Campus de São Carlos

**CNCs DE ARQUITETURA ABERTA NA
MANUFATURA: ANÁLISE E SÍNTESE**

OSVALDO LUÍS ASATO

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Yassushi Inamasu

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Mecânica

DEDALUS - Acervo - EESC

31100017089

**CNCs DE ARQUITETURA ABERTA
NA MANUFATURA: ANÁLISE E SÍNTESE**

OSVALDO LUÍS ASATO
Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Yassushi Inamasu

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 12 / 01 / 01
Ass.:

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.

São Carlos – SP
2000

Class.	TESE
Cutt.	0487
Tombo	023/01

st 1128336

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

A798c Asato, Osvaldo Luís
CNC's de arquitetura aberta na manufatura : análise
e síntese / Osvaldo Luís Asato. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Yassushi Inamasu.

1. Máquina - ferramenta. 2. CNC. 3. Arquitetura
aberta. I. Título.

Dedicatória

Aos meus pais, Guisho e Luiza;
A minha esposa Alice e meus irmãos.

Agradecimentos

A Deus pela oportunidade e estímulo nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Yassushi Inamasu, pela amizade e constante apoio, desde a época de estagiário da Embrapa.

Ao Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto, pela confiança e amizade.

Em especial ao amigo Edilson R. R. Kato pela inestimável contribuição do início ao fim, ao Elídio Lobão e a Creusa Sayuri Tahara pelo companheirismo e apoio irrestrito na elaboração dessa dissertação.

Aos amigos do laboratório, Ana Cristina, Ana Paula, Jandira, João, José Luis, Mamoru, Marcelo Guerra, Marcelo Colmanetti, Orides Morandin, Osvaldo Oshiro, Politano, Roberto Tsunaki, Rogério Ikegami, pela disposição em ajudar no desenvolvimento do trabalho e principalmente pela amizade.

Aos amigos, Eng. João Ueda da Empresa CBD Metal Mecânica Ltda, Eng. Reinaldo Schuman e Eng. Geraldo de Assis, da Empresa Tecumseh do Brasil, pela colaboração para que eu concluísse essa dissertação, ao Eng. Fábio Groppo da Empresa Romi S.A. pelas informações técnicas.

A Prof^a. Marcelina, Prof^a. Janete, Prof. Marcos Imamura, Prof. Marco Finocchio do CEFET pela amizade e cooperação.

Aos amigos Gilson Kawakame, João Ângelo Martini e Lincoln Serikawa pelo apoio nas dificuldades e incentivos constantes.

A Sra. Ana Paula e a Srta. Bete da Secretaria de Pós-graduação e a Sra. Elisabete do serviço gerais do NUMA e a todos os funcionários do departamento que contribuíram para o trabalho.

À CAPES, pela bolsa concedida.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	PROPOSTA DO TRABALHO.....	3
1.2	MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO DO CNC DE ARQUITETURA ABERTA...	4
1.3	ESTRUTURA DESSE TRABALHO.....	6
2	REVISÃO HISTÓRICA DA TECNOLOGIA	7
2.1	SISTEMA DE MANUFATURA	7
2.2	ESTRUTURA DE UMA MÁQUINA – FERRAMENTA.....	11
2.3	FASES EVOLUTIVAS DO COMANDO NUMÉRICO.....	12
2.3.1	PRIMEIRA GERAÇÃO.....	15
2.3.2	SEGUNDA GERAÇÃO.....	16
2.4	COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO (CNC)	16
2.5	ARQUITETURA DO CNC	20
2.5.1	MÁQUINA FERRAMENTA (SISTEMA MECÂNICO)	20
2.5.2	SISTEMA ELETRÔNICO	21
2.5.3	PROGRAMAÇÃO.....	28
2.6	INTEGRAÇÃO CNC – CLP	35
2.6.1	ORIGEM DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	37
2.6.2	ARQUITETURA DE UM CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	39
2.6.3	PROCESSAMENTO INTERNO DO PROGRAMA DO CLP	39
2.6.4	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO CLP	42
2.6.5	ESTRUTURA DO PROGRAMA CLP	45
2.7	CNC DE ARQUITETURA ABERTA	46
3	CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS CNCs DE ARQUITETURA ABERTA	51
3.1	TIPOS DE ARQUITETURAS.....	51
3.2	CLASSIFICAÇÃO DOS CNC's DE ARQUITETURA ABERTA.....	62

3.2.2	- CLASSIFICAÇÃO ARQUITETURAS EM RELAÇÃO AO HARDWARE E SOFTWARE ..66
3.2.3	- CLASSIFICAÇÃO DAS ARQUITETURAS EM FUNÇÃO DAS FUNCIONALIDADES ...69
3.2.4	- CLASSIFICAÇÃO DAS ARQUITETURAS DE ACORDO COM AS FLEXIBILIDADES ...71
3.2.5	- COMPARAÇÃO DO CNC CONVENCIONAL COM O CNC DE ARQUITETURA ABERTA..75
3.3	ANÁLISE DOS CNCs DE ARQUITETURA ABERTA NA MANUFATURA. 77
3.4	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE CNCs DE ARQUITETURA ABERTA.....81
4	CONCLUSÃO 84
4.1	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS 85
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....87

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 Domínio de aplicação do FMS*
- Figura 2.2 Metas do Sistema Flexível de Manufatura*
- Figura 2.3 Principais componentes da máquina-ferramenta CNC (OSHIRO, 1998)*
- Figura 2.4 Evolução do aumento de recursos em relação ao Tempo*
- Figura 2.5 CNC de controle ponto a ponto (MACHADO, 1987)*
- Figura 2.6 CNC de controle de percurso (MACHADO, 1987)*
- Figura 2.7 CNC de controle de trajetório*
- Figura 2.8 Máquina-ferramenta CNC*
- Figura 2.9 Arquitetura elétrica de uma máquina CNC*
- Figura 2.10 IHM de uma máquina ferramenta*
- Figura 2.11 Chassis para alocação dos módulos*
- Figura 2.12 Cartão de memórias do CNC*
- Figura 2.13 CNC Trajetória programada*
- Figura 2.14 CNC Trajetória do ponto inicial*
- Figura 2.15 CNC Controle para execução de rosca*
- Figura 2.16 Integração entre CNC e CLP*
- Figura 2.17 Processamento do Programa (ORKAN, 1998)*
- Figura 2.18 CPU do Controlador Programável*
- Figura 2.19 Função AND*
- Figura 2.20 Diagrama de Contato (LAD)*
- Figura 2.21 Lista de Instruções (LIST)*
- Figura 2.22 Diagrama Lógico (DL)*
- Figura 2.23 Estrutura do Programa do CLP (NATALE, 1989)*

- Figura 2.24*   *Configuração do Hardware do CNC de Arquitetura Aberta*
- Figura 2.25*   *Visão Geral do Controlador de Arquitetura Aberta*
- Figura 3.1*   *Plataforma de sistema e Unidades Funcional (OSHIRO, 1998)*
- Figura 3.2*   *Configuração do Software (OSHIRO, 1998)*
- Figura 3.3*   *Planta Simplificada do Sistema OMAC (YEN, 1998)*
- Figura 3.4*   *Hardware arquitetura Mosaic*
- Figura 3.5*   *Arquitetura Global do Hardware do HOAM-CNC*
- Figura 3.6*   *Arquitetura convencional comparada com arquitetura da OSEC*
- Figura 3.7*   *Hardware do CNC convencional*
- Figura 3.8*   *Hardware do CNC de Arquitetura Aberta*
- Figura 3.9*   *Síntese das Arquiteturas Abertas CNC*

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1 Especificações Sistema de Arquitetura Aberta*
- Tabela 3.2 Relaciona os tipo de Arquitetura em função do Hardware e software*
- Tabela 3.3 Relaciona os tipo de Arquitetura em função da funcionalidade*
- Tabela 3.4 Relacionam tipos de Arquiteturas X Flexibilidades de atuação*
- Tabela 3.5 Comparação do CNC convencional com CNC de Arquitetura Aberta*
- Tabela 3.6 Análise dos CNCs de Arquitetura Aberta na Manufatura*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CALS	Suporte logístico e aquisição auxiliado por computador <i>Computer-Aided Acquisition and Logistic Support</i>
CIM	Manufatura Integrada por Computador <i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado <i>Computerised Numerical Control</i>
CPU	Unidade Central de Processamento <i>Central Processing Unit</i>
DNC ¹	Comando Numérico Direto <i>Direct Numeric Command</i>
DNC ²	Comando Numérico Distribuído <i>Distribuit Numeric Command</i>
DSP	Processadores Digitais de Sinais <i>Digital Signal Processor</i>
FMS	Sistema Flexível de Manufatura <i>Flexible Manufacturing System</i>
HOAM	Sistema CNC de Arquitetura Aberta Hierárquica para Máquinas-ferramentas <i>Hierarchical Open Arquiteure Multi-processor – CNC</i>
ISA	Arquitetura padrão industrial <i>Industry Standards Architecture</i>
MOSAIC	Controlador Inteligente Avançado de Sistema Abeto para Máquinas-ferramentas <i>Machine Tool Open System Advanced Intelligent Controller</i>
NGC	Controlador da Proxima Geração <i>Next Generation Contoller</i>
OMAC	Controlador Aberto de Arquitetura Modular <i>Open Modular Architecture Controllers</i>
OSACA	Arquitetura de Sistema Aberto para controle dentro dos sistemas de automação <i>Open System Architecture for Controls within Automation Systems</i>

OSEC	Ambiente para Controlador de Sistema Aberto <i>Open System Environment for Controller</i>
PROFIBUS	<i>Process Field Bus</i>
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i>
PLC	Controlador Lógico Programável <i>Programmable Logic Controller</i>
SERCOS	Sistema Operacional de conexão rápida de modo serial <i>Serial Environment for Rapid Connections of Open Systems</i>
TCP/IP	Protocolo de controle de transmissão <i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i>

RESUMO

Asato, Osvaldo Luís. *CNCs de Arquitetura Aberta na manufatura: Análise e Síntese*, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, Brasil, julho 2000.

Este trabalho apresenta uma Análise sobre os Comandos Numéricos Computadorizados de Arquitetura Aberta aplicado na automação de Máquina-ferramentas e no uso da manufatura. É realizado uma classificação das Arquiteturas Abertas (em relação ao hardware, software, funcionalidade e flexibilidade) e uma comparação entre os CNC's convencionais e os CNC's de Arquitetura Aberta.

Palavras chaves: Máquina ferramenta, Comando Numérico Computadorizado, Arquitetura Aberta, Controlador Lógico Programável, Sistemas de Manufatura.

ABSTRACT

Asato, Osvaldo Luís, *CNCs Open Architecture in manufacturing: Analysis and Synthesis*. Dissertation - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, Brazil, 2000 July.

This work presents an Open Architecture CNCs analysis. An Open Architecture classification using hardware, software, functionality and flexibility are presented. A comparison table with conventional CNCs and this new class of CNCs are elaborated.

Keywords: Machine-tools, Computadorized Numeric Command;
Programmable Logic Controller; Open Architecture,
Manufacturing Systems.

---

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda e a evolução da tecnologia de automação industrial nos sistemas de manufatura fizeram com que as necessidades do sistema produtivo se tornassem mais complexas para o atendimento da demanda. Novas técnicas e metodologias tais como a integração CIM e filosofias de trabalho JIT, tornaram-se indispensáveis para se atingir estes objetivos.

Desta forma as máquinas e equipamentos de chão de fábrica, tiveram que se adaptar a esse novo cenário dos sistemas produtivos.

E devido a grande diversidade de fabricantes de máquinas e equipamentos, os engenheiros e técnicos começaram a encontrar limitações nos equipamentos quanto da necessidade de expansão, manutenção e principalmente integração destas chamadas "ilhas" de produção.

