GOMIDE, F. F. A. GUDWIN, R. R. TANSCHKEIT. R. **Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações**. Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress/ Tutorials - IFSA95, pages 01 – 38., July 1995.

GORZ, A. CRUZ, C. **O Imaterial: Conhecimento, Valor e Capital**, 2. ed. São Paulo - SP: Analube 2005.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey- USA 1987.

HEIDEMANN, C. **Modelo de Sistema Inteligente para Auxílio na Seleção de Conhecimentos**. Florianópolis - SC: 1999. Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - UFSC. Disponível em <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/3341.pdf>. Acesso em: Julho 2008.

KALPAKJIAN, S; SCHIMID, S.R. **Manufacturing Engineering and Technology**. 4 ed. Prentice Hall, 2001.

LENAT, D, B. **Automated Theory Formation In Mathematics**. Pittsburgh - PA: 1984. Computer Science Department Carnegie-Mellon University 15213. Disponível em <http://dli.iiit.ac.in/ijcai/IJCAI-77-VOL2/PDF/061.pdf>. Acesso em: Out 2008.

LESSA, A; FREITAS, A; WALKER, R. A. **Soluções CIM Aplicadas a Engenharia Simultânea**. Rio de Janeiro - RJ: 1999. Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. Disponível em http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0295.PDF. Acesso em: Julho 2008.

LIMA, F. S. **Estratégia de Escalonamento de Controles PID Baseado em Regras Fuzzy para Redes Industriais Foundation Field-Bus Usando Blocos Padrões**. Natal - RN: 2005. Dissertação de mestrado do programa de pós graduação em engenharia elétrica da UFRN. Disponível em http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_arquivos/19/TDE-2006-12-20T105302Z-464/Publico/AlessandroJS.pdf. Acesso em: Agosto 2008.

MAIA, L, T. **SISTEMAS DE SUPERVISÃO INTELIGENTE**. Brasília – DF: 2007. Dissertação de mestrado. Publicado em PPGENE.DM-322/07, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília.

MACHADO, C, C; GARCIA, A, R; SILVA, E, F. **Comparação de Taxas de Erosão em Estradas Florestais Estimadas pelo Modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais.** 2003: Revista Árvore Online. v. 27, n. 3. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n3/a04v27n3.pdf>. Acesso em: Julho 2008.

MARTINS, V. & BREMER, C, F. **Proposta de uma Ferramenta de Integração entre Sistema ERPSCADA, Caso Prático.** Curitiba: 2002. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Disponível em http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR12_0107.pdf. Acesso em: Dez 2007.

MATA, R, S. **Interface Hart/Foundation Fieldbus; ISA Show South America.** São Paulo-SP: 2002. Disponível em ftp://users.dca.ufrn.br/artigos/2004/isa_fuzzy_ff_2004.pdf. Acesso em: Dez 2007.

MENDES, D. **Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Tratamento da Informação.** Ciência da Informação, v. 26, n. 1, p. 39-45, jan./abr. 1997.

MONDIN, G, G. **Aprendizagem de Executivos no Setor Automobilístico – Estudo de Caso na Volkswagen/Audi do Brasil.** Florianópolis – SC: 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina.

PASSOS, A. **Sistema Especialista Aplicado à Assistência Técnica: Estudo de Caso em uma Organização Fabricante de Produtos de Telecomunicações.** Florianópolis – SC : 2005. Dissertação Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia mecânica da UFSC. Disponível em <http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC0854.pdf>. Acesso julho 2008.

PATTERSON, D, W. **Introduction to Artificial Intelligence and Expert Systems.** New Jersey: 1990. Englewood Cliffs,. Prentice Hall, pp 327-333.

PY, M., TOSCANI, L., LAMB, L., DIVERIO, T. **Some Considerations About the Teaching of Parallel Computing Concepts Through a Turing Machine Simulator,** 13º International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, Pirenópolis/DF, Brasil, setembro/2001. pp.134--139.

REZENDE, D. F. **Planejamento de Processos de Fabricação Assistido por Computador Através de um Sistema Especialista Baseado na Tecnologia de *Features* : Um modelo de Desenvolvimento Voltado para a Realidade Industrial.** Florianópolis- SC, 1996. xviii, 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

REZENDE, Y. **Informação para Negócios: Os Novos Agentes do Conhecimento e a Gestão do Capital Intelectual.** *Ciência da Informação*. 2002 v. 31, n. 1, p. 75-83. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/ci/v31n2/12915.pdf>. Acesso em julho 2008.

ROVER, A. J. **Informática no Direito - Introdução aos sistemas especialistas legais.** Curitiba:2001. Juruá.

ROZENFELD. H. ZANCUL. E. **Identificação Das Funcionalidades de Desenvolvimento de Produtos de um Sistema ERP.** Natal - RN: 2000. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. - numa. org. br. Disponível em http://www.numa.org.br/grupos_numa/grupo_ei/Projetos%20EI/Txtei0038.pdf. Acesso em: Junho 2008.

RUSSELL, S. NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach.** Prentice Hall, 2 edition, 2003.

SALVENDY, G; KARWOWSKI, W. **Design of Work and Development of Personnel in Advanced Manufacturing.** Wiley-IEEE, United States 1994.

SAM. **Apostila de formação SAM.** Curitiba - PR: Renault do Brasil, 2001.

SANTINI, C. **Desenvolvimento de uma Plataforma ReconFiguravel Analógica para a Evolução Intrínseca de Circuitos.** Rio de Janeiro - RJ : 2001. Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em http://www.ica.ele.puc-rio.br/publicacoes/download/tes_0028.pdf. Acesso em: Julho 2008.

