

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 30 / 10 / 00
Ass.: Danilo

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE
AQUISIÇÃO DE DADOS EM OPERAÇÕES DE
USINAGEM VISANDO O MONITORAMENTO DE
LINHAS OU CÉLULAS DE PRODUÇÃO**

Gustavo Suriani de Campos Meireles



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: Prof. Tit. João Fernando Gomes de Oliveira

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016787

São Carlos

2000

Class.	TESE-EESC
Crit.	3500
Tempo	T 0249/00

31100016787

st 1 21652

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC/USP

M514d Meireles, Gustavo Suriani de Campos
Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados em
operações de usinagem visando o monitoramento de
linhas ou células de produção / Gustavo Suriani de
Campos Meireles. -- São Carlos, 2000.

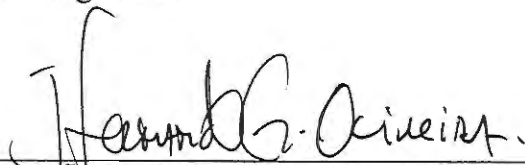
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Tit. João Fernando Gomes de
Oliveira.

1. Monitoramento. 2. Chão-de-fábrica. 3. Usinagem.
I. Título.

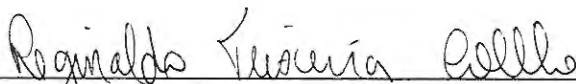
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **GUSTAVO SURIANI DE CAMPOS MEIRELES**


Dissertação defendida e aprovada em 18.09.2000
pela Comissão Julgadora:



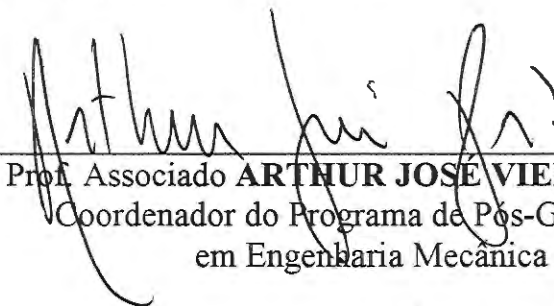
Prof. Titular **JOÃO FERNANDO GOMES DE OLIVEIRA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



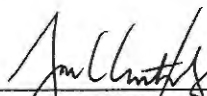
Prof. Associado **REGINALDO TEIXEIRA COELHO**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Livre-Docente **PAULO CORRÊA LIMA**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)



Prof. Associado **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedicatória

Aos meus pais, Ramiro e Maria Elena,
pelo apoio e confiança incondicionais.

Agradecimentos

A Deus, por estar sempre ao meu lado, me guiando.

À FAPESP, pela bolsa de estudo concedida.

Aos meus pais, Ramiro e Maria Elena, e à minha irmã, Lorena, por sempre acreditarem em mim e nesse sonho.

Ao professor João Fernando, pela orientação, amizade, paciência, conselhos, enfim, por me agüentar durante o meu mestrado. Obrigado, Muringa!

À Cátia, pela confiança, paciência, apoio, e, principalmente, pelo amor. Te amo!

Ao André, pela amizade, discussões, conselhos e tudo mais que a gente viveu nesse mestrado, graduação... Essa vitória também é sua!

Ao George e ao Sidrai, pela amizade, conselhos, conversas e tudo mais. Valeu!

Ao pessoal do OPF, pela colaboração, apoio, conversas e discussões. Valeu galera!

À Irene, pela paciência e por ficar inúmeras vezes me escutando. Você realmente é muito especial! Obrigado!

Sumário

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Sumário.....	iii
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	viii
Resumo.....	ix
Abstract.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 INDÚSTRIAS DE USINAGEM.....	2
1.2 OBJETIVO.....	3
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
2 TECNOLOGIAS E CONCEITOS ENVOLVIDOS.....	6
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO.....	6
2.2 FENOMENOLOGIA DOS PROCESSOS DE USINAGEM.....	7
2.2.1 Torneamento.....	8
2.2.2 Fresamento.....	9
2.2.3 Retificação.....	10
2.3 COLETA DE DADOS.....	12
2.3.1 CNC e CLP.....	12
2.3.2 Sensores.....	14
2.3.3 Sistema de Monitoramento Dedicado.....	24
2.4 COMUNICAÇÃO.....	26
2.4.1 Introdução sobre Redes.....	26

2.4.2	Topologia das Redes.....	27
2.4.3	Modelo de Referência da ISO.....	29
2.4.4	Comunicação Serial RS-232.....	33
2.4.5	RS-485.....	35
2.4.6	Fieldbus.....	38
2.4.7	Comparativo <i>Fieldbus</i>	40
2.4.8	Interbus.....	44
2.5	SISTEMA DE SUPERVISÃO.....	51
2.5.1	Controle de Processos por Computador.....	51
2.5.2	Softwares SCADA.....	53
3	<u>MONTAGEM DO BANCO DE ENSAIOS NA FIM.....</u>	<u>56</u>
3.1	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	56
3.2	ÍNDICES DE DESEMPENHO.....	63
3.2.1	Relação G.....	63
3.2.2	Porcentagem de Contato no Ciclo.....	64
3.2.3	Custo por Peça.....	65
3.2.4	Produção Ideal X Produção Real.....	66
3.3	CONFIGURAÇÃO BÁSICA DO SISTEMA.....	67
3.4	EIXO FIM.....	68
3.5	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO.....	69
3.6	RESULTADOS.....	74
4	<u>ESTUDO DE CASO – EMPRESA TRW VARGA.....</u>	<u>77</u>
4.1	INTRODUÇÃO.....	77
4.2	DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS.....	78
4.3	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA.....	85
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	90
5	<u>CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....</u>	<u>92</u>
5.1	CONCLUSÕES.....	92
5.2	PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS95

Apêndice I - Prêmio Internacional

Apêndice II - Programações CNC das Máquinas Para a Fabricação do Eixo FIM

Apêndice III - Sub-programa da Botoeira Feito no PC Worx®

Lista de Figuras

FIGURA 1 – EXEMPLO DE UM TORNEAMENTO	8
FIGURA 2 – EXEMPLOS DE FRESAMENTOS CONCORDANTE E DISCORDANTE	10
FIGURA 3 – CICLO DE RETIFICAÇÃO DE MERGULHO	12
FIGURA 4 – CORTE ESQUEMÁTICO DE UMA ARRUELA DE QUARTZO.....	18
FIGURA 5 – EXEMPLO DE LIGAÇÃO DA ARRUELA DE CARGA.....	19
FIGURA 6 – ACELERÔMETRO PIEZELÉTRICO	20
FIGURA 7 – COMPONENTES DE UM LVDT	21
FIGURA 8 – ESQUEMA DE UM TERMOPAR.....	24
FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE MONITORAMENTO DEDICADO	24
FIGURA 10 – EXEMPLO DE UMA ARQUITETURA DE REDE	26
FIGURA 11 – TIPOS DE TOPOLOGIAS DE REDES	29
FIGURA 12 – O MODELO OSI	31
FIGURA 13 – FLUXO DE DADOS EM UMA REDE ISO	33
FIGURA 14 – DISTÂNCIA X TAXA DE TRANSMISSÃO	35
FIGURA 15 – FORMATO DA MENSAGEM NO RS-485	37
FIGURA 16 – COMUNICAÇÃO PARALELA E COMUNICAÇÃO <i>FIELDBUS</i>	39
FIGURA 17 – TOPOLOGIA DO SISTEMA INTERBUS	46
FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS REGISTRADORES EM UM EQUIPAMENTO INTERBUS	48
FIGURA 19 – ESTRUTURA DO PROTOCOLO <i>ONE-TOTAL-FRAME</i>	49
FIGURA 20 – ESTRUTURA LÓGICA DO SISTEMA INTERBUS	51
FIGURA 21 – CONTROLE DE PROCESSO POR COMPUTADOR	52
FIGURA 22 – EXEMPLO DE SALA DE CONTROLE.....	54
FIGURA 23 – SINAL DE CICLO, EÁ E INFORMAÇÕES RELACIONADAS	59
FIGURA 24 – BOTOEIRA DESENVOLVIDA NO LAB VIEW®.....	60
FIGURA 25 – LÓGICA ELETRÔNICA DA PLACA	61
FIGURA 26 – MÓDULOS DE AQUISIÇÃO DA REDE INTERBUS	67
FIGURA 27 – ARQUITETURA DO SISTEMA NA FIM.....	68
FIGURA 28 – EIXO DIMENSIONADO	69
FIGURA 29 – SUB-PROGRAMA CICLO.....	70

FIGURA 30 – SUB-PROGRAMA PARADA.....	71
FIGURA 31 – SUB-PROGRAMA EA.....	71
FIGURA 32 – PROGRAMA PRINCIPAL.....	72
FIGURA 33 – TELA PRINCIPAL DO APLICATIVO DESENVOLVIDO NA FIM.....	73
FIGURA 34 – TELAS DE DUAS MÁQUINAS DA FIM: TORNO E CENTRO DE USINAGEM.....	74
FIGURA 35 – TELA DA RETIFICADORA.....	74
FIGURA 36 – CICLO EM VAZIO.....	75
FIGURA 37 – A FERRAMENTA ENCOSTA NA PEÇA MAS NÃO RETIRA SOBREMETAL SUFICIENT.....	75
FIGURA 38 – CICLO BOM.....	76
FIGURA 39 – INFORMAÇÕES COLETADAS DAS MÁQUINAS.....	82
FIGURA 40 – ARQUITETURA DO SISTEMA.....	85
FIGURA 41 – TELA PRINCIPAL.....	87
FIGURA 42 – TELAS DAS MÁQUINAS 14R E TOPO.....	88
FIGURA 43 – TELAS DAS MÁQUINAS HASTE E SEDE.....	88
FIGURA 44 – TELAS DAS MÁQUINAS HASTE FINAL E DE ÓLEO.....	88

Lista de Tabelas

TABELA 1 – INFORMAÇÕES GERAIS	40
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	41
TABELA 3 – MECANISMO DE TRANSPORTE	42
TABELA 4 – DESEMPENHO	44
TABELA 5 – SINAIS A SEREM MONITORADOS	62
TABELA 6 – EXPECTATIVAS	78
TABELA 7 – INFRA-ESTRUTURA DA LINHA 1	79
TABELA 8 – EXPECTATIVAS CONSIDERADAS	82
TABELA 9 – SINAIS E INFORMAÇÕES DA MÁQUINA 14R	83
TABELA 10 – SINAIS E INFORMAÇÕES DA MÁQUINA TOPO	83
TABELA 11 – SINAIS E INFORMAÇÕES DA MÁQUINA HASTE	83
TABELA 12 – SINAIS E INFORMAÇÕES DA MÁQUINA SEDE	84
TABELA 13 – SINAIS E INFORMAÇÕES DA MÁQUINA HASTE FINAL	84
TABELA 14 – SINAIS E INFORMAÇÕES DA MÁQUINA DE OLEAR E PLACAR	85

Resumo

MEIRELES, G. S. C. (2000). Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados em operações de usinagem visando o monitoramento de linhas ou células de produção. São Carlos, 2000. 97p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

No atual panorama mundial, qualidade e baixo custo são requisitos básicos para as empresas que pretendem manter a sua posição no mercado. Na busca por um aumento de produtividade e qualidade e redução de custos, as empresas têm procurado promover melhorias contínuas nos seus processos, que dependem sobremaneira da qualidade das informações sobre a produção. A definição correta de quais informações são relevantes e a forma de monitoramento são atividades extremamente importantes, já que a qualidade das informações está relacionada, basicamente, à sua utilidade, confiabilidade e disponibilidade. Em processos produtivos que envolvem operações de usinagem, esta definição, bem como o monitoramento, podem se tornar atividades bastante complexas, pois tais operações englobam inúmeros eventos e variáveis e estão sujeitas a uma série de especificidades. Neste trabalho, procura-se desenvolver um sistema de aquisição de dados em operações de usinagem, visando o monitoramento do chão-de-fábrica. A partir dos dados fornecidos por esse sistema, será possível realizar, por exemplo, a supervisão da chão-de-fábrica ou, ainda, a comunicação com uma base de dados e com sistemas corporativos, como os *softwares* de gestão empresarial.

Palavras-chave: monitoramento, chão-de-fábrica, usinagem.

Abstract

MEIRELES, G. S. C. (2000). Development of a data acquisition system for machining operations in order to accomplish production lines or cell monitoring. São Carlos, 2000. 97p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Some basic requirements for enterprises to raise their marketshare are quality and low costs. In order to increase production and quality of products as well as reduce costs, these enterprises have been using continuous improvements in their processes. These improvements do depend on the quality of the information about the production system. The correct definition of which information have to be collected as well as its proper monitoring are extremely important activities. In production processes that use machining operations, such definitions can become extremely complex tasks due to several events, variables and very specific occurrences related to machining. The intention of this research is to develop a data acquisition system for machining operations in order to accomplish shop floor monitoring. The collected data, besides helping in decision making activities, can feed a shop floor supervisory system, a production database or an enterprise resource planning system.

Keywords: monitoring, shop floor, machining.

1 Introdução

No atual panorama mundial, qualidade e baixo custo são regras básicas para as empresas que pretendem manter a sua posição no mercado, uma vez que o processo de globalização tem criado um mercado único mundial. Na busca por um aumento de produtividade e qualidade e redução de custos, as empresas têm procurado promover melhorias contínuas nos seus processos.

Nas indústrias de manufatura, o processo produtivo merece uma atenção especial, uma vez que o seu desempenho traz conseqüências representativas para a empresa de um modo geral. Neste caso, o processo de melhoria depende sobremaneira da qualidade das informações sobre a produção, da capacidade de se identificar problemas e possíveis causas e, ainda, da habilidade de se reconhecer oportunidades de melhoria. Desta forma, a definição correta de quais informações são relevantes e o seu monitoramento adequado são atividades extremamente importantes, já que a qualidade das informações está relacionada, basicamente, à sua utilidade, confiabilidade e disponibilidade. Em processos produtivos que envolvem operações de usinagem, esta definição, bem como o monitoramento, podem se tornar atividades bastante complexas, pois tais operações englobam inúmeros eventos e variáveis e estão sujeitas a uma série de imprevistos.

Portanto, um sistema de informação de manufatura para linhas de usinagem, que apresente as propriedades descritas acima, é indispensável para que tentativas de melhoria tragam resultados satisfatórios [1]. Estes sistemas são hoje muito populares em indústrias de processos contínuos, como indústrias de alimentos, químicas, petroquímicas, açúcar e álcool etc. Entretanto, nas empresas usuárias de processos de usinagem, o uso desse tipo de sistema ainda é muito pequeno.

1.1 Indústrias de Usinagem

Nas indústrias de usinagem, a automação do processo produtivo concentrou-se principalmente na automação da máquina isoladamente. Comandos numéricos computadorizados e sensores que corrigem o posicionamento da ferramenta automaticamente, com a conseqüente eliminação do operador dedicado à máquina, são alguns exemplos da introdução de inteligência no chão-de-fábrica.

Essa abordagem foi vitoriosa nas décadas de 70 a 90, quando os conceitos de competitividade e produtividade eram diferentes dos atuais. O foco era tirar o máximo possível de cada máquina. Dessa forma, a visão holística do processo era substituída pela visão isolada da máquina.

Atualmente, com os conceitos de *lean manufacturing*, produção ótima, *just in time*, entre outros, o foco está no sistema produtivo e não mais na máquina isoladamente. É preciso que cada máquina trabalhe nas suas condições ótimas, considerando o sistema produtivo como um todo. Com isso, torna-se de vital importância a qualidade das informações a respeito da produção e das máquinas para que tentativas de melhoria, segundo essa nova abordagem, surtam efeito e vão ao encontro dos conceitos atuais de competitividade e produtividade.

O método tradicional de monitoramento da produção é baseado em levantamentos manuais de dados, que deveriam funcionar como uma imagem instantânea do sistema produtivo. Porém, como estes levantamentos não são feitos de forma contínua e, na maioria das vezes, não contemplam todas as informações peculiares ao processo, as análises feitas a partir destes dados são, basicamente, estáticas e restritas a um domínio muito pouco abrangente.

Desta forma, tentativas de melhoria baseadas nestas análises não têm obtido resultados efetivos, principalmente quando se tratam de processos mais complexos como os de usinagem. Tais processos, caracterizados por inúmeras variáveis e sujeitos a vários perturbadores, não só dificultam um monitoramento contínuo, como deixam os resultados de uma análise estática muito aquém da realidade.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados em operações de usinagem, visando o monitoramento do chão-de-fábrica. Para tanto, serão usados produtos, componentes e tecnologia já existentes, porém em uma aplicação inovadora. Dessa forma, o processo discreto usinar será encarado como um processo contínuo. A partir dos dados fornecidos por esse sistema, será possível realizar, por exemplo, a supervisão da chão-de-fábrica ou, ainda, a comunicação com uma base de dados e com sistemas corporativos, como os *softwares* de gestão empresarial.

O sistema de aquisição de dados é dividido, basicamente, em duas partes: coleta de dados e comunicação. A primeira pode ser subdividida em três modos: CNCs e CLPs, sensores e sistemas de monitoramento dedicado. O CNC, através dos relés existentes nos painéis elétricos das máquinas, e o CLP podem fornecer alguns dados relevantes e que são inerentes do próprio processo de usinagem. Os sensores fazem a ligação entre o processo e os sinais elétricos que serão analisados, em última instância, por um sistema de supervisão [2], possibilitando, assim, monitorar o funcionamento das máquinas no chão-de-fábrica.

O sistema de monitoramento dedicado é um equipamento responsável por aumentar a independência das máquinas do operador. Ele é composto por um sensor e um circuito eletrônico que faz o tratamento do sinal de sensores. Ele fornece, então, um sinal tratado que pode ser lido por algum sistema externo ou ligado diretamente no CNC da máquina. Para esse trabalho, apenas um tipo de sistema de monitoramento dedicado utilizando um sensor de emissão acústica será usado.

Para que esse monitoramento seja eficiente, deve-se, de ante mão, determinar quais os fenômenos a serem monitorados. O usuário final será o responsável por definir quais informações do chão-de-fábrica serão úteis a ele. A partir daí, faz-se uma análise, com base na fenomenologia do processo em questão, para escolher, adequadamente, quais dados fornecerão as informações requisitadas e qual o melhor modo de coletar estes dados.

Alguns dados não podem ser obtidos automaticamente, seja por CNC, CLP, sensor ou pelo sistema de monitoramento dedicado. Será necessário o auxílio do

operador para que algumas informações sejam adquiridas diretamente do chão-de-fábrica. Nesses casos, será usado um coletor de dados, na forma de uma botoeira, através do qual o operador entrará com a informação desejada.

Uma vez feita a aquisição dos dados, deve-se transportá-los para a unidade de gerenciamento do sistema, que pode ser tanto um CLP mestre quanto um PC, dependendo do tipo de rede a ser utilizada. Com isso, a comunicação também será objeto de estudo, pois serão analisadas as diferentes formas de transmissão (*fieldbus*, RS-232 etc.) para, então, escolher aquela que melhor atende às necessidades do sistema (rapidez, robustez, segurança, confiabilidade etc.).

Durante o período, duas indústrias de usinagem (TRW Varga e Krupp) foram visitadas e foram levantados alguns pontos importantes sobre o possível impacto desse sistema de aquisição de dados nas suas linhas de produção bem como na fábrica como um todo. Além disso, na indústria TRW Varga, esse sistema foi de fato instalado e as conclusões estão na forma de um estudo de caso.

Vale a pena ressaltar que esse projeto fez parte de um projeto maior que venceu um concurso internacional promovido pela empresa SAP Americas. Os detalhes desse concurso encontra-se no Apêndice I.

1.3 Estrutura da Dissertação

Essa dissertação será dividida em cinco capítulos, incluindo este (Capítulo 1 – Introdução) que apresenta um breve sumário da situação atual nas indústrias de usinagem e os principais objetivos desse trabalho.

O Capítulo 2 – Tecnologia e Conceitos Utilizados – apresenta uma revisão bibliográfica acerca das tecnologias e dos conceitos utilizados no desenvolvimento do presente trabalho. Os assuntos são apresentados de forma a fornecerem uma visão geral que auxilie no entendimento do sistema de aquisição de dados para operações de usinagem e de seus resultados e conclusões.

O Capítulo 3 – Montagem do Banco de Ensaio na FIM – mostra o que foi feito para que o sistema de aquisição de dados funcionasse no Laboratório de Otimização de Processos de Fabricação do Núcleo de Manufatura Avançada (NUMA) da EESC – USP, suas configurações, programas e também os resultados obtidos.

O Capítulo 4 – Estudo de Caso – Empresa TRW Varga – apresenta a instalação do sistema na empresa TRW Varga de Santo André – SP e os resultados obtidos a partir da análise das informações fornecidas pelo sistema.

O Capítulo 5 – Conclusões e Propostas para Trabalhos Futuros – apresenta algumas conclusões a respeito do presente trabalho e algumas propostas para trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa.

2 Tecnologias e Conceitos Envolvidos

Este capítulo explora algumas tecnologias e conceitos envolvidos no desenvolvimento do sistema de aquisição de dados e como eles se aplicam nas indústrias de usinagem.

Este capítulo é dividido nos seguintes tópicos principais: contextualização do projeto, fenomenologia dos processos de usinagem, coleta de dados, comunicação e sistema de supervisão.

2.1 Contextualização do Projeto

A proposta desse trabalho é desenvolver um sistema de aquisição de dados para processos de usinagem que forneça dados confiáveis e relevantes acerca da máquina e do processo em si.

A motivação para realizar esse projeto veio do fato de não existir tal sistema para os processos de usinagem. Este fato pôde ser constatado através de algumas visitas a indústrias de usinagem. Para processos contínuos, como os de indústrias petroquímicas, álcool, leite etc., esse sistema já existe e é usado em grande escala para a supervisão e controle da manufatura. A idéia, portanto, é aplicar o conhecimento desenvolvido na supervisão desses processos contínuos nos processos de usinagem.

No que tange à tipos de dados, o sistema de aquisição pode ser dividido em duas partes: a primeira visa obter dados relativos aos ciclos tecnológicos. Esses dados são obtidos através do controle da máquina, seja ele CNC, CLP ou lógica a relé e geram informações tecnológicas básicas, tais como tempos de ciclo e número de peças. A segunda, dados de desempenho da máquina, tais como condições da ferramenta, falhas no processo, ciclo em vazio etc., obtidos por um sistema de monitoramento dedicado ou por sensores alocados em posições estratégicas na

máquina, e os motivos de parada, obtidos através de um coletor de dados, no caso, uma botoeira.

O diagnóstico perfeito das falhas das máquinas e processos depende de uma coleta de dados confiável e do processamento de informações que a relacionam com seus precursores [3]. Assim, é de vital importância que esses dados representem a realidade do chão-de-fábrica de modo que, ao serem processados e transformados em informações em um sistema de supervisão, por exemplo, essas informações possam auxiliar, de forma rápida e acertada, na identificação de problemas e na tomada de decisões.

2.2 Fenomenologia dos Processos de Usinagem

Usinar significa remover material indesejado de uma peça na forma de cavaco. Se a peça a ser usinada é um metal, então o processo pode ser chamado de usinagem dos metais. Indústrias americanas gastam, anualmente, bilhões de dólares em operações de usinagem de metais, uma vez que a grande maioria dos produtos manufaturados requer uma usinagem em algum estágio de sua produção. Essa usinagem varia desde a remoção de material sem nenhuma precisão até trabalhos de alta precisão, utilizando tolerâncias de até 1 micron. Portanto, usinagem é, sem dúvida, o mais importantes dos processos de manufatura básicos [4].

Devido à sua complexidade, os processos de usinagem, de um modo geral, têm sido alvo de inúmeras pesquisas e trabalhos, com o intuito de melhor entendê-los e dominá-los. Essa complexidade se deve, principalmente, aos seguintes fatores [4]:

- diferentes materiais se comportam de maneira distinta;
- o nível de tensão é muito elevado;
- o processo é sensível a variações do diâmetro da ferramenta, material da ferramenta, temperatura, fluidos de corte e vibrações.

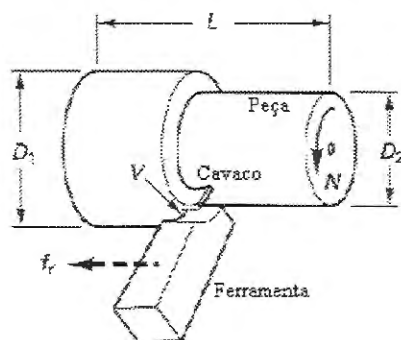
Um ciclo de usinagem corresponde ao conjunto de operações realizadas em uma peça. Em alguns casos onde ele se resume a apenas uma operação, o ciclo pode ser dividido em três eventos básicos: aproximação da ferramenta, usinagem efetiva da peça e afastamento da ferramenta.

Para monitorar uma máquina de usinagem, três características básicas devem ser consideradas: o processo de usinagem é discreto e os níveis de tensão (potência) e emissão acústica durante a usinagem são altos. A partir dessa conclusão, é possível coletar a maioria dos dados necessários para gerar as informações requisitadas.

Os principais processos de usinagem que envolvem remoção de material na forma de cavaco são: torneamento, fresamento, retificação, brochamento, furação, alargamento, aplainamento e corte [4]. A linha de usinagem montada no laboratório para realização desse trabalho envolve somente os processos de torneamento, fresamento e retificação.

2.2.1 Torneamento

Torneamento é a usinagem de cilindros externos e superfícies cônicas gerando formas cilíndricas com uma ferramenta de ponta única (figura 1). Por ser a operação de usinagem mais usada nas indústrias, o torneamento tem sido alvo de várias pesquisas e, com isso, possui um processo altamente otimizado [5].



- L – comprimento da peça
- D_1 – diâmetro inicial da peça
- D_2 – diâmetro final da peça
- V – velocidade de avanço da ferramenta
- f_r – avanço da ferramenta
- N – rotação da peça

Figura 1 – Exemplo de um torneamento [4]

As operações de torneamento podem ser subdivididas em duas classes: aquelas realizadas com a peça presa entre centros (torneamento cilíndrico) e aquelas realizadas com a peça presa à placa numa de suas extremidades, com ou sem suporte na outra extremidade (torneamento com placa).

O torneamento é a combinação de dois movimentos: avanço da ferramenta e rotação da peça. O avanço da ferramenta pode ser ao longo do eixo da peça, o que significa que seu diâmetro será reduzido, e no sentido do centro da peça, diminuindo

seu comprimento. Em alguns casos, o avanço da ferramenta pode ser a combinação dessas duas direções, resultando em superfícies cônicas [5].

Para se obter tolerâncias dimensionais apertadas e bons acabamentos finais, é necessário realizar um ou mais passos na condição de desbaste, seguidos por um ou mais passos na condição de acabamento. A condição de desbaste deve ser tão severa quanto permitirem a espessura do cavaco, a vida da ferramenta, a potência do motor e a própria peça. Deve-se usar grandes profundidades de usinagem e pequenos avanços ao invés de pequenas profundidades de usinagem e grandes avanços, uma vez que, no primeiro caso, menos passos são necessários e a perda de tempo para voltar a ferramenta e iniciar um novo passo é menor. As condições de acabamento são leves, com profundidades de usinagem bastante reduzidas e avanços tão pequenos quanto os necessários para a obtenção do acabamento desejado. Em alguns casos, uma ferramenta especial de acabamento é usada, mas geralmente a mesma ferramenta é usada para ambas as condições [4].

2.2.2 Fresamento

O fresamento é a operação de usinagem com remoção de cavaco que possui as seguintes características [6]:

- a ferramenta multicortante, chamada fresa, é provida de arestas cortantes dispostas simetricamente em torno de um eixo;
- o movimento de corte é proporcionado pela rotação da fresa ao redor do seu eixo;
- o movimento de avanço é geralmente feito pela própria peça em usinagem, que está fixada na mesa da máquina. Dessa forma, a peça é obrigada a passar sob a ferramenta em rotação, que lhe dá forma e dimensão desejadas.

Segundo a posição do eixo-árvore da máquina-ferramenta, o fresamento é classificado em fresamento horizontal (quando o eixo-árvore está na posição horizontal) e fresamento vertical ou inclinado. Mas segundo a disposição dos dentes ativos da fresa, classifica-se a operação da seguinte maneira [7]:

- fresamento tangencial: operação na qual os dentes ativos (arestas cortantes) estão na superfície cilíndrica da ferramenta. O eixo da fresa é paralelo à superfície gerada. As fresas são chamadas de fresas cilíndricas ou tangenciais.

- fresamento frontal: operação na qual os dentes ativos estão na superfície frontal da ferramenta. O eixo da fresa é perpendicular à superfície gerada. As fresas são chamadas de fresas frontais ou de topo.

O fresamento tangencial pode ser concordante ou discordante. O fresamento concordante é aquele em que o sentido do movimento de avanço coincide com o sentido do movimento rotatório da fresa. No fresamento discordante, o movimento de avanço é contrário ao sentido do movimento rotatório da fresa (figura 2) [6].