Assim, tornou-se evidente a necessidade de se estabelecerem regras entre os fornecedores de equipamentos e usuários devido ao surgimento de problemas para implantar e manter esta complexa rede de controladores e equipamentos, no chão de fábrica. Principalmente em fábricas que empregam técnicas baseadas em funcionamento automático, máquinas CNC e a

integração dos seus equipamentos, responsáveis pela produção desses sistemas de manufatura.

Os problemas de integração e manutenção de *hardware* e *software* geralmente não permitem a utilização dos mesmos equipamentos de controle, gerando custos elevados para a busca de uma solução no sentido de aumento da produção da fábrica.

Desta forma foram propostas soluções visando o trabalho em Ambiente Aberto. O significado de Ambiente Aberto para Wada (WADA, 1996) é não ficar dependente da tecnologia de um fabricante, permitindo ao usuário comprar livremente *hardware* e *software* de vários fabricantes e poder livremente combinar o equipamento adquirido.

Os primeiros Controladores de Arquitetura Aberta surgiram na década de 80. O National Institute of Standards and Technology (NIST) propôs e utilizou o RCS (Real-time Control System) um modelo de arquitetura de 15 anos atrás (PROCTOR, 1993). O modelo RCS serviu como base para o programa NGC (Next Generation Controller), co-patrocinada pela NCMS (National Center for Manufacturing Sciences) e Força Aérea dos Estados Unidos, verificando as necessidades industriais de um controlador para a próxima geração. As pesquisas iniciaram com o desenvolvimento da norma SOSAS (Specification for an Open Systems Architecture Standard) (KOREN, Y; et ali, 1996).

Apesar desses esforços, o CNC de Arquitetura Aberta permanece ainda sem a definição de um padrão universal. Há várias arquiteturas em estudo como, MOSAIC, OSACA, OSEC, OMAC, HOAM as quais, por permitir alteração no *software* e no *hardware*, fornecem muitas configurações possíveis de programação.

1.1 PROPOSTA DO TRABALHO

O uso dos CNC's de Arquitetura Aberta em máquina-ferramentas tem sua relevância por tratar de uma tecnologia que busca padronizar os elementos de automação dessas máquinas, trazendo facilidades de implementação e manutenção aos usuários e fabricantes. O CNC de Arquitetura Aberta está sendo classificado como a terceira geração de controladores para máquinas (YAMAZAKI, 1996).

A arquitetura aberta tem a capacidade de integrar e obter soluções de controle com vários fornecedores de forma a criar uma larga faixa de escolha para aquisição de equipamentos, podendo se encontrar uma solução confiável e fácil de se implementar a um custo menor.

Na aplicação dos CNC's de Arquitetura Aberta em máquinas ferramenta ainda não existe consenso na definição de uma Arquitetura Aberta padrão em relação ao seu hardware e seu software.

Assim este trabalho de dissertação propõe analisar os tipos de CNC's de Arquitetura Aberta descrevendo as características de cada tipo e comparando sua estrutura, forma de implementação e uso com o CNC convencional.

São descritos os tipos de CNC de arquitetura aberta e realizada uma classificação desses CNCs em relação a vários critérios, tais como hardware e software, funcionalidade e flexibilidade.

Além de analisar as tendências futuras a respeito dos CNC's Arquitetura Aberta.

Na análise, este trabalho busca os tipos de arquiteturas que estão em desenvolvimento, tais como as arquiteturas OSACA, OMAC, MOSAIC,

HOAM-CNC e OSEC cujo enfoque são as áreas de aplicações industriais em máquinas utilizando o CNC de Arquitetura Aberta.

Quanto às vantagens dos CNC's de Arquitetura Aberta em relação ao CNC convencional, será enfocadas a integração de "ilhas" de automação e as facilidades de operação.

1.2 MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO DO CNC DE ARQUITETURA ABERTA

A maioria das máquina-ferramentas utilizam o sistema de Comando Numérico de terceiros que são desenvolvidos de acordo com a tecnologia exclusiva dos respectivos fabricantes, desta forma os usuários acabam enfrentando restrições e uma dependência do fabricante, quanto a alterações e manutenções. Destas restrições e dependências, podem ser citadas (OSHIDA, 1996):

- A rigidez na configuração original do controle dos eixos, isto é, não permite a reconfiguração do equipamento de acordo com as necessidades locais da máquina;
- O programa fonte não é transparente o suficiente para permitir a personalização do sistema a um determinado cliente, não permitindo a implementação ou alteração nas linhas de programa;
- A falta de compatibilidade de protocolos de comunicação entre as unidades de fabricantes diferentes;
- A falta de compatibilidade física entre as unidades de fabricantes diferentes, impossibilitando a integração com outros equipamentos ou outras células de produção;

- A falta de padrões de hardware que possam ser intercambiáveis, permitindo uma gama de soluções maior para a automação das máquinas.

Dessa forma são necessárias alterações para a intercambialidade entre unidades de fabricantes diferentes, tanto em termos de *hardware* como de *software*, sendo essencial para integrar um sistema de manufatura.

Quanto à manutenção, a falta de acesso aos códigos fonte do programa principal não permite gerar novas funções ou alterar as já existentes, levando a uma dependência do fabricante do equipamento.

Assim, a partir da solução dessas necessidades, soluções utilizando equipamentos padrões, compatíveis no *hardware* com barramentos comuns e no *software* com a disponibilização dos programas fontes, começaram a surgir, alavancadas pela informatização desde o chão de fábrica até o controle administrativo.

O CNC de Arquitetura Aberta segue a mesma filosofia de arquitetura aberta que possibilitou a padronização e o desenvolvimento dos microcomputadores pessoais e sua integração em todos os níveis do processo produtivo das corporações, sendo uma extensão natural da implementação de tecnologias de integração tais como CIM, FMS, MRPII, SAP, etc.

Isto torna o estudo e a análise do CNC de Arquitetura Aberta uma contribuição relevante para seu entendimento, uso e difusão tanto para a pesquisa como para a aplicação nas indústrias manufatureiras que buscam a implementação de novas formas de trabalho e técnicas para o atendimento da demanda.

1.3 ESTRUTURA DESSE TRABALHO

O capítulo 2 contém uma breve revisão histórica da tecnologia, onde é descrita a evolução dos comandos numéricos, são descritos os componentes de um CNC, tanto ao nível de software como hardware e sua integração com os controladores lógicos programáveis (CLP), além do histórico dos CNCs de arquitetura aberta.

O capítulo 3 descreve os tipos de CNC de arquitetura aberta pesquisados e realiza uma classificação desses CNCs de Arquitetura aberta em relação a vários critérios tais como hardware e software, funcionalidade e flexibilidade, além de uma comparação dos CNCs de arquitetura aberta com os CNCs convencionais existentes. São apresentadas as vantagens e desvantagens do uso dos CNCs de Arquitetura Aberta e as tendências de seu uso.

A conclusão do trabalho é apresentada no capítulo 4 e no capítulo 5 são apresentadas as referências bibliográficas pesquisadas.

2 REVISÃO HISTÓRICA DA TECNOLOGIA

Com a evolução tecnológica as distancias são vencidas em menor tempo, os meios de comunicações se difundiram velozmente, a economia se globalizou, o mercado ficou mais competitivo e o sistema de produção tornou-se mais flexível para acompanhar essas mudanças. Diante deste quadro, o CNC de Arquitetura Aberta é um exemplo desse desenvolvimento.

Este capítulo realiza uma revisão a respeito dessa evolução tecnológica, abrangendo desde os sistemas de manufatura e as máquinas até o hardware e o software dos equipamentos utilizados para realizarem essa automação.

2.1 *Sistema de Manufatura*

Um sistema de manufatura realiza várias etapas que transformam a matéria prima bruta até o produto final desejado, sendo que para essas transformações possam ocorrer, muitos equipamentos são utilizados, tais como,

transportadores de carga, veículos autoguiados (AGV), robôs para alimentar as máquinas, centros de usinagem, estações de montagens, equipamentos de inspeções e controle de qualidade além de muitos outros.

Neste capítulo procura-se mostrar onde se situar as máquina-ferramentas equipadas com controle numérico computadorizado diante dos sistemas de manufatura buscando a ampla necessidade de utilização de sistemas de controle avançados e flexíveis.

Segundo BELL et al (1988), as indústrias podem ser divididas de acordo com o seu volume de produção e a variedade de peças, como descrito na Figura 2.1. Em particular, indústrias que trabalham com um volume de produção de porte médio e um diversificado número de peças tem o domínio de aplicações do Sistema de Manufatura Flexível (FMS).

Figura 2.1- Domínio de aplicação do FMS (BEL, 1988).

No que diz respeito aos FMSs, onde se torna evidente a utilização de máquinas totalmente automatizadas, isto é, controladas por CNCs e CLPs, GROOVER (1980) subdivide o em três categorias: Estação de processamento, Sistema de movimentação e armazenamento de materiais e Sistema de controle, que são descrita a seguir.

Estação de processamento

As estações de processamento do Sistema de Manufatura são as máquinas, que permitem usinar uma família de peças, onde algumas vezes são incluídas estações de inspeção, máquinas especiais com magazines com trocador automático de ferramentas, entre outras, para processar uma grande variedade de peças em uma determinada seqüência, ou não pré-programadas.

Sistema de movimentação e armazenamento de materiais

O sistema de movimentação e armazenamento de materiais executa as tarefas de transporte, manipulação e armazenagem de peças no interior da fábrica.

O transporte automático das peças de uma máquina para outra pode ser realizado utilizando-se de veículos autoguiados (AGV) e/ou robôs industriais.

Sistema de controle

O sistema de controle é empregado para coordenar as atividades das estações de processamento e do sistema de movimentação e armazenagem.

Pode ainda realizar funções como armazenar os programas de usinagem NC de cada peça, distribuir os programas para cada máquina CNC individualmente, controlar a produção, controlar o tráfego, monitorar o sistema de movimentação, controlar as ferramentas, monitorar e informar o desempenho do sistema.

Dessa forma os FMS's são compostos por estações de trabalho, contemplando máquina-ferramentas controladas por computador, capacitando a executar automaticamente as operações de manufatura ou processos em um número diferente de peças, com as estações de trabalho ligadas por um sistema de manuseio sob controle de um computador que programa a produção e o movimento de peças entre as estações e o sistema de carga e descarga.

Estações de processamento são tipicamente máquina-ferramentas com CNC que usinam as peças de uma determinada família de peças.

Metas do FMS

Figura 2.2: Metas do Sistema Flexível de Manufatura.

Pela própria característica das máquinas CNCs, por terem maior versatilidade na programação de peças, o FMS possibilita a produção de peças variadas aumentando a flexibilidade do sistema de produção conforme ilustra a figura 2.2.

Segundo LOBÃO (1995), pode-se comparar a fábrica convencional a um encouraçado e o FMS a uma frota de pequenos destróieres, consistindo em módulos centrados numa etapa do processo de produção ou num número de operações estreitamente inter relacionadas. Embora o comando e o controle central continuem persistindo, há uma nova organização hierárquica, e cada módulo terá seu próprio comando e controle.

2.2 Estrutura de uma máquina – ferramenta

A Figura 2.3 ilustra de maneira simplificada as partes que compõem uma máquina–ferramenta CNC, onde os deslocamentos da mesa são realizados por meio de dois fusos de esfera independentes, cuja realimentação para o controle do posicionamento é feito pelos encoders (OSHIRO, 1998).

O Controlador Lógico Programável (PLC) é responsável pelo intertravamento da máquina, isto é, o sinal enviado ao acionamento do eixo árvore, bombas de refrigeração, relés, etc... só é permitido se estiver de acordo com a seqüência de programação.