SANTOS, M; Cecília M. **Análise formal de protocolos de autenticação para redes celulares.** Rio de Janeiro – RJ : 2002. Dissertação (Mestrado) -- Instituto Militar de Engenharia. Disponível <http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/Myrna02/Myrna02.pdf>. Acesso em: Julho 2008.

SCHEER, A. **CIM Business Process Engineering**. Berlin – Germany : 1994 Springer-Verlag.

SCHUMANN, A. **SAP-R/3 in process industries: expectations, experiences and outlooks**. Frankfurt, Germany: 1997. ISA Transactions (Elsevier), v. 36 n. 3, p. 161-166.

SHHEIBIA, T. A. A. E. L. **Controle de um Braço Robótico Utilizando uma Abordagem de Agentes Inteligentes**. Campina Grande - PB: 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. Coordenação de Pós-Graduação em Informática. Disponível em <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~copin/pesquisa/bancodissertacoes/2001/TarigAliAbdurrahmanElShheibiazip.pdf>. Acesso em: Jan 2008.

SILVA, A, D; BEVILACQUA, J, C. **Implementação de Pós-Processadores em Sistemas CAD/CAM Dedicados**. Uberlândia – MG : 2003. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. COBEF, Anais ABCM, 10p. Disponível em http://graco.unb.br/alvares/temp/revisao/COF_161032277_Alexandre.pdf. Acesso em: abril 2008.

SILVA, E, Z. **Automação e a Eliminação das Perdas: A Base de uma Estratégia de Produção para Assegurar uma Posição Competitiva na Indústria**. Porto Alegre - RS: 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia, PPGEPP –UFRGS. Disponível em http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/Edson_Silva.pdf. Acesso em: Fev 2008.

SILVA, R. A. C. **Inteligência Artificial Aplicada a Ambientes de Engenharia de Software: Uma Visão Geral**. *INFOCOMP Journal of Computer Science*, 4(4):27–37, 2005. Disponível em <http://www.dcc.ufla.br/infocomp/artigos/v4.4/art04.pdf> . Acesso em março 2008.

SLACK, N. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1995.

SOUZA, A. **Sistema de Gerência de Informação de Processos Industriais via WEB**. Natal – RN: 2005. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. UFRN. Disponível em http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_arquivos/19/TDE-2006-12-20T105302Z-464/Publico/AlessandroJS.pdf. Acesso em: julho 2008.

SOUZA, H. J. **Evolução dos Protocolos de Comunicação**. Revista Controle e Instrumentação – vol. 119, 2006. Disponível em http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/revista/Revista_Evolucao_dos_Protocolos.pdf. Acesso em Out 2008.

SUCENA, M. P. **Subsídios para a Alocação de Recursos Financeiros em Sistemas de Transportes Urbanos Sobre Trilhos Baseado em Critérios Técnicos**. Rio de Janeiro – RJ : 2002. Dissertação (Mestrado)- Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia - Secretaria de ciência e tecnologia curso de mestrado em engenharia de transportes. Disponível em <http://transportes.ime.eb.br/DIS/DIS176.pdf>. Acesso em: Julho 2008.

SZOLOVITS, P. **Artificial intelligence in Medicine**. In P. Szolovits, editor, Artificial Intelligence In Medicine, pages 1-19. Westview Press, Boulder, CO.1982.

THRAMBOULIDIS, K. **Towards an Engineering Tool for the Development of Distributed Control Systems**. 2002. The International Journal of Advance Manufacturing Technology, Springer-Verlag. Disponível em <http://seg.ee.upatras.gr/thrambo/dev/papers/wfcs-02paper.pdf>. Acesso em: Agosto 2008.

TOFLER, A. **A terceira onda: morte do industrialismo e o nascimento de uma nova civilização**. Rio de Janeiro - RJ: Record, 1992.

URZÊDA, C, C. **Software SCADA como Plataforma para Racionalização Inteligente de Energia Elétrica em Automação Predial**. Brasília: 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília. Disponível em <http://bdtd.bce.unb.br/tedesimplificado/tde_arquivos/19/TDE-2007-02-16T114839Z-675/Publico/Claiton%20Cesar%20de%20Urzedda.pdf>. Acesso em: Set 2008.

VERNADAT, F. B. Enterprise modeling and integration: principles and applications. London - UK: Chapman & Hall. 1996.

VILLELA, K; SANTOS, G; TRAVASSOS, G; ROCHA, A,R; **Melhoria de Processos de Software e Evolução de Ambientes de Desenvolvimento de Software com base no Conhecimento do Domínio e na Cultura Organizacional**. Gramado – RS: 2002.

Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software. Disponível em <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br:8080/colecoes/sbqs/2002/004.pdf>>. Acesso em: Julho 2008.

WESTERLUND, T. **ERP and MES Integration: Reducing Cycle Time**. Chicago: 1996. Industrial computing conference, Datalogix International Inc., p. 91-95.

ZURN, H. H. ROLIM, G. J. CARDOZO, J. **Diagnóstico de Falhas em Sistemas de Potência: Definição do Problema e Abordagens via Inteligência Artificial**. *Sba Controle & Automação Online*. 2004, vol.15, n.2, pp. 215-229.

ANEXOS 01 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES NCK 2102

ANEXOS 02 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES NCK 4291

ANEXOS 03 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES NCK 4250

ANEXOS 04 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES NCK 4071

ANEXOS 05 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES NCK 3001

ANEXOS 06 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES NCK 7020

ANEXOS 07 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES DA CÉLULA

ANEXOS 08 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES 27345

ANEXOS 09 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES 21700

ANEXOS 10 - FLUXO DA VERIFICAÇÃO DE ALARMES 27900

ANEXO 11 - CADASTRO DO SISTEMA