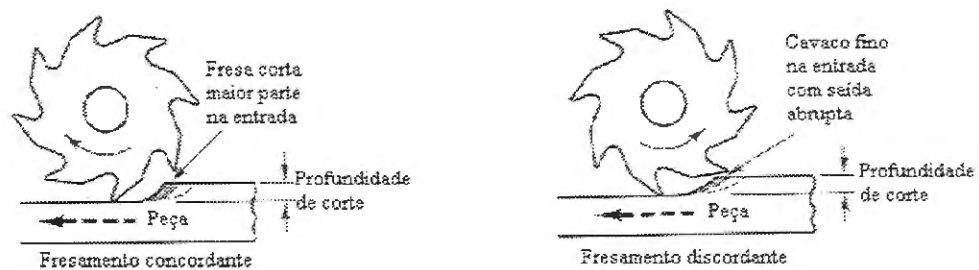


Figura 2 – Exemplos de fresamentos concordante e discordante [4]

2.2.3 Retificação

O processo de retificação é o mais utilizado pela indústria metal-mecânica para a obtenção de altos níveis de qualidade geométricas, dimensionais e superficiais em lotes de peças. Entretanto, é também o menos dominado e conhecido dos processos de fabricação, ficando o seu desempenho dependente da habilidade e experiência do operador [8].

A norma DIN 8589 subdivide as operações de retificação em: tangencial de mergulho, tangencial de passagem, lateral (ou de face) de mergulho e lateral de passagem. A forma geométrica das superfícies obtidas são subdivididas em cilíndrica externa, cilíndrica interna, plana e plana rotativa. Essa norma, porém, não considera o tipo de fixação da peça, ficando a operação sem centros (retificação *centerless*) classificada como um caso particular, assim como retífica de cames, de rosca, de forma etc. [8].

Muitas peças usinadas têm a retificação como a última operação de uma ou várias de suas superfícies. Suas principais características são: possibilidade de obtenção de tolerâncias apertadas (tolerância dimensional entre IT4 e IT6 e tolerância geométrica compatível) e de baixas rugosidades (R_a de 0,2 a 1,6 μm) e

baixa capacidade de remoção de cavaco. Assim, em geral, é um processo de acabamento [7].

A ferramenta utilizada na retificação é denominada rebolo. O rebolo é um corpo, geralmente cilíndrico, formado por uma liga aglomerante, cuja função é reunir os inúmeros e pequenos grãos abrasivos, que vão entrar em contato com a peça e realizar a usinagem. Assim, cada grão abrasivo retira uma quantidade minúscula de material da peça [7]. Dessa forma, pode-se obter, com a retificação, tolerâncias bastante apertadas.

O desempenho do rebolo é diretamente afetado pelo tipo de liga aglomerante e pelo arranjo espacial dos grãos, chamado de estrutura. Grãos abrasivos posicionados muito juntos um do outro formam uma estrutura fechada, enquanto que uma estrutura aberta significa que há uma maior espaçamento entre os grãos. Estruturas abertas têm maiores cavidades para cavacos, mas menos arestas cortantes por unidade de área [4].

O ciclo de retificação é definido como sendo o conjunto de etapas que ocorrem em uma operação desde a colocação da peça até a sua saída dentro de especificações pré-determinadas. O ciclo de retificação é dividido em fases e a soma de todos os tempos de realização das fases resulta no tempo total do ciclo [8]. A figura 3 mostra um ciclo de retificação de mergulho.

A primeira fase (tempo T1) corresponde à aproximação do rebolo na peça e portanto não há corte. Na segunda (T2), ocorre o contato rebolo/peça e um aumento da potência consumida pelo motor e da emissão acústica gerada pelo contato. Na terceira (T3), a profundidade de corte é igual ao avanço por volta do rebolo. O tempo T4 corresponde à fase de *spark out*, ou centelhamento, onde se chega à dimensão final da peça. Nas fases 5 e 6, ocorrem o afastamento do rebolo (T5) e a troca de peça com possível dressagem (T6) [8].

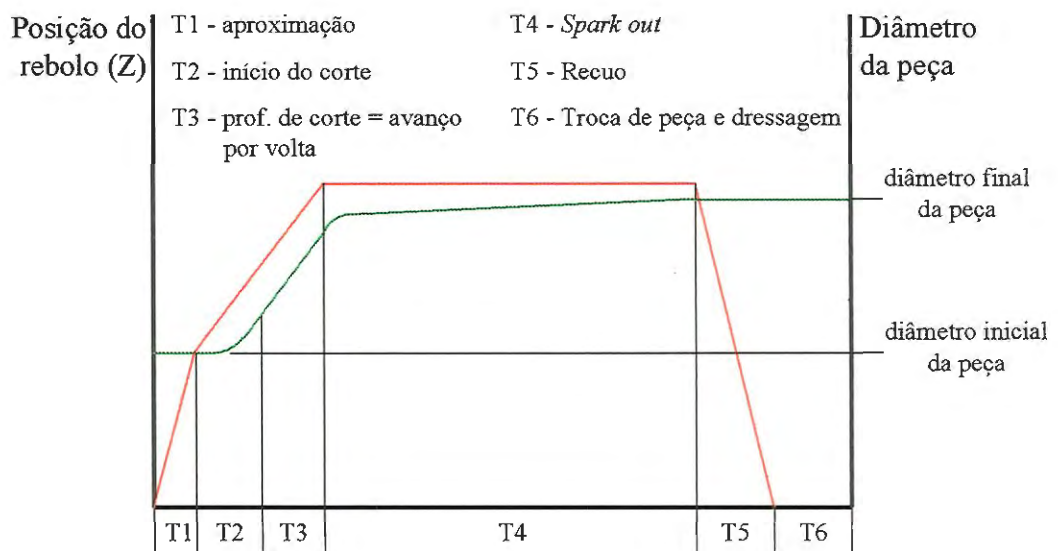


Figura 3 – Ciclo de retificação de mergulho [8]

Quando o rebolo perde suas características de corte, é necessário que se faça a sua dressagem. A operação de dressagem é a preparação do rebolo através da usinagem da sua face de trabalho com uma ferramenta específica (dressador). A dressagem de um rebolo tem três finalidades principais: a obtenção da concentricidade da face de trabalho com o eixo de rotação, o perfilamento da face de trabalho para uma operação de forma e o arrancamento dos grãos abrasivos gastos para melhorar a agressividade da face de trabalho. Das três características acima, a mais importante é o arrancamento dos grãos abrasivos gastos, uma vez que a agressividade de um rebolo determina a capacidade de remoção de material na retificação [8].

2.3 Coleta de Dados

2.3.1 CNC e CLP

Algumas informações podem ser obtidas através do próprio programa CNC da máquina. Elas são classificadas como informações tecnológicas por trazer dados relativos ao próprio processo em questão, tais como início e fim de ciclo. Isso é possível acrescentando funções específicas no programa.

Seja o seguinte programa de CNC de uma Retificadora:

N10 G00 X200 M35

N20 G00 X35

N30 G01 X32,5 F200 **M22**

N40 G04 H30 **M23**

N50 G00 X200 **M34**

O programa acima posiciona o rebolo em X=200 mm, em seguida posiciona-o em X=35 mm, ambos com velocidade rápida. Depois, com velocidade baixa, posiciona o rebolo em X=32,5 mm com avanço de 200 mm/min e espera por 30s. Finalmente, o programa posiciona o rebolo de volta a X=200 mm, encerrando o ciclo.

Os comandos em negrito (M22, M23, M34 e M35), chamados de sinalizadores, foram acrescentados ao programa para obter as seguintes informações: ao posicionar o rebolo em X=200 mm, o programa manda um sinal de tensão para o relé A (M35), situado no painel elétrico da máquina, fechando o contato. O sistema de aquisição de dados monitora este relé e, dessa forma, é informado dessa ação (o sinal passa de “0” para “1”). Assim, o sistema sabe que o ciclo de retificação começou. Em seguida, ao posicionar o rebolo em X=32,5 mm, o programa fecha o relé B (M22) no painel elétrico, informando ao sistema que o rebolo encostou na peça e, então, começou de fato a retificação. Ao executar o próximo comando, o programa manda um sinal para o painel elétrico abrindo o contato do relé B (M23) e, com isso, notificando o sistema que a retificação acabou. Por fim, ao posicionar novamente o rebolo em X=200 mm, o programa manda um sinal para o painel elétrico abrindo o contato do relé A (M34) e assim informa ao sistema que o ciclo de retificação encerrou. Dessa forma, ao processar estes dados, é possível obter informações do tipo: tempo do ciclo, tempo de aproximação do rebolo, tempo da usinagem, entre outros. As informações obtidas através de programas CNCs das máquinas são consideradas informações teóricas.

Esse tipo de informação é conhecido como informações tecnológicas pois se trata de dados específicos de cada máquina. De posse dessas informações, é possível atuar no processo de modo a, por exemplo, reduzir o tempo de aproximação do rebolo, deixando o ciclo total mais rápido sem interferir na qualidade da peça.

Em alguns casos, no lugar dos relés, faz-se a comunicação diretamente com o CLP da máquina. O sinal é captado diretamente dos canais de saída do CLP, que na

maioria dos casos fornece um sinal digital 0 – 24V. Nesse caso, cada comando sinalizador habilita uma saída específica do CLP.

2.3.2 Sensores

O uso de sensores para a realização do monitoramento das máquinas e processos tem se tornado cada vez mais comum nas indústrias que buscam um aumento da qualidade e produtividade, uma vez que eles fornecem informações mais precisas e confiáveis. Essas informações, tratadas de forma a fornecer subsídios necessários para o diagnóstico preciso dos problemas das máquinas e processos e análises reais da produtividade e *status* da produção, por exemplo, fazem dos sensores um importante alicerce na construção de um sistema de informação da manufatura.

O uso de múltiplos sensores (combinação de diferentes sensores) está aumentando conforme o preço de cada sensor diminui. Praticamente todas as empresas que oferecem sistemas de monitoramento têm pelo menos dois tipos de sensores no mercado. Eles combinam, por exemplo, medição de potência com informações dos sinais de emissão acústica. Isto pode trazer vantagens, pois aproveita as diferentes características de cada um dos sensores, aumentando a faixa de aplicação e confiabilidade do sistema [9]. No processo de retificação, essa combinação de sensores é usada em um sistema que monitora as condições de corte do rebolo. Pela análise conjunta dos sensores de emissão acústica e de vibração, o sistema é capaz de dizer a condição do rebolo e quando realizar a sua dressagem (afiação) [10].

O monitoramento dos sistemas de usinagem é necessário para assegurar um ótimo desempenho dos processos e das máquinas. O foco do monitoramento pode ser tanto a máquina (monitoramento do desempenho e diagnósticos), a ferramenta (desgaste, alinhamento, lubrificação), a peça (dimensões e geometria, rugosidade, tolerâncias) e o próprio processo (formação de cavaco, temperatura, energia consumida). Os sensores para o monitoramento do processo devem atingir os seguintes requisitos [11]:

- a medição deve ocorrer o mais próximo possível da máquina;
- não deve haver redução na rigidez estática e dinâmica da ferramenta;

- não deve haver restrição de espaço útil de usinagem e dos parâmetros de corte;
- devem ser livres de desgaste e de manutenção, ser facilmente trocados e possuir um baixo custo;
- devem ser resistentes à sujeira, cavacos e interferências mecânicas, eletromagnéticas e térmicas;
- devem funcionar independentemente da ferramenta e da peça;
- devem adequar-se às características metrológicas;
- devem transmitir o sinal de forma confiável.

É possível associar esses sinais dos sensores com aqueles vindos dos relés de modo a ter informações mais completas acerca do processo. É o caso, por exemplo, da análise conjunta dos sinais dos relés de início e fim da retificação com o sensor de potência. Com isso, pode-se saber, com precisão, se a máquina está operando em vazio (realização de um ciclo sem a peça) ou quando o rebolo realmente encostou ou saiu da peça [10]. Em um ciclo de usinagem genérico, a análise conjunta dos sinais dos relés de início e fim de ciclo com os vindos dos sensores de emissão acústica fornece informações relativas aos tempos das etapas que compõem o ciclo de usinagem: tempo de aproximação da ferramenta, tempo efetivo de usinagem e tempo de afastamento da ferramenta. Essas informações, quando comparadas com as informações obtidas pelo programa CNC (informações teóricas), permitem-nos avaliar a eficiência dos programas das máquinas, pois muitas vezes eles estão obsoletos, comprometendo o desempenho da máquina e do processo.

Os sensores mais usados em processos de usinagem são: emissão acústica, potência, força, aceleração/vibração, deslocamento e temperatura.

Emissão Acústica

Emissões acústicas (EA) são ondas de tensões produzidas por movimento súbito na fonte em materiais tensionados. Essa onda de tensão é irradiada para dentro da estrutura e excita um transdutor piezelétrico sensitivo. Quando a tensão no material é elevada, várias destas emissões são geradas e podem ser observadas dentro de uma larga amplitude e uma faixa de frequência que pode variar de 15KHz até 1200KHz durante a deformação do material [12].

Os reflexos e a dispersão das ondas de emissão acústica durante sua propagação no material levam a uma direção de propagação sem privilégios, ou seja, não existe uma direção específica de propagação da onda. Com isso, o nível da amplitude do sinal de EA é independente da orientação do transdutor [12]. Os sensores de emissão acústica são transdutores piezelétricos que convertem o rearranjo estrutural resultado pelas ondas de tensão em sinais elétricos. Para serem usados para o monitoramento do processo e da máquina, os sensores devem atender a altos requisitos de robustez, devidos principalmente às condições agressivas do ambiente em uma máquina ferramenta, tais como altas temperaturas, grandes quantidades de fluido lubrificante e geração de cavacos [13].

As emissões acústicas podem ser geradas por diferentes fontes: deformação plástica na zona de corte, impacto da ferramenta na peça, formação e propagação de rachaduras etc. [11]. No caso específico da retificação, as maiores fontes de geração de emissão acústica são: o escorregamento do grão abrasivo do rebolo na superfície da peça, a deformação plástica e o esmagamento do grão na superfície da peça sem a remoção de material, e a formação de cavaco [12].

Uma grande vantagem da tecnologia da emissão acústica utilizada para o monitoramento de máquinas e processos de usinagem é o fato de que a larga faixa de frequência do sinal não é afetada pela baixa frequência de vibração da máquina. Além disso, o fato de os sinais de EA serem gerados diretamente na zona de deformação do processo de corte fornece, no caso do processo de retificação, informações seguras para poder investigar os processos de *spark out*, desgaste do rebolo e dressagem [12].

Os sensores de EA são de fácil instalação, tanto em máquinas novas quanto em máquinas com vários anos de uso. Por serem pouco intrusivos, estão sendo usados com muita frequência em máquinas de usinagem, principalmente para a detecção de quebra da ferramenta. A análise do sinal de EA em conjunto com aquele vindo de outro sensor, como o de potência, aumenta a confiabilidade da informação a respeito da máquina ou do processo, como a detecção de quebra da ferramenta por exemplo [14], e permite uma tomada de decisão ou uma ação de controle mais rápida.

A emissão acústica precisa de um meio físico de propagação. Os mais utilizados são os componentes metálicos das máquinas que estão em contato com a

região de corte da peça. O sensor pode ser fixado ainda no tubo do fluido de corte, utilizando este como meio físico para propagação do sinal [14].

Potência

Um sensor de potência mede a potência consumida pelo motor ou a variação de frequência do motor, geralmente com uma faixa de trabalho de 0 a 200KHz. Sua medição baseia-se na medição da corrente e da tensão do motor. Por ser de fácil instalação, os sensores de potência são usados em larga escala no monitoramento de máquinas de usinagem [14].

A corrente consumida pelo motor é medida usando-se sensores de efeito Hall. O efeito é baseado na interação entre o movimento de condutores elétricos e um campo magnético externo. Nos metais, estes condutores são os elétrons. Quando um elétron se move através de um campo magnético, sobre o mesmo age uma força lateral que empurra o elétron para o lado, tornando-o mais negativo que o lado oposto. Assim, o campo magnético e a corrente elétrica produzem a chamada diferença de potencial Hall transversal, cujo sinal e amplitude dependem da intensidade do campo magnético e da corrente elétrica.

Os sensores de efeito Hall constituem-se numa forma de medição indireta das forças de corte através da medição da potência consumida pelo motor. A vantagem desta medição indireta das forças de corte reside no posicionamento do sensor no motor da máquina, ou seja, isolado do ambiente industrial que, via de regra, é bastante agressivo.

A medição da potência efetiva consumida pelo motor tem uma vantagem sobre a simples medição da corrente consumida. Essa vantagem reside no fato de que, para a medição da potência do motor, a corrente ociosa, que não fornece nenhuma informação sobre a carga do motor sobre a ferramenta, não é medida. Como a potência é linear, uma mudança na carga do motor significa uma mudança na potência consumida pelo motor. A corrente por si só não é um indicador sensível de potência para cargas pequenas em motores elétricos trifásicos [14].

Força

Alguns sensores para medição contínua e indireta utilizados em sistemas de monitoramento avaliam as componentes da força de corte ou as variáveis derivadas a

partir dessas componentes, tais como torque. Todos os sistemas de monitoramento baseados nesse princípio utilizam o fato de que o desgaste da ferramenta causa um aumento nas componentes da força de corte [11].

Os sensores para medir força normalmente são formados por arruelas de carga de quartzo. Essas arruelas são transdutores piezelétricos e convertem a força em uma carga elétrica. Em um amplificador de carga, a força é convertida em tensão elétrica. Devido à alta resolução do quartzo, é possível medir forças da ordem de 1N sob uma pré-carga de várias toneladas [15].

Quando um disco de cristal de quartzo é comprimido, gera-se uma carga elétrica. Uma arruela de carga de quartzo consiste de um ou dois discos anulares de cristal de quartzo, um eletrodo e uma carcaça com um plugue [15] (figura 4).

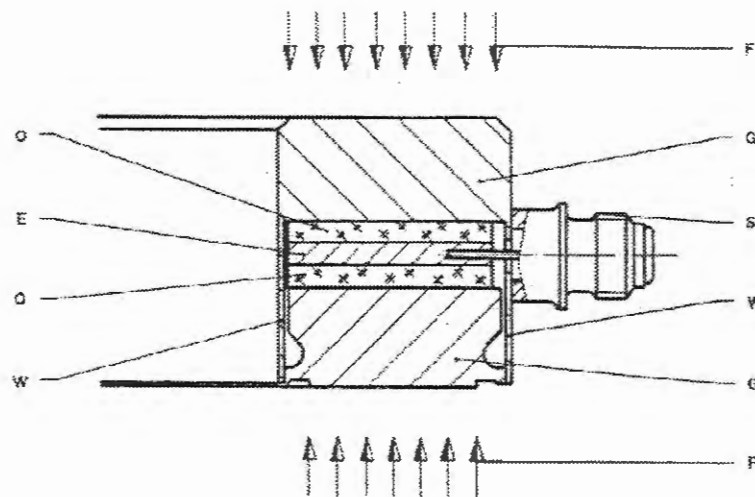


Figura 4 – Corte esquemático de uma arruela de quartzo

Analisando a figura acima, a força F a ser medida deve agir uniformemente sobre a superfície anular. Devido à tensão de compressão, uma carga elétrica exatamente proporcional à força aplicada é gerada no cristal de quartzo Q . Além disso, a carga gerada não depende das dimensões dos discos de quartzo (efeito piezelétrico longitudinal) [15].

A carga produzida é captada pelo eletrodo E e transportada à conexão do plugue S . Ainda a respeito da figura 4, o G representa a carcaça e o W uma parede elástica. A polaridade é arranjada de tal modo que a força de compressão produza

uma carga negativa, a qual é convertida em uma tensão positiva no amplificador de carga [15] e mostrada através do *display*, que converte a tensão em um valor interessante ao usuário final (figura 5).

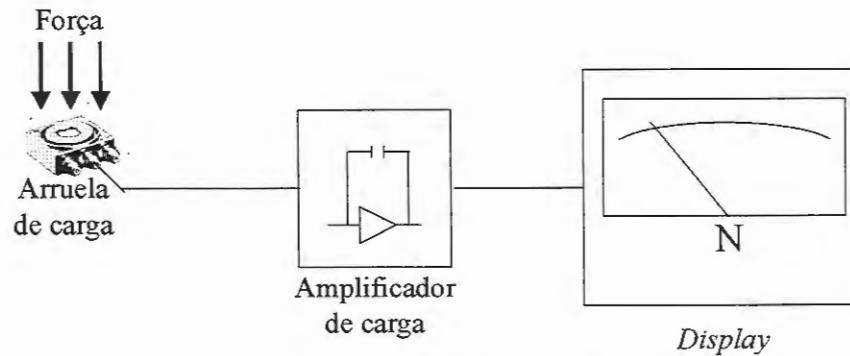


Figura 5 – exemplo de ligação da arruela de carga

Aceleração / Vibração

Sensores que medem aceleração e vibração são conhecidos como acelerômetros piezelétricos. Eles baseiam-se no efeito piezelétrico dos cristais de quartzo ou de cerâmica para gerarem um sinal elétrico proporcional à aceleração aplicada.

O efeito piezelétrico produz uma acumulação oposta de partículas de carga no cristal, ou seja, quando uma força é aplicada ao cristal de quartzo, o alinhamento dos ions positivos e negativos é alterado, resultando em uma acumulação dos ions de carga em superfícies opostas (positivos de um lado e negativos de outro). Esses ions são então acumulados em um eletrodo e, em última instância, são condicionados por um transistor microeletrônico [16].

Em um acelerômetro, a tensão nos cristais ocorre como o resultado da imposição de uma força da massa sísmica sobre o cristal (figura 6). Dentro da faixa de frequência especificada, essa estrutura obedece a primeira Lei de Newton: $F = m.a$. Por isso, a quantidade total carga acumulada é proporcional à força aplicada que, por sua vez, é proporcional à aceleração [16].

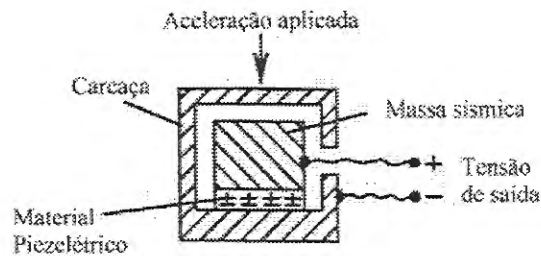


Figura 6 – Acelerômetro piezoeletrico

Deslocamento

Sensores para medir deslocamentos são conhecidos por LVDT, que significa sensor indutivo de deslocamento linear (*Linear Variable Differential Transformer* em inglês). Seu princípio de funcionamento baseia-se na conversão de um movimento retilíneo de um objeto no qual ele está acoplado mecanicamente, em um sinal elétrico correspondente. Sua precisão varia de milésimos de milímetros até alguns centímetros [17].

A figura 7 mostra os componentes de um LVDT típico. Sua estrutura interna consiste de uma bobina primária centrada entre um par bobinas secundárias espaçadas simetricamente da primeira. Elas são enroladas em um polímero com formato oco em anel, reforçado com um vidro termicamente estável, encapsuladas contra umidade, embaladas dentro de um campo magnético de alta permeabilidade e então protegidas em um cilindro de aço. Esta montagem em anel é a parte fixa do sensor de posição [17].

O elemento móvel é chamado de armadura tubular separada, feita de um material permeável magneticamente chamado de eixo central. Ele se movimenta axialmente dentro do furo da bobina e é acoplado mecanicamente ao objeto que se deseja medir o deslocamento. O furo da bobina é grande o suficiente para assegurar o espaçamento radial entre o furo e o eixo central, sem nenhum contato físico entre este e as bobinas.

Em operação, a bobina primária do LVDT é energizada por uma corrente alternada de amplitude e frequência conhecidas (excitação primária). O sinal de saída é a tensão diferencial alternada entre as duas bobinas secundárias, a qual varia com a posição axial do eixo central. Geralmente, a tensão de saída AC (baixa) é convertida

em uma tensão DC (alta) ou corrente, uma vez que são mais fáceis e convenientes de serem usados.

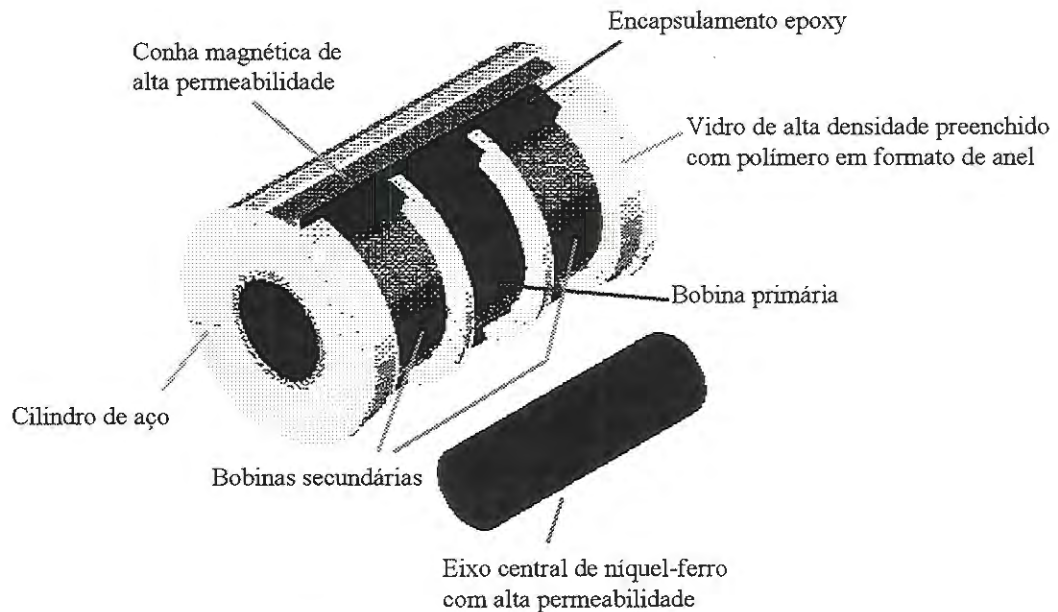


Figura 7 – Componentes de um LVDT [17]

A maioria dos benefícios e funções significativas dos sensores LVDT deriva de seus princípios físicos fundamentais de operação ou dos materiais ou técnicas usadas na sua construção. Entre algumas funcionalidades, podemos citar [17]:

- Operação livre de fricção: durante o uso normal do sensor, não existe nenhum contato mecânico entre o eixo central e as bobinas, ou seja, não existe nenhum tipo de atrito por fricção. Esta funcionalidade é útil para testes de materiais, medições de deslocamento por vibração e sistemas dimensionais *gaging* de alta resolução.
- Alta resolução: como o LVDT trabalha baseado no princípio de acoplamento eletromagnético em uma estrutura sem atrito por fricção, ele é capaz de medir mudanças infinitesimais do eixo central. Esta resolução é limitada apenas pelo condicionador de sinal e pelo painel de saída. Além disso, o sensor possui alta repetibilidade.
- Vida mecânica ilimitada: por não ter contato entre o eixo central e a estrutura das bobinas, não existe desgaste das partes que compõem o LVDT. Este fato é muito importante em se tratando de aplicações de alta confiabilidade, tais como

aeronaves, satélites, veículos espaciais e instalações nucleares, além de sistemas de controle de processos industriais e automação de fábrica.

- Sensibilidade unidimensional: o LVDT responde ao movimento do eixo central ao longo do eixo da bobina mas é geralmente insensível a deslocamentos perpendiculares ou radiais ao eixo central. Assim, ele funciona sem efeitos indesejáveis em aplicações que envolvem desalinhamento ou movimentos flutuantes das partes e em casos onde o eixo central não trabalha em uma linha precisa.
- Eixo central e bobina separáveis: devido a interação entre o eixo central e a bobina ser magnética, a estrutura da bobina pode ser isolada do eixo central através da inserção de um tubo não magnético entre eles. Assim, um fluido pressurizado pode ser colocado dentro do tubo, dentro do qual o eixo central está livre para mover-se, enquanto que a estrutura das bobinas está sem pressurização. Esta função é muito utilizada em realimentação de posição de cilindros em válvulas hidráulicas.
- Grande robustez: os materiais e as técnicas de construção usados na montagem do LVDT resultam em um sensor durável e robusto em várias condições ambientais.
- Repetibilidade do zero: a localização do zero intrínseco do LVDT é extremamente estável e com boa repetibilidade, mesmo com um intervalo de variação da temperatura de operação tão grande.
- Rápida resposta dinâmica: a falta de fricção na operação permite uma resposta muito rápida às mudanças de posição do eixo central. Ela só é limitada pelos efeitos da inércia da massa do eixo central.
- Saída absoluta: o LVDT é um equipamento de saída absoluta, ou seja, no caso de queda de energia, os dados de posição mandados pelo sensor não serão perdidos. Quando o sistema de medição for ligado novamente, o valor de saída do LVDT será o mesmo de antes da queda de energia.