O CNC é o responsável por realizar a retirada de sobrematerial da peça, sendo que a sua valiosa contribuição está em usinar peças de contornos complexos, de formas variadas e quantias diversificadas mantendo a repetibilidade das medidas e a qualidade final da peça.

Figura 2.3: Principais componentes da máquina–ferramenta CNC (OSHIRO, 1998).

Nos anos 70 os CNC utilizavam uma unidade computadorizada padrão que era adaptada em vários tipos de máquina-ferramentas pela programação das funções de controle na memória do computador. Hoje são pesquisados comandos numéricos com servomecanismos que corrigem as condições de corte, avanços, velocidades, profundidades, medidas finais, acabamento, etc. adaptando-se às condições de trabalho para que fiquem dentro de um valor pré-determinado, são os chamados comandos numéricos adaptativos.

2.3 Fases evolutivas do Comando Numérico

A tecnologia de automação industrial vem sendo desenvolvida em várias etapas, sendo que as primeiras idéias de comando numérico surgiram por volta de 1791 através de uma moenda automática por esteiras, posteriormente em 1804, Jacquard inventou a máquina de tear utilizando cartão perfurado marcando o início do controle de sistemas seqüenciais.

Por volta de 1836 Henry desenvolve o relé magnético. A álgebra de Boole, que é uma das bases matemáticas de controle de sistema de evento discreto, foi proposta em 1854 e, em 1936, Stiblitz desenvolve a primeira calculadora feita a base de relé. Na década de 40, o sistema de controle era realizado pelo operador e dispositivo de controle.

Nas primeiras máquina-ferramentas, o valor agregado pelo controlador sobre o sistema total da máquina não era significativo, portanto fabricantes de máquinas-ferramentas se preocupavam mais com a construção dos elementos mecânicos da máquina do que o sistema de comando.

Na década de 50 o sistema de controle passa a ter o operador auxiliado com três dispositivos, sendo um de *monitoração*, o segundo de controle e o terceiro dispositivo de *atuação*. O primeiro, sendo responsável pelas funções de

interface com o operador e o segundo, pelas funções de atuação no objeto de controle (MIYAGI, 1996).

O sistema de controle foi ganhando importância logo após a introdução de microprocessadores nos comandos (YAMAZAKI, 1996). O que permitiu a evolução das máquinas, priorizando a humanização do trabalho e aumento da produtividade através da técnica. A evolução da máquina-ferramentas como no caso do torno universal levou a criação do torno revólver, posteriormente ao torno automático, do torno copiador, do torno com programação elétrica e mecânica e por fim do torno controlado por programação via software (MACHADO, 1987).

Paralelamente houve um avanço na tecnologia dos materiais das ferramentas de corte, dos sistemas para gerenciar a manufatura e da comunicação entre as ilhas de automação, resultando desta forma, no aumento da produtividade e na melhoria da qualidade.

Abaixo, apresenta-se um breve histórico de forma cronológica, do desenvolvimento do Comando Numérico (Adaptado LOBÃO, 1995).

1940	- Mark I: primeiro computador construído pela Universidade de Harvard e pela IBM.
1949	- Contrato da PARSONS com a USAF para fabricar máquinas CN.
1952	- Demonstração da viabilidade técnica com protótipo da máquina CN funcionando pelo MIT (Massachusetts Institute Technology).
1953	- Desenvolvimento do sistema de programação pelo MIT.
1956	- Desenvolvimento das bases para a linguagem APT, de programação para CN através do computador pelo MIT.
1957	- Início da comercialização do CN e a ATA desenvolve a linguagem.

	APT para os computadores IBM.
1959	– Primeira máquina com trocador automático de ferramentas IBM – ENDICOTT.
1961	- A EIA publica as normas RS 244.
1962	- A BENDIX desenvolve o Comando Adaptativo.
1967	– Primeiras aplicações do CN no Brasil.
1969	- Surgiram os primeiros CLPs baseados nas condições estabelecidas pela G.M.
1970	– Aplicações dos primeiros comandos CNC.
1971	– Fabricado no Brasil o primeiro torno CN pela ROMI, com comando SLO-SYN.
1977	– Comando Numérico com CNC usando a tecnologia dos Micro-processadores.
1980	– Sistema flexíveis de fabricação são aplicados em larga escala.
1987	– Origem do Controlador de Arquitetura Aberta com projeto NGC. (Next Generation Controller) através da Força Aérea dos EUA (YAMAZAKI,1996).
1987	– Projeto MOSAIC (Machine Tool Open System Advanced Intelligent Controller) Controlador Inteligente Avançado de Sistema Aberto para Máquina-Ferramentas, desenvolvida na Universidade da Califórnia – EUA através do Prof. Paul Wright.
1992	– Primeira fase do Projeto Europeu OSACA EP6379 (Open Systems Architecture for Controls within Automation Systems).

1993 – Definição da Arquitetura OMAC (Open Modular Architecture Controls) pela união das empresas Chrysler, Ford, General Motors.

De acordo com a evolução dos comandos das máquinas, novos recursos foram incorporados aos controladores para facilitar a sua utilização, criando-se interfaces mais amigáveis e melhorando o desempenho do equipamento.

O gráfico da Figura 2.4 mostra a relação do aumento de recursos do comando com o passar do tempo.

Figura 2.4: Evolução do aumento de recursos em relação ao tempo.

De acordo com a evolução tecnológica dos sistemas computacionais, pode-se dividir a evolução dos controladores numéricos em duas gerações, a primeira, começando por volta de 1950, onde o sequenciamento das operações era realizado de forma mecânica e elétrica, e a segunda começando a partir da evolução da tecnologia dos microprocessadores.

2.3.1 Primeira Geração

A primeira geração de controladores inicia quando a indústria Cincinnati (USA) começa a desenvolver o Comando Numérico da fresa Hydrotel com o grupo de pesquisa do MIT (Massachusetts Institute Technology) em conjunto com Parsons Corporation e apoio da Força Aérea Americana (US Air Force).

O Comando Numérico revolucionou o processo de usinagem, deixando de ser artesanal passando a trabalhar de modo automático através dos programas em fitas perfuradas substituindo a técnica inerente do operador, passando ao domínio da máquina com a vantagem de uma melhor repetibilidade, precisão e velocidade.

2.3.2 Segunda Geração

A segunda geração de controladores se concretiza com o aprimoramento dos CNs, surgindo os CNCs (Comando Numérico Computadorizado). Com o advento dos microprocessadores denotam-se vários benefícios, como a facilidade de programar os movimentos dos eixos, fusos e maior confiabilidade do sistema no processo de leitura do programa.

Um dos fatores que contribuíram para melhorar a confiabilidade do CNC em relação ao CN, foi a eliminação da cabeça de leitura da fita perfurada, sendo esse, passível da ocorrência de falhas de leitura comprometendo todo sistema de operação.

A vantagem dos CNC's em relação ao CN é a facilidade em alterar o programa de usinagem armazenada nas memórias RAM do CNC, além de ser mais rápido e seguro, permite alterar com facilidade o programa em tempo real, através do teclado.

2.4 COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO (CNC)

O Comando Numérico Computadorizado CNC surgiu diante de uma dificuldade de produzir uma variedade de peças diferentes em um curto espaço de tempo e com alto grau de precisão. As partes físicas do CNC são constituídas de microprocessadores, que permitem o operador não somente iniciar o programa CN, como também programar, alterar a programação de

usinagem diretamente no comando, introduzir novos programas. Essas facilidades surgiram pelo fato de poder gravar os programas na memória RAM do comando (KATO, 1996).

De acordo com seu emprego os comandos numéricos podem dividir-se em duas classes: comando numérico ponto-a-ponto e comando numérico de caminho contínuo. (KOREN, 1983)

- Controle ponto a ponto.

O controle ponto-a-ponto (Figura 2.5) permite um posicionamento rápido dos eixos comandados em determinados pontos programados, dentro do intervalo de precisão e repetibilidade previstos, porém sem controle de trajetória para atingir esse ponto, esse tipo de controle ponto a ponto normalmente utilizado para comandar máquinas como furadeira.

Figura 2.5: CNC de controle Ponto a Ponto (MACHADO, 1987).

- Controle do Comando Numérico de percurso.

O controle de percurso se aplica quando a usinagem é realizada em linha reta e paralela aos eixos X e Y conforme A Figura 2.6.

Figura 2.6: CNC de Controle de Percurso (MACHADO, 1987).

- CN de trajetória.

O Comando Numérico contínuo garante além de um posicionamento preciso, sua trajetória é definida segundo os eixos comandados nas três dimensões (x,y,z) tanto na sua forma quanto na velocidade de corte. A Figura 2.7 ilustra esse comando numérico.

Desta forma produz peças de geometria complexa sem o uso de dispositivos onerosos e de difícil posicionamento na ferramenta.

Reduz o tempo de set-up (preparação da máquina), pois todas informações de ajuste são armazenadas no programa. A geometria da peça, uma vez aprovado o ajuste de seus parâmetros na máquina e os *presets* das ferramentas, podem ser produzidos repetidamente.

Figura 2.7: CNC de Controle de Trajetória.

O surgimento do CNC demonstrou eficiência e controle superior ao CN, podendo armazenar os programas de usinagem na memória do computador ou em disquete, programação de sub-rotinas, interpolação e controlar tarefas mais extensas. Resultando em armazenagem de programas provido de maior capacidade de controle em termo de qualidade e com quantidade. Desta forma o CNC tornou-se fundamental no sistema flexível de manufatura.

Os principais recursos oferecidos pelos comandos numéricos são (MACHADO, 1987), (LOBÃO, 1996), (KATO,1994):

- Troca automática de ferramentas e compensação do desgaste.
- Interpolações complexas em torneamento e fresamento.
- Opera varios tipos de roscas.
- IHM bastante amigável possibilitando troca de informação em tempo real.
- Compactação do ciclo de usinagem, o que antes era realizada em varias máquinas passa a realizar em uma única maquina.
- Melhoria na qualidade do serviço, devido a melhor precisão dos posicionamentos, repetibilidade e controle do desgaste da ferramenta.
- Possibilita alterações nas peças de forma rápida e de baixo custo no processo de usinagem.
- Uso racional das ferramentas, diminuindo o desgaste.
- Redução de refugos.
- Maior segurança ao operador, pois diminui a intervenção do mesmo no processo.
- Menor estoque de peça devido à rapidez de fabricação.

2.5 ARQUITETURA do CNC

A máquina ferramenta CNC pode ser vista como parte hardware e parte software, sendo o hardware dividido em sistema mecânico, isto é a máquina ferramenta propriamente dita, e sistema eletrônico, que é responsável pela automação da máquina. O software é o responsável pela programação tanto da usinagem da peça como do intertravamento e seqüências de controle da máquina. A Figura 2.8 ilustra uma máquina-ferramenta onde são apontados os seus componentes

Figura 2.8: Máquina Ferramenta CNC.

2.5.1 – Máquina Ferramenta (Sistema Mecânico)

Uma máquina CNC pode ser composta por motor principal para o giro do eixo árvore, motor da bomba do sistema do óleo refrigerante, sistema

hidráulico, sistema pneumático e sistema de transporte de cavacos. Considerando o controle dos eixos, possibilita executar:

- Troca de ferramenta automática.
- Parada orientada do fuso.
- Interpolação de eixos.

2.5.2 – Sistema eletrônico

O Sistema Eletrônico contempla uma Interface Homem Máquina (IHM), composta por um monitor e um teclado e um painel de comando. Também faz parte desse sistema, a unidade lógica de processamento (CPU) que realiza o controle dos eixos e do IHM e uma CPU responsável pelo controle dos intertravamentos e das seqüências de funcionamento da máquina tais como modos de operação, emergência, partida e parada da máquina.

A Figura 2.9 ilustra o sistema eletro-eletrônico completo de uma máquina CNC, onde a fonte de alimentação da rede elétrica trifásica alimenta o módulo de potência. O módulo de potência por sua vez alimenta os motores elétricos (cabos B). À medida que o motor é acionado o eixo do motor elétrico gira, e o sinal do encoder é lido pelo módulo de potência (cabo C), esse sinal de rotação é enviado do módulo de potência para o CNC (cabos D). De acordo com a programação, ocorre o controle de correção de rotação com o envio do sinal analógico ao modulo de potência (cabo A). A alteração ou uma rápida visualização em tempo real, é possível utilizando o terminal (cabo E).

Figura 2.9 - Arquitetura elétrica de uma máquina CNC

Cabo A: Envio de saída Analógica através do CNC.

Cabo B: Alimentação do motor.

Cabo C: Leitura dos sinais do motor.

Cabo D: Envio ao CNC de pulso dos Encoders.

Cabo E: Ajuste dos parâmetros e monitoramento (velocidade, rotação...).

A figura 2.10 ilustra a interface homem máquina (IHM) onde são destacados o monitor e teclado e o painel de comando.

Figura 2.10 – IHM de uma máquina ferramenta.

Monitor e teclado

O Monitor colorido pode ser do tipo *touch screen* (tela sensível ao toque) sendo funcionais para acesso aos modos de operação e o teclado por teclas alfanuméricas de funções para a programação e operação em tempo real.

Devido aos diversos formatos de visualização na tela, por exemplo: gráfico do perfil da peça, desenho da figura sólida, figura da peça em 3D há possibilidade de visualizar detalhes através do Zoom, verificar através da tela informações sobre a vida útil da ferramenta, checar o sistema de lubrificação é possível, a qualquer momento a verificação da máquina e das variáveis do programa em execução, bem como o acesso rápido e simples a diversas tabelas e parâmetros internos mantendo toda a informação necessária para o operador, programador e pessoal da manutenção.

O monitor pode ser instalado diretamente no gabinete elétrico e interligado à CPU através cabos, como pode possuir um gabinete específico posicionado em qualquer lugar da máquina.

Unidade Central de Processamento (CPU)

A CPU pode realizar o processamento tanto do controle dos eixos e da IHM, funções de Comando Numérico Computadorizado (CNC) como a varredura dos sinais de entrada e atuação nos relés de saída, funções do Controlador Lógico Programável (CLP).

Algumas dessas funções podem ser descritas abaixo:

- Executar todos cálculos aritméticos.
- Auxílio gráfico a programação.
- Edição e visualização em paralelo.
- Comunicação RS-232c e RS485.
- LAN (Local Area Network).
- DNC (Direct Numerical Control).

O hardware do CNC e do CLP pode se apresentar de diversas formas, tais como bastidores de conexões, microcomputadores industriais, racks de montagens, etc. A Figura 2.11 ilustra um bastidor de conexões e os módulos que compõem o hardware de controle de uma máquina CNC.

Figura 2.11 – Chassis para alocar os módulos

A estrutura acima é uma estrutura modular expansível, usualmente instalada dentro do gabinete elétrico possuindo duas opções de bastidores, para 4 e 6 módulos dependendo da necessidade.

1 Módulo Fonte de Alimentação

Este módulo é responsável pela alimentação do sistema, para que tenha uma fonte estabilizada, com baixo nível de ruído e protegida.

Este módulo contém:

- Módulo com controle de largura de pulso (PWM).
- Faixa de alimentação 85 a 265Vca auto – ajustável.
- Saída protegida contra curto circuito, sobrecarga, sobretensão.
- Ventilador incorporado.
- Bateria de Backup.

2

Módulo CNC – CPU

Este módulo é responsável pelo processamento do Comando Numérico Computadorizado (CNC), sendo que a CPU faz todo processamento aritmético do posicionamento e rotação dos eixos, a integração com a Interface Homem Máquina (IHM) e a troca de dados com o Controlador Lógico Programável CLP.

Este módulo contém:

- Microprocessador.
- Coprocessador Aritmético.
- Co-processador Gráfico.
- Memória de programa de usinagem expansível.
- Porta serial RS232/ RS422/ RS485.

3

Módulo de eixo + CLP

Este módulo é responsável pelo controle dos eixos atuando no seu posicionamento e rotação, à parte CLP, significa que está incorporado nesse modulo o controlador lógico programável para atuar nos eventos de controle discreto.

Este módulo contém:

- Entradas de transdutores de posicionamento linear (eixos).
- Entradas de transdutores de posicionamento angular (fusos).
- Ajuste dos parâmetros da máquina (resolução mínima de 0,0001mm).
- Transdutor com sinal senoidal, fator de multiplicação até 25 vezes.
- Velocidade de Avanço de 0,0001mm/min. Até 100m/min.
- Curso máximo permitido 100m.

- Entrada para apalpadores digital com sinal TTL ou 24V.
- Sistema de proteção: sobretensão, sobrecarga, conexão reversa, aquecimento.
- Microprocessador para o CLP.

4

Módulos de I/O

Estes módulos são os responsáveis pelo recebimento dos sinais digitais/analógicos externos e envio dos sinais para o meio externo.

Este módulo contém:

- Sinais de entradas digitais opto-isoladas.
- Sinais de saída digitais relés ou tiristorizadas.
- Sinais de entradas analógicas.
- Sinais de saída analógica.
- Sistema de proteção: sobretensão, sobrecarga, sobretemperatura e conexão reversa.

Painel de Comando

O painel de comando permite o controle da máquina através da seleção do modo de operação, tais como: modo de referenciamento, modo manual, modo de comunicação e modo automático, responsável pelos ajustes e presets da máquina.

- Executa o controle de rotação do eixo no modo manual.

- Controle de velocidade do movimento da ferramenta de forma manual. Botão de emergência, tipo “cogumelo”, responsável pela parada imediata dos movimentos da máquina.
- Controle de velocidade do eixo árvore (spindle);
- Preset de referenciamento da máquina;
- Modo de teste de execução de programa NC em vazio (dry run);
- Bloqueio e desbloqueio de eixos;
- Chave de segurança para alteração de programação;
- Botões de liga e desliga a refrigeração, o transportador de cavacos, lubrificação e hidráulico;
- Controle de alimentação de peças;
- Sistema de medição e contagem de peças e outras funções de acordo com o fabricante e/ou cliente.

Na Figura 2.10 pode-se escolher o volante de velocidade (Handweell) ou botão de parada de emergência para compor o painel de comando.

2.5.3 – Programação

A parte Software pode ser dividida em duas, software CNC e software CLP. Todo software do CNC é localizado na CPU-CNC em memória RAM ou EEPROM, pois nela está armazenado o programa NC, que durante a sua inicialização e a operação da máquina precisa ser constantemente atualizado (ajustes devido à mecânica da máquina, desgaste de ferramenta, etc.). No módulo eixo + CLP existe em memórias do tipo EPROM, o programa de controle de intertravamentos e da seqüência de funcionamento da máquina.

Neste caso, esse programa não sofre alterações constantes como o programa NC. São armazenados nessas memórias os programas e dados necessários para o funcionamento da máquina. Algumas dessas informações são descritas abaixo:

- Caracterização do tipo de máquina (torno, fresa, retífica, etc.);
- Posicionamento de ferramentas;
- Parâmetros de controle de eixos/entradas/saídas;
- Programa NC e Programa CLP;
- Mensagens de texto para o operador;
- Mensagens de alarme para o operador;
- Parâmetros de contagem de peças;
- Ciclo fixo de desbaste padrão;
- Sub-rotinas parametrizadas e outros que dependem da característica da máquina projetada.

A Figura 2.12 mostra a alocação do módulo de memória do CNC, onde estão localizados os parâmetros da máquina, o programa NC e os dados de posição de ferramenta, presets internos, etc., como descritos antes.

Figura 2.12– Cartão de memórias do CNC.

Para elaborar o programa de usinagem da peça utilizam-se basicamente das funções de posicionamento, funções preparatórias, funções auxiliares, funções de fim de bloco, podendo existir mais funções de acordo com o recurso do comando numérico computadorizado da máquina ferramenta.

Os programas CN são elaborados através de blocos de programação que contém as seguintes informações:

- O número do bloco;
- A tarefa a ser executada;
- As coordenadas em que esta tarefa deve ser executada e
- Como esta tarefa deverão ser executadas.

Exemplificando dois blocos de programa:

N80 G90 T0101 M03
N100 G01 X100. Y300. F8 S44

No primeiro bloco de programação, tem-se:

N80 – significa o número do bloco, sua função é numerar seqüencialmente os blocos de programa para facilitar a organização do programa.

"G"– significa a função preparatória, tem a função de preparar a máquina para a usinagem definindo o tipo de interpolação, o sistema de medida, desbaste do perfil da peça, tempo de permanência da ferramenta, etc.

T0101 – os dois primeiros dígitos especificam qual a ferramenta que deve ser utilizada na operação de usinagem, e os dois últimos especificam qual o *preset* de ferramenta considerado.

M03 – chamada função “Miscelânea” algumas são padronizada pela norma ISO 6983, no entanto a maioria é programada pelo projetista do sistema, no caso M03 define o sentido horário para o giro do eixo árvore.

No segundo bloco de programação:

X100 Y300 – indica ao comando numérico que deve deslocar a ferramenta da posição em que se encontra até encontrar estas coordenadas sob as condições especificadas pela função G.

F8 – define qual deve ser a velocidade de avanço da ferramenta de usinagem.

S44 – define qual deve ser rotação do eixo árvore.

A seguir são detalhadas algumas funções do código G, para ilustrar a programação do CNC.

Limite de rotação (RPM)

Quando estiver trabalhando com o código G92 junto com a função auxiliar S4 (4 dígitos) esta limita a rotação do eixo-árvore.

Exemplo:

G92 S2500 M4

Permite-se que o eixo árvore gire até 2500 rpm.

Algumas funções:

FUNÇÃO G0 : é aplicado para posicionamento rápido.

Executa o movimento dos eixos para o ponto programado com velocidade de avanço rápido, disponível para cada modelo de máquina.

Depois de programado o código G0, este comando executa com avanço rápido, indicado no parâmetro de máquina de eixos. A trajetória resultante que move a ferramenta, é mostrada na figura 2.13, entre o ponto inicial e o ponto final.

Figura 2.13 - CNC Trajetória Programada.

Ponto do inicio:

X100. Y100.

Trajetoória Programada:

G0 X400. Y300.

FUNÇÃO G1 : é aplicado para interpolação linear com avanço programável.

Executam movimentos retilíneos com qualquer ângulo, calculado através de coordenadas pré-determinadas pelo programador. Geralmente no torno CNC utiliza-se o avanço em mm/rotação, mas este também pode ser utilizado em mm/min.

Os deslocamentos programados depois de G1 executam-se de acordo com uma linha reta e ao avanço "F" programado. Quando se movimentam dois

eixos de maneira simultânea a trajetória resultante é uma linha reta entre o ponto inicial e o ponto final.

A máquina desloca conforme a referida trajetória ao avanço "F" programado. O CNC calcula os avanços de cada eixo para que a trajetória resultante seja a "F" programada, conforme figura 2.14.

Figura 2.14 - CNC Trajetória do ponto inicial

Ponto inicial:

X100 Y100

Trajetoória Programada:

G1 X500 Y400 F150

FUNÇÃO G33: é aplicado para usinar roscas nos eixos X e ou Z, em que cada profundidade é programada em bloco separado. Há possibilidade de usinar roscas em diâmetros internos e externos, paralelas e cônicas, simples ou de múltiplas entradas, obtidas, se necessário, por funções opcionais programadas no mesmo bloco da função G33.