Temperatura

Os termopares são sensores para medição de temperatura que consistem de dois fios condutores de natureza distinta, na forma de metais puros ou de ligas

homogêneas, unidos por uma ponta, formando uma junção de medição, e que produz uma pequena tensão para uma dada temperatura [18]. Os termopares são disponíveis em diferentes combinações de fios de metal e calibrações e podem fornecer medidas de temperatura direta ou diferencial, além de ter robustez e durabilidade. Cada calibração tem um intervalo de temperatura diferente, apesar de a temperatura máxima variar de acordo com o diâmetro do fio de metal usado. Além disso, quanto menor o diâmetro do fio, menor será o tempo de resposta do sensor.

O princípio de funcionamento do termopar consiste do fato de que quando fios de dois metais desiguais são unidos de modo a formar um circuito de pelo menos duas juntas, uma corrente flui quando as juntas estiverem com diferentes temperaturas [19]. Este fenômeno é conhecido por efeito Seebeck.

Assim, uma junta de medição é exposta ao fluido ou meio o qual está sendo medido e a outra extremidade dos fios está geralmente ligada a um instrumento de medição onde formam uma junta de referência. Quando as duas juntas estão em diferentes temperatura, uma corrente passa pelo circuito, resultando em uma tensão milesimal. Medindo-se essa tensão, determina-se a temperatura da junta de medição. A junta de referência é mantida em uma temperatura constante ou de referência [19]. Em algumas instalações, a junta de medição está situada a vários metros do instrumento de medição onde a junta de referência está localizada. Fios de extensão com as mesmas características termoelétricas dos fios dos termopares, a fim de garantir boa precisão, são então conectados, via bloco de ligação, e percorrem toda a distância necessária. A figura 8 mostra o esquema de um termopar.

Os termopares são divididos em três classes funcionais: metal base, metal nobre e metal refratário. Termopares de metal base são úteis para medir temperaturas abaixo de 1000°C. Esta classe inclui termopares fabricados com ferro/constantan (tipo J), cobre/constantan (tipo T), cromo/alumel (tipo K), cromo/constantan (tipo E) e ligas de cobre, níquel, ferro, cromo, manganês, alumínio e outros elementos. Termopares de metal nobre são usados para medir temperaturas em torno de 2000°C enquanto que os de metal refratário, 2600°C. Esta última classe inclui tanto termopares de liga de tungstênio/renio quanto os feitos de tântalo, molibdênio e suas ligas [19].

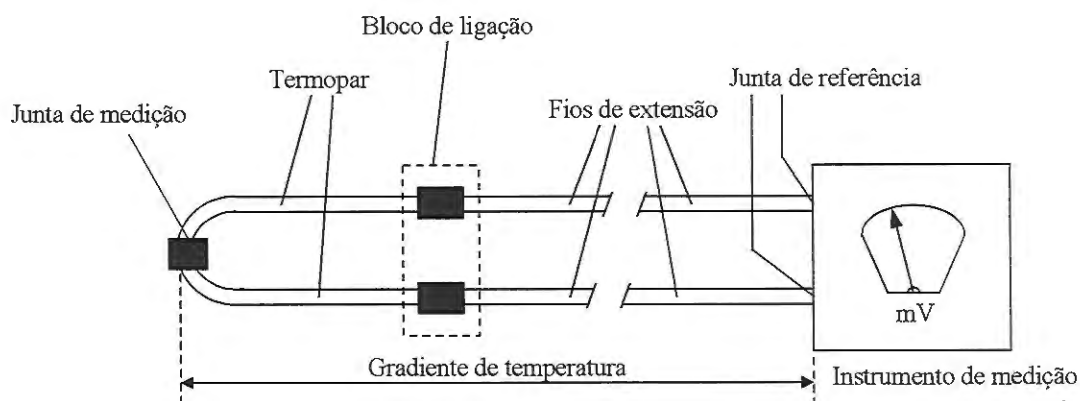


Figura 8 – Esquema de um termopar

2.3.3 Sistema de Monitoramento Dedicado

Os sistemas de monitoramento de processo provocaram uma alteração nas relações entre os subsistemas que o compõem. A figura abaixo (figura 9) mostra a evolução da automação no processo de retificação com o advento do CNC e dos sistemas de monitoramento dedicado, mostrando as mudanças nas relações entre os subsistemas humano (H), controle CNC (C) e máquina (M).

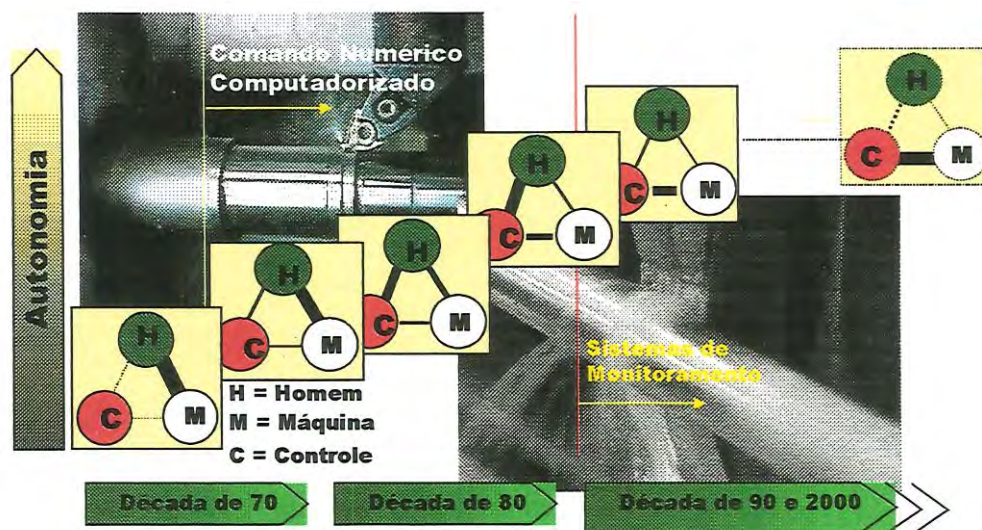


Figura 9 – Evolução dos Sistemas de Monitoramento Dedicado [20]

Antes do CNC, a relação existente era entre o homem e a máquina. Todos os comandos da máquina eram manuais e o homem tinha que ficar o tempo todo ao seu lado executando a operação. Com o advento do CNC, a relação homem-controle passou a ser mais forte. A máquina passou a realizar operações sem o auxílio do

homem, que passou a apenas programar o controle da máquina. Com os sistemas de monitoramento dedicado, a tendência é que haja relação forte somente entre o controle e a máquina. O homem ficaria somente supervisionando e, no caso de alguma falha de operação da máquina, o próprio controle resolveria o problema [20].

Existem diversos métodos de monitoramento dedicado que podem ser utilizados em um processo de usinagem. Esses métodos são dependentes das variáveis da máquina e do processo que serão monitoradas. Dessa forma, para determinar o método a ser utilizado, deve-se inicialmente analisar os requisitos do cliente, no caso o gerente da fábrica ou o funcionário responsável pela linha. Será ele quem fornecerá as informações relativas ao processo e/ou à máquina necessárias para a especificação dos equipamentos de *hardware* (sensores, módulos de entrada/saída, botoeira etc) que farão o monitoramento.

Atualmente, para processos de usinagem, os sistemas de monitoramento dedicado existentes são usados para monitorar as condições da ferramenta. As razões para se instalar um sistema de monitoramento da ferramenta, na perspectiva do usuário, dizem respeito às melhorias da estabilidade do processo, detecção de quebra da ferramenta, redução do tempo improdutivo, otimização do uso da ferramenta, entre outros [11].

O sistema de monitoramento dedicado pode enviar as informações obtidas tanto para o *software* de supervisão, onde serão processadas e visualizadas de forma clara, quanto para o próprio controle da máquina, para que este atue no processo. Este tipo de monitoramento dedicado já existe no laboratório e será utilizado como parte do sistema de aquisição de dados. Os sistemas de monitoramento dedicado existentes utilizam apenas o sensor de emissão acústica.

Um sistema de monitoramento dedicado deve possuir os seguintes requisitos [11]:

- tempo de resposta curto;
- máxima confiabilidade operacional;
- alta capacidade de integração dentro do sistema de manufatura;
- alta robustez;
- baixo custo de instalação;

- operação com o usuário amigável com um mínimo de calibração;
- tamanho reduzido;
- mínimas modificações de instalação no sistema de manufatura;
- baixa manutenção.

2.4 Comunicação

2.4.1 Introdução sobre Redes

Atualmente, as diversas áreas de uma empresa, escritórios e o chão-de-fábrica possuem vários computadores e equipamentos eletrônicos inteligentes que precisam ser conectados de modo a trocar informações e/ou compartilhar *hardware* e *software*. Dependendo da distância que os separam e na quantidade e velocidade de transmissão dos dados, vários tipos de meios físicos podem ser usados, tais como par de fios trançados, fibra ótica, cabo coaxial etc.

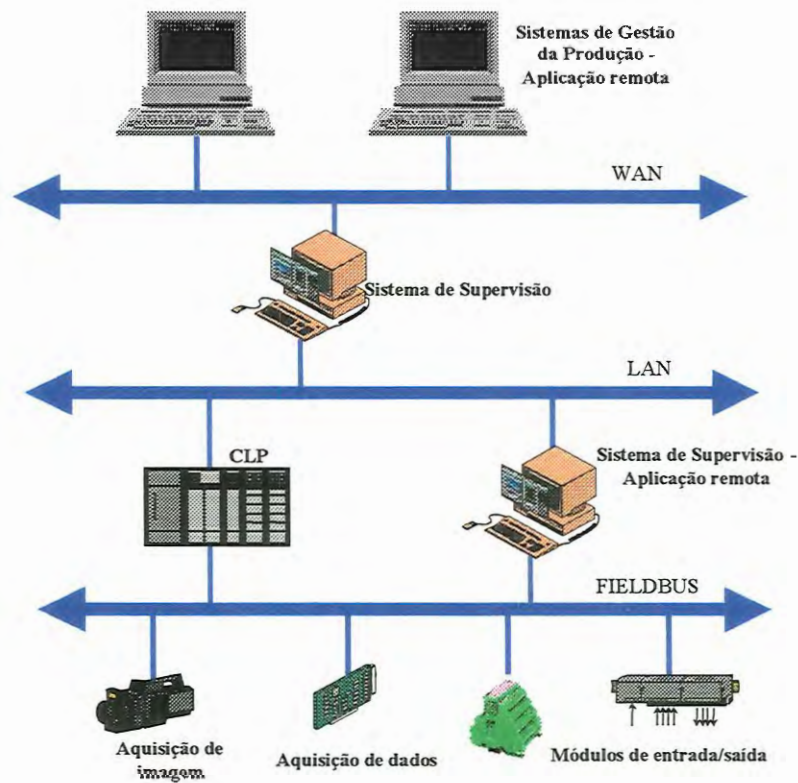


Figura 10 – Exemplo de uma arquitetura de rede

Na configuração de rede acima (figura 10), uma rede do tipo WAN (do inglês *Wide Area Network*) foi usada para realizar a comunicação em um nível corporativo e pode ser conectada com uma rede Internet via modem. Uma rede do tipo LAN (*Local Area Network*) faz a comunicação nas diversas áreas da empresa e uma rede do tipo FIELDBUS, no chão-de-fábrica. Sensores, módulos de entrada e saída, atuadores, entre outros, seriam alguns exemplos de equipamentos de chão-de-fábrica conectados em uma rede FIELDBUS, com um CLP ou um *software* de supervisão com aplicação remota, por exemplo, realizando o controle da linha de produção. Já a comunicação destes equipamentos com um sistema supervisorio geral se faz com uma rede LAN. Este sistema centraliza as informações de várias linhas ou células de produção. Em um nível mais acima estão os equipamentos da gerência, conectados com os demais por uma rede WAN [21].

De acordo com o IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), a LAN é uma rede de dados particular que utiliza transmissão serial, sem armazenamento e técnicas avançadas, para a comunicação direta de dados entre as estações localizadas dentro das instalações do usuário [22]. Ela possui um custo-benefício bom pois um único meio de transmissão, que pode ser um par de fios, cabo coaxial ou fibra ótica, interconecta todos os equipamentos da rede e, por abranger distâncias pequenas, a taxa de transmissão pode ser bastante alta.

Os benefícios e vantagens que uma LAN pode trazer são: compartilhamento de periféricos, acesso comum a arquivos e programas, compatibilidade de equipamento, distribuição de *hardwares* e confiabilidade do acesso a informações.

Assim, uma rede de computador consiste de uma série de equipamentos computacionais, chamados de nós, conectados por um meio de transmissão física com o propósito de comunicar dados. Uma arquitetura de rede define o formato dos dados bem como os protocolos de comunicação nos quais *hardware* e *software* devem se conformar para atingir os objetivos desejados [21].

2.4.2 Topologia das Redes

Existem alguns arranjos possíveis, chamados de topologia de redes, para a implementação de uma rede. Topologia significa a estrutura ou o *layout* geométrico

do cabo usado para conectar os equipamentos na rede [23]. As topologias mais conhecidas são [21] (figura 11):

- Ponto a ponto: os equipamentos são conectados segundo uma estrutura geral de acordo com as necessidades do sistema de comunicação. Esta solução tem a vantagem de se adequar perfeitamente à estrutura física do sistema e de simplificar as decisões de roteamento entre os nós. Entretanto, a confiabilidade da rede depende da confiabilidade dos nós críticos.
- Anel: os nós consecutivos são conectados através de links ponto a ponto de modo formar um anel simples (loop). As informações são passadas de nó em nó até atingir o nó que estava endereçada. Se um nó falhar, outros poderão continuar operando.
- Estrela: todos os nós são conectados a um nó central chamado Hub. O nó central controla toda a rede e é responsável pelo roteamento das mensagens.
- Barramento: cada nó é conectado a um meio de transmissão comum e é identificado por um único endereço. Quando uma mensagem é enviada, ela é recebida por todos os nós, mas só é considerada pelo nó a qual estava endereçada. A maior vantagem desta configuração é sua flexibilidade, uma vez que nós podem ser acrescentados, mudados ou removidos facilmente. A confiabilidade da rede depende da confiabilidade do barramento.
- Multiconexão: os nós são conectados através de links ponto a ponto mas formando uma estrutura arbitrária, onde cada nó é conectado a pelo menos dois outros nós.

A razão para se instalar uma rede multiconexão é a maior proteção contra congestionamentos e faltas de energia. Uma rede do tipo estrela, por exemplo, tem um único caminho entre dois nós, a anel tem dois caminhos e a multiconexão tem vários, de modo que se um falhar, existem várias outras alternativas [24].

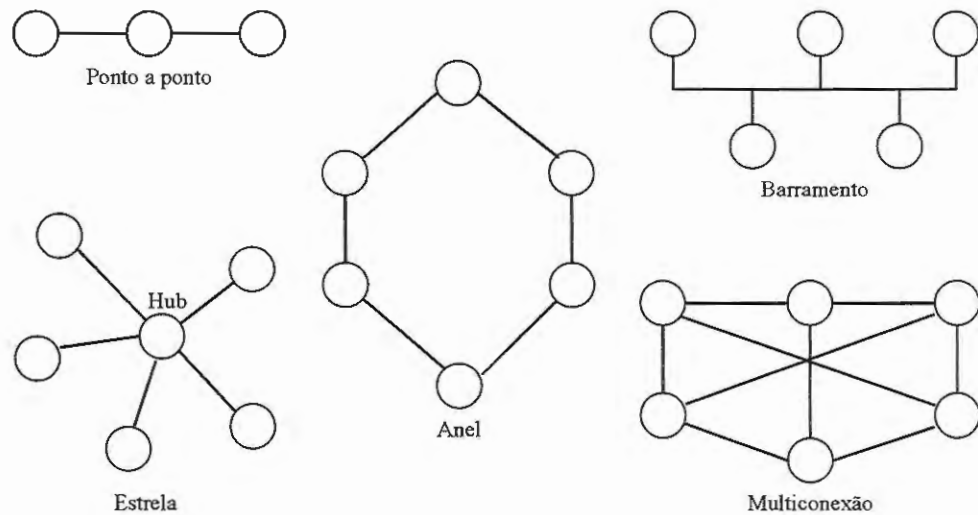


Figura 11 – Tipos de topologias de redes

2.4.3 Modelo de Referência da ISO

A ISO (*International Standard Organization*), entidade que desenvolve padrões para comunicações de dados nacionais e internacionais, criou um modelo de referência para padronizar os sistemas de comunicação. Esse modelo, chamado de OSI (*Open System Interconnection*), é usado para permitir um grande fluxo de dados entre equipamentos e redes, ou seja, permite a definição de procedimentos que possibilitem a interconexão e a subsequente troca efetiva de informações entre os equipamentos, que podem ser um ou mais computadores, *softwares* associados, servidores, periféricos, terminais, processos físicos, meio físico de transferência de informações etc. Eles formam um conjunto autônomo capaz de desempenhar o processamento e/ou a transferência da informação [22]. Os computadores do tipo PC utilizam este modelo para se comunicarem.

O modelo de referência OSI foi projetado para facilitar a criação de um sistema no qual equipamentos de diferentes fabricantes pudessem se interconectar e, portanto, se comunicar. Essa comunicação é de vital importância tanto para os usuários quanto para os fabricantes. Para os usuários, ela permite que não haja dependência de apenas um fabricante, enquanto que para os fabricantes, o fato de interconectar facilmente seus produtos permite uma atuação maior no mercado [23].

A arquitetura OSI define o processo de comunicação como sendo um conjunto de sete camadas. Cada camada consiste de um conjunto de funções designadas a

suprir uma série de serviços os quais estão relacionados com a missão da camada em questão.

Todas as camadas precisam de um mecanismo para identificar os emissores e receptores. Como em geral uma rede tem muitos computadores e alguns deles têm vários processos, é necessário um meio para que um processo de uma máquina especifique com quem ela deseja se comunicar. Como existem vários destinos, há a necessidade de se criar uma forma de endereçamento para definir um destino específico [25].

Outra preocupação que se deve ter em relação ao conjunto de decisões de estrutura diz respeito à transferência de dados. Em alguns sistemas, os dados são transferidos em apenas uma direção (comunicação *simplex*). Em outros, eles podem ser transferidos em ambas as direções mas não simultaneamente (comunicação *half-duplex*). Também é possível transmitir dados em ambas as direções simultaneamente (comunicação *full-duplex*). O protocolo também deve determinar o número de canais lógicos correspondentes à conexão e quais são suas prioridades. Muitas redes oferecem pelo menos dois canais lógicos por conexão: um para dados normais e outro para dados urgentes [25].

Com exceção das camadas 1 e 7, as demais são limitadas pelas camadas situadas imediatamente acima e abaixo. A camada 1 pode ser considerada como limitada inferiormente pelo meio de interconexão pelo qual a transmissão flui, enquanto que a camada 7, que é a mais alta, não possui uma limitação superior. Dentro de cada camada está um conjunto de funções que pode ser visto como o responsável por uma série de serviços para a camada que a limita por cima, ou seja, a camada n usa serviços da camada $n-1$. Dessa forma, o projeto de arquitetura por camadas (figura 12) permite que as características de uma determinada camada mudem sem afetar o resto do sistema, assumindo que seus serviços não mudarão [23].



Figura 12 – O modelo OSI [23]

A camada física é representada por um conjunto de regras que especificam as conexões elétricas e físicas entre os equipamentos e pela sinalização. As camadas subsequentes se comunicam através da camada física. Os serviços que ela especifica para a camada de *link* de dados são aqueles relacionados com o conectar, manter conectado e desconectar os circuitos físicos que formam a conexão física. Ela é composta por fios de par trançado, cabos RS-232, RS-485, cabos de fibra ótica e cabos coaxiais e transporta os sinais das camadas mais altas. O *hardware* e o *software* que operam nesse nível tratam dos tipos de conectores, da sinalização e dos esquemas de compartilhamento dos meios físicos usados na rede.

Uma vez estabelecida as conexões físicas e elétricas, o fluxo de dados deve ser controlado entre o seu sistema e o sistema na extremidade remota. A camada de *link* de dados organiza os caracteres em *strings* até formar mensagens e, então, verifica-as antes de enviá-las. Essa camada recebe uma mensagem que indica uma recepção bem sucedida, enviada pelo transmissor da extremidade remota, ou pode trabalhar em conjunto com a extremidade remota para reconstituir a mensagem quando houver problemas com os dados. Portanto, ela sincroniza os blocos de dados, reconhece erros e controla o fluxo de dados.

As redes remotas normalmente oferecem várias formas de transportar *strings* de caracteres (montados pela camada de *link* de dados) de um ponto geográfico a outro. A terceira camada (camada de rede) decide qual o caminho (físico) a ser seguido pelos dados, que inclui endereçamento, roteamento, sequenciamento e procedimentos de controle de fluxo, baseados nas condições da rede e prioridade de serviço, entre outros. O *software* executado nessa camada é responsável pela criação

de uma interface entre os níveis físico e de *link* de dados e o *software* de nível mais alto.

A camada de transporte (camada 4) executa muitas tarefas em comum com a camada de rede, mas em âmbito local. Os *drivers* do *software* da rede executam as tarefas dessa camada. Se o funcionamento da rede for interrompido, o *software* da camada de transporte procurará rotas alternativas ou gravará os dados transmitidos até que a conexão da rede seja restabelecida. Essa camada é responsável pelo controle de qualidade e certifica que os dados recebidos estejam no formato correto e na ordem apropriada, além de assegurar que eles não serão entregues numa taxa de transmissão maior que aquela suportada pelo equipamento. A camada de *link* de dados poderá contar as mensagens para verificar se estão todas lá; a camada de transporte abre as mensagens para ver se alguma parte delas contém falhas ou está faltando. Portanto, o *software* da camada de transporte assegura a transparência e a confiabilidade das transferências de pacotes de dados entre estações.

A camada 5 (camada de sessão) é muito importante em sistemas baseados em PCs. Ela executa funções que permitem a comunicação entre duas aplicações (ou dois componentes da mesma aplicação) através da rede. Dentre essas funções, estão as de segurança, de reconhecimento de nome, de conexão, de administração etc. Ela, portanto, oferece uma forma-padrão de mover dados entre programas aplicativos.

A camada de apresentação é responsável pela formatação de telas e de arquivos de modo que o produto final tenha a aparência que o programador deseja. Seus serviços são relacionados com a transformação de dados (compressão e descompressão), formatação e sintaxe. Nela residem os códigos de controle, os gráficos especiais e os conjuntos de caracteres. Seu *software* controla impressoras e outros periféricos.

A sétima camada (camada de aplicação) serve ao usuário. Nessa camada, estão o sistema operacional da rede e os programas aplicativos, desde o compartilhamento de arquivos e o envio de mensagens de correio eletrônico até a criação e o gerenciamento de bancos de dados. Essa camada é a mais importante porque é controlada diretamente pelo usuário.

Enquanto os dados fluem pelas camadas em uma rede do tipo ISO, cada camada grava um cabeçalho de informação apropriado nas estruturas dos dados e

remove o cabeçalho gravado pela camada inferior [23]. Dessa forma, a camada n interage com a camada $n-1$.

Desde que cada camada posterior remova o cabeçalho gravado pela camada anterior, a estrutura dos dados que está fluindo ao longo da rede permanece na sua forma original até o seu destino final. A figura 13 mostra o fluxo de dados em uma rede ISO. As notações CA, CAp, CS, CT, CR e CD significam, respectivamente, cabeçalhos das camadas de aplicação, apresentação, sessão, transporte, rede e *link* de dados.

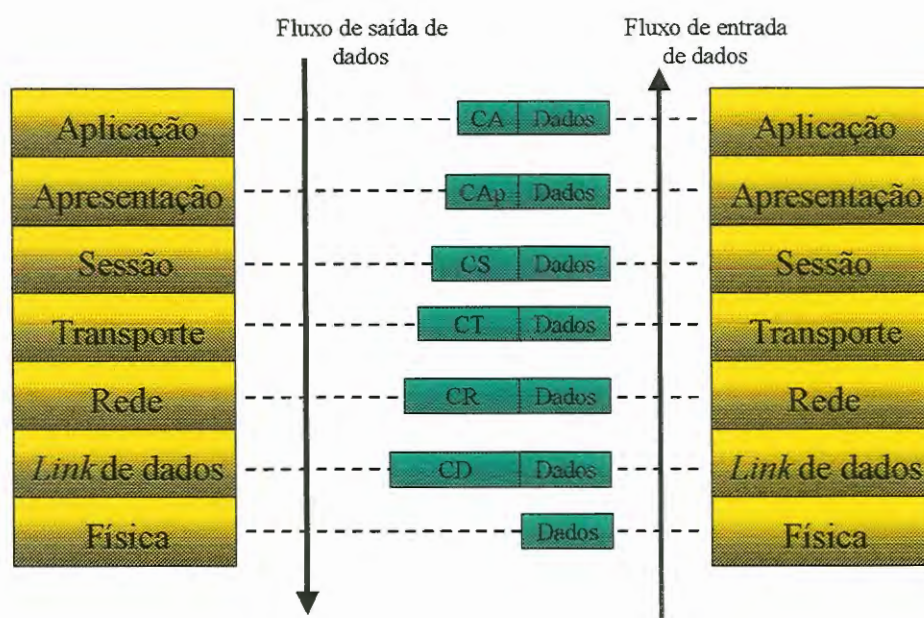


Figura 13 – Fluxo de dados em uma rede ISO [23]

Dependendo do tipo de rede usada, o número de camadas pode variar. No caso de redes do tipo *fieldbus*, as camadas de 3 a 6 (rede, transporte, sessão e apresentação) não são definidas.

2.4.4 Comunicação Serial RS-232

O padrão de comunicação RS-232 surgiu, originalmente, em meados dos anos 60, para interconectar terminais e computadores através da rede pública de telefones, por meio de modems, que traduziam a palavra digital em sinais analógicos de áudio e vice-versa. Naquela época, os fabricantes de equipamentos usavam uma configuração diferente para interfacear um equipamento terminal de dados (DTE –

Data Terminal Equipment), tais como terminais e computadores industriais, com o equipamento de comunicação de dados (DCE – *Data Communications Equipment*), como modems e outros equipamentos de comunicação [23]. Cabos, conectores e níveis de tensão eram diferentes e incompatíveis, fazendo com que a interconexão entre equipamentos de diferentes fabricantes necessitasse de conversores de nível de tensão e a fabricação de cabos e conectores especiais.

A EIA (*Electronic Industry Association*), entidade americana que representa uma grande porcentagem das indústrias de eletrônica nos Estados Unidos, viu a necessidade de se criar um protocolo de comunicação padrão entre equipamentos sem a utilização da linha telefônica e definiu, assim, o RS-232, que é um protocolo de comunicação serial do tipo recomendado (RS – *Recommended Standard*), com o número de identificação 232. Este padrão define características elétricas, mecânicas e funcionais de comunicação. As características elétricas incluem parâmetros como níveis de tensão e impedância de cabos, as mecânicas descrevem a pinagem e as funcionais definem as funções dos diferentes sinais elétricos utilizados. Esse padrão logo se tornou RS-232-C (revisão C) e rapidamente foi adotado pelos fabricantes de terminais e equipamentos de computador [26].

A especificação mecânica é para um conector de 25 pinos com todas as dimensões bem especificadas. A especificação elétrica afirma que uma tensão mais negativa que -3 volts é um 1 binário e uma tensão mais positiva que +4 volts é um 0 binário. Taxas de dados de até 20Kbps são permitidas, assim como cabos de até 15m. Já a funcional diz quais circuitos estão conectados a cada um dos 25 pinos e o que eles significam [25].

Na década de 80, a crescente indústria de microcomputadores achou o padrão RS-232-C barato (se comparado com a comunicação paralela) e adequado para conectar equipamentos periféricos aos microcomputadores. Dessa forma, o RS-232-C rapidamente se tornou o protocolo padrão para a conexão entre microcomputadores, equipamentos programáveis, terminais e impressoras e plotters localizados remotamente.

Mas, como o protocolo realizava transferências de dados em taxas até 20 kbps e cobria distâncias de até 16 metros, surgiu a necessidade de utilizar um outro padrão que fosse mais rápido, confiável e cobrisse longas distâncias. Padrões como o RS-

449 e o RS-223 foram criados com esse objetivo, mas não tiveram o sucesso esperado [26].

Atualmente, puxados pela indústria de processos contínuos, foi criado o padrão RS-485, que é o protocolo utilizado nas chamadas redes de campo (*fieldbus*) e atende aos requisitos de alta taxa de transmissão de dados, confiabilidade de informação e cobertura de longas distâncias.

2.4.5 RS-485

O protocolo de comunicação RS-485 está sendo muito usado atualmente como a interface padrão para a comunicação entre diferentes equipamentos e unidades no chão-de-fábrica. Ele é uma interface unipolar, balanceada, serial (5V), derivada do protocolo RS-422 e foi projetado para barramentos com até 32 unidades e redes multiponto do tipo mestre/escravo, cobrindo distâncias de até 1.200m com alta velocidade e alta imunidade a ruído. A figura 14 mostra um gráfico da distância pela taxa de transmissão utilizando-se o protocolo de comunicação RS-485.