Deve-se programar G33 para cada passada de rosca.

G33 Z K (X) (I) (A)

Onde:

Z = coordenada do ponto final da rosca no eixo longitudinal.

K = passo da rosca no eixo longitudinal.

(X) = coordenada do ponto final da rosca no eixo transversal (normalmente usado para rosca cônica).

(I) = incremento no eixo transversal por passo (normalmente usado para rosca cônica) ou passo para rosca na face.

(A) = abertura angular entre as entradas da rosca.

Figura 2.15 - CNC Controle para execução de rosca.

2.6 Integração CNC – CLP

A integração do CNC ao CLP ocorreu com a finalidade de aumentar a flexibilidade de aplicações, reduzir os custos de montagens e obter facilidades operacionais conforme figura 2.16. A função básica do CNC é controlar a posição e rotação dos eixos e do CLP, a supervisão do sistema e acionamentos auxiliares.

Figura 2.16: Integração entre CNC e CLP.

As primeiras configurações para integrar CNC – CLP eram totalmente separadas do ponto de vista físico, mas trabalhavam em conjunto, sendo as entradas e saídas do CNC adaptadas a um CLP externo. Essa configuração contribuiu para aumentar a flexibilidade, obter simplicidade nas montagens, confiabilidade nas ligações. Entretanto havia limitações na funcionalidade do sistema como quantidade de entradas e saídas nos controladores lógicos e nas trocas de informações entre o CNC e a lógica externa (SANTOS, 1996).

O segundo tipo de configuração integra em um único bastidor o CNC e CLP, e a comunicação entre ambos é realizada através de uma interface, mas mantém as funções do CNC e CLP claramente separadas. Com isso ampliou-se a comunicação e agiliza a troca de informações entre CNC – CLP, Podendo desta forma detectar e emitir alarmes indicando falhas nas operações ou sinalizar problemas nos sensores ou nas chaves fim de curso.

A evolução tecnológica e o desenvolvimento dos microprocessadores permitiram a integração física entre CNC-CLP, pois o conceito de movimentar os eixos em uma máquina CNC deixou de ser restrito aos eixos responsáveis pela usinagem, sendo utilizado em eixos auxiliares da máquina – ferramenta, como o movimento do eixo para giro da torre. Contudo são distintas as programações CNC-CLP (SANTOS, 1996).

A estrutura que interpreta a execução do CNC e do CLP enxerga como tarefas separadas ativadas por um gerenciador de prioridades de execução. Um processador ou um conjunto de processadores é responsável por todas as tarefas.

Em um torno CNC pode-se observar essa interação CNC-CLP quando se utiliza o modo de referenciamento e o modo automático.

- No *modo de referenciamento* do torno, que é aquela posição que vai fornecer ao sistema de medição do CNC a posição inicial do sistema de coordenadas. O sistema de referenciamento é composto por três sensores dispostos ao longo de cada eixo, que são o fim de curso positivo, o fim de curso negativo e o fim de curso de referência. Os sinais são capturados pelo CLP, transferindo-os para o CNC através de uma tabela de memória.
- O *modo automático* realiza-se a execução de programas em linguagem “G” que são transmitida via protocolo RS232 ou digitadas no painel do CNC pelo preparador e iniciadas por ele através do botão *start cycle*. A programação do CLP vai analisando os modos de operação do torno CNC verificando as condições de intertravamento. Caso ocorra uma operação ilegal ou falha, é enviado uma mensagem de alarme no painel de comando do torno CNC para que este tome alguma providencia como sinalizar alarmes indicando: Falha de lubrificação / Porta aberta / Sobrecarga no motor do eixo X.

2.6.1 Origem do Controlador Lógico Programável

Diante das dificuldades encontradas na manutenção elétrica em grandes sistemas de controle de máquinas ou processos, surgiu o CLP como proposta de simplificação. A complexidade do sistema era proporcional aos recursos oferecido pela máquina. Quanto maior a quantidade de recursos oferecidos pelo sistema, maior era quantidade de elementos como contadores, relés, bobinas, cablagem com maior as chances de falha do sistema. Outro inconveniente era o espaço ocupado pelos painéis de comando que se avolumavam cada vez mais reduzindo o espaço físico no interior da fábrica. Quando era necessário alterar alguma seqüência de comandos da máquina, devido a motivos de segurança ou melhoria no processo, havia um trabalho exaustivo na identificação e inserção de novos componentes no interior dos painéis, pois o comando era programado por fiação (ORKAN,1994).

Com o advento da microeletrônica por volta de 1960, surgiram os primeiros circuitos de controle eletrônico utilizando transistores para chaveamento (relé sem contatos físicos) permitindo a redução do tamanho físico de circuitos elétricos. Em relação à tecnologia anterior, forneceu maior confiabilidade persistindo apenas ruídos eletrônicos induzidos que causariam erros nas informações. O impacto mais relevante ocorrido nos controladores ocorreu em 1968 com a lista de condições estabelecidas pela G.M. para os novos controladores (MIYAGI, 1996). Essa lista orientou a tendência que os controladores deveriam tomar.

Condições estabelecida pela General Motors:

- a. Deve ser de fácil programação, isto é, as operações seqüenciais devem ser facilmente alteráveis, mesmo na própria planta;
- b. Deve ser de fácil manutenção, se possível deve ser baseado totalmente no conceito "Plug-in";

- c. Deve possuir característica operacional de alta confiabilidade (bem maior que os dispositivos a relés), considerando-se o ambiente industrial;
- d. Deve possuir dimensões menores que os painéis a relés para redução do custo do espaço físico;
- e. Deve ter capacidade para enviar dados para um sistema central;
- f. Deve ter preço competitivo em relação aos atuais dispositivos a relés e /ou eletrônicos;
- g. Deve ter capacidade de receber sinais de entrada de 115V CA;
- h. Deve ter capacidade de enviar sinais de saída de 115V CA (dois A no mínimo, para o acionamento direto de válvulas solenóides, pequenos motores, etc.);
- i. Deve possibilitar expansões na forma de módulos para atender sistemas de maior porte e cada unidade deve possibilitar a expansão de no mínimo, 4000 palavras na memória do programa.

Em 1969 surgiam os primeiros controladores baseados nesta especificação. Aproximadamente em 1975 foram utilizados os microprocessadores para atender as especificações da GM. Como resultado, obtiveram um controlador com funções multiplicadas. A essa nova versão foi denominada Controlador Lógico Programável (CLP).

O CLP é um dispositivo eletrônico utilizado em aplicações industriais executando instruções oriundas do programa que pode ser escrita no chamado Bloco de Programa (PB) e Bloco de Funções (FB) (NATALE,1989). A programação do CLP permite conter operadores lógicos, funções temporizadas, álgebra de Boole, contadores, comparadores, etc. Na maioria dos casos seu controle é realizado de acordo com a imagem dos sinais de entrada que são processados para ativar/desativar estados de saída.

2.6.2 Arquitetura de um Controlador Lógico Programável

Um dos itens mais importante na configuração de um controlador programável é saber basicamente a quantidade de elementos de comando (entradas), a quantidade de operadores (saídas) e algumas funções especiais específica para cada caso (ORKAN,1996).

Todos os controladores programáveis são constituídos pelas mesmas partes básicas: Fonte de alimentação, memória de programa, processador, módulos de entrada e saída. Os elementos de comando (botões, sensores, etc.) são conectados aos módulos de entrada e os elementos operadores (contatores de potência, válvulas etc.) aos módulos de saída.

O programa (software) é editado em um terminal de programação, permitindo rápidas alterações, agilizando testes de funcionamento, simplificando a emissão de relatórios de falhas, facilitando teste-diagnóstico entre outros. O processador (CPU) executa o programa contido na sua memória verificando a existência ou não de sinal em cada uma das entradas. O resultado do processamento destes sinais, de acordo com o programa, é enviado às respectivas saídas, ligando ou desligando os elementos operadores conectados.

2.6.3 Processamento interno do programa do CLP

De maneira similar a arquitetura de um computador, ao escrever o programa, cada instrução ocupa uma ou mais endereços de memória, sendo que as mesmas são armazenadas na seqüência em que se encontram na lista de instrução. O programa de controle é, portanto, processado constantemente, de forma seqüencial e repetitiva. O processamento de todas as instruções do começo ao fim do programa é chamado de ciclo de processamento. O tempo necessário para este processamento é chamado de tempo de ciclo (Scan)

(ORKAN,1996). A duração do tempo de ciclo depende da velocidade de processamento do controlador programável usado e do tamanho do programa a ser processado.

No início de cada ciclo de programa, o sistema operacional verifica o estado atual de todas as entradas digitais e registra esta informação em uma área de memória que chamamos de memória imagem das entradas (PII). O que se têm então são vários bits, nesta memória imagem, que correspondem aos estados das entradas no início de cada ciclo.

Em seguida, tem-se o início do processamento do programa desenvolvido pelo usuário. Sempre que no programa houver uma referência a uma entrada como, por exemplo, I0. 0 (significa entrada "I" de endereço 0.0), a CPU não verifica o estado atual da entrada, mas sim o estado do bit correspondente na memória imagem. Este procedimento garante que, uma informação considerada no início do programa, mantenha o mesmo estado até o fim do processamento do mesmo.

As informações fornecidas pela memória imagem das entradas, temporizadores, contadores entre outras instruções são responsáveis pela tomada de decisões como, por exemplo, acionar uma saída Q0. 0, segundo previsto no programa. De forma análoga ao processo de imagem das entradas, tem-se a imagem das saídas, ou seja, durante a execução do programa não são propriamente as saídas que são acionadas, porém um bit correspondente a cada saída na área de memória das saídas (PIO) conforme figura 2.17.

Após o término do processamento do programa, tem-se, na memória imagem, o estado de cada saída. O sistema operacional se encarrega então de transferir o estado da memória imagem para o hardware de saídas.

Figura 2.17: Processamento do Programa (ORKAN, 1998).

Uma das partes mais importante do controlador programável é a CPU, pois neste módulo são trabalhados os sinais de entrada que de acordo com a programação. Analisam-se os estados das imagens e envia os sinais de saídas. Conforme indicado na figura 2.18 é através das entradas e saídas que a Unidade Central de Processamento se interliga com o sistema a ser automatizado, os módulos podem trabalhar com sinais digitais ou analógicos.

Figura 2.18: CPU do Controlador Programável.

2.6.4 Linguagem de programação CLP

As técnicas empregadas para a programação de um CLP baseiam-se em Funções Lógicas. As universalmente utilizadas tanto para projeto como análises são (NATALE, 1989):

- Tabela Verdade: Nesta tabela são representados todas as possibilidades possíveis de combinação de níveis lógicos de sinal nas entradas e o nível lógico resultante de cada combinação;

- Diagrama Sinal-Tempo: é a representação gráfica do comportamento da saída da função em relação ao comportamento das entradas da função, no decorrer do tempo;

- Álgebra Lógica: também conhecida como álgebra booleana, funções binárias podem ser descritas matematicamente por equações booleanas. A álgebra de Boole é de fácil interpretação;

- Símbolos Gráficos: quando se analisam funções separadamente, pode-se usar qualquer das formas propostas. Quando, porém, a intenção for descrever uma tarefa de comando, que sempre compreende uma quantidade considerável de funções lógicas, a representação utilizando símbolos lógicos é mais simples, mais clara e, sobretudo inequívoca.

Analisando um diagrama de comando na técnica de relés, encontra-se a Função "AND", onde existirem dois (ou mais) contatos em série. Na Figura 2.19, o contato da bobina Q, é associação dos dois contatos A e B pela Função "AND": a bobina atracará quando A estiver fechado e B também estiver fechado. Resumindo: se $A = "1"$ e $B = "1"$, logo $Q = "1"$.

Com dois contatos há quatro combinações diferentes (a base do sistema dois elevado a quantidade de variáveis lógicas, é igual ao número de combinações possíveis: $2^2 = 4$).

Assim, pode-se apresentar a Função "AND" através da tabela verdade conforme indicado na Figura 2.19.

Figura 2.19: Função AND.

O CLP realiza suas funções de acordo com a programação inserida.

Existem três formas usuais de programação, são elas:

Diagrama de Contato (LAD), Lista de Instruções (LIS) e Diagrama Lógico (DL). Para facilitar a compreensão exemplificaremos supondo uma situação onde acionando a entrada I0.1 ou I0.2 e I1.1 e I0.5 aciona-se como saída a bobina S0.7

Programação por Diagrama de Contato

Utilizando o modo Diagrama de Contato (LAD) a programação é feita com simbologia de relé, similar aos diagramas dos circuitos elétricos. Na Figura 2.20 está ilustrado as entradas I0.1, I0.2, I1.1 e I0.5 são os relés indicando as entradas e S 7.0 a saída indicando a bobina de saída.

Figura 2.20: Diagrama de Contato (LAD).

Programação por Lista de Instrução

Utilizando a Lista de Instrução (LIS) a programação é feita com mnemônicos das expressões booleanas, ilustrada na figura 2.21.

:A	I 0.1
:O	I 0.2
:A	I 1.1
:A	I 0.5
:=	S 7.0

Figura 2.21: Lista de Instruções (LIST)

Programação por Diagrama Lógicos

Utilizando os Diagramas Lógicos (DL) a programação é feita com blocos lógicos, os mesmos utilizados em eletrônica digital, ilustrada na figura 2.22.

Figura 2.22: Diagrama Lógico (DL)

2.6.5 Estrutura do programa CLP

O software do usuário permite programar desde funções binárias simples até funções digitais complexas, para tanto se necessita estruturar a programação conforme *Figura abaixo*.

Figura 2.23: Estrutura do Programa do CLP (NATALE, 1989)

Na Figura 2.23 se visualiza vários blocos, sendo que no bloco OB (Bloco de organização) se encontra o programa principal. Este bloco é responsável pela organização de toda a seqüência do sistema de automação que é composta de diversos sub-programas.

Bloco de programa (PB): este bloco é responsável pelas rotinas do sistema de automação (por ex. PB1 fechamento da injetora, PB2 injeta plástico, PB3 abertura da injetora, PB4 retirada.).

Bloco de funções (FB): este bloco é responsável pelas funções.

Bloco de dados (DB): este bloco é responsável pelo armazenamento dos dados do programa tais como: tempo, sinais de referência e comentário (NATALE, 1989).

2.7 CNC DE ARQUITETURA ABERTA

A introdução da filosofia da Arquitetura Aberta no sistema de controle de máquinas operatrizes propiciou uma nova fase de controladores, chamados de CNC de Arquitetura Aberta . Essa nova geração de controladores incorpora a tecnologia do CNC ao microcomputador padrão IBM – PC (ou estação de trabalho). Do CNC, herdou o controle de posicionamento e rotação dos eixos. Vindo do microcomputador (ou da estação de trabalho), a interface mais amigável, as facilidades de programação, configuração do sistema, comunicação em rede e integração de células de manufatura. As pesquisas referentes ao Comando Numérico Computadorizado de Arquitetura Aberta têm direcionado para que estes tenham uma estrutura flexível tanto em software como em hardware, permitindo mudanças na configuração básica do hardware e alteração no software em todos os níveis de controle (YAMAZAKI,1996) (HOSKE,1996) (WRIGHT,1996).

2.7.1 Definições do CNC de Arquitetura Aberta

O CNC de Arquitetura Aberta tem duas principais finalidades que são: atender as necessidades de implementação de novos recursos na máquina, e integração com outras ilhas de automação. Com a integração facilita a comunicação, a manutenção e possibilita expansão dos equipamentos.

Definição do controlador de arquitetura aberta segundo SCHOFIELD (1996):

"Um controlador de Arquitetura Aberta é flexível tanto no hardware como no software. Permite mudança na configuração básica do hardware e alterações no software para todos os níveis de controle. Isto possibilita um monitoramento avançado e uso de técnicas de controle. Um controlador de arquitetura aberta é normalizado para permitir o desenvolvimento de hardware e software de terceiros. O controlador de arquitetura aberta permite a integração com outros sistemas, sistemas de coordenadas da máquina, sistema de alto nível de planejamento para utilização de sensores avançados e controle de algoritmos" (SCHOFIELD, 1996)

Definição de arquitetura aberta segundo PRITSCHOW (1993):

"A arquitetura aberta de máquina-ferramenta deveria permitir integração de módulos de programas aplicativos independentes, sensores e placas de computadores desenvolvidos por vários fabricantes" (PRITSCHOW, 1993) (Arq. Osaca- arquitetura de sistema aberto para controles dentro dos sistemas de automação).

Definição do Instituto IEEE sobre sistema aberto :

“Sistema aberto provém da capacidade de programar e serem executados em várias plataformas que interagem com outros sistemas aplicativos” (PRITSCHOW,1993).

As principais metas para as especificações de um sistema de arquitetura aberta são (MILES,1998) (PROCTOR,1997) :

- Escalabilidade: é a capacidade em poder aumentar ou diminuir a funcionalidade do sistema.
- Integração: envolvimento das partes visando comunicação, troca de dados, automação industrial.
- Portabilidade: execução de programas de um sistema sobre diferentes plataformas.
- Interoperabilidade: substituição de um componente de mesma função, mas fabricantes diferentes.

2.7.2 - Configurações do CNC de Arquitetura Aberta

Há dois tipos básicos para configurar o sistema (GE-FANUC,1997) (HOSKE, 1996):

Primeira configuração – O sistema consiste em instalar uma placa de Comando Numérico Computadorizado no barramento localizado no interior de um microcomputador padrão IBM/PC comercial e via cabo conectar aos acionamentos dos servos motores responsáveis pelo posicionamento e rotação do fuso e a unidade I/O .

A Figura 2.24 ilustra a conexão da configuração da instalação da placa NC board em um microcomputador (GE-FANUC, 1997).

Figura 2.24 Configuração do hardware do CNC de Arquitetura Aberta.

Segunda configuração – O sistema consiste em instalar uma placa compatível com a placa principal do microcomputador padrão IBM/PC no próprio módulo do CNC. As placas do PC e do CNC são interligadas através de um barramento, permitindo expansão tanto do PC como do CNC.

A Figura 2.25 ilustra uma visão geral do Controle da Arquitetura Aberta nessa segunda configuração (HOSKE, 1996).

Figura 2.25: Visão geral do Controlador de Arquitetura Aberta.

Pode-se considerar assim que a terceira geração de comandos é a dos Comandos Numéricos de Arquitetura Aberta, que traz a tecnologia do CNC incorporada a do microcomputador padrão IBM-PC, mantendo as qualidades do CNC, que controla o posicionamento e rotação dos eixos (precisão, repetibilidade e confiabilidade) e do microcomputador padrão IBM/PC no que tange às facilidades de programação, utilizando o sistema operacional e configuração do sistema.

O CNC de Arquitetura Aberta permite uma configuração de acordo com a necessidade do fabricante de máquina ou do usuário. As pesquisas sobre CNCs de Arquitetura Aberta são chamadas "OPEN CNC".

No capítulo 3 serão descritos e classificados os principais tipos de arquiteturas "OPEN CNC" que surgiram a partir da década de 80 em busca da flexibilidade necessária para o mercado atual que trabalha no ritmo de rápidas mudanças.

3 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS CNCs DE ARQUITETURA ABERTA

Nesse capítulo serão apresentados os tipos de CNCs de Arquitetura Aberta pesquisados e realizada uma classificação desses CNCs em relação a vários critérios tais como hardware, software, funcionalidade e flexibilidade.

Também é realizada uma comparação dos CNCs de Arquitetura Aberta com os CNCs convencionais em relação a flexibilidade.

3.1 Tipos de Arquiteturas

Serão abordados a seguir alguns esforços no sentido de se atingir sistemas com arquitetura aberta, tais como Projetos OSACA, HOAM-CNC, OMAC, MOSAIC e OSEC. Estes esforços serão detalhados a seguir.

3.1.1 - Arquitetura OSACA

A Arquitetura OSACA (*Open System Architecture for Controls within Automation Systems*) surgiu na Europa em maio de 1992, em conjunto com os institutos de pesquisas da França, Alemanha, Itália, Espanha, Suíça. A primeira fase do projeto terminou em abril de 1995, com duração de 36 meses. Este sistema desenvolveu módulos de alta configuração para sistemas de controle. O projeto também incluiu a especificação do mecanismo da máquina-ferramenta (PRITSCHOW, 1993).

Em 1994, iniciou-se o projeto OSACA II com o programa ESPRIT III Projeto 6379, sendo um dos maiores projetos que envolvem normas para OAC (*Open Architecture Control*) incluindo assuntos relacionados a *networking*, aplicações de *software* e de *hardware* (KOREN, 1996).

A principal meta do projeto OSACA é a definição de um hardware-independente referente à arquitetura das máquina-ferramentas. Neste hardware são incluídos: controle numérico (NC), controle de robôs, PLCs, e controle de célula.

Através disso ajudará na construção de uma interface de protocolo de comunicação, operação, sistema de base de dados, etc. A arquitetura OSACA, servirá de base comum para normas de comandos numéricos, controle de robôs, controle de células e será aberta para novas funções e para uso de novos equipamentos digitais (PRITSCHOW, 1993).

Durante os testes e análise dos resultados do OSACA fase I, começou-se o OSACA fase II projeto 9115 em novembro de 1994 para estabelecer sistemas modulares de software. Este projeto teve a duração de 18 meses finalizando em abril de 1996.

Seguindo a mesma linha de pesquisa surgem os grandes projetos de sistemas de controle aberto que foram desenvolvidos na Alemanha, tais como o projeto HÜMNOS (Desenvolvimento Modular para aplicação em sistema de

controle de arquitetura aberta) baseados nos resultados do projeto OSACA I e OSACA II.

Nesse consórcio participaram usuários finais (BMW, Mercedes Bens), construtores de máquina-ferramentas (Alfing, Fritz Wener, Grunewald, Heller, Homag, Hüller Hille, Index, Mikromat, Pfauter, Trumpf and Unipo) e de controladores (Bosch, DASA, Grundig eletronic, ISG, SIEMENS) além e vários institutos de pesquisas.

O projeto OSACA permite uma montagem modular do controle de uma máquina-ferramenta e utiliza as interfaces com o usuário, sem ter que rescrever a maioria do software (ALTINTAS,1996). Para atingir essas metas necessita-se conhecer a idéia de plataforma.

Figura 3.1 - Plataforma de sistema e Unidade Funcional (OSHIRO,1998).

Uma plataforma pode ser descrita como os equipamentos (hardware) e um conjunto de programas (software) tais como: sistema operacional e sistemas de comunicação. Essa plataforma oferece um serviço uniforme para o controle das Unidades de Funcionais (FU) como descrito na Figura 3.1 A Interface de Programa de Aplicação (API) entre as Unidades Funcionais (FU) e a plataforma é baseada em um perfil de serviço bem definido.

Para aumentar a flexibilidade nos Controles Numéricos são necessárias três coisas (OSHIRO, 1998):

- Concepção estrutural flexível.
- Software de configuração e otimização do sistema.
- Software otimizado de controle, isto é, módulos de software reutilizáveis necessários de acordo com a topologia.

A Figura 3.2 ilustra a configuração CN para o controle de um eixo e um fuso.