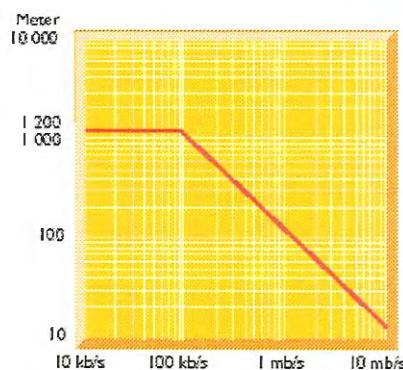


Figura 14 – Distância X Taxa de transmissão [27]

A grande vantagem dessa interface é o fato de poder inverter a direção da comunicação, o que permite transmissão *half-duplex* em linhas de dois fios. Por esse motivo, o padrão RS-485 é o método de transmissão utilizado nos protocolos de redes de campo (*fieldbus*), tais como Interbus e Profibus, entre outros.

O padrão RS-422, do qual o RS-485 se originou, é uma interface indicada para aplicações industriais e foi desenvolvida para a construção de barramentos multipontos entre o computador central (mestre) e um número determinado de terminais (escravos). A interface é balanceada, utiliza quatro fios como meio de

transmissão e é relativamente imune à interferência. A interface muda a polaridade do par de fios dependendo se um “0” ou “1” está sendo transmitido. Além disso, o mestre pode sempre ser ativado/energizado independente do estado dos escravos. Dessa forma, o protocolo permite simultaneamente comunicações nos dois sentidos [27].

A conexão entre o mestre e os escravos no RS-485 utiliza o conector DB9, o qual possui somente as linhas de dados e circuitos, a malha e o comum. Os equipamentos escravos têm conectores fêmeas enquanto que os mestres têm conectores machos. Todos os equipamentos podem operar eletricamente em paralelo usando somente um cabo para DB9, necessário para conectar todos os escravos ao mestre [28].

O protocolo RS-485 pode ser conectado tanto por quatro fios quanto por dois fios. Em uma rede de quatro fios, é necessário que um nó seja o mestre e os outros, os escravos e a conexão é feita de modo que o nó mestre comunique com todos os outros e os escravos comuniquem somente com o nó mestre. Dessa forma, um nó escravo não recebe as mensagens dos outros nós escravos. No caso de a rede ser conectada por dois fios, o receptor de cada nó é conectado à linha. Dependendo do tipo de conversor usado no sistema, é possível conectar os equipamentos receptores de modo a receber quando o *driver* (presente no mesmo nó) estiver transmitindo. Alguns conversores são configurados para receberem durante todo o tempo [27].

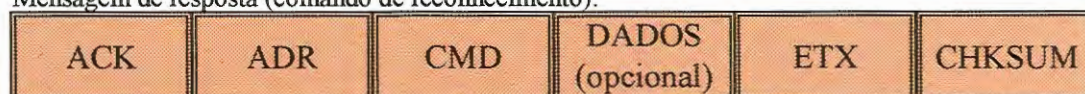
A rede é configurada de modo que o mestre envie as mensagens a todas as estações remotas. A estação, cujo endereço estiver contido no segundo *byte* da mensagem de comando, contém o comando de pedido e então responde com uma mensagem de resposta contendo seu próprio endereço e qualquer dado relacionado com um comando ou verificação de *status*. Uma estação remota somente envia uma resposta seguindo um comando ou verificação de *status* contendo seu endereçamento único vindo do mestre. Isto evita o congestionamento no barramento causado por mais de um equipamento comunicando simultaneamente. A estação remota ignora todos os comandos ou verificação de *status* que contenham erros de checagem, de paridade, do protocolo e de endereçamento e, no caso de receber algum comando ou dado inválido, ela responde com uma mensagem de não reconhecimento [28].

As mensagens de comando possuem um formato particular, como mostrado na figura 15. Elas começam com o byte de início do texto (*start-of-text byte*, STX 02h) seguido pelo endereço remoto, um byte de comando e bytes de múltiplos dados. O byte de fim do texto (*end-of-text byte*, ETX 03h) é mandado depois do último byte de dado e a mensagem é encerrada com o byte de checagem de soma (*checksum byte*). O carácter gerado pela checagem de soma é um “ou” exclusivo de todos os caracteres da mensagem, desde o carácter STX até o ETX. As mensagens de resposta seguem um formato similar, exceto pelo fato de que o carácter STX é trocado pelo de reconhecimento (*acknowledge*, ACK 06h) ou não-reconhecimento (*Not-acknowledge*, NAK 15h). Uma aplicação usual pode suportar até 15 bytes de dados [28].

Mensagem de comando:



Mensagem de resposta (comando de reconhecimento):



Mensagem de resposta (comando de não-reconhecimento):



Figura 15 – Formato da mensagem no RS-485 [28]

Com relação ao tempo de resposta do equipamento remoto para executar um comando, este é muito pequeno, uma vez que os escravos fazem o reconhecimento (ou o não-reconhecimento) imediatamente. As respostas ACK ou NAK não significam que o comando foi de fato executado e sim que a mensagem foi recebida e entendida e, portanto, é um comando válido ou uma verificação. O mestre pode checar a execução e término da tarefa através da requisição de uma informação de *status* da estação remota. Esta, por sua vez, deve começar a responder a um comando dentro de no máximo 100ms após o recebimento do último carácter do comando, e o tempo entre cada carácter não deve exceder 10ms. Similarmente, os caracteres de mensagens do comando não devem estar separados por mais de 10ms [28].

2.4.6 Fieldbus

A crescente necessidade da indústria pela integração de equipamentos e dispositivos em todos os níveis do sistema de automação tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias de comunicação de dados e de equipamentos de instrumentação de campo, especificamente para atender os requisitos das mais diversas aplicações industriais.

O desenvolvimento técnico na área de equipamentos de instrumentação de campo é caracterizado pela introdução de instrumentos inteligentes (baseados em microprocessadores), os quais criaram imediatamente a possibilidade de uma comunicação inteligente, e a troca de informação entre sensores, atuadores e equipamentos de controle nas indústrias. Comunicação bidirecional entre a sala de controle e o chão-de-fábrica tem se tornado realidade e tem revolucionado a maneira pela qual a engenharia, supervisão, manutenção e operação se comunicam. Funções que eram tradicionalmente executadas no chão-de-fábrica podem agora ser executadas diretamente da sala de controle ou na mesa de um gerente. A crescente funcionalidade dos equipamentos de campo modernos está ligada ao uso de sistemas de comunicação digital (*fieldbus*), os quais podem fornecer informações mais precisas de parâmetros do processo, além de *status* e diagnóstico [29].

Fieldbus é um protocolo de comunicação recente usado em manufatura contínua e, mais recentemente, discreta, para a comunicação em tempo real com o chão-de-fábrica. É uma rede serial, bidirecional, multiponto, multiplexada, que interconecta sensores, atuadores, módulos de entrada e saída, CLPs, CNCs e demais equipamentos situados no nível inferior de uma hierarquia de automação de uma indústria [30] e utiliza o padrão de comunicação RS-485. Os meios físicos mais utilizados na rede *fieldbus* são: fios de par trançado, fibra ótica e cabo coaxial.

Atualmente, existe uma quantidade razoável de tecnologias de concepção aberta ou proprietária disponível no mercado em situação consolidada, tais como [31]:

- AS-i;
- DeviceNet;
- Foundation Fieldbus;

- Interbus;
- LonWorks;
- Modbus;
- Profibus;
- WorldFIP;
- Outras.

As várias tecnologias existentes são muito semelhantes no que diz respeito às características técnicas de cada uma. Portanto, o que vai pesar na decisão de qual protocolo escolher será fatores baseados nos requisitos particulares de cada aplicação industrial, de modo a atender todas as necessidades preestabelecidas.

A tecnologia digital *fieldbus* veio para substituir a comunicação paralela analógica 4-20mA e a comunicação serial RS-232-C. A maior vantagem da tecnologia digital com relação à analógica é a redução dos custos, tanto os de instalação, quanto os de manutenção, além dos envolvidos na própria melhoria do desempenho do sistema. Durante a instalação, há uma redução significativa do cabeamento utilizado no sistema digital, uma vez que cada célula requer somente um par de fios para se comunicar com o barramento principal (figura 16). Além do mais, a configuração dos equipamentos digitais é bem mais simples do que a configuração dos analógicos.

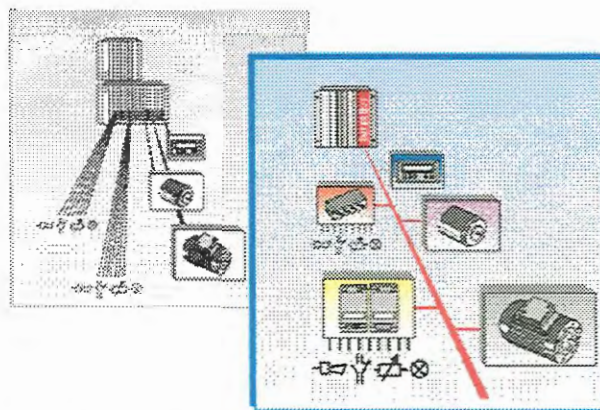


Figura 16 – Comunicação paralela e comunicação *fieldbus* [32]

O fato de o sistema *fieldbus* ser menos complexo que o sistema analógico implica em uma menor manutenção, já que o sistema digital é mais confiável. Além

do mais, com a função de auto-diagnóstico desse sistema, é possível para o operador detectar e solucionar o defeito com maior rapidez.

O desempenho do sistema é aumentado devido à simplificação na coleta de informações no chão-de-fábrica. As variáveis do processo que serão medidas estarão disponíveis em todos os servidores remotos distribuídos ao longo da fábrica. A redução da complexidade na obtenção das informações permite que se desenvolva um melhor e mais efetivo sistema de controle do processo.

Com relação à comunicação serial RS-232-C, o *fieldbus*, além de ser mais confiável e mais robusto (utiliza apenas um par de fios), possui uma taxa de transmissão mais alta e cobre distâncias superiores sem a perda de informações.

O protocolo *fieldbus* utiliza apenas as camadas física, *link* de dados e a de apresentação. A camada 1 define as características físicas de transmissão (RS-485, fibra ótica), a camada 2, o protocolo de acesso ao barramento e a camada 7, as funções de aplicações.

2.4.7 Comparativo *Fieldbus*

Um estudo comparativo entre alguns protocolos *fieldbus* existentes no mercado foi realizado a fim de identificar qual melhor se adapta às nossas exigências. Esse comparativo foi feito baseado nas principais diferenças/soluções e nos aspectos comuns pertinentes às redes de comunicação de dados.

Para uma melhor visualização, os dados estão colocados em tabelas que estão divididas nos seguintes assuntos: Informações gerais, Características físicas, Mecanismo de transporte e Desempenho [33].

TABELA 1 – Informações gerais

	Tecnologia	Ano de lançamento	Norma padrão	Openness
Profibus DP/PA	PTO	DP-1994, PA-1995	DIN 19245 parte 3/4	Produtos de mais de 150 fornecedores
Interbus-S	Phoenix Contact	1984	DIN 19258	Produtos de mais de 400 fabricantes
DeviceNet	Allen-Bradley	1994	ISO 11898	6 fornecedores,

			& 11519	mais de 100 produtos
Arcnet	Datapoint/ SMC	1975	ANSI 878	Hardware, placas, documentos ANSI
AS-I	AS-I Consortium	1993	Submetido ao IEC	AS-II.C. Itens de mercado
Fieldbus Foundation	Fieldbus Foundation	1995	ISA SP50/IEC TC65	Hardware/software de vários fornecedores
IEC/ISA SP50 Fieldbus	ISA & Fieldbus F.	1992 - 1996	IEC 1158/ANSI 850	Vários fornecedores de hardware
WorldFIP	WorldFIP	1988	IEC 1158-2	Vários fornecedores de hardware
LonWorks	Echolon Corp.	1991	ASHRAE da BACnet	Documentações públicas em protocolos
SDS	Honeywell	1994	Especificações Honeywell, submetidas ao IEC, ISO 11989	6 fornecedores de hardware, mais de 200 produtos

TABELA 2 – Características físicas

	Topologia de rede	Meio físico	Nº máx. de equipamentos (nós)	Distância máx.
Profibus DP/PA	Linha, estrela e anel	Par trançado ou fibra ótica	127 nós	24Km (fibra ótica)
Interbus-S	Segmento com acoplador em "T"	Par trançado, fibra ótica e slip-rings	256 nós	400m por segmento, 12.8Km total
DeviceNet	Trunkline/dropline com ramificação	Par trançado para potência e sinal	64 nós	500m
Arcnet	Barramento, multiponto e	Fibra de par	255 nós	5 milhas

	estrela	trançado coaxial		
AS-I	Barramento, anel, estrela	Cabo com dois fios	31 escravos	100m, 300m com repetidor
Fieldbus Foundation	Multiponto com equipamentos alimentados pelo barramento	Par trançado	240 por segmento, 65.000 segmentos	1.900m a 31,25Kbps 500m a 2,5Mbps
IEC/ISA SP50 Fieldbus	Estrela ou barramento	Par trançado, fibra ótica ou rádio	IS 3-7	1.700m a 31.25Kbps 500m a 5Mbps
WorldFIP	Barramento	Par trançado e fibra ótica	256 nós	Até 40 Km
LonWorks	Barramento, anel, estrela	Par trançado, fibra ótica e linhas de potência	32.000 por domínio	2.000m a 78 Kbps
SDS	Trunkline/dropline	Par trançado para sinal e potência	64 nós, 126 endereços	500m

TABELA 3 – Mecanismo de transporte

	Método de comunicação	Propriedades de transmissão	Tamanho dos dados de transferência	Acesso ao barramento	Checagem de erro	Diagnóstico
Profibus DP/PA	Mestre-escravo Ponto a ponto	DP até 12Mbps PA até 31,25kbps	244 bytes	Passagem de token	HD4 CRC	Diag. da estação, módulo e canal
Interbus-S	Mestre-escravo com transf. total da palavra	500kbps, full duplex	512 bytes h.s., bloco ilimitado	Nenhum	16-bit CRC	Erro CRC por localização do segmento e ruptura do cabo
DeviceNet	Mestre-escravo, múltiplos mestres,	500kbps, 250kbps, 125kbps	Mensagem variável de 8 bytes	Carrier-Sonac, acesso múltiplo	Checagem de CRC	Monitor. do barramento

	Outros					
Arcnet	Ponto a ponto	31,25Kbps a 10Mbps	508 bytes	Token	16-bit CRC	Interno
AS-I	Mestre-escravo cíclico	Dados e potência	31 escravos com 4 entradas e 4 saídas	Mestre-escravo cíclico	Código manchester hamming-2	Falhas do escravo e do equip.
Fieldbus Foundation	Cliente-servidor, notificação por evento	31,25kbps 1Mbps 2.5Mbps	16,6M objetos/ equip.	Agendamento centraliz. determinístico, backup múltiplo	16-bit CRC	Diag. remoto, monit. da rede, status dos parâmetros
IEC/ISA SP50 Fieldbus	Cliente-servidor	31,25kbps IS+1, 2.6, 5Mbps	64 octetos com alta prioridade e 256 com baixa	Agendamento, tokens ou mestre	16-bit CRC	Configurável no gerenc. da rede
WorldFIP	Ponto a ponto	31,25kbps, 1 e 2,5Mbps, 6 Mbps fibra ótica	Sem limite, 128 bytes variáveis	Acesso central	16-bit CRC, indicador de dados recém-chegados	Tempo de mensagem do equip. estourado, cabeamento redundante
LonWorks	Mestre-escravo ponto a ponto	1,25Mbps full duplex	228 bytes	Carrier Sense, acesso múltiplo	16-bit CRC	Base de dados dos erros de equip. e CRC
SDS	Mestre-escravo ponto a ponto, multi-cast, multi-mestre	1Mbps, 500Kbps, 250Kbps, 125Kbps	Mensagem variável de 8 bytes	Carrier-Sonac, acesso múltiplo	checagem de CRC	Monitor. do barramento e diag. do escravo

TABELA 4 – Desempenho

	Tempo de ciclo: 256 Digital 16 nós com 16 E/Ss	Tempo de ciclo: 128 Analógico 16 nós com 8 E/Ss	Transferência de blocos de 128 bytes 1 nó
Profibus DP/PA	Dependente da configuração typ <2ms	Dependente da configuração typ <2ms	Não disponível
Interbus-S	1,8ms	7,4ms	140ms
DeviceNet	2,0ms mestre- escravo	10ms mestre- escravo	4,2ms
Arcnet	<2ms a 2,5Mbps	<2ms a 2,5Mbps	<2ms a 2,5Mbps
AS-I	4,7ms	Impossível	Impossível
Fieldbus Foundation	100ms a 31,25Kbps <1ms a 2,5Mbps	600ms a 31,25Kbps <8ms a 2,5Mbps	36ms a 31,25Kbps 0,45ms a 2,5Mbps
IEC/ISA SP50	Dependente da configuração	Dependente da configuração	0,2ms a 5Mbps 1,0ms a 1Mbps
WorldFIP	2ms a 1Mbps	5ms a 1Mbps	5ms a 1Mbps
LonWorks	20ms	5ms a 1Mbps	5ms a 1Mbps
SDS	<1ms, dirigido a evento	<1ms por evento	2ms a 1Mbps

Dos protocolos existentes, o Interbus, da Phoenix Contact, foi o que melhor se adequou aos requisitos de custo, configuração e desempenho estipulados. Dessa forma, ele será explorado em mais detalhes nessa revisão bibliográfica.

2.4.8 Interbus

A crescente competitividade entre as indústrias de manufatura e a pressão por redução de custo e aumento da qualidade dos produtos têm grande influência em todas as áreas de uma empresa e se coloca como um gatilho para o desenvolvimento de existentes potenciais de racionalização. A partir desse ponto de vista, o cabeamento paralelo convencional entre sensores e atuadores, tanto na máquina como em um sistema de monitoramento, torna-se inviável devido a fatores de custo e tempo de transmissão de dados [34]. A solução para este problema é a interligação dos equipamentos presentes no chão-de-fábrica através de sistemas *fieldbus*.

Interbus é um protocolo de comunicação serial usado para transmitir dados entre diferentes equipamentos de sistemas de controle, tais como controladores lógicos programáveis, computadores pessoais, robôs etc., e unidades de entradas e saídas distribuídas ao longo do chão-de-fábrica, nas quais sensores e atuadores são conectados. Devido à sua fácil tecnologia e ao seu sistema orientado ao usuário, o protocolo Interbus, padronizado de acordo com a norma alemã DIN 19.258, tem ganhado aceitação no meio industrial dentro dos campos da automação e engenharia de processo [35].

O método de transmissão física mais usado, de acordo com a norma RS 485, especifica que a taxa de transmissão deve ser selecionada dependendo da expansão do sistema de transmissão. Utilizando-se baixas taxas de transmissão, por exemplo, pode-se alcançar grandes distâncias, fato que não ocorre quando altas taxas de transmissão são utilizadas. Com uma taxa de 500 kbit/s, um sistema pode ser operado a uma distância de até 400 m. Quanto maior a distância, mais os dados se tornarão distorcidos devido à interferências, mas a colocação de repetidores ativos no sistema, que regenera o sinal no final de todo *link* de transmissão, soluciona a limitação da distância para a expansão do sistema [36].

O sistema Interbus, baseado neste princípio e devido à sua topologia em anel, requer um cabo com cinco fios para conectar dois equipamentos e atingir a taxa de transmissão de 500 kbit/s a uma distância de 400m entre dois ramos consecutivos. A função integrada de repetidores presente em cada equipamento Interbus permite uma extensão da rede de aproximadamente 12,8 Km, com uma limitação máxima de 512 equipamentos para meios físicos de transmissão de cabos de cobre [35].

A figura 17 mostra a topologia do sistema Interbus. Um ramo consiste de equipamentos Interbus conectados um após o outro e também ao segmento remoto via um módulo especial, chamado de terminal de barramento ou BK. Portanto, um ramo pode ser, por exemplo, uma estação compacta Interbus ST ou também uma linha do barramento remoto aberta com duas saídas de barramento via módulo BK. O número de equipamentos por estação compacta é limitado a oito ou pela corrente máxima fornecida pelo terminal de barramento. Além das estações compactas Interbus ST, alguns terminais de barramento permitem um barramento remoto individual ou um ramo de barramento local, a ser operado em paralelo. Fisicamente,

os terminais de barramento promovem uma extensão do anel de dados. Tecnicamente, o barramento remoto, juntamente com suas variantes e ramos, compõem o anel de dados serial.

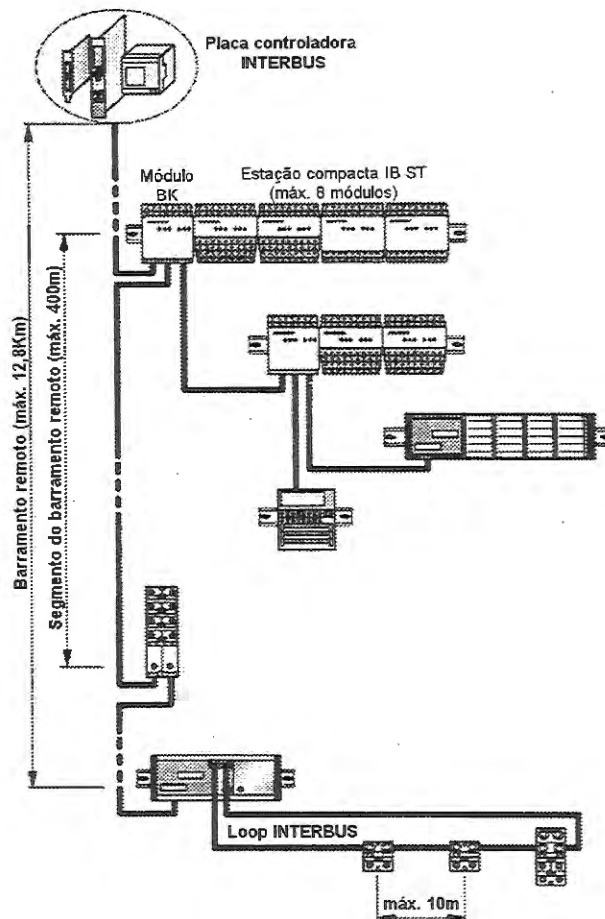


Figura 17 – Topologia do sistema Interbus [35]

O segmento do barramento remoto consiste de um módulo BK (terminal de barramento) e a seção do barramento remoto localizado entre o próximo módulo BK, e cobre uma distância máxima de 400 m. O barramento remoto inteiro pode ser dividido em até 255 segmentos [35].

Em geral, o protocolo Interbus consiste de três componentes básicos: a placa controladora, os módulos Interbus e o cabo, que conecta os equipamentos um ao outro e com a placa controladora. Os módulos têm a função de conectar os sensores, atuadores e demais equipamentos periféricos ao barramento da rede. A placa

controladora, por sua vez, pode estar conectada dentro do próprio PC ou em um CLP, dependendo do seu modelo, e possui as seguintes funções básicas [35]:

- controle do protocolo Interbus;
- transferência de dados de entrada e saída entre os equipamentos e o sistema de controle;
- monitorar a rede Interbus;
- detecção de erros (determinação do tipo e localização do erro, além da mensagem para o sistema de controle);
- armazenamento de configurações de barramentos definidas.

A estrutura em anel confere ao sistema Interbus duas vantagens importantes: a primeira parte do princípio de que, no anel, os dados podem ser transmitidos e recebidos simultaneamente (*full duplex*), fato que não ocorre na estrutura em linha. A segunda é a maior rapidez e precisão da função de auto-diagnóstico, uma vez que todo o sistema é segmentado em subsistemas elétricos independentes [36].

Para a realização da transferência de dados, todo equipamento Interbus com funções de entrada e saída conecta o periférico analógico ou digital ao anel de dados da rede por meio de seus registradores de dados. Cada equipamento possui um registrador de identificação (ID), que contém informações como o tipo de módulo, o comprimento do registrador no anel de dados e situação de erro e *status*. Além disso, os equipamentos de entrada e saída possuem registradores de dados para a transmissão dos dados de entrada e saída do processo. Dessa forma, o ciclo de transmissão é diferenciado em dois tipos [35]:

- Ciclo de identificação: executado quando se inicializa a rede Interbus ou quando necessitado. Neste ciclo, os registradores ID de todos os equipamentos são lidos. Em seguida, essa informação é usada para gerar uma imagem do processo, no que tange à equipamentos, ou seja, ela permite identificar a configuração dos equipamentos conectados e compará-la com aquela armazenada na placa controladora. Depois de executado este ciclo com sucesso, internamente nos equipamentos são efetuadas trocas de registradores (identificação para dados) e somente o ciclo de dados é transmitido.

- Ciclo de dados: responsável pela transmissão de dados. Neste ciclo, a placa controladora atualiza os dados de entrada e saída de todos os equipamentos ao mesmo tempo (transmissão *full duplex*).

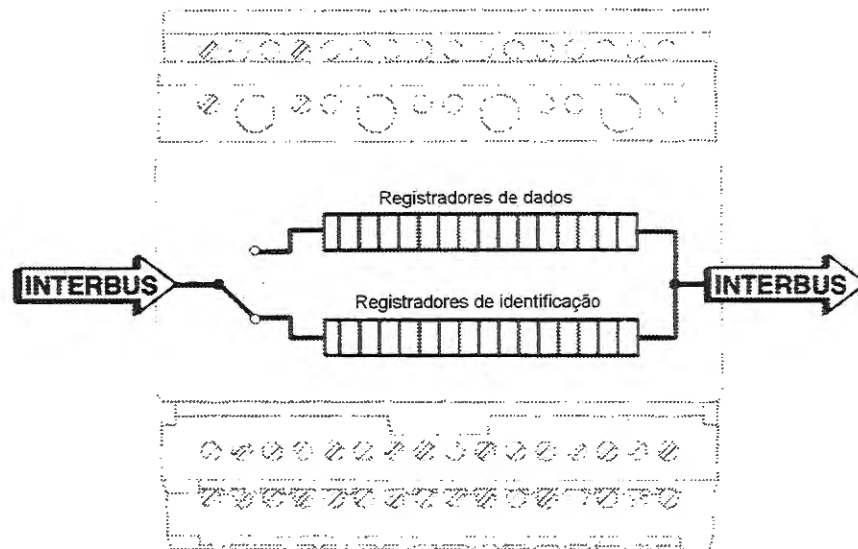


Figura 18 – Representação esquemática dos registradores em um equipamento Interbus [35]

A figura 18 mostra a representação esquemática dos registradores de dados e de identificação em um equipamento Interbus.

O método de transmissão de dados no protocolo Interbus é o chamado protocolo *one-total-frame*, que combina os dados de todos os sensores, atuadores e demais equipamentos periféricos ligados à rede em uma única mensagem, enviada a todos os módulos Interbus simultaneamente. A transmissão dos dados do tipo *overhead* (endereçamento, controle, checagem de erros etc.) ocorre somente uma vez. A combinação das informações de todos os equipamentos ligados na rede em uma única mensagem faz com que o bloco de dados de usuário (dados coletados e transmitidos para o chão-de-fábrica) cresça consideravelmente. A eficiência desse protocolo aumenta dinamicamente com o aumento do número de equipamentos ligados na rede. Entretanto, a adição de informações de parâmetros complexos à mensagem única leva a um considerável aumento no comprimento da mensagem e, conseqüentemente, uma diminuição do desempenho de transmissão [36]. A figura 19 mostra a estrutura do protocolo *one-total-frame*.

Protocolo One-Total-Frame

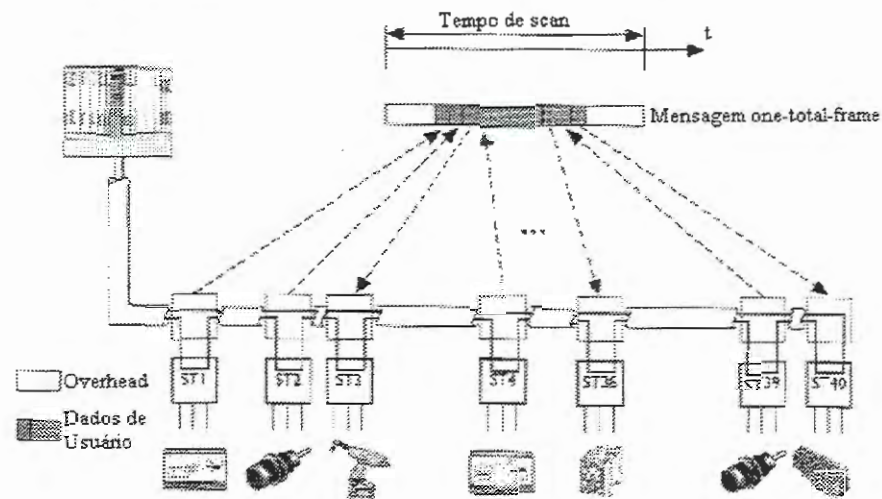


Figura 19 – estrutura do protocolo *one-total-frame* [36]

Esse método de transmissão do Interbus é executado através da estrutura de *shift register*. Cada módulo Interbus é inserido no anel de transmissão através do *shift register*, cujo comprimento é determinado pelo número de pontos de dados de processos do módulo. A adição de todos os módulos produz um anel de *shift register*, cujo comprimento e estrutura correspondem exatamente à estrutura do campo dos dados de usuário na mensagem *one-total-frame*. Os dados de processo de saída para os equipamentos periféricos são alocados no *buffer* de saída do mestre de acordo com a ordem física dos módulos de saída conectados na rede. O ciclo de transmissão, controlado pelo mestre, é então iniciado através da transferência de todos os dados de saída para o respectivo *shift register*, utilizando-se pulsos do *clock*. Durante a saída de dados, o fluxo de retorno das informações de processo entra simultaneamente como dados de entrada no *buffer* de entrada do mestre [36].