Figura 3.2 - Configuração do software (OSHIRO, 1998).

A Figura 3.2 exemplifica uma configuração simples da parte básica do Comando Numérico para o controle de um eixo e um fuso, onde se inicia com a preparação do programa da peça (PPP) utilizando compensação geométrica da peça (TGC) interpolador de um eixo (SIPO) e um fuso controlado (SPL) e para o controle obtém o controle de realimentação de posição (PFC).

Os fabricantes e usuários de comandos de controle para máquina-ferramentas têm desenvolvido sofisticados sistemas de controle nos últimos anos. Com a evolução de novos tipos de tecnologia empregadas nas máquinas pode-se reduzir o custo e aumentar a flexibilidade da produção. Dessa forma, os sistemas de controle precisaram ser adaptados a essas novas mudanças sem afetar a qualidade e o desempenho do sistema.

3.1.2 - Arquitetura OMAC

A arquitetura OMAC (Open Modular Architecture Controllers) teve seu início em dezembro de 1994, com a publicação "Requirements of Open, Modular Architecture Controllers for Applications in the Automotive Industry " - Requerimento de um Controlador de Arquitetura Aberta Modular com Aplicação na Indústria Automobilística - desenvolvida pela Chrysler, Ford e General Motors (YEN, 1998): Esse documento serviu como guia para as Interface de Programa Aplicativo, API nos controladores das indústrias automobilísticas norte-americanas.

O grupo OMAC é formado por usuários de sistema de arquitetura aberta, cujo objetivo é de se organizarem para trabalhar em conjunto, trazendo vários benefícios, tais como (YEN, 1998):

- ✓ Estabelecer a posição do controlador de arquitetura aberta e da experiência de operação dos usuários de software e construtores de máquina;
- ✓ Acelerar a utilização de controle aberto na parte prática, dentro das indústrias, com a utilização das APIs;
- ✓ Promover o desenvolvimento de controle aberto entre os fabricantes de controladores;

- ✓ Desenvolver soluções coletivas para o desenvolvimento, comercialização e uso da tecnologia de controlador de arquitetura aberta.

A Figura 3.3 ilustra uma planta simplificada do sistema OMAC onde são descritos os pontos de conexão externa do sistema.

Figura 3.3 - Planta Simplificada do Sistema OMAC (YEN, 1998).

3.1.3 - Arquitetura MOSAIC

O Projeto MOSAIC (Machine-tool Open System Advanced Intelligent Controller) Controlador Inteligente Avançado de Sistema Aberto para Máquina-Ferramentas foi desenvolvido na Universidade da Califórnia – EUA (YAMAZAKI, 1996) Este tipo de controlador é utilizado para trabalhar em ambiente integrado de projeto e manufatura para o planejamento de usinagem.

A Arquitetura MOSAIC é composta de seis camadas (YAMAZAKI, 1996)

- 1- Gerenciamento de máquina-ferramenta;
- 2- Preparação da usinagem baseada na geometria da peça;
- 3- Geração da trajetória baseada peça;

- 4- Planejamento do movimento tridimensional;
- 5- Planejamento do movimento de um eixo e
- 6- Controle do movimento PID.

A Figura 3.4 descreve o hardware da arquitetura MOSAIC

Figura 3.4 - Hardware arquitetura Mosaic (WRIGHT, 1998).

Na arquitetura MOSAIC, a forma de controle dos movimentos dos eixos pode ser modificada, o hardware das entradas e saídas discretas ou digitais pode ser ativado ou desativado. O controlador MOSAIC é flexível e utiliza um barramento padrão VME com um sistema operacional em tempo real padrão UNIX. Desta forma a arquitetura MOSAIC tem atributos para ser considerada um controlador de arquitetura aberta, devido a flexibilidade e expansibilidade do seu hardware, podendo desde adicionar microprocessadores no barramento VME até adicionar placas de entradas e saídas sem precisar alterar todo

sistema. Isso devido à programação modular a que permita essa fácil alteração. (WRIGHT, 1996).

3.1.4 - Arquitetura HOAM-CNC

A arquitetura HOAM-CNC (Hierarchical Open Architecture Multi-processor – CNC) – Sistema CNC de Arquitetura aberta Hierárquica para máquina-ferramentas – foi desenvolvida pela Universidade da Colúmbia Britânica (Vancouver, Canadá) (ALTINTAS et al., 1996), visando a aplicação do controlador de arquitetura aberta ao controle adaptativo em busca de melhoria na usinagem e a detecção automática do desgaste e quebra da ferramenta. Os módulos que detectam quebra de ferramenta e trepidação utilizam um barramento primário para executar o controle do processo da máquina e monitorar as tarefas. Outro barramento secundário de alto desempenho é utilizado para a comunicação com o CNC (ALTINTAS et al., 1996) (YAMAZAKI, 1996).

Esta arquitetura é direcionada a atuar principalmente no *hardware* da máquina-ferramenta CNC permitindo a introdução de novos componentes.

A Figura 3.5 ilustra a arquitetura HOAM-CNC, onde o barramento principal padrão ISA comporta as atividades de monitoração, processamento de dados, controle adaptativo e interface homem máquina, onde é utilizado um microcomputador padrão IBM-PC. O barramento CNC comporta o controle de posicionamento e velocidade dos eixos individualmente (ROBER & SHIN, 1995), operando o controle em tempo real com um processador dedicado.

Desta forma o sistema possui vários módulos sendo processados nos barramento primário e secundário permitindo a interação entre os barramentos através do controlador mestre do CNC.

Este sistema é chamado ORTS (Open Real Time Operating System), e utiliza uma ou mais placas DSP (Digital Signal Processing) conectadas no PC (Computer Personal) utilizando o sistema operacional Windows NT, que pode ser configurado para diferentes ferramentas e aplicações específicas.

Figura 3.5 - Arquitetura Global do Hardware do HOAM-CNC.

Pode-se trabalhar com duas placas DSP, de modo que enquanto uma placa DSP controla o movimento do eixo a outra placa pode ser utilizada para monitorar as condições da ferramenta (através de um sensor fixado em sua base) e o controle do processo. O hardware independente (DSP) é uma placa cuja programação pode ser reconfigurada para atender outras necessidades.

Uma aplicação do ORTS em CNC de Arquitetura Aberta é o controle de três eixos de um centro de usinagem, utilizando o PC/Pentium com Windows NT com duas placas DSP conectadas no barramento ISA/PC. As tarefas de controle dos movimentos, interpolação, condições das ferramentas são realizadas por um microprocessador tipo TMS320C32 da Texas Inc. incorporada na placa DSP.

3.1.5 - Arquitetura OSEC

A Arquitetura OSEC foi desenvolvida em dezembro de 1994 por seis empresas do Japão que se uniram para formar essa organização, sendo as empresas fundadoras: Toshiba Machine Co., Toyoda Machine Works Ltda., Yamazaki Mazak Co., IBM Japan Ltda., Mitsubishi Electric Co. e SML Corporation. Essas empresas formaram o grupo chamado OSEC - (Open System Environment for Controller) preocupado com o sistema de ambiente aberto para controladores, cujo objetivo era desenvolver uma plataforma de arquitetura aberta para automação industrial (TAKEYAMA, 1996).

O propósito é criar uma arquitetura aberta baseada em um microcomputador pessoal padrão IBM-PC para controlar equipamentos de manufatura, melhorar o seu desempenho e facilitar a sua manutenção. O microcomputador pessoal além de controlar os equipamentos atua também como um sistema de base de informações para a operação da planta da fábrica (OSEC, 1998).

A Figura 3.6 ilustra uma arquitetura convencional comparada com a arquitetura OSEC.

Figura 3.6: Arquitetura convencional comparada com arquitetura OSEC.

Em outras palavras, equipamentos baseados nesta arquitetura podem ser elementos de um sistema de aquisição e suporte de logística baseado em computador - CALS (Computer-aided Acquisition and Logistic Support) (YAMAZAKI, 1996).

Há muitos centros de pesquisa trabalhando nesta concepção de arquitetura aberta, como a Marinha dos EUA com o projeto de controlador avançado de máquinas - EMC (Enhanced Machine Controller), com o apoio do Departamento do Comércio que propõem a arquitetura em cinco níveis

- 1 - Planejamento de estação de trabalho;
- 2 - Gerenciamento da estação de trabalho;
- 3 - Interpretação do plano;

4 - Geração de trajetória / Entrada e saída discreta;

5 - Servo controle.

No projeto incluem compensação de erros por deformação térmica e interpolação NURBS (Non Uniform Rational B-Spline) (YAMAZAKI, 1996)

O Depto de Energia do EUA com o projeto TEAM-ICLP (Technologies Enabling Agile Manufacturing - Intelligent Closed Loop Processing) concentra suas pesquisas no desenvolvimento de Interfaces de Programas Aplicativos (API) orientada a arquitetura aberta (KOREN, 1996).

O Centro Nacional para Ciência da Manufatura (NCMS) lança o projeto NGIS (Next Generation Inspection System II) que visa desenvolver interface de sensores para inspeção em processo (YAMAZAKI, 1996) Algumas empresas já atuam nesta direção.

3.2 Classificação dos CNC's DE Arquitetura Aberta

Os requisitos para as máquinas-ferramentas CNC de Arquitetura Aberta devem ser discutidos sob o ponto de vista das necessidades tecnológicas dos fabricantes de máquinas e dos usuários. As necessidades podem ser resumidas em:

- ✓ Sofisticação de cada funcionalidade;
- ✓ Aperfeiçoamento do desempenho;
- ✓ Aumento da Flexibilidade.

Para tanto, todos os CNC de Arquitetura Aberta possuem especificações comuns que são Escalabilidade, Extensibilidade, Portabilidade,

Interoperabilidade (PROCTOR, 1997) (MILES, 1998) que estão descritas na tabela abaixo:

Tabela 3.1: Especificações Sistema de Arquitetura Aberta

ESCALABILIDADE	⇒	É a capacidade em poder aumentar ou diminuir a funcionalidade do sistema, de acordo com a demanda.
EXTENSIBILIDADE	⇒	Facilidade de integrar software e hardware de terceiros em conjunto de máquinas para que assim haja troca de informações tanto interna como externa ao sistema cuja finalidade de integra-los a ser um único bloco.
PORTABILIDADE	⇒	É a possibilidade de programas aplicativos poderem ser transferido de um meio para outro.
INTEROPERABILIDADE	⇒	É a substituição de um componente de mesma função, mas fabricantes diferentes, permitindo ajuste de parâmetros.

Assim pode-se definir alguns critérios para a classificação dos CNCs de Arquitetura aberta e a partir desses critérios realizar uma análise e síntese desses equipamentos.

A seguir são descritos esses critérios.

3.2.1 - Critérios de Classificação dos CNC de Arquitetura Aberta

Classificam-se as Arquiteturas em relação:

- Hardware-Software,
- Funcionalidades,
- Áreas de Flexibilidades.

Em função do hardware, as arquiteturas podem utilizar: microcomputadores padrão PC/IBM, estações de trabalho, barramento tipo VME, barramento tipo ISA/PCI e Placas DSP.

Em função do software as arquiteturas podem utilizar: Sistema Operacional Windows, Sistema Operacional UNIX e interface API.

Em função das Funcionalidades, estas podem ser quanto ao: trabalho em tempo real, trabalho para integrar ilhas de manufatura, trabalho para alteração física na máquina ferramenta e trabalho para uso em sistemas de gerenciamento da produção.