Depois que toda a mensagem única (*one-total-frame*) foi transmitida e simultaneamente lida de volta, os dados de saída são corretamente posicionados nos *shift registers* de cada módulo. Com um comando de controle especial, o mestre informa os módulos que o ciclo de transmissão terminou. Após uma seqüência de checagem de erros, as informações de saída de processo são recuperadas nos *shift registers*, gravadas nos módulos Interbus e transmitidas aos equipamentos

periféricos. Ao mesmo tempo, novas informações vindas dos equipamentos periféricos são lidas e armazenadas nos *shift registers*, preparando-se assim para o próximo ciclo. Esse método é então repetido continuamente de modo que os dados dos *buffers* de entrada e saída sejam enviados ou atualizados em um processo cíclico [36].

Os dados transmitidos no protocolo de mensagem única (*one-total-frame*) contêm as seguintes informações [36]:

- Cada ciclo de mensagem começa com uma *loopback word*. Essa palavra consiste de 16 bits de dados e é a primeira informação enviada do mestre para o anel. Ela percorre todo o anel, sendo lida de volta pelo mestre como a última informação de entrada. A *loopback word* é seguida pelos dados de usuário, cujo último bloco é uma seqüência de checagem de erro de 16 bits.
- A checagem de erro é realizada via o polinômio CRC, através da troca e comparação feita em todos os módulos.
- Os dados CRC são seguidos por um dado de transmissão de 16 bits no qual cada módulo envia ao mestre uma palavra de reconhecimento de que não houve erros durante a transmissão.

A figura 20 mostra a estrutura lógica do sistema Interbus.

A pilha do protocolo Interbus é estruturada em três camadas de acordo com o modelo de referência ISO/OSI. A camada 1 (camada física) determina as condições relacionadas com o tempo, tais como taxa de transmissão, entre outras, e os formatos da codificação dos cabos. A camada 2 (camada de *link* de dados) garante a integridade dos dados, enquanto que a interface com o usuário é assegurada pela camada 7 (camada de aplicação) [32].

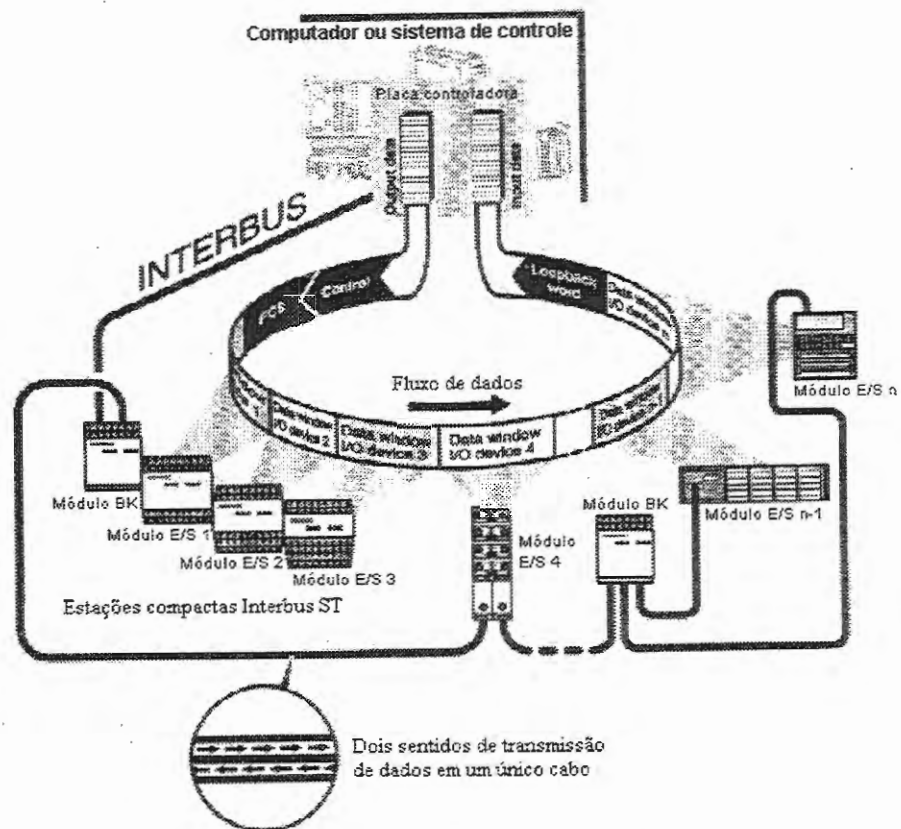


Figura 20 – Estrutura lógica do sistema Interbus [35]

2.5 Sistema de Supervisão

2.5.1 Controle de Processos por Computador

O potencial em se automatizar processos está cada vez maior devido à ajuda dos computadores. As barreiras que antes existiam e colocavam os PCs longe do controle do chão-de-fábrica estão sumindo. Alguns gerentes de fábricas estão entendendo os benefícios e as limitações que essa tecnologia oferece e procuram uma maneira de usá-la na manufatura. Mas são poucas as pessoas que enxergam dessa forma. A maioria não vê, por exemplo, que quando uma mudança é requerida, a manufatura precisa assimilá-la rapidamente, fato esse possível com a ajuda de tecnologia apropriada, como o PC [37].

O controle supervisorio, a aquisição de dados e os sistemas com controladores lógicos programáveis (CLPs) são requisitos básicos para a introdução dos computadores pessoais na indústria. Além disso, eles estão pressionando as

indústrias de *softwares* a desenvolverem programas que fazem o controle e também que apresentem os dados de forma amigável. Por outro lado, as indústrias de PCs estão desenvolvendo monitores maiores, processadores mais rápidos e opções de conexão via rede e multimídia, avanços que fazem com que o custo diminua e o desempenho aumente [38]. Portanto, podemos citar os seguintes avanços na tecnologia dos PCs que possibilitaram um aumento do seu uso na indústria:

- CPUs mais rápidas, com maior poder de processamento e maior eficiência;
- *hardwares* mais capazes e compactos;
- sistemas operacionais robustos, com funcionalidades avançadas e grande estabilidade;
- *softwares* de aplicação avançados que proporcionam uma fácil programação gráfica sem sacrifício de funcionalidade e desempenho;
- grande número de opções em conexões periféricas (PCIBus, PXI, PC Card, etc.);
- redes de comunicação digital (*fieldbus*).

A figura 21 mostra o exemplo de um processo controlado por computador.

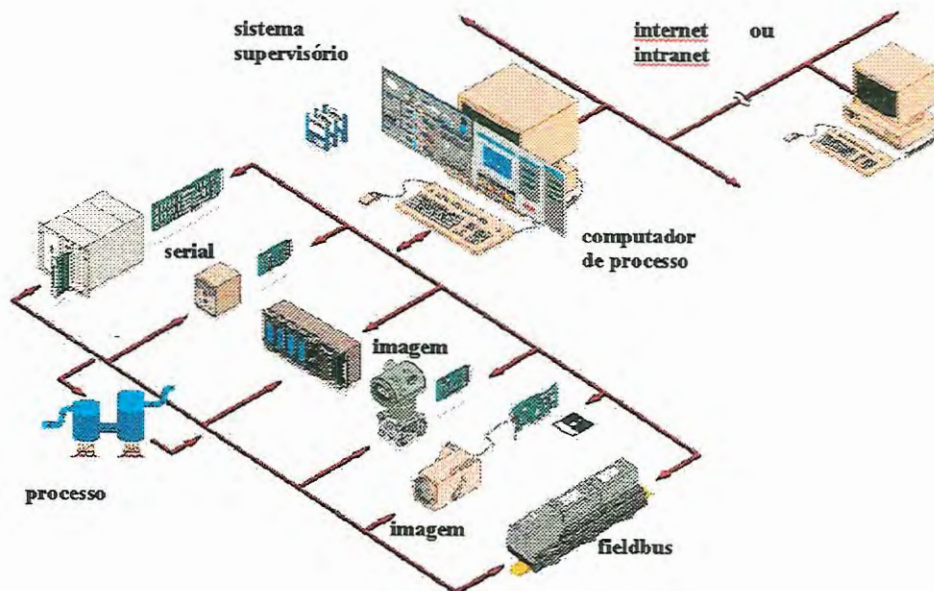


Figura 21 – Controle de processo por computador

O PC foi inicialmente usado na indústria para fazer o controle de unidades de operação, ou seja, controle de equipamentos individuais do processo. Com o aperfeiçoamento da sua tecnologia, ele passou a fazer também o controle de unidades de processo, isto é, controle de uma coleção de unidades de operação que devem ser coordenadas para alcançar objetivos específicos. Em seguida, passou a fazer o controle da planta, que é o controle de todos os processos pertencentes a uma determinada fábrica. Atualmente, em empresas que utilizam largamente a tecnologia PC, ele é usado para fazer o controle dos níveis administrativos/corporativos, relacionado ao gerenciamento da empresa (sistemas ERPs).

2.5.2 Softwares SCADA

Um *software* SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é composto por um conjunto de ferramentas avançadas usadas para o monitoramento de processos de chão-de-fábrica. Usando um ou mais computadores conectados a uma rede de equipamentos de campo, o *software* SCADA é capaz de fornecer uma imagem instantânea do processo monitorado, fornecendo uma grande quantidade de informações, tais como tempo de ciclo, tempo de máquina parada, ritmo da produção etc., bem como realizar o controle do processo. A partir daí, surgiu a idéia de sala de controle, um ambiente de onde o funcionário tem o controle total do chão-de-fábrica à distância. A figura 22 mostra um exemplo de sala de controle em uma indústria de processos contínuos.

O *software* SCADA deve captar os dados operacionais vindos do chão-de-fábrica fornecidos, por exemplo, por um sistema de aquisição de dados, e transformá-los em informações tão logo quanto o evento ocorre no chão-de-fábrica, de modo a permitir análises e respostas em tempo real. Mas, como são fornecidos milhares de dados do chão-de-fábrica por minuto, o acompanhamento atento das mudanças e a correta tomada de decisões dependem de algumas funcionalidades do *software*, tais como alarmes, relatórios e gráficos de tendências [37].

Os alarmes são usados para indicar rapidamente ao usuário uma condição específica, que pode variar desde indicações apenas informativas até indicações emergenciais. Em todos os casos, o *software* SCADA precisa apresentar a indicação em um tempo suficientemente pequeno de modo que o usuário possa analisar o

problema e tomar uma decisão o mais rápido possível. O *software* é usado para organizar logicamente os dados e informações esperadas, efetuar cálculos e comparações e criar alarmes que mostre condições de mudança da situação atual de um equipamento específico no chão-de-fábrica [37].

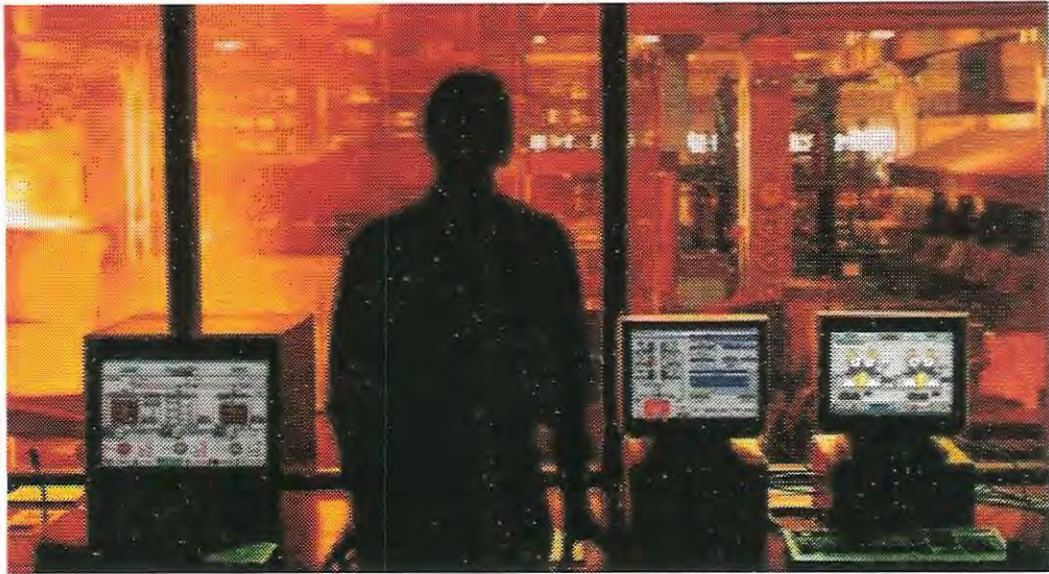


Figura 22 – Exemplo de sala de controle

Os relatórios são usados para fornecer informações para fora do *software* SCADA. As informações fornecidas pelos relatórios variam desde o cálculo do nível mais alto de informações até o mais detalhado nível de informação para a análise de aspectos bem específicos do processo de negócio. Essas informações são, na maioria das vezes, analisadas em conjunto com informações provenientes de bases de dados, possibilitando uma melhor imagem do processo em questão [37].

Os gráficos de tendência são usados para estudar as características operacionais recentes para então entender as mudanças presentes e futuras que serão feitas no ambiente de chão-de-fábrica. Esta informação é usada para avaliar a resposta do chão-de-fábrica a novas condições operacionais. Os gráficos de tendência permitem ao usuário enxergar o futuro através da visualização do passado [37].

Além das funcionalidades descritas anteriormente, o *software* SCADA possui ainda [39]:

- Aquisição de dados: aquisição de dados das estações remotas de I/O via *drivers* de comunicação.

- Controle: Controle automático em malha fechada ou controle via atuação do operador.
- *Displays* de Processo: Representações gráficas dos equipamentos de campo atualizadas automaticamente para retratar uma situação atual.
- *Standby*: Sistemas duplicados em espera com a capacidade de tomar o controle no caso de uma falta do sistema principal.
- Interfaces com Outros Sistemas: Transferência de dados para sistemas corporativos.
- Segurança: Controle de acesso por usuário aos vários componentes do sistema.
- Gerenciamento da Rede: Monitoramento das condições de comunicação da rede.
- Gerenciamento de Base de Dados: Comunicação com base de dados via ODBC.

3 Montagem do Banco de Ensaio na FIM

Este capítulo trata da montagem do banco de ensaios na FIM utilizando algumas tecnologias e alguns conceitos descritos no capítulo anterior. A Fábrica Integrada Modelo (FIM) é um ambiente de manufatura próximo do real. Ela é formada por uma área de escritório, um chão-de-fábrica, com duas células flexíveis de manufatura, e laboratórios, nos mesmos moldes de uma empresa de manufatura. Nesta fábrica, há funcionários (personagens), produtos, documentos, entre outros tipos de recursos e informações que seriam encontradas numa empresa real.

Nesse ambiente foram feitos os primeiros testes do sistema de aquisição de dados. Como se trata de um ambiente muito próximo do real, os testes foram muito conclusivos e permitiram instalar o sistema em uma indústria real com muito mais convicção.

Esse capítulo é dividido em: definição das variáveis, índices de desempenho, configuração básica do sistema, eixo FIM, desenvolvimento do aplicativo e resultados.

3.1 Definição das Variáveis

Os dados coletados pelo sistema de aquisição, ao serem processados e manipulados por um sistema de supervisão, por exemplo, geram informações que podem ser classificadas como: tecnológicas (relativas ao processo de usinagem) e gerenciais (relativas à produção). As máquinas que farão parte do sistema de aquisição de dados do laboratório de Otimização de Processos de Fabricação (OPF) do Núcleo de Manufatura Avançada (NUMA) da EESC-USP são:

- 1 Torno CNC Index;
- 1 Centro de Usinagem CNC Varga;
- 1 Retificadora CNC Zema.

Em uma primeira análise, podemos definir algumas informações relevantes (para cada máquina):

- quantidade de peças produzidas;
- ritmo de produção (peças/hora);
- tempos (minutos): ciclo, paradas em geral, posicionamento da ferramenta, usinagem efetiva;
- motivos de parada (apenas para a retificadora): carga/descarga, troca de ferramenta, manutenção mecânica, *set up*, problemas operacionais e manutenção elétrica;

Algumas informações de ocorrência, tais como início e fim de ciclo, podem ser obtidas diretamente do programa CNC da máquina. Porém, essas informações não são suficientes para a realização, por exemplo, da contagem de peças, uma vez que a máquina pode executar o programa sem peça (ciclo em vazio).

Para uma peça ser usinada, é preciso remover sobremetal. Quando isto acontece, há um aumento na potência consumida pelo motor e um aumento na emissão acústica, gerados pelo contato da ferramenta de corte com a peça e que são detectados pelos sensores de potência e de emissão acústica respectivamente. Assim, uma análise conjunta dos sinais de início de ciclo com o aumento da potência e da emissão acústica é capaz de determinar automaticamente se houve ou não remoção de sobremetal.

Quando não há remoção de sobremetal, duas situações podem ocorrer: o ciclo foi executado em vazio, ou seja, sem peça, ou a ferramenta não encostou na peça. Quando uma dessas situações ocorre, tanto a potência quanto a emissão acústica não variam, ou seja, permanecem no nível baixo. Dessa forma, mesmo com a informação de que o ciclo foi executado, o fato de nem a potência nem a emissão acústica variarem garante que não houve a remoção de material durante a usinagem da peça.

Analisar os sinais da potência e da emissão acústica significa observar se ambos ultrapassaram níveis preestabelecidos, ou seja, como se tratam de sinais analógicos que variam dentro de um intervalo, quando o valor lido ultrapassa um determinado nível significa que a ferramenta encostou na peça e removeu sobremetal suficiente. A determinação do nível adequado é possível através de ensaios na

máquina em condições predeterminadas, analisando os sinais de emissão acústica e de potência para cada um dos seguintes casos:

- a ferramenta não encosta na peça;
- a ferramenta encosta na peça e retira sobremetal suficiente;
- a ferramenta encosta na peça mas não retira sobremetal suficiente.

Neste último caso, quando a ferramenta encosta na peça mas não retira sobremetal suficiente, o sinal de emissão acústica sobe porém fica abaixo do nível estabelecido e o sistema de aquisição irá considerar que não houve peça usinada. Este procedimento é semelhante ao do ciclo em vazio ou quando a ferramenta não encosta na peça, uma vez que retirar menos sobremetal que o especificado significa que a peça está fora dos padrões de qualidade e, portanto, não pode ser considerada peça boa.

As possibilidades de se monitorar aspectos específicos do processo são muito grandes. Entretanto, como o objetivo desta pesquisa é implantar uma primeira proposta do sistema, os aspectos selecionados foram os descritos acima. Esta decisão teve como base o levantamento feito nas duas empresas visitadas.

Um dos meios de avaliar o desempenho de uma máquina no processo de produção é medir os tempos de posicionamento da ferramenta e de usinagem efetiva. Dessa forma, é possível otimizar o tempo total de ciclo da máquina através, por exemplo, da redução do tempo de posicionamento da ferramenta. Este aspecto também é explorado neste trabalho.

O ciclo de usinagem pode ser dividido em dois eventos básicos: posicionamento da ferramenta e usinagem efetiva da peça. O primeiro corresponde ao período em que a ferramenta se desloca e movimenta em vazio, a fim de se posicionar para usinar a peça. Já a usinagem efetiva da peça corresponde ao período em que a ferramenta está encostada na peça, usinando-a.

Para se medir os tempos descritos anteriormente, será usado o sensor de emissão acústica. Assim, ao se iniciar a usinagem, num ciclo normal de produção, o nível de emissão acústica estará baixo e portanto a ferramenta estará se posicionando. No momento em que a ferramenta encosta na peça, o sinal de emissão acústica fica alto, superando o nível estabelecido e iniciando a usinagem efetiva da peça. Quando

esta termina, a ferramenta desencosta da peça, posicionando-se para a operação de carga e descarga e início do próximo ciclo. Com isso, pela análise do sinal de emissão acústica, consegue-se distinguir os tempos de posicionamento da ferramenta e de usinagem efetiva da peça. A partir desta informação, pode-se detectar falhas de programação ou *set up* da máquina que estão relacionados a tempos de aproximação da ferramenta muito altos. Este fato é um indicativo de que o programa CNC da máquina está desatualizado e, portanto, necessita de revisão.

A figura 23 mostra a relação entre o sinal de ciclo do CNC da máquina e de emissão acústica e as informações relacionadas a eles, tais como produção (número de peças produzidas), tempos de ciclo, parada, posicionamento e efetivo de usinagem, além de ciclo executado em vazio (sem peça) e ciclo executado retirando sobremetal insuficiente.

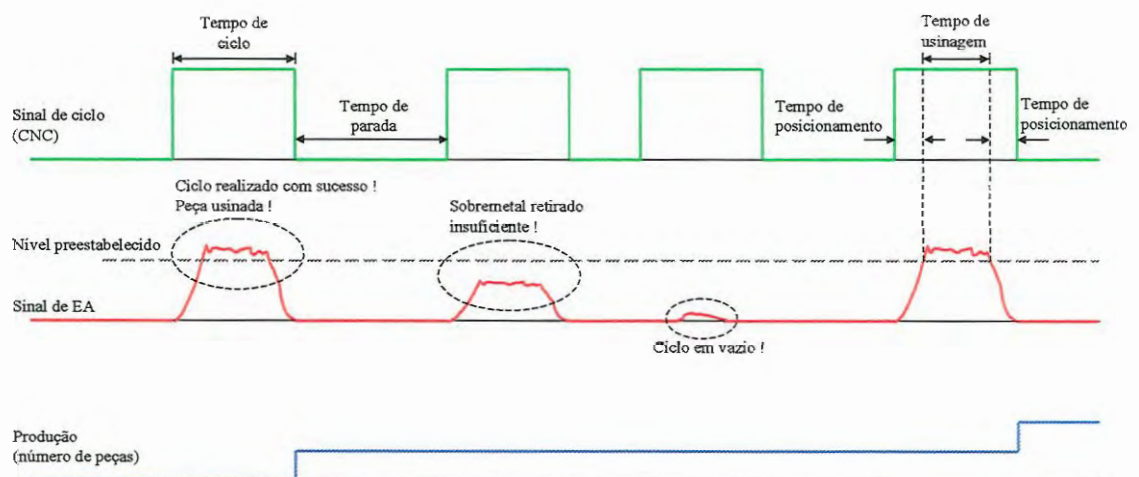


Figura 23 – Sinal de ciclo, EA e informações relacionadas

A fim de monitorar os motivos das paradas, será colocada na retificadora uma botoeira com seis botões (seis sinais digitais). Essa botoeira foi feita no LabView® (figura 24) e usa um circuito eletrônico para se comunicar com a máquina e com os módulos de entradas digitais. Os seis botões funcionarão como botões de início de ciclo com os seguintes motivos:

- início porque o operador estava fazendo a carga/descarga da peça (ciclo normal);
- início porque a máquina estava com problemas operacionais;

- início porque o operador estava fazendo o *set up* da máquina;
- início porque a máquina estava em manutenção mecânica;
- início porque o operador estava trocando a ferramenta;
- início porque a máquina estava em manutenção elétrica.



Figura 24 – Botãoeira desenvolvida no LabView®

Além dos botões de início de ciclo, foi especificado um sétimo botão, sob o nome Reset OE, cuja função é informar que uma nova ordem de fabricação está começando. Esta função é simplesmente informativa, não tendo interferência nenhuma com a máquina ou com o processo.

Para realizar a comunicação da botoeira com a retificadora e com os módulos de aquisição de dados, foi desenvolvido um circuito eletrônico cuja função é transformar um sinal de 5V vindo do computador em 24V com potência suficiente para ligar a máquina e acionar o módulo. Este circuito possui os seguintes componentes eletrônicos:

- 8 optoacopladores 4N25;
- 8 resistências de 470 Ω .

A lógica eletrônica de cada circuito contendo 1 optoacoplador e 1 resistência está mostrada na figura 25. A placa é composta por oito circuitos idênticos ao da figura 25. O sinal vindo do computador via porta paralela é ligado na resistência e esta em série com o pino 2 do optoacoplador. A comunicação com o módulo de aquisição de dados e/ou com o relé de acionamento da máquina se faz pelo pino 4 do

optoacoplador. A análise desta lógica mostra que o sinal no pino 4 vai para “1” (24V) quando o sinal no pino 2 estiver em “0” (0V), ou seja, o circuito está com lógica negativa. Portanto, o sinal de saída (pino 4) foi invertido via *software* de modo a representar exatamente o sinal da botoeira.

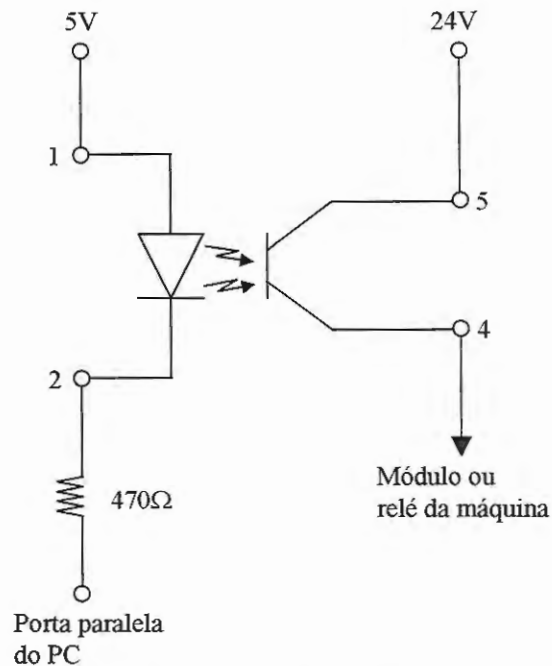


Figura 25 – Lógica eletrônica da placa

Os sinais na máquina responsáveis por gerar as informações necessárias são:

- quantidade de peças produzidas → sinais de ciclo e do sensor de potência ou emissão acústica, dependendo da máquina;
- ritmo de produção → sinal de ciclo;
- tempos (minutos): ciclo, paradas em geral → sinal de ciclo;
- tempos posicionamento e efetivo de usinagem → sinais de ciclo e do sensor de emissão acústica;
- motivos de parada → sinais da botoeira.

Dessa forma, para cada máquina, a distribuição de sinais que serão coletados fica conforme a Tabela 5 (onde EA = emissão acústica). Observa-se na tabela que a quantidade de sinais captados na retificadora é maior que nas outras máquinas. Isso foi feito pois optou-se por usar essa máquina para um estudo mais profundo sobre aspectos tecnológicos do processo.

TABELA 5 – Sinais a serem monitorados

Torno		Centro de Usinagem		Retificadora	
1 sinal de ciclo (D) 1 sinal de EA (A)		1 sinais de ciclo (D) 1 sinal de potência (A)		1 sinais do CNC (D) 7 sinais da botoeira (D) 1 sinal de EA (A) 1 sinal de potência (A)	
Analogico (A)	Digital (D)	Analogico (A)	Digital (D)	Analogico (A)	Digital (D)
1	1	1	1	2	7

Os sinais digitais são obtidos através dos relés presentes no painel elétrico das máquinas. Já os analógicos são obtidos através dos sensores de emissão acústica e potência.

Os sinais de ciclo, lidos diretamente dos CNCs das máquinas, fornecem as informações de ocorrência, como início e fim de ciclo da operação, e estão relacionados com um evento específico, variando de acordo com a máquina.

Os sinais analógicos vindos dos sensores de potência do centro de usinagem e da retificadora e do sensor de emissão acústica do torno têm a função de confirmar a presença de peça durante a usinagem. Ao iniciar um ciclo, o sinal do relé respectivo sobe para “1”, mandando para o sistema de aquisição de dados o sinal que indica que o ciclo iniciou. Mas o sistema não sabe se realmente uma peça está sendo usinada ou se o ciclo está sendo executado em vazio. Quando a ferramenta encosta na peça, a potência consumida pelo motor aumenta assim como o nível de ruído e são captados pelos sensores de potência e emissão acústica respectivamente. Assim, a análise conjunta dos sinais de início de ciclo e da potência consumida pelo motor (centro de usinagem e retificadora) ou da emissão acústica (torno) garante que uma peça está sendo usinada ou que o ciclo está sendo executado em vazio.

Na retificadora, o sensor de emissão acústica tem uma função diferente daquele usado no torno. Ele será o responsável pelo detalhamento dos tempos durante o ciclo de retificação (tempo de posicionamento e tempo efetivo de usinagem). Sua fixação é feita no contraponto da máquina de modo a captar todos os sons gerados durante o processo.

Inicialmente, estava prevista a colocação de botoeiras em todas as máquinas. Porém, devido a uma redução de custo e tendo em vista que a repetição seria desnecessária no âmbito desta pesquisa, foi decidido que apenas a retificadora teria a botoeira. Portanto, nesta máquina, é feito um monitoramento mais completo, com sensores de emissão acústica e de potência, além da botoeira. Nas demais máquinas, é realizada apenas a contagem de peças e tempos de ciclo e de máquina parada, para se ter uma idéia do sistema na produção dos eixos.

3.2 Índices de Desempenho

Alguns índices de desempenho são possíveis de ser medidos através do sistema de aquisição de dados. Eles servem apenas de indicadores da atual situação das máquinas do chão-de-fábrica ou da linha como um todo. A partir desses índices, pode-se tomar ações no sentido de melhorar o desempenho da máquina ou da linha.

3.2.1 Relação G

Na retificação, pode-se avaliar o desempenho da ferramenta pela relação entre o volume de material retirado e o volume de rebolo consumido. Esse parâmetro é conhecido como relação G e é calculado a partir do volume específico de retificação por peça V'_w conforme [8]:

$$\left(\frac{D_i - D_f}{2} \right) \cdot \pi \cdot D_i = V'_w \quad (1)$$

Na equação (1), D_i é o diâmetro inicial da peça e D_f , o diâmetro final. Esses valores são constantes e dependentes da peça.

É possível implementar no sistema de aquisição de dados uma rotina lógica que forneça a informação de quantas peças são retificadas por dressagem do rebolo. Para isso, basta que os sinais relativos à dressagem sejam coletados, ou seja, um sinal que indique se a máquina está dressando o rebolo ou não. Entre um pulso do sinal e outro, conta-se o número de peças e tem-se o número de peças por dressagem.

Assim, o cálculo da relação G se dá de acordo com a equação (2):

$$\frac{ppd \cdot V'_w}{\alpha_d \cdot D_s \cdot \pi} = G \quad (2)$$

onde ppd é o número de peças por dressagens, a_d é a profundidade de usinagem e D_s , o diâmetro do rebolo. Pode-se perceber que, a menos do número de peças por dressagens, os outros valores são invariáveis ao longo do processo para uma mesma peça.

Portanto, a partir de um valor fornecido pelo sistema de aquisição de dados, é possível avaliar o desempenho do ciclo de retificação. Se o valor da relação G for baixo, o processo de retificação está gastando muita ferramenta por peça e portanto estará ruim. Já se o valor da relação G for alto, o processo está gastando pouca ferramenta por peça e conseqüentemente está muito bom. Para a retificação de aços, a faixa de utilização do fator G é:

- 0,5 ~ 2 – baixo desempenho;
- 2 ~ 5 – médio desempenho;
- 5 ~ 10 – bom desempenho;
- > 10 – ótimo desempenho;

3.2.2 Porcentagem de Contato no Ciclo

Através do tempo efetivo de usinagem obtido na operação de retificação, e do tempo de ciclo, é possível calcular um parâmetro que indica se o ciclo de retificação está com o tempo ótimo.

Um ciclo de retificação ótimo, considerando tempo de ciclo, quer dizer que a ferramenta demora o menor tempo possível para aproximar e recuar da peça, ficando a maior parte do tempo em contato com a peça, usinando-a.

Assim, para obter a porcentagem de contato no ciclo, é necessário que se faça o seguinte cálculo (equação (3)), onde T_{efetivo} é o tempo efetivo de usinagem e T_{ciclo} é o tempo de ciclo:

$$\frac{T_{\text{efetivo}}}{T_{\text{ciclo}}} \cdot 100 = T_{\%} \quad (3)$$

Se o valor de $T_{\%}$ for acima de 80%, o ciclo está trabalhando com o tempo ótimo; caso ele seja abaixo de 10%, o programa de execução do ciclo na máquina precisa ser revisto pois, do tempo total de ciclo, a ferramenta fica a maior parte sem encostar na peça.

3.2.3 Custo por Peça

É possível implementar no sistema o cálculo automático do custo de ferramental por peça, ou seja, o valor do gasto em ferramenta agregado na peça em determinada operação. Com isso, pode-se separar do valor final da peça a porcentagem relativa à ferramenta.

Essa informação é importante, uma vez que proporciona uma série de estudos e averiguações acerca da ferramenta. Se o valor do custo for muito elevado, uma possível solução é avaliar outros tipos de ferramenta, de diferentes materiais, que possam produzir a mesma qualidade na peça por um custo mais baixo.

Para o processo de retificação, o custo por peça é obtido calculando inicialmente o custo de uma dressagem pelas equações (4) e (5):

$$C_d = \frac{C_{rebolo}}{Nr_{dressagens}} \quad (4)$$

$$Nr_{dressagens} = \frac{(Ds_n - Ds_u)}{2 \cdot a_{dre}} \quad (5)$$

onde C_{rebolo} é o custo do rebolo, $Nr_{dressagens}$ é o número de dressagens por rebolo, Ds_n é o diâmetro nominal do rebolo, Ds_u , o diâmetro final útil e a_{dre} , a profundidade de dressagem. A diferença $Ds_n - Ds_u$ fornece a faixa útil de dressagem no diâmetro do rebolo. Todos esses dados são constantes para uma mesma peça ou lote.

O custo por peça C é calculado, então, pela equação (6):

$$C = \frac{C_d}{ppd} + C_{dressador} \quad (6)$$

onde ppd é o número de peças por dressagens, dado fornecido automaticamente pelo sistema de aquisição de dados como explicado no item Relação G, e $C_{dressador}$ é o custo do dressador por peça, que é razão entre o valor do dressador e sua vida (número de peças que ele consegue dressar).

A partir desse número, faz-se o acompanhamento em tempo real do custo da ferramenta por peça ou por lote, dependendo do foco que se deseja trabalhar, e compara-o com o custo estipulado no contrato de produção da peça ou lote feito com o cliente. Se, por algum motivo, o custo real estiver maior que o estipulado, o

processo está gastando muito a ferramenta e medidas devem ser tomadas para reverter essa situação.

Esse é um exemplo aplicado à operação de retificação. Vale ressaltar que esse cálculo pode ser feito para qualquer tipo de operação de usinagem, bastando apenas ter disponíveis as informações equivalentes.

3.2.4 Produção Ideal X Produção Real

A partir dos dados coletados no chão-de-fábrica, sejam eles de forma manual ou automática, faz-se a programação da produção, ou seja, calcula-se o tempo necessário para uma peça ser produzida e, portanto, quando ela será entregue ao cliente. Essa produção programada e definida pelo ritmo do cliente é chamada aqui de produção ideal.

Uma informação importante para um chefe de produção ou um gerente de fábrica é o *status* da produção atual, se está atrasada, adiantada ou de acordo com a programada. A partir dessa informação, é possível confrontar as duas produções (programada e atual) e tirar as conclusões cabíveis.

Essa comparação entre produção ideal (programada) e real (atual) permite que a área responsável pela entrega do produto ao cliente, juntamente com os responsáveis pelo chão-de-fábrica, tomem as devidas providências no caso de a produção atual estar diferente da ideal. O sistema automaticamente aponta, através de gráficos ou números, a diferença entre ambas, tanto em unidades de tempo quanto em número de peças.

A produção real é obtida automaticamente através do sistema de aquisição de dados. Já para a produção ideal, é necessário que se forneça duas informações importantes para o seu cálculo: o tamanho do lote a ser produzido e o tempo estimado para a sua produção. Em seguida, calcula-se o ritmo de produção ideal (razão entre o tamanho do lote e o tempo de produção estimado). Esse mesmo cálculo do ritmo é feito para a produção real e os resultados são confrontados. É importante ressaltar que a produção ideal pode ser tanto da linha como um todo quanto de uma máquina isolada, dependendo da abordagem desejada.

3.3 Configuração Básica do Sistema

Configurações distribuídas interligadas por uma rede de comunicação com controladores pequenos de alto desempenho estão dominando os projetos de supervisão da manufatura e redes de controle. As redes de comunicação, para este tipo de aplicação, devem ser capazes de responder em tempo real e com uma largura de banda extensa o suficiente para suportar fluxo de áudio e vídeo. No caso de projetos baseados nas entradas e saídas remotas localizadas no chão-de-fábrica, a eficiência das redes está aumentando com a substituição dos módulos atuais por outros mais inteligentes [40].

O sistema a ser desenvolvido será baseado em módulos eletrônicos de entradas e saídas, situados no chão-de-fábrica, mais especificamente dentro do painel elétrico da retificadora. A fim de colher as informações provenientes dos sensores e dos CNCs das máquinas, foi definido que a rede de comunicação a ser utilizada será do tipo *fieldbus*. Dentre os mais variados tipos de *fieldbus*, escolheu-se o Interbus, da Phoenix Contact, porque melhor se adequou aos requisitos de configuração e preço estabelecidos. Dessa forma, a configuração do sistema de comunicação ficou assim:

- 1 módulo com 32 entradas digitais;
- 2 módulo com 4 entradas analógicas cada;
- 1 placa controladora para PC;
- 1 terminal de barramento;
- 50 metros de cabo Interbus;
- 1 fonte de alimentação 24VCC;
- plugs e conectores.

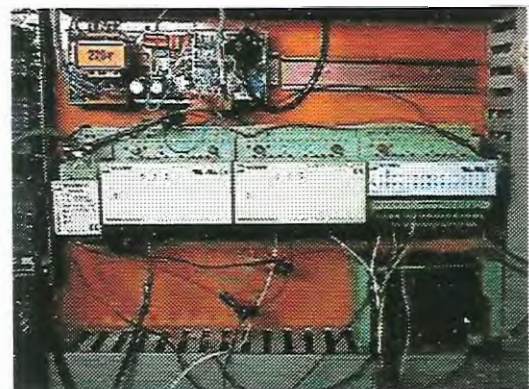


Figura 26 – Módulos de aquisição da rede Interbus

A figura 26 mostra os módulos encaixados no painel elétrico da máquina.

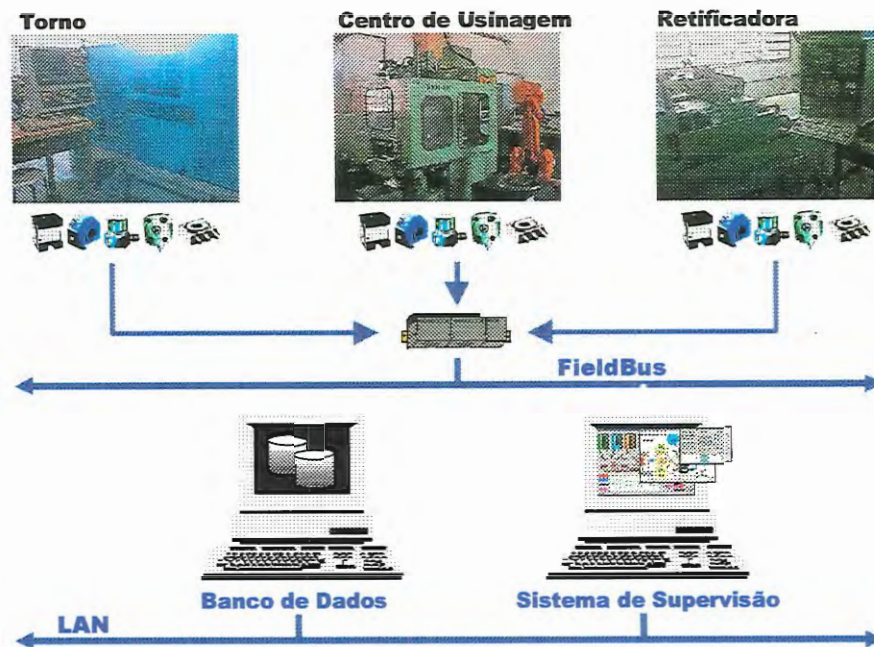


Figura 27 – Arquitetura do sistema na FIM

A figura 27 mostra a arquitetura proposta do sistema de aquisição de dados para a FIM.

A comunicação entre a botoeira e os relés com os módulos de entradas digitais é feita através do método de conexão de tensão 0-24VCC e a dos sensores analógicos com os módulos analógicos, 0-10VCC.

O *software* que configura e controla a rede Interbus chama-se PC-Worx.

3.4 Eixo FIM

A peça a ser produzida será um eixo escalonado com um rasgo de chaveta usado em um redutor de velocidade. A figura 28 mostra o desenho dimensionado do eixo.

Primeiramente são feitos os escalonamentos do eixo no torno, passando para o centro de usinagem para usinar o rasgo da chaveta e, por fim, a peça vai para a retificadora, a fim de se retificar os assentos de rolamento. Os programas CNC das máquinas para a usinagem do eixo encontram-se no Apêndice II.

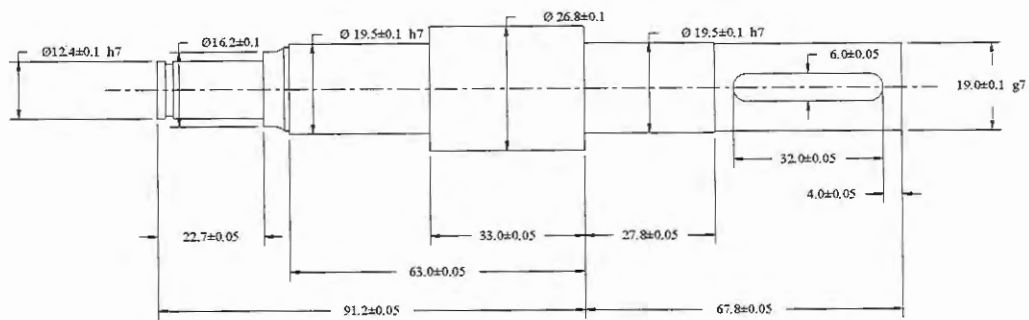


Figura 28 – Eixo dimensionado

3.5 Desenvolvimento do Aplicativo

Toda a lógica do sistema foi desenvolvida no *software* que controla a rede de campo (PC Worx[®]). A partir desse *software*, fez-se a comunicação com o *software* de supervisão via o protocolo de comunicação OPC (*OLE for Process Control*), padrão do ambiente Microsoft Windows[®].

A decisão de se fazer tal programação no *software* que controla a rede de campo se deu devido a sua maior facilidade de programação. Sua linguagem pode ser tanto diagramas de funções de blocos quanto linguagem de texto estruturada. Para o desenvolvimento do aplicativo na FIM, optou-se por usar, na maioria dos casos, a linguagem de diagrama de funções de blocos.

Assim, a partir dos sinais coletados de cada máquina, foram feitas programações no *software* PC Worx[®] para transformá-los nas informações requisitadas.

A lógica estrutural da programação pode ser dividida em duas partes: programação de subrotinas e programa principal. As subrotinas (ou sub-programas) são programas genéricos utilizados mais de uma vez na mesma máquina ou em mais de uma máquina e que não utilizam diretamente os sinais vindos do chão-de-fábrica. Neste trabalho foram utilizados três sub-programas principais: ciclo, parada e ea (emissão acústica).

O sub-programa ciclo (figura 29) é responsável pela contagem do número de peças produzidas e tempos de ciclo e total de ciclo. Definiu-se para este trabalho que tempo de ciclo é o tempo em que a máquina está em operação (vide figura 23) e

portanto o tempo em que o sinal de ciclo se encontra no nível alto. Para a contagem do número de peças, um sinal de nível do sensor é necessário, além do sinal de ciclo, para efetuar a confirmação da presença de peça. Esse sinal de nível é o valor do nível preestabelecido para garantir que uma peça foi usinada.

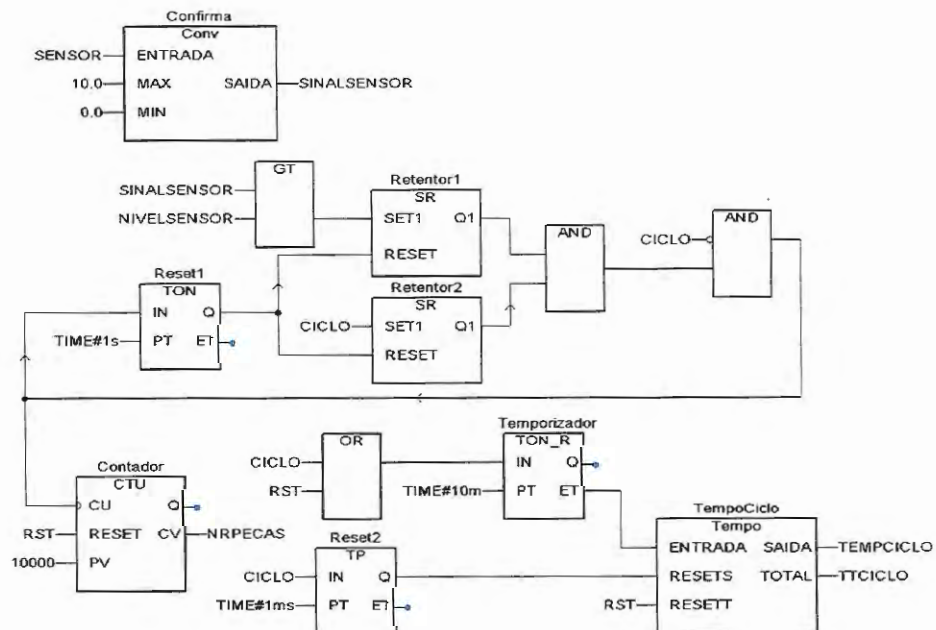


figura 29 – Sub-programa Ciclo

O sub-programa parada (figura 30) é o responsável pela contagem dos tempos de parada e total de parada, número de paradas e fornece o motivo da parada através do sub-programa botoeira. Neste, todos os sinais vindos da botoeira são transformados em apenas uma informação de saída, que é o motivo de parada. Assim, cada sinal terá um motivo de parada correspondente. O sub-programa botoeira se encontra no Apêndice III.

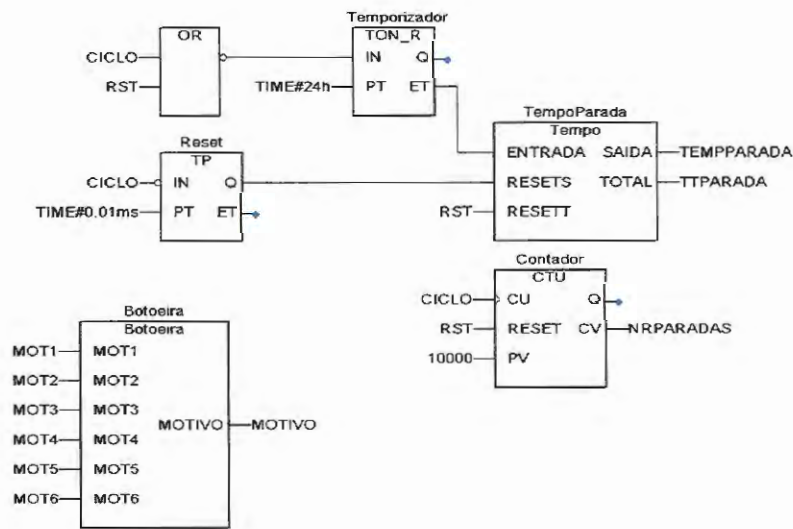


Figura 30 – Sub-programa parada

O sub-programa ea (emissão acústica) é o responsável pela contagem do tempos efetivo de usinagem e posicionamento da ferramenta, exclusivos da retificadora. Assim, a partir do sinal da emissão acústica, consegue-se medir o tempo em que a ferramenta está se movimentando em vazio e o tempo em que ela está em contato com a peça, usinando-a. A figura 31 mostra o sub-programa ea.

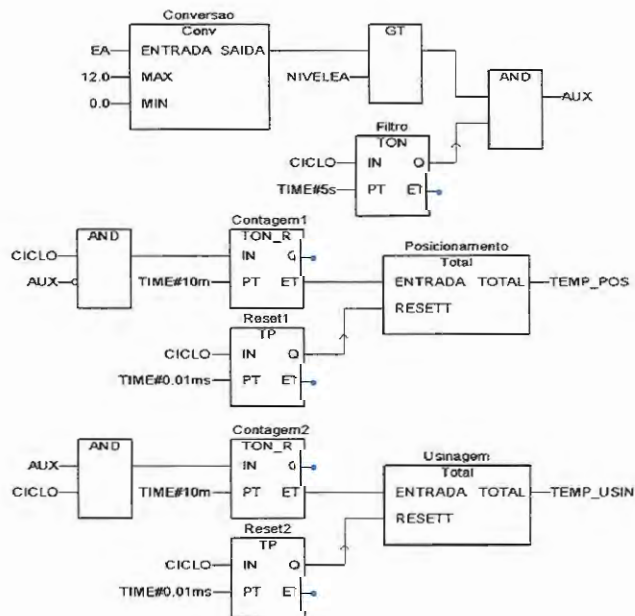


Figura 31 – Sub-programa ea

Já o programa principal (figura 32) envolve todas as subrotinas e nele estão ligados os sinais vindos das máquinas e os sinais que vão para o *software* de supervisão. É nele que se observa a interpretação do dado, transformando-o em informação. Assim, a partir dessa tela se observa, por exemplo, a entrada de dois sinais de ciclo e um sinal de emissão acústica e a saída de informações como tempos de ciclo, total de ciclo, de parada e total de parada e número de peças.

Vale a pena ressaltar que, a exceção do sub-programa ea, os sub-programas ciclo e parada são utilizados nas três máquinas. Embora algumas máquinas não usam todas as funcionalidades da subrotina, o desempenho da lógica do programa não é afetado.

Uma vez feita a programação no *software* da rede de campo (PC Worx[®]), o próximo passo foi disponibilizar as informações para o *software* de supervisão. Assim, através do protocolo OPC, faz-se a comunicação entre os *softwares*.

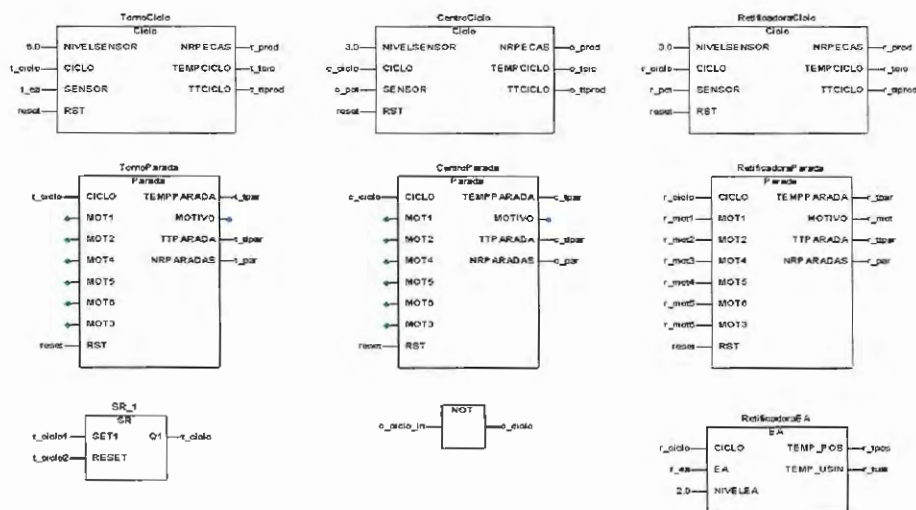


Figura 32 – Programa principal

O desenvolvimento do aplicativo no *software* de supervisão foi meramente gráfico e visual, não contendo portanto programações. Apenas algumas contas foram feitas, como o cálculo do ritmo de produção. Esse *software* tem, nesse projeto da FIM, apenas a função de melhorar a interface entre o homem e o computador, disponibilizando as informações em uma maneira mais fácil de serem visualizadas. O *software* utilizado foi o Indusoft[®].

A figura 33 representa a tela principal do sistema de supervisão. Ela contém uma imagem da linha de produção existente no chão-de-fábrica do laboratório. Nas três máquinas existem links que levam à uma outra tela específica de cada máquina contendo informações de desempenho de cada uma. Abaixo de cada máquina existem algumas informações individuais que dizem respeito à linha como um todo, chamadas de informações gerenciais, tais como ritmo de produção e tempo total de ciclo da máquina. Ainda na tela principal existem os gráficos de produção real da linha (produção da última máquina) e da produção ideal da linha.

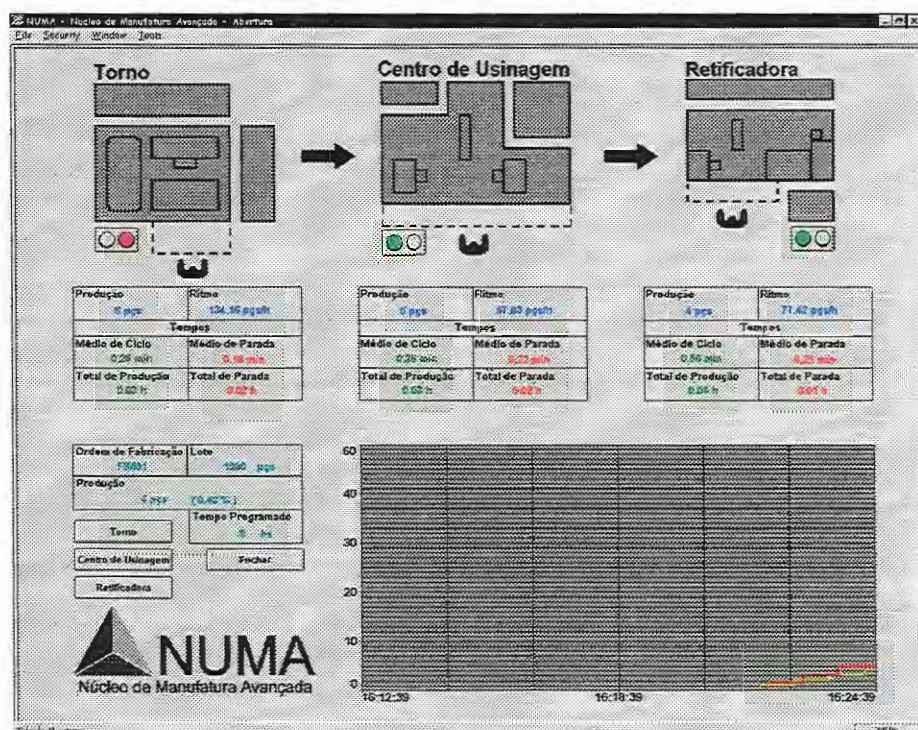


Figura 33 – Tela principal do aplicativo desenvolvido na FIM

Nas telas individuais de cada máquina (figuras 34 e 35) existem informações de cunho mais tecnológico (informações tecnológicas) e, portanto, dizem respeito apenas à máquina em específico. São informações como tempos de posicionamento da ferramenta e efetivo de usinagem e motivo de parada da máquina.

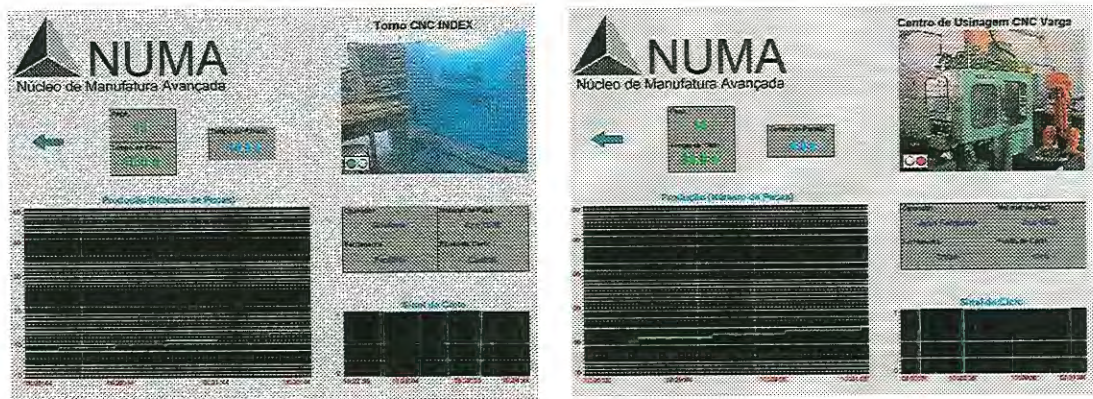


Figura 34 – Telas de duas máquinas da FIM: torno e centro de usinagem.

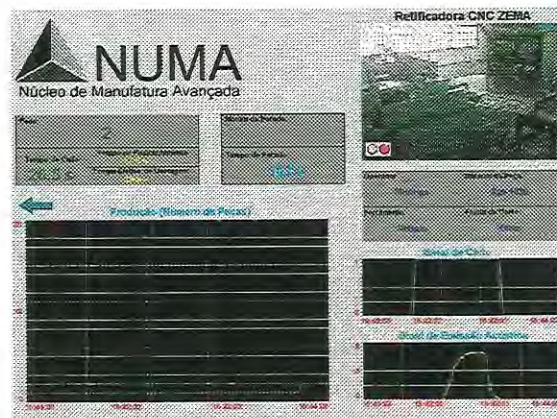


Figura 35 – Tela da retificadora

3.6 Resultados

A partir da análise dos dados na tela do sistema de supervisão, foi possível chegar aos seguintes resultados:

- Com a inclusão de um índice de desempenho na tela de abertura, é possível analisar o desempenho da produção do chão-de-fábrica (produção real) com relação à produção programada (produção ideal). Esta informação é bastante útil uma vez que ela permite avaliar se a produção do chão-de-fábrica está atrasada ou adiantada com relação à programada.
- Pela análise dos tempos médios de ciclo de cada máquina, é possível identificar a máquina gargalo (máquina cuja produção é a mais lenta da linha) em função do tipo de peça que está sendo produzida e, assim, tomar ações de melhoria.

- Na retificadora, através da análise dos tempos de posicionamento da ferramenta e efetivo de usinagem, pode-se concluir se o programa CNC da máquina está sendo bem utilizado (tempo de posicionamento pequeno) ou se requer um ajuste.
- Ainda na tela da retificadora, pela análise dos gráficos da emissão acústica, é possível identificar as três situações de ciclo na máquina: a ferramenta não encosta na peça (ciclo em vazio), a ferramenta encosta na peça mas não retira sobremetal suficiente e a ferramenta encosta na peça e retira sobremetal suficiente (ciclo normal). As figuras 36, 37 e 38 mostram essas três situações na tela da retificadora.

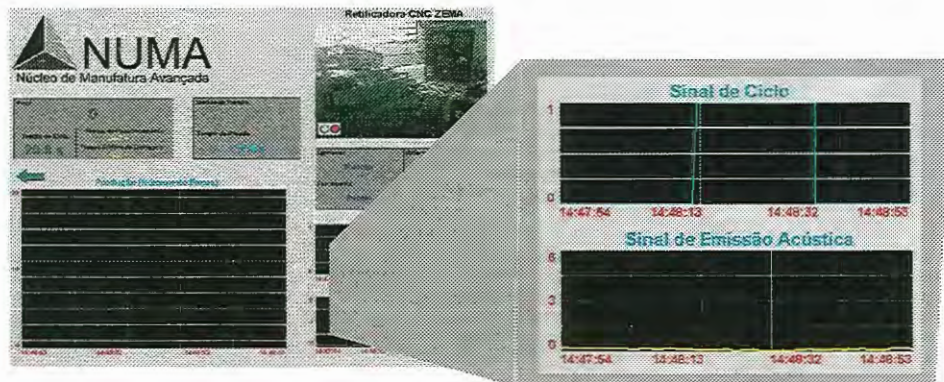


Figura 36 – Ciclo em vazio

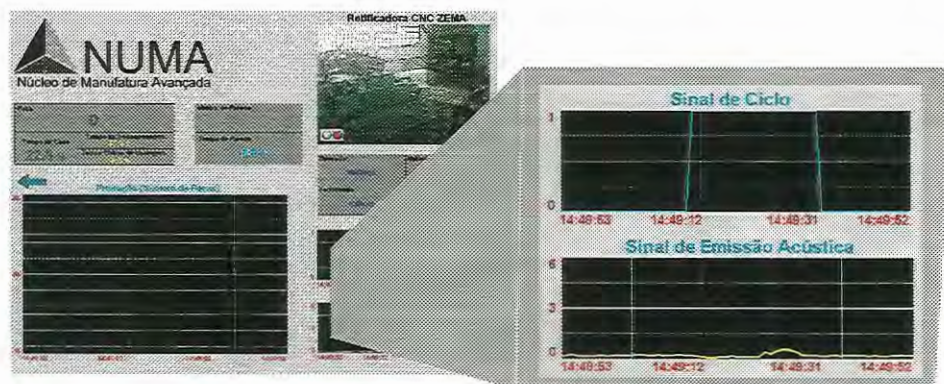


Figura 37 – A ferramenta encosta na peça mas não retira sobremetal suficiente

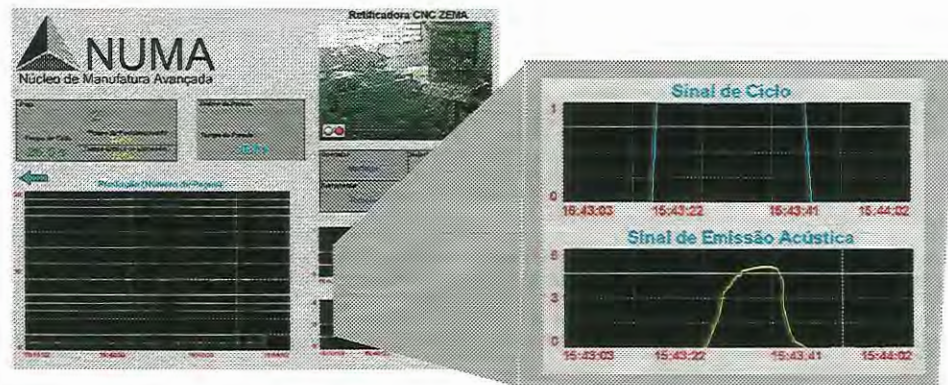


Figura 38 – Ciclo bom

O nível de emissão acústica estabelecido para que o sistema confirme a execução de um ciclo de usinagem perfeito (com retirada de sobremetal suficiente) é de 3V. Na figura 36, observa-se que o sinal de emissão acústica não varia enquanto é executado um ciclo na máquina. Nesse caso, já que o sinal não ultrapassou o nível estabelecido, o sistema não incrementa a contagem de peças. Na figura 37, ocorre um pico de emissão acústica, porém abaixo do nível de 3V. Isso acontece quando a quantidade de sobremetal retirado é abaixo do especificado. Nesse caso, o sistema também não incrementa a contagem do número de peças. Já a figura 38 mostra um ciclo bom, com retirada suficiente de sobremetal e o sinal de emissão acústica ultrapassando o nível de 3V estabelecido. Esse é o caso normal onde o sistema incrementa a contagem de peças.

4 Estudo de Caso – Empresa TRW Varga

4.1 Introdução

Foi avaliado que a instalação do sistema somente na linha de usinagem existente na FIM não mostraria totalmente o seu potencial de monitoramento. Seria interessante, portanto, implantar e testar a solução desenvolvida neste mestrado em uma linha de usinagem real de alto volume, onde situações do cotidiano de uma fábrica poderiam ser coletadas de forma mais realística. Dessa forma, tornou-se interessante a simulação do sistema de monitoramento em uma empresa de usinagem real. Assim, foi negociada com uma empresa no ABC paulista (TRW Varga Automotive South America) a possibilidade de testar o sistema também em um ambiente de produção seriada. A empresa TRW Varga, maior fabricante mundial de válvulas para motores, ficou muito interessada no projeto e abriu suas portas para a aplicação do sistema. Adicionalmente, a empresa se dispôs a pagar todas as despesas de aquisição de *hardware* e *software* necessários para a montagem do laboratório no chão-de-fábrica. Este fato serviu como uma grande motivação, uma vez que confirmou a relevância e o interesse industrial na aplicação imediata desta pesquisa.

Como se trata de um complemento deste programa de mestrado, foi acordado que o sistema irá monitorar apenas uma linha de usinagem, composta de seis máquinas, sendo cinco retificadoras do tipo *centerless* e uma máquina de olear. Essa linha representa a última etapa de fabricação da válvula e, por isso, é chamada de linha de acabamento final.

Essa implementação foi dividida em três etapas: 1 – definição das informações e infra-estrutura necessárias, 2 – desenvolvimento do aplicativo e implantação do sistema e 3 – análise dos resultados. A seguir, será detalhada cada uma das etapas.

4.2 Definição das Informações Necessárias

Nessa primeira etapa do processo, foram feitas uma série de entrevistas com vários funcionários da empresa a fim de entender quais eram as suas expectativas com relação ao sistema de aquisição de dados (tabela 6). A lista de funcionários que seriam entrevistados era bastante abrangente e envolvia desde o presidente da empresa até o operador da máquina, passando por chefes de linhas e funcionários de outras áreas, como manutenção e PCP.

Tabela 6 – Expectativas

Expectativas			
produção por turno	motivo do refugo	situação da ferramenta	soluções adotadas para problemas e responsável
tempo de set-up	produção por válvula	refugo	registro de manutenção com máquina em operação
produção por OF	capacidade da linha	ajustes por dressagem	paradas por vazamento
rastreabilidade do lote	tempo de uso da linha	confiabilidade da máquina	fluido de corte
tempo de ciclo	tempo de paradas	medidas de ajuste	peças por dressagem
gargalos	motivo de paradas	motivos de parada de manutenção	paradas por batimento

A partir das pessoas entrevistadas, formou-se uma equipe altamente motivada e disposta a implementar o sistema. Essa equipe era formada por uma pessoa do PCP, uma da manutenção, uma da produção e o gerente da fábrica.

A próxima etapa foi analisar a situação atual da empresa e delimitar as fronteiras do processo de instalação do sistema, ou seja, das expectativas listadas, quais seriam atendidas numa primeira fase do projeto e quais ficariam para uma possível continuação. A análise da situação atual da empresa consistiu em analisar a infra-estrutura existente no chão-de-fábrica, isto é, observar cada máquina da linha, sua forma de controle, quais informações podem ser extraídas e quais sinais estão relacionados com as informações.

Assim, a linha escolhida para a instalação do sistema (linha 1) é composta por cinco retificadoras, uma máquina de olear, uma máquina de teste, um placar e transportadores entre as máquinas. Essa linha é totalmente automática, ou seja, o operador coloca a peça no começo da linha e só retira no final. A operação de carga e descarga em todas as máquinas é automática. A tabela 7 mostra o resultado da análise de infra-estrutura da linha 1.

Tabela 7 – Infra-estrutura da Linha 1

Máquina	Tipo de Controle	Informações necessárias	Sinal relacionado
Máquina de teste	-	Peça temperada	Sensor do pistão ou da porta de refugio
Transportador	CLP	Parada da máquina 1 (falta de peça), N ^o de peças	Sensores 1 e 2
14R	Lógica relé	Início de ciclo	Sensor do posicionador Sensor de potência*
		Fim de ciclo	Pistão que expulsa a peça
		Início e fim de dressagem	Relé do dressador
		Parada de emergência	Botão de emergência
Topo	CLP	Início e fim de ciclo	Pistão que alimenta a peça Sensor de presença
		Início e fim de dressagem	Sensor do dressador
		Parada de emergência	Botão de emergência
Transportador	-	Parada da máquina 2 por excesso de peça na linha	Sensor de presença

Haste	CLP	Início de ciclo	Pistão posicionador
		Fim de ciclo	Pistão que expulsa a peça
		Início e fim de dressagem do rebolo de corte	Contato seco do contador de peças para dressagem
		Início da dressagem do rebolo de arraste	Botão de dressagem do rebolo de arraste OU sensor do dressador
		Fim da dressagem do rebolo de arraste e início de ciclo	Botão de início de ciclo
		Parada de emergência	Botão de emergência
		Parada por falta de peça	Ventosa alimentadora de peça
Transportador		Parada da máquina 3 por excesso de peça na linha	Sensor de presença
Sede	CLP	Início de ciclo	Fechamento da pinça que prende a peça
		Fim de ciclo	Pistão que expulsa a peça
		Início e fim de dressagem do rebolo de corte	Contato seco do contador de peças para dressagem
		Nº de peças	Sensor de emissão acústica
		Nº de peças refugadas	Pistão separador
Transportador	-	Parada da máquina 4 por excesso de peça na linha	Sensor de presença

Haste Final	CLP	Início de ciclo	Pistão posicionador
		Fim de ciclo	Pistão que expulsa a peça
		Início e fim de dressagem do rebolo de corte	Contato seco do contador de peças para dressagem
		Início da dressagem do rebolo de arraste	Botão de dressagem do rebolo de arraste
		Fim da dressagem do rebolo de arraste	Botão de início de ciclo
		Parada de emergência	Botão de emergência
		Parada por falta de peça	Ventosa alimentadora de peça
Máquina de Olear	-	Status	Contato seco Chave seletora manual/ automático Contato seco Chave seletora manual/ automático
		Parada	Sensor de presença
		Parada de emergência	Botão de emergência
Placar	-	Número de peças	Contato seco

Em seguida, fez-se uma análise das expectativas levantadas e chegou-se a conclusão que seria mais vantajoso em termos de resultados abranger um domínio um pouco mais restrito. Dessa forma, apenas as expectativas mais urgentes, simples e que seriam possíveis atender com a infra-estrutura existente foram consideradas. A tabela 8 mostra as expectativas consideradas.

Tabela 8 – Expectativas Consideradas

Expectativas Consideradas	
Produção por turno	confiabilidade da máquina
Tempo de set-up	produção por válvula
Produção por OF	capacidade da linha
Rastreabilidade do lote	tempo de uso da linha
Tempo de ciclo	tempo de paradas
Gargalos	motivo de paradas
Refugo	peças por dressagem

A próxima etapa foi definir o cenário de implantação do sistema, ou seja, a relação entre sinal e informação (qual sinal gera qual informação). Além disso, foi definido que cada máquina fornecerá um pacote de informações básicas que são (figura 39): início e fim de ciclo, confirmação de ciclo realizado (para máquinas que contam peças), informações sobre paradas e dressagens.



Figura 39 – Informações coletadas das máquinas

As informações sobre paradas e dressagens serão fornecidas por uma botoeira, composta por seis botões (seis sinais digitais) que funcionarão como botões de início de ciclo. Cada botão fornecerá uma informação diferente do motivo da parada da máquina. A fim de identificar e mapear os motivos de paradas de cada máquina separadamente, os motivos foram especificados considerando cada máquina individualmente.

As tabelas abaixo (9 a 14) mostram quais os sinais coletados por máquina e quais são as informações relacionadas a esses sinais.

Tabela 9 – Sinais e Informações da Máquina 14R

Ponto	Informação	Nº sinais	Tipo
Sensor da porta de refugio da máquina de teste	Nº de peças descartadas por problemas de têmpera	1	D
Sensor que liga o vibron	Parada da máquina 1 por falta de peça, nº de peças	1	D
Sensor que libera a corrente	Parada da máquina 1 por falta de peça, nº de peças	1	D
Sensor de potência + comparador de nível	Confirmação de ciclo realizado	1	D
Sensor do posicionador	Início de ciclo	1	D
Pistão que expulsa a peça	Fim de ciclo	1	D
Relé do dressador	Parada por dressagem	1	D
Botão de emergência	Parada de emergência	1	D
Botoeira	Motivos de parada	6	D

Tabela 10 – Sinais e Informações da Máquina Topo

Ponto	Informação	Nº sinais	Tipo
Pistão que alimenta a peça	Início e fim de ciclo	1	D
Sensor do dressador	Parada por dressagem	1	D
Botão de emergência	Parada de emergência	1	D
Botoeira	Motivos de parada	6	D
Sensor de presença do transportador posterior	Parada da máquina 2 por excesso de peça na linha	1	D

Tabela 11 – Sinais e Informações da Máquina Haste

Ponto	Informação	Nº sinais	Tipo
Pistão posicionador	Início de ciclo	1	D
Pistão que expulsa a peça	Fim de ciclo	1	D

Contador de peças para dressagem do rebolo de corte	Parada por dressagem do rebolo de corte	1	D
Botão de início de dressagem do rebolo de arraste	Parada por dressagem do rebolo de arraste	1	D
Botão de emergência	Parada de emergência	1	D
Ventosa alimentadora de peça	Parada por falta de peça	1	D
Botoeira	Motivos de parada	6	D
Sensor de presença do transportador posterior	Parada da máquina 3 por excesso de peça na linha	1	D

Tabela 12 – Sinais e Informações da Máquina Sede

Ponto	Informação	Nº sinais	Tipo
Fechamento da pinça que prende a peça	Início de ciclo	1	D
Pistão que expulsa a peça	Fim de ciclo	1	D
Contador de peças para dressagem	Parada por dressagem	1	D
Sensor de emissão acústica	Confirmação do ciclo realizado	1	D
Pistão separador	No de peças refugadas	1	D
Botoeira	Motivos de parada	6	D
Sensor de presença do transportador posterior	Parada da máquina 4 por excesso de peça na linha	1	D

Tabela 13 – Sinais e Informações da Máquina Haste Final

Ponto	Informação	Nº sinais	Tipo
Pistão posicionador	Início de ciclo	1	D
Pistão que expulsa a peça	Fim de ciclo	1	D
Contador de peças para dressagem do rebolo de corte	Parada por dressagem do rebolo de corte	1	D
Botão de início de dressagem do rebolo de arraste	Parada por dressagem do rebolo de arraste	1	D
Botão de emergência	Parada de emergência	1	D
Ventosa alimentadora de peça	Parada por falta de peça	1	D
Botoeira	Motivos de parada	6	D

Tabela 14 – Sinais e Informações da Máquina de Olear e Placar

Ponto	Informação	Nº sinais	Tipo
Pistão posicionador da máquina	Status	1	D
Chave seletora manual/automático	Status	1	D
Sensor de presença	Parada por falta de peça	1	D
Botão de emergência	Parada de emergência	1	D
Sinal do placar	Produção da linha	1	D
Botão para zerar o placar	Produção da linha	1	D

A partir dessa etapa, definiu-se a configuração do sistema de aquisição de dados. Esse sistema usa a mesma rede de campo utilizada no Laboratório de Otimização de Processos de Fabricação (Interbus) e o mesmo *software* de supervisão (Indusoft). Assim, a arquitetura proposta ficou conforme a figura 40.

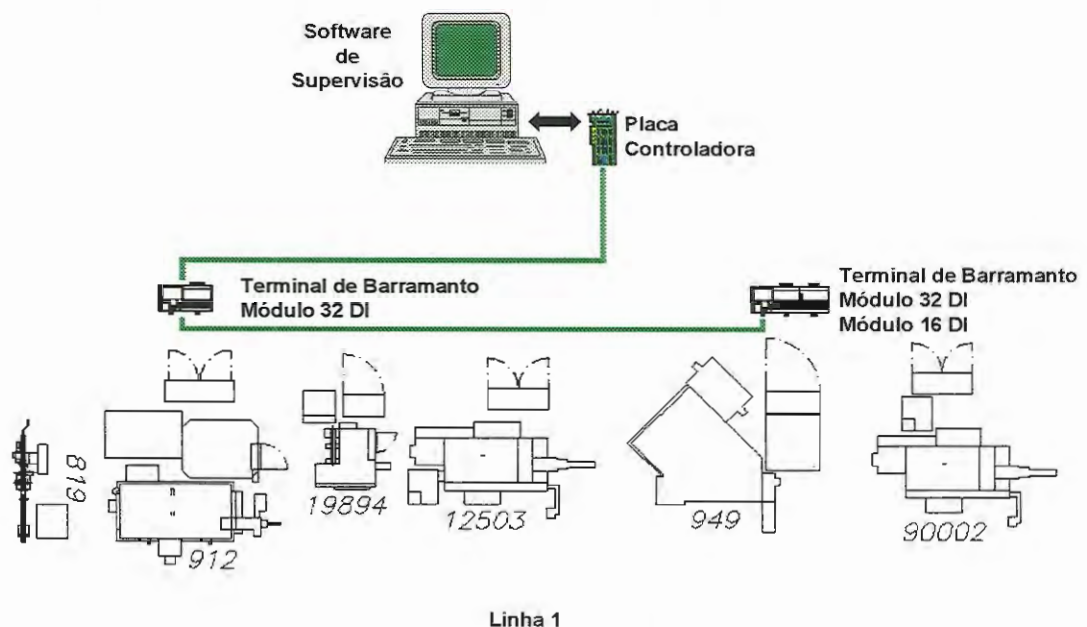


Figura 40 – Arquitetura do sistema

4.3 Desenvolvimento do Aplicativo e Implantação do Sistema

Assim como na FIM, as lógicas dos programas foram feitas também no *software* que controla a rede de campo Interbus (*software* PC Worx®). Os subprogramas responsáveis pelos cálculos dos tempos de ciclo, de parada, de

posicionamento da ferramenta e efetivo de usinagem foram os mesmos desenvolvidos no laboratório, apenas algumas adaptações, tais como inclusão de alguns filtros e mudança de alguns parâmetros internos, foram necessárias.

A etapa seguinte foi elaborar as telas do sistema de supervisão. As informações contidas no aplicativo são aquelas definidas como as expectativas que seriam atendidas, adaptadas para cada máquina. Assim, o número de telas definido para o aplicativo foi 7, sendo uma tela principal e uma tela individual de cada máquina.

Seguindo o mesmo molde definido para a aplicação na FIM, a tela principal possui apenas informações que dizem respeito à linha como um todo, tais como número de peças produzidas e tempo total de produção e algumas informações genéricas de cada máquina, como número de peças produzidas (para as máquinas que contam peças), tempo de ciclo mínimo, taxa de produção e número de peças por dressagem, além da comparação da produção real com a ideal. A figura 41 mostra a tela principal do aplicativo da TRW Varga.

Foi definido que a contagem do número de peças produzidas se daria em apenas três pontos da linha: no começo (máquina 14R), no meio (máquina de Sede) e no final. Portanto, a informação do refugo específico por máquina só será obtida nas máquinas que fazem a contagem de peça.

A taxa de produção é uma informação do ritmo de produção de cada máquina, ou seja, o número de peças produzidas por hora, que é calculado considerando-se o tempo de ciclo mínimo (menor tempo obtido para a execução de um ciclo completo) e o tempo de dressagem da máquina. Dessa forma, comparando-se a taxa de produção de cada máquina, é possível identificar qual máquina é o gargalo da linha em um determinado instante (maior tempo de ciclo e menor taxa de produção).

O gráfico de produção da linha mostra o resultado da contagem de peças feita no final da linha. Assim como no aplicativo desenvolvido na FIM, neste gráfico é feita a comparação com a produção ideal, cujo cálculo é feito através dos valores do tamanho do lote e o tempo ideal de produção. Com isso, uma comparação gráfica é feita com o resultado dos dois valores de produção (ideal e real). Além disso, é medido o desempenho (*performance*) da linha com relação à produção ideal. Pela análise da figura 41, o valor da *performance* da linha é de 80% que indica que o

ritmo de produção atual corresponde a 80% do ritmo de produção ideal e, conseqüentemente, a produção está atrasada com relação ao programado.

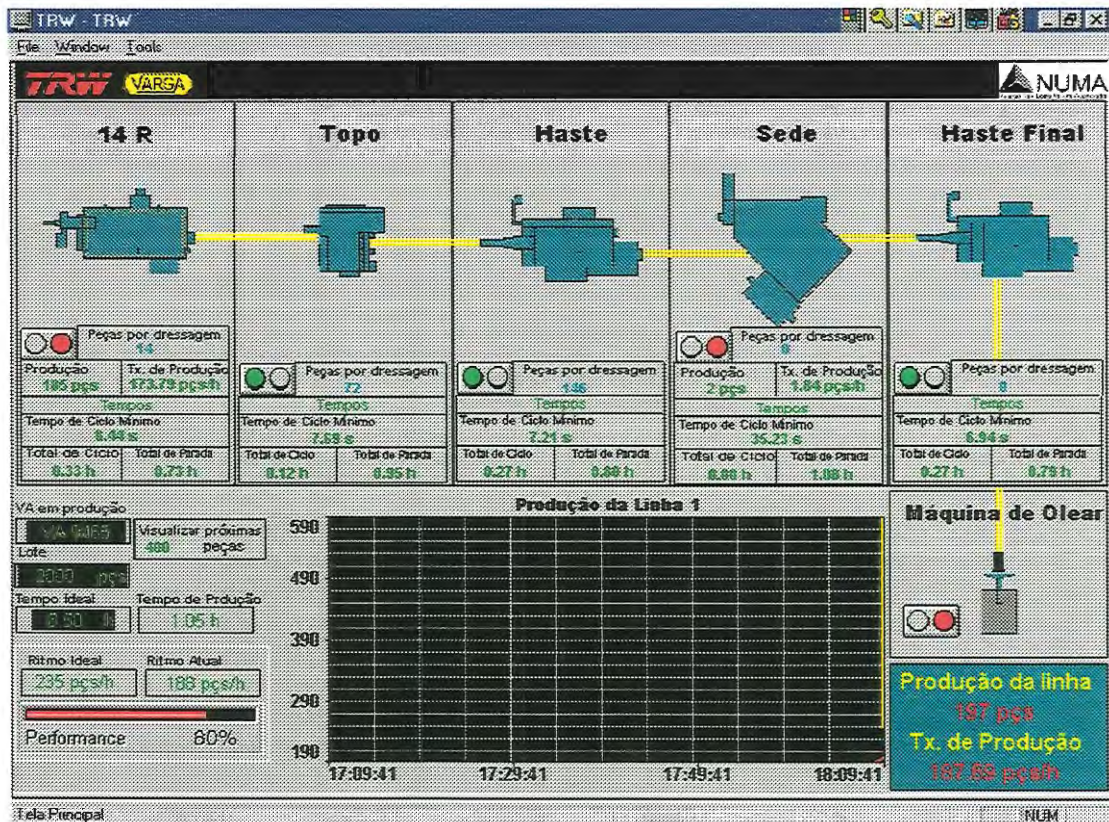


Figura 41 – Tela principal

As telas individuais de cada máquina apresentam informações semelhantes entre si, específicas de cada máquina retificadora e da máquina de olear. Informações como número de peças (para as máquinas que contam peças), tempo de ciclo, tempo de corte, tempo de parada, motivo de parada, número de dressagens e tempo de dressagem são comuns a todas as telas das retificadoras. Apenas a tela da máquina de olear se difere das outras. As figuras 42, 43 e 44 mostram as telas individuais de cada máquina.

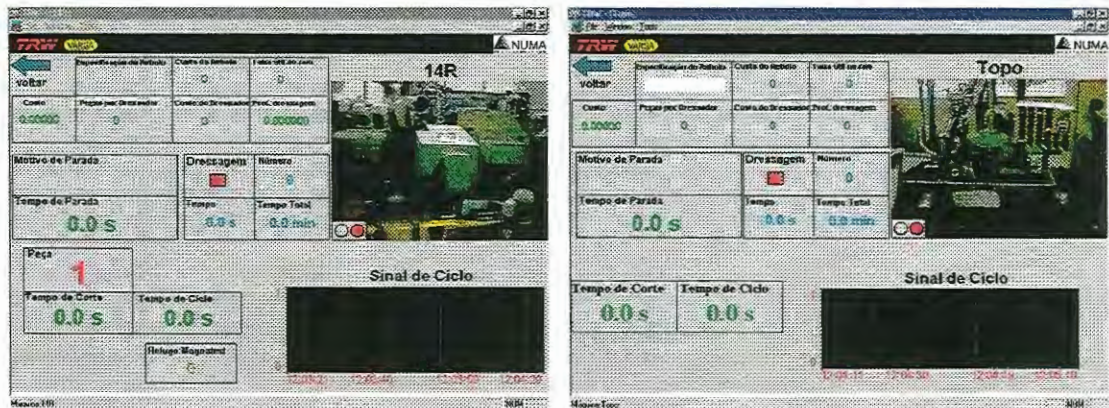


Figura 42 – Telas das máquinas 14R e Topo

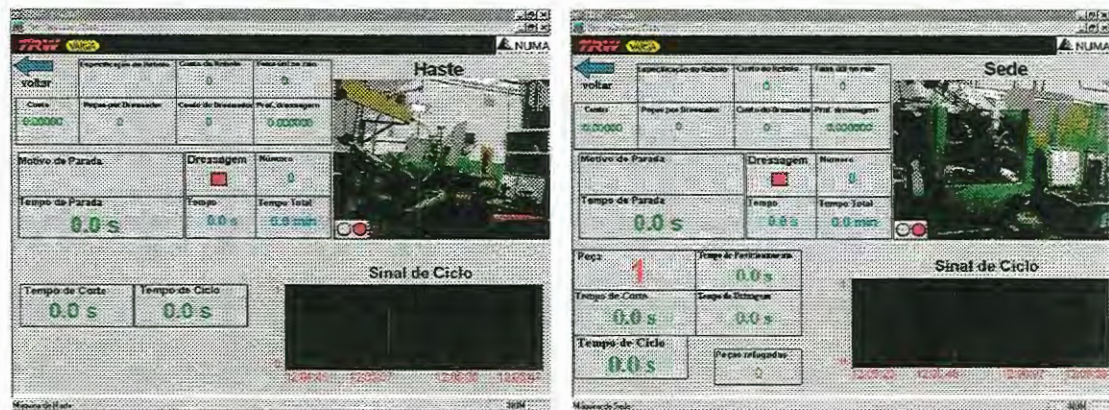


Figura 43 – Telas das máquinas Haste e Sede

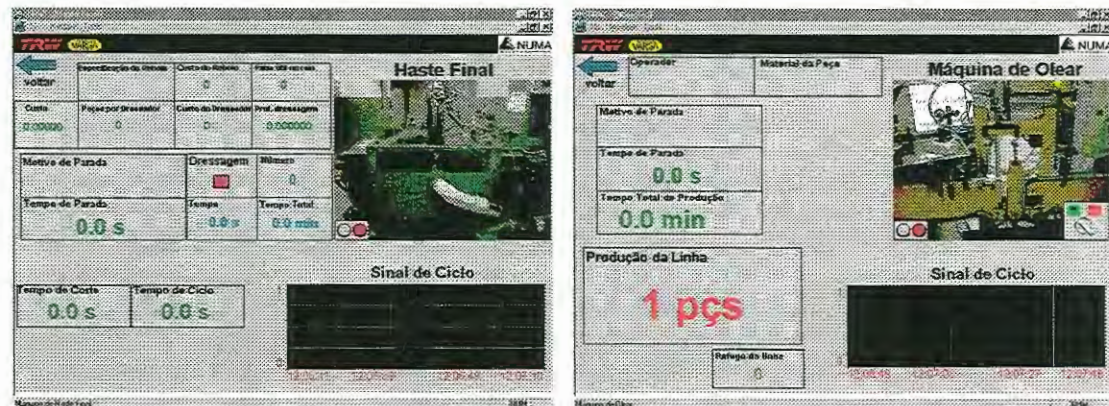


Figura 44 – Telas das máquinas Haste Final e de Óleo

Nas retificadoras, a informação do custo de ferramental por peça é obtida automaticamente. Entra-se com os dados constantes do custo do rebolo, custo do dressador, profundidade de dressagem e diâmetro de trabalho do rebolo. O sistema

fornece automaticamente o número de peças por dressagem e calcula o custo do ferramental por peça.

O refugo da linha é calculado através da diferença entre o número de peças que sai da linha e o número de peças produzidas pela primeira máquina da linha (máquina 14R).

O tempo de corte corresponde ao tempo em que a máquina está em operação. O tempo de ciclo corresponde à soma dos tempos de corte e de parada.

Na máquina de Sede, por ser a única a possuir o sensor de emissão acústica, faz-se o cálculo do tempo de posicionamento da ferramenta e do tempo efetivo de usinagem. A soma desses dois tempos corresponde ao tempo de corte.

Todos os dados foram armazenados em uma base de dados da produção, possibilitando análises das informações a posteriori e combinações de resultados.

Após as configurações de todas as telas e definições de todas as informações, a etapa seguinte foi a instalação física do sistema. A instalação dos módulos de aquisição de dados no chão-de-fábrica foi feita por uma empresa de instalações elétricas. Foram construídas cabines específicas para abrigá-los, bem como canaletas exclusivas para a passagem dos fios, tanto os que vinham das retificadoras quanto o próprio cabo da rede de campo. Além disso, foram construídas e instaladas as botoeiras nas cinco retificadoras. Vale a pena observar que o custo dessa instalação ficou superior ao custo do sistema de supervisão em si (módulos de aquisição de dados e *software* de supervisão).

Uma vez instalado o sistema (tanto os componentes de *hardware* quanto o próprio *software* de supervisão), foram dados treinamentos para os funcionários do chão-de-fábrica e para o responsável pela produção da linha 1, que foi designado como o responsável pela manipulação do sistema. Logo que o sistema começou a funcionar, os funcionários do chão-de-fábrica o apelidaram de “dedo-duro”, já que informações sobre a produção e também sobre a produtividade do funcionário estavam sendo coletadas. Mas, aos poucos, essa imagem foi mudando, pois os operadores começaram a entender o verdadeiro motivo do sistema de supervisão, que é fornecer dados confiáveis sobre o chão-de-fábrica e não “dedurar” as ineficiências dos operadores.

4.4 Análise dos Resultados

Com o sistema funcionando e monitorando a linha, fez-se uma análise das informações que estavam sendo apresentadas pelo sistema e, de imediato, algumas conclusões puderam ser tiradas:

- Os funcionários da produção consideravam como máquina gargalo da linha uma que não era de fato a mais lenta. Pela análise das informações, chegou-se a conclusão que a máquina gargalo era outra pois seu tempo de dressagem era muito grande e o número de peças por dressagem era pequeno. O fato interessante é que essa máquina não possuía o tempo de ciclo (tempo de corte + tempo de parada) mais lento da linha mas o tempo de dressagem comprometia todo o seu desempenho. Esse fato repercutia em um atraso em toda a linha. A partir dessa conclusão, montou-se um time para analisar e implementar possíveis melhorias: diminuição do tempo de dressagem e troca do material do rebolo para aumentar o número de peças por dressagem, entre outras.
- Devido a esse problema de dressagem da nova máquina gargalo, a máquina seguinte parava com muita frequência. Isso resultava em desajuste das condições de operação. Portanto, sugeriu-se aumentar o tempo de ciclo dessa máquina e acrescentar um pequeno pulmão (estoque de processo) entre essas máquinas para compensar o ciclo mais lento da máquina gargalo. Considerando-se um ritmo de 300 peças/hora e um tempo máximo de dressagem com troca de rebolo de aproximadamente 40 minutos, pode-se dizer que esse estoque em processo teria que suportar uma quantidade de 200 peças.

Vale a pena ressaltar que o processo de análise das informações fornecidas pelo sistema de aquisição de dados é contínuo, isto é, deve ser feito de forma continuada ao longo do tempo. Dessa forma, ao identificar um problema, faz-se sua análise e implementam-se possíveis soluções de melhoria, sempre acompanhando os resultados pelo sistema. Em seguida, faz-se nova análise em busca de outros problemas e/ou oportunidades de otimização até que a linha esteja produzindo de acordo com os parâmetros ótimos da empresa.

Esse estudo de caso foi de grande valia para a conclusão desse trabalho, uma vez que ele permitiu avaliar o desempenho e a funcionalidade do sistema de

aquisição de dados em uma empresa real. A partir de então, ficou muito mais evidente o grande potencial de novos trabalhos nessa linha de pesquisa de monitoramento e supervisão de chão-de-fábrica em indústrias de usinagem.

Além, o sistema de aquisição de dados apresentou um grande potencial de uso, não só em máquinas de usinagem, como também em linhas de montagem e demais áreas afins. A sua integração com os demais sistemas corporativos de uma empresa, tais como os sistemas de gestão empresarial (ERPs), também se mostrou possível. Com isso, as informações provenientes do chão-de-fábrica estarão disponíveis automaticamente nos sistemas de gestão, que farão todas as análises cabíveis para um melhor aproveitamento dos recursos da empresa.

Por fim, o sistema apresentou um grande potencial de interação via Internet. Devido a um crescimento cada vez maior do uso da rede mundial, os *softwares* de supervisão já estão preparados para a troca de informações via *World Wide Web*.

5 Conclusões e Propostas para Trabalhos Futuros

Esse trabalho apresenta duas características inéditas: a utilização de conceitos e técnicas existentes em uma aplicação inovadora e a consideração do processo discreto usinar como um processo contínuo. Os resultados obtidos mostram que é possível desenvolver um sistema de aquisição de dados para operações de usinagem nos moldes propostos nesse trabalho e, além disso, é possível analisar o processo de usinagem como um processo contínuo. Nesse capítulo, serão colocadas as conclusões obtidas e algumas sugestões ou propostas para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

Através dos testes realizados no Laboratório de Otimização de Processos de Fabricação do Núcleo de Manufatura Avançada da USP – São Carlos e também através da análise do próprio sistema implementado na fábrica TRW Varga, algumas conclusões acerca do sistema de aquisição de dados puderam ser tiradas:

- Foi possível desenvolver um sistema de aquisição de dados em operações de usinagem que coleta os sinais nas máquinas, transporta-os por uma rede de campo (*fieldbus*) e interpreta-os em um *software* de supervisão.
- O sistema é capaz de fornecer informações confiáveis sobre a produção (número de peças, tempos de ciclo e de parada, ritmo) com a simples aquisição de sinais de início e fim de ciclo. Essas informações são chamadas de informações gerenciais. Para o cálculo do número de peças, é necessário ainda confirmar a presença de peça, através dos sensores de emissão acústica ou potência.
- Com o uso da emissão acústica, é possível obter, além da confirmação da presença de peça, algumas informações tecnológicas, como tempo efetivo de usinagem e tempo de posicionamento da ferramenta.

- Informações sobre o desempenho da operação de retificação, tais como a relação G e o custo por peça, são possíveis de ser obtidas com o uso de sinais de dressagem e sistemas de monitoramento dedicado.
- A consideração do processo discreto usinar como um processo contínuo é válido, pois todas as análises pertinentes à linha como um todo leva em consideração um fluxo de material pelas máquinas. A análise discreta se dá através da observação das telas individuais de cada máquina.
- A rede *fieldbus* usada (Interbus) é bastante rápida para sinais digitais; porém é lenta para sinais analógicos, como os de emissão acústica e potência. No caso específico de indústrias de usinagem, essa lentidão não prejudica os resultados uma vez que apenas níveis de potência e emissão acústica são considerados.
- Apesar da baixa velocidade para sinais analógicos, foi possível identificar com sucesso três condições de usinagem na retificadora através da análise do sinal de emissão acústica: usinagem em vazio, usinagem com pouca retirada de sobremetal e usinagem normal.
- Para esse tipo de aplicação, a rede *fieldbus* possui um isolamento elétrico satisfatório. As variações de tensão que aconteceram foram muito pequenas se comparadas com o valor final que estava sendo medido.
- O sistema permite uma análise das informações gerenciais (número de peças, tempos de ciclo, parada etc.) muito difícil de ser feita manualmente, já que ele contempla todas as informações necessárias, mostrando-as de forma clara e objetiva. Assim, a tomada de decisão fica mais rápida e acertada.
- Tanto a solução montada na FIM quanto a montada na TRW Varga consideram o chão-de-fábrica como uma linha de produção. Porém, o sistema se mostrou bastante flexível para outras abordagens do chão-de-fábrica, como células de produção.
- A análise dos dados armazenados da base de dados da produção possibilita combinações como motivos de parada mais frequentes, tempo total de produção da linha por peça etc. Além do mais, é possível obter informações que dizem respeito à rastreabilidade da peça, item de vital importância em se tratando das normas internacionais de qualidade ISO 9000 e QS 9000.

5.2 Proposta para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, seguem abaixo algumas sugestões interessantes:

- Pode-se usar a Internet para desenvolver um sistema de supervisão a distância. Tal sistema utilizaria as mesmas funcionalidades do atual sistema de aquisição de dados porém a análise dos dados poderia ser efetuada a distância. O *software* de supervisão utilizado possui essa funcionalidade.
- Utilizando-se do mesmo princípio de coleta de dados, pode-se usar o sistema de aquisição de dados para uma aplicação voltada para o diagnóstico da máquina, coletando apenas dados tecnológicos para análise, por especialistas, de possíveis melhorias na máquina em si. Com o auxílio da Internet, pode-se efetuar esse diagnóstico a distância.
- Outras abordagens de chão-de-fábrica, tais como células de produção, onde vários produtos/ordens de fabricação são fabricados ao mesmo tempo, podem ser consideradas. Isso ajudaria a aumentar a abrangência de utilização do sistema de aquisição de dados em operações de usinagem.
- É possível implementar no sistema índices de desempenho que meçam em tempo real o comportamento do chão-de-fábrica com relação ao que foi programado pela empresa.
- A integração desse sistema de aquisição de dados com os chamados sistemas de gestão empresarial se coloca naturalmente como o próximo passo no desenvolvimento de sistemas integrados de informação de chão-de-fábrica. Assim, um *Production Cockpit*, onde todas as informações da empresa estão disponíveis e integradas entre si, deixa de ser um sonho e passa a ser uma realidade possível de ser atingida.

6 Referências Bibliográficas

- [1] – DORNFELD, D. (1992). Application of acoustic emission techniques in manufacturing. NTD&E International, v. 25, n. 6, p. 259-269.
- [2] – KÖNIG, W.; KLUMPER, T. (1993). Monitoring and sensor concepts for higher process reliability. In: INTERNATIONAL GRINDING, 5., Cincinnati, p. 26-28.
- [3] – GORDON, G. A.; MOOSE, C. A. (1998). Multisensor monitoring of gear tooth fatigue for predictive diagnostics. TriboTest, v. 4, n. 4, p. 393-406, June.
- [4] – DEGARMO, E. P.; BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. (1997). Materials and processes in manufacturing. USA, Prentice-Hall.
- [5] – Modern Metal Cutting – a practical handbook.
- [6] – FERRARESI, D.; PALLEROSI, C. A.; RUFFINO, R. T. (1983). Fresamento (apostila)
- [7] – DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N.L. (1999). Tecnologia da usinagem dos materiais. São Paulo, MM editora
- [8] – OLIVEIRA, J. F. G. (1989). Tópicos avançados sobre o processo de retificação. São Carlos. 94p. Apostila – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- [9] – KRISHNAMURTHY, R.; PUGAZHENDI. (1996). Sensor-fusion for identification of process performance in deep hole drilling. In: INTERNATIONAL MANUFACTURING ENGINEERING

- CONFERENCE, University of Connecticut, 1996. Proceedings, London, Freund. p. 454-456.
- [10] – HASSUI, A.; DINIZ, A.E.; OLIVEIRA, J.F.G.; FELIPE, J.; GOMES, J.J.F. (1998). Experimental evaluation on grinding wheel wear through vibration and acoustic emission. Wear, v. 217, n. 1, p. 7-14, Apr.
- [11] – BYRNE, G. et al. Tool condition monitoring (TCM) – the status of research and industrial application. Annals of the CIRP, p. 1-27, 1995.
- [12] BLUM, T.; DORNFELD, D. A. (1990). Grinding process feedback using acoustic emission. /Presented at the International Grinding Conference and Exposition, 4., Detroit.
- [13] KONIG, W.; KLUMPEN, T. (1993). Monitoring and sensor concepts for higher process reliability. /Presented at the International Grinding Conference and Exposition, 5., Cincinnati.
- [14] JEMIELNIAK, K. (1999). Commercial tool condition monitoring systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 15, p. 711-721.
- [15] KISTLER INSTRUMENTE AG. (1989). Quartz load washers. Wintuthur, Kistler Instrumente AG. (Type 9001-9091 SN)
- [16] – PCB – Technical support. Introduction to Piezoelectric Accelerometers. http://www.pcb.com/tech_accel.html (dia 28/06/00).
- [17] MACRO SENSORS CORPORATE. <http://www.macrosensors.com/primer.htm> (01/03/2000).
- [18] OMEGA ENGINEERING. <http://www.omega.com/techref/themointro.html> (14/03/2000).
- [19] C3NET. <http://www.c3net.net/iesinc/temperat.htm> (14/03/2000).

- [20] – FELIPE JR, J. (1996). Contribuição para implementação de funções de retificação inteligente (R.I.) utilizando técnicas de monitoramento por emissão acústica. São Carlos,. 198p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- [21] – VERNADAT, F. B. (1996). Enterprise modeling and integration: principles and applications. England, Chapman & Hall. p. 317-383: Enterprise integration.
- [22] – FREEMAN, R. L. (1995). Practical data communication, USA, Wiley.
- [23] – HELD, G. (1991). Understanding data communications. England, Wiley.
- [24] – SCHEER, A. W. (1991) Principles of efficient information management. Germany, Springer-Verlag. Cap. 2, p. 83-86.
- [25] TANENBAUM, A. S. (1997). Redes de computadores. Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda.
- [26] – RAD Data Communication. Historic Overview. <http://www.rad.com/networks/1995/rs232/hist.htm#hist> (19/05/99)
- [27] – PROLOGEX. http://www.prologex.com/html/specification_rs485.html (08/05/2000).
- [28] – SIGTECH. http://www.sigtech.com/keltec/Amp/rs485_spec.html (08/05/2000).
- [29] – CHAMANE, L. A.; NUNES JUNIOR, A. F.; HANCKE, G. P. (1997). Industrial information infrastructure and intelligent instrumentation - the options. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, Guimarães, 1997. Proceedings, Piscataway. v.1, p. 44-48.
- [30] – FRANCO, L. R. H. R. (1998). A normalização do fieldbus: a dificuldade e o sucesso da aprovação do voto brasileiro. InTech, n.3, p. 31-34, Abril.

- [31] – ROCHA, I. R. (1998). Redes de comunicação industriais: solução ou opção?. InTech, n.4, p. 26-30, Maio.
- [32] – INTERBUS CLUB. <http://www.interbusclub.com> (12/08/99)
- [33] – TEX.EL. <http://www.tex-el.com/compare.htm> (06/01/2000).
- [34] – PHOENIX CONTACT. (s. d.) Interbus: the sensor/actuator bus. Wien.
- [35] – PHOENIX CONTACT. (1997). Interbus: user manual, general introduction to the Interbus system. Blomberg.
- [36] – PHOENIX CONTACT. (1994). Interbus-S - technical report: diagnostic advantages of an intelligent ring system.
- [37] – GERMAIN, G. L.; CLARKE, T. W. (1998). A.R.T. of supervisory control and data acquisition. In: INTERNATIONAL PIPELINE CONFERENCE, Calgary, 1998. Proceedings, Fairfield, ASME, p 895-902.
- [38] – GEROLD, J. S. (1998). PCs lead the way in operator display. Control Engineering, v. 45, n. 8, p. 67-76, June.
- [39] – TEK SOFT CONSULTING. <http://www.iinet.net.au> (25/08/1999)
- [40] – NEMOTO, Y. (1998). Plant supervision and control network. Mitsubishi Electric Advance, v. 82, p. 10-13, Mar.

Apêndice I

Prêmio Internacional

Resumo do Prêmio

Todas as instituições que participam do Programa de Aliança Universitária dos Estados Unidos, Canadá e América Latina são convidados a participar do Programa de Premiação. São duas modalidades: desenvolvimento de *curriculum* e pesquisa e aplicação.

Desenvolvimento de Curriculum

Uma meta primária do Programa de Aliança Universitário é apoiar faculdades no desenvolvimento de currículos inovadores e criativos que ensinem processos de negócios integrados, *supply chain management*, e outros tópicos educacionais incorporando o R/3 como ferramenta de ensino e aprendizado. Propostas que demonstrem aplicações novas e inovadoras de R/3 em negócio, engenharia, MIS, administração de produção, administração de serviços e outros programas de graduação são encorajados.

Também são encorajadas propostas para o desenvolvimento de currículos que demonstrem a interdependência global de *supply chain planning e managment* e/ou projetos de currículos que incorporem SAP *New Dimension Products* incluindo *Business Warehouse (BW)*, *Business Workbench (BW)*, *Advanced Planner and Optimizer (APO)*, *Business to Business Procurement (B2B)* e *Customer Relationship Management (CRM)*.

Pesquisa e Aplicação

Uma meta secundária do Programa de Aliança Universitária é focado em pesquisa e desenvolvimento. Propostas que demonstrem aplicações criativas e soluções para pesquisar problemas incluindo, mas não limitados, a tópicos como a interface de R/3 com tecnologia digitais (por exemplo câmara digital, vídeo digital, som digital), aplicações de robótica, *data mining*, *Global Positioning Systems (GPS)*, aplicações base *web* e administração de conhecimento são encorajadas como projetos que aplicam SAP *New Dimension products Business to Business Procurement (B2B)* e *Customer Relationship Management (CRM)*.

Apêndice II

Programações CNC das Máquinas Para a Fabricação do Eixo FIM

Torno

N10 G0 G53 X300 Z360 M8	N400 G0 X23.0	N800 G0 X33.0 Z-2.0 M8
N20 TRANS Z303.470	N410 G0 Z-4.0	N810 LIMS=3000 G96 S120
N30 G95 M08 S2000 T1 D1 M4	N420 G1 X20.1 F0.1	N820 G1 X12.5 F0.05
N40 G0 X33.0 Z0	N430 G1 Z-53.5 F0.3	N830 G0 X33.0
N50 LIMS=3000 G96 S120	N440 G1 X20.5	N840 G0 Z-4.0
N60 G1 Z0.3 F0.1	N450 G1 Z-67.9	N850 G1 X12.5 F0.05
N70 G1 X0.0	N460 G0 X20.7	N860 G0 X33.0
N80 G0 X140 Z20.0 M5	N470 G0 Z-4.0	N870 G0 Z-6.0
N90 G4 F3	N480 G1 X19.3 F0.1	N880 G1 X12.5 F0.05
N100 M24	N490 G1 Z-40.2 F0.3	N890 G0 X140.0
N110 M22	N500 G0 X140 Z20.0	N895 G0 Z20.0
N120 G95 S2000 T3 D1 M4	N510 G95 S2000 T5 D1	N900 G95 S2000 T1 D1
N130 LIMS=3000 G96 S120	N520 LIMS=3000 G96 S180	N910 G0 X33.0 Z-7.0
N140 G0 X33.0 Z-1.0	N530 G0 X33.0 Z0.0	N920 LIMS=3000 G96 S120
N150 G1 X19.5 F0.05	N540 G1 X20 F0.3	N930 G1 X28.9 F0.1
N160 G0 X33.0	N550 G1 X16.0 F0.1	N940 G1 Z-57.82 F.3
N170 G0 Z-2.0	N555 G1 X19.0 Z-1.5	N950 G0 X29.1
N180 G1 X19.5 F0.05	N560 G1 Z-39.3 F0.1	N960 G0 Z-7.0
N190 G0 X33.0	N570 G1 X18.6 F0.1	N970 G1 X26.1 F0.1
N200 G0 Z-3.0	N580 G1 Z-40.3 F0.1	N980 G1 Z-57.82 F0.3
N210 G1 X19.5 F0.05	N585 G1 X18.7	N990 G0 X26.3
N220 G0 X140.0 Z20.0	N590 G1 X19.55 Z-40.8	N1000 G0 Z-7.0
N230 G95 S2000 T1 D1	N600 G1 Z-53.6 F0.1	N1010 G1 X23.3 F0.1
N240 LIMS=3000 G96 S120	N610 G1 X20.2	N1020 G1 Z-57.82 F0.3
N250 G0 X33.0 Z-4.0	N620 G1 Z-67.0 F0.2	N1030 G0 X23.5
N260 G1 X29.0 F0.1	N630 G1 X19.6 F0.1	N1040 G0 Z-7.0
N270 G1 Z-104 F.3	N640 G1 Z-68.0	N1050 G1 X20.5 F0.1
N280 G0 X29.2	N650 G1 X24.8 F0.1	N1060 G1 Z-57.82 F0.3
N290 G0 Z-4.0	N660 G1 X26.8 Z-69.0 F0.1	N1070 G0 X20.7
N300 G1 X27.1 F0.1	N670 Z-104 F0.3	N1080 G0 Z-7.0
N310 G1 Z-104.0 F0.3	N680 G0 X30 M5	N1090 G1 X18.5 F0.1
N320 G0 X27.3	N690 G0 G53 X300 Z350 D0	N1100 G1 Z-24.5 F0.3
N330 G0 Z-4.0	N700 G4 F4	N1110 G1 X20.1
N340 G1 X25.3 F0.1	N710	N1120 G1 Z-43.42
N350 G1 Z-67.9 F0.3	N730 G4 F2 M9	N1130 G0 X20.3
N360 G0 X25.5	N740 M23	N1140 G0 Z-7.0
N370 G0 Z-4.0	N750 M0	N1150 G1 X16.5 F0.1
N380 G1 X22.8	N760 TRANS Z294.400	N1160 G1 Z-26.4 RND=1.4 F0.2
N390 G1 Z-67.9 F0.3	N770 M22 M8	N1170 G1 X18.7
	N790 G95 S2000 T3 D1 M4	N1180 G0 Z-7.0

APÈNDICE II

N1190 G1 X14.2 F0.1	N1530 G53 X300 Z360 D0
N1200 G1 Z-22.6 F0.3	M5
N1210 G1 X16.5	N1540 G4 F4 M9
N1220 G1 Z-26.7	N1550 M23
RND=1.8 F0.2	M1560 M25
N1230 G1 X20.3	N1570 M30
N1240 G0 Z-7.0	
N1245 G1 X12.4 F0.1	
N1250 G1 Z-22.6 F0.3	
N1255 G0 X140	
N1260 G0 Z20	
N1270 G95 S2000 T5 D1	
M4	
N1280 G0 X33.0 Z0.0	
N1290 LIMS=4000 G96	
S180	
N1300 G1 X12.5 F0.3	
N1310 G1 X12.0 F0.1	
N1320 G1 X12.2 Z-0.8	
F0.15	
N1330 G1 Z-21.7 F0.2	
N1333 G1 X11.6 F0.05	
N1335 G1 Z-22.7	
N1340 G1 X15.0 F0.1	
N1345 G1 X16.2 Z-23.9	
N1350 G1 Z-27.0	
RND=2.0	
N1360 G1 X17.7	
N1365 G1 X19.55 Z-28.3	
N1370 G1 Z-43.52 F0.1	
N1380 G1 X20.2	
N1390 G1 Z-56.92 F0.2	
N1400 G1 X19.6 F0.1	
N1410 G1 Z-57.92	
N1420 G1 X24.8	
N1430 G1 X26.8 Z-58.92	
N1440 G0 X140 Z20	
N1450 G95 M3 S800 T8	
D1	
N1460 G0 X33.0 Z-3.8	
N1470 LIMS=3000 G96	
S80	
N1480 G1 X12 F0.3	
N1490 G1 X11.2 F0.05	
N1500 G4 F1	
N1510 G0 X140	
N1520 G0 Z20	

Centro de Usinagem

N5 G90 G95 G55 G71
N10 T01 L96
N15 D01 G95
N20 M03 S1000
N25 M08
N30 G00 X29.0 Y27.5
N35 Z5.0
N40 L3602 F0.1
N45 G00 X55.0
N50 L3602 F0.1
N55 M09
N60 M05
N65 T02 L96
N70 D02 G95
N75 M03 S1000
N80 M08
N85 G00 X29.0 Y27.5
N90 Z5.0
N95 L3604 F0.1
N100 G00 X55.0
N105 L3604 F0.1
N110 M09
N115 M05
N120 T03 L96
N125 D03 G95
N130 M03 S1000
N135 M08
N140 G00 X29.0 Y27.5
N145 Z5.0
N150 G01 Z-2.0 F1.0
N155 X55.0 F0.08
N160 Z5.0 F2.0
N165 G00 X29.0
N170 G01 Z-4.0 F1.0
N175 X55.0 F0.08
N180 G00 Z40
N185 M09
N190 M05
N195 M30

Retificadora

N10 P1=-7 P2=0 P3=35
P4=30
N20 M3 S210
N30 G00 X200.00 M8
N40 G00 Z2.00
N50 G01 X22.00 F200000
N60 G23 Z-2.00 F5000
N70 G04 H3
N80 G10 Z0
N90 G01 Z0.3 F5000
N100 G00 X20.600
N110 G23 X20.300 F5000
N120 M31
N140 G23 X20.100 F5000
N150 M32
N170 G23 X20.043 F5000
N180 G01 X20.003 I P1 F60
N190 G01 X19.983 I P1 F20
N200 G04 H P3
N205 G01 F1000 K0.5
N210 G01 I0.05 K-0.05
F20000
N220 G00 X35.000
N370 G00 Z-84.
N380 G00 X22.00
N390 G23 Z-83.5 F5000
N400 G01 K-0.2 F50000
N470 G23 X20.043 F5000
N480 G01 X20.003 I P1 F60
N490 G01 X19.983 I P1 F20
N500 G04 H P3
N505 G01 F1000 K-0.5
N510 G01 I0.05 K0.05
F5000
N520 G00 X200.000
N530 M05
N540 M09
N560 M30

Apêndice III

Sub-programa da Botoeira Feito no PC Worx[®]

```

RESET:= (AUX1) OR (AUX2) OR (AUX3) OR (AUX4) OR (AUX5) OR (AUX6);
SR1(SET1:=MOT1, RESET:=RESET);
AUX1:= SR1.Q1;
SR2(SET1:=MOT2, RESET:=RESET);
AUX2:= SR2.Q1;
SR3(SET1:=MOT3, RESET:=RESET);
AUX3:= SR3.Q1;
SR4(SET1:=MOT4, RESET:=RESET);
AUX4:= SR4.Q1;
SR5(SET1:=MOT5, RESET:=RESET);
AUX5:= SR5.Q1;
SR6(SET1:=MOT6, RESET:=RESET);
AUX6:= SR6.Q1;
IF (AUX1=TRUE)
    THEN MOTIVO: = 'Carga e Descarga';
END_IF;
IF (AUX2=TRUE)
    THEN MOTIVO: = 'Troca de Ferramenta';
END_IF;
IF (AUX3=TRUE)
    THEN MOTIVO: = 'Manutenção Elétrica';
END_IF;
IF (AUX4=TRUE)
    THEN MOTIVO: = 'Manutenção Mecânica';
END_IF;
IF (AUX5=TRUE)
    THEN MOTIVO: = 'Setup';
END_IF;
IF (AUX6=TRUE)
    THEN MOTIVO: = 'Problemas Operacionais';
END_IF;

```