Em função das Áreas de Flexibilidades, estas podem ser quanto a:

- Flexibilidade do programa de usinagem em uma máquina-ferramenta: a utilização da máquina-ferramenta com CNC convencional possibilita a diversificação de programas de usinagem em uma única máquina.
- Flexibilidade do programa de usinagem em várias máquina-ferramentas: a utilização das máquina-ferramentas com sistema que possibilitam a diversificação de programas de usinagem em várias máquina.
- Flexibilidade do programa de usinagem, flexibilidade para modificar a parte física de uma máquina-ferramenta: a utilização de arquitetura que facilitam a diversificação de programas de usinagem e possibilitam alteração na parte física da máquina.
- Flexibilidade do programa de usinagem, flexibilidade para modificar a parte física de várias máquina-ferramenta: a utilização da arquitetura que tem flexibilidade na diversificação

de programas de usinagem e possibilitam alteração na parte física da máquina e integração com vários sistemas.

- Flexibilidade para alterar o programa fonte da máquina-ferramenta: a utilização dos CNCs de arquitetura aberta facilitam a diversificação de programas de usinagem e possibilitam alteração no programa fonte por parte do usuário da máquina-ferramenta.

3.2.2 - Classificação Arquiteturas em relação ao Hardware e software

O hardware se refere ao nível de abrangência do equipamento que cada arquitetura utiliza e o software se refere ao sistema operacional e as formas utilizadas para gerenciar as informações.

Tabela 3.2: Relaciona Arquitetura em função do Hardware e software.

Descrição Arquitetura	HARDWARE					SOFTWARE			
	Micro Padrão PC/IBM	Estação de Trabalho	Barramento ISA / PCI	Barramento VME	PLACA DSSP	Sist. Operacional Windows	Sist. Operacional UNIX	Rede Ethernet	Interface API
OSACA	OS1		OS2			OS3		OS4	
HOAM	HM1		HM2		HM3	HM4			
OMAC	OM1		OM2			OM3		OM4	OM5
MOSAIC		MS1		MS2			MS3		
OSEC	OE1		OE2			OE3		OE4	

Arquitetura OSACA (Open System Architecture for Control within Automation System – arquitetura de sistema aberto para controles dentro dos sistemas de automação):

Utiliza microcomputador padrão PC/IBM [OS1], sistema operacional Windows [OS3] e barramento ISA/PCI [OS2] para integração de novas funcionalidades além de uma rede Ethernet [OS4] para comunicação

com os equipamentos de Controle Logico Programavel (PLC), Controle de Robos (RC), Controle Numerico (CN) e controle de celulas (CC) formando uma base comum para todo tipo de sistema de automação. Sendo este aberto para integração de novas funcionalidades.

Arquitetura HOAM (Hierarchical Open Architecture CNC System for Machine tools – sistema CNC de arquitetura aberta hierárquica para máquinas-ferramentas):

Utiliza como hardware um PC/IBM [HM1], placas DSP (Digital Signal Processing – Processamento do Sinal Digital do microprocessador TMS320C32 fabricante Texas). Esta placa DSP [HM3] é utilizada para controlar diretamente os eixos, (sem passar pela CPU o que acarretaria um tempo de atraso), barramento ISA/PCI [HM2].

Também utiliza sistema operacional Windows NT [HM4], e enquanto uma placa DSP é utilizada para controle do movimento do eixo outra placa DSP pode ser utilizada para conectar sensores nas bases das ferramentas para monitorar condição da ferramenta de corte, controle do processo. Essas placas DSP são controladas pela ORTS (Open Real Time Operating System). ORTS é um sistema que atua em tempo real, executando o controle das forças resultantes de corte. Nesta aplicação precisa conhecer a linguagem CN que é enviado do PC para a placa DSP que controla os movimentos dos eixos que são interpretados interpolando linearmente ou circularmente gerando incrementos no movimento de cada eixo. Esse incremento é passado para o controle de posição para atualizar sua posição por meio do *encoder*. A saída do sinal do controlador. O sinal é enviado de forma digital ou analógica para o amplificador do servomotor.

Arquitetura OMAC (Open Modular Architecture Controller – controlador aberto de arquitetura modular):

Utiliza micro padrão PC/IBM [OM1] e sistema operacional Windows NT ou 95 [OM3], barramento ISA/PCI [OM2], atuando sobre uma interface de aplicação comum padronizar as API's [OM5] (Application Programming Interfaces) para controle dos módulo que serão, componentes em rede [OM4].

MOSAIC (Machine tool Open System Advanced Intelligent Controller – controlador inteligente avançado de sistema aberto para máquinas-ferramentas):

Nesta arquitetura utiliza-se estação de trabalho [MS1] como base e sistema operacional UNIX [MS3] para trabalhar em tempo real, a conexão com a placa de controle é realizado através do barramento VME bus [MS2]. A arquitetura permite programa de aplicação independente baseado em linguagem Pascal ou C, trabalhado com software modularizado, isto é, quando houver mudanças pode ser realizada a mudança em um único módulo sem ter que alterar outros módulos. Atua mais especificamente na máquina-ferramenta.

OSEC origem do grupo é formado no Japão por seis grandes empresas (Toshiba, Toyoda, Mazak, IBM, Mitsubishi, SML). O grupo trabalha com o objetivo de obter uma arquitetura aberta em toda automação da fabrica inclusive nos comando numéricos:

Essa arquitetura esta baseada em micro padrão PC/IBM [OE1], sistema operacional Windows [OE3], barramento ISA/PCI [E2], desde que a arquitetura esteja baseada nos PC's, espera-se ver software de alta qualidade na area de automação industrial tornando os PC não somente como controlador de equipamentos, mas também como base do sistema de informação em rede [E4] para operar a planta fabril como um todo,

desta forma, equipamentos baseados nesta arquitetura pode-se trabalhar como elemento central do sistema de suporte logístico auxiliado por computador (CALS – computer-aided acquisition and logistic support)

Com relação ao software, várias funções opcionais poderão ser adicionadas com facilidades às funções básicas do Comando Numérico pois muitas vezes não se necessita a alteração dessas funções, no entanto estão disponíveis para mudanças no futuro. Para que isso se torne possível é necessário transformar funções independentes adicionando módulos de controle de eixos, ciclos especiais, etc. e anulando funções desnecessárias.

Define-se um novo caminho para os dados chamados FADL (Factory Automation Equipment Description Language), FADL tem características que permite realizar novo nível de conectividade para CAD/CAM e sistema de controle, tendo abstração do hardware, compatível com o código convencional EIA (G, S, T...), interpretação em tempo real que permita controle adaptativo.

3.2.3 - Classificação das Arquiteturas em função das Funcionalidades

As funcionalidades referem-se ao nível de abrangência em que a máquina-ferramenta atinge dentro de cada arquitetura. São relacionados desde o sistema de gerenciamento da produção até a máquina-ferramenta propriamente dita.

A Tabela 3.3 descreve a classificação de acordo com as funcionalidades dos CNCs de Arquitetura Aberta pesquisados.

Tabela 3.3 : Relaciona os tipos de Arquitetura em função da funcionalidade.

Funcionalidade Arquitetura	Trabalho em Tempo real	Alteração física na Maq. Ferramenta	Integra ilha de manufatura	Sist.Gerência Produção
OSACA		OS5	OS6	
HOAM	HM5	HM6		
OMAC		OM6		OE7
MOSAIC	MS4	MS5		
OSEC		OE5	OE6	

As marcas OS5 e OS6 se referem a Arquitetura OSACA, quando se deseja efetuar uma modificação na máquina-ferramenta incorporando novos equipamentos (como equipamento de medição, sistema de visão, etc.). A arquitetura Osaca realiza alterações na máquina através de programas reutilizáveis chamados de FUs (Unidade Funcionais), os quais são blocos de programas específicos para cada aplicação desejada.

Um dos objetivos é ter uma base comum para integrar os PLCs, CNCs e Células de Controle.

A arquitetura HOAM trabalha em tempo real utilizando as placas DSP para configurar sua aplicação específica como, por exemplo, controlar a força da ferramenta de corte durante a usinagem.

A arquitetura OMAC utiliza a interface do usuário para as mais variadas máquinas, possibilitando a alteração do sistema quando se é solicitada a manutenção ou engenharia. Integra o controle dos Robôs, máquinas e os equipamentos.

A arquitetura MOSAIC trabalha em UNIX para facilitar a atuação em tempo real, através do projeto Mosaic-PM. Pode-se alterar o controle da máquina-ferramenta visando uma melhoria de sua precisão.

E finalmente a arquitetura OSEC permite a alteração na máquina-ferramenta, o trabalho de integrar "ilhas" de manufatura visando a automação industrial como um todo, através do sistema CALS, que atua na parte de suporte e logística.

3.2.4 - Classificação das Arquiteturas de acordo com as Flexibilidades

As flexibilidades referem-se ao nível de modificações físicas e/ou modificações de software, que cada máquina ferramenta atinge dentro de cada arquitetura.

Tabela 3.4: Relaciona Arquiteturas X Flexibilidades.

Arquitetura \ Flexibilidade	Flexibilidade					
	Flexibilidade no programa de usinagem de uma maq.-ferramenta	Flexibilidade no programa de usinagem de varias maq.-ferram.	Flexibilidade no progr. de usinagem Flexibilidade p/ modificar parte fisica de uma maq.-ferramenta	Flexibilidade no progr. de usinagem Flexibilidade p/ modificar parte fisica de um conjunto de maq.-ferramentas	Flexibilidade no progr. de usinagem Flexibilidade p/ modificar parte fisica Flexibilidade p/ integrar ilhas de manufatura	Flexibilidade em alterar o programa fonte da maq.-ferramenta
<i>OSACA</i>					OS7	OS8
<i>HOAM</i>			HM7			HM8
<i>OMAC</i>				OM7		OM8
<i>MOSAIC</i>			MS6			MS7
<i>OSEC</i>					OE8	OE9
<i>Sist. DNC</i>		R1				
<i>CNC conv.</i>	S1					

A tabela acima mostra as áreas de flexibilidade que cada arquitetura enfatiza. De acordo com o grau de flexibilidade desejado existe uma arquitetura que mais se aproxima para suprir as necessidades.

O CNC convencional, no caso [S1], é indicado quando se trabalha com lotes pequenos e modelos variados, sabendo que uma máquina-ferramenta é satisfatória para produção desejada. Neste caso, um CNC convencional é suficiente, pois o que se busca é ter flexibilidade na troca de programação. Não necessitando de uma arquitetura mais sofisticada.

O Sistema DNC, no caso [R1], é indicado quando se trabalha com lotes pequenos e modelos variados, e que necessita de um conjunto de máquina-ferramentas para produção desejada. Neste caso, um DNC tem grande chance de suprir a necessidade, pois se deseja ter flexibilidade na troca de programação de várias máquinas.

A arquitetura HOAM, no caso [HM7], trabalha com lotes pequenos, modelos variados, e com necessidade de modificações freqüentes na máquina-ferramenta. Necessita de processamento em alta velocidade pois a placa DSP fica trabalhando diretamente sem precisar enviar os dados para a CPU calcular e retornar o resultado.

A arquitetura OMAC, no caso [OM7], utiliza uma interface do usuário que possibilita realizar modificações na máquina-ferramenta.

A arquitetura MOSAIC, no caso [MS6], é indicada quando se deseja trabalhar em tempo real, e modificar a máquina-ferramenta com o propósito de buscar um maior refinamento do controle de posição da máquina.

A arquitetura OSACA, no caso [OS7], é indicado para executar integração de CLPs, controle de robôs, etc. de modo a se ter uma base comum de informações.

Por fim a arquitetura OSEC, no caso [OE8], é voltada a trabalhar com uma automação da planta da fábrica. Iniciando no suporte logístico, passando pela máquina ferramenta, até chegar no processo final.

Todas as arquiteturas OS8, HM8, OM8, MS7, OE9 possuem o seu programa fonte aberto, isto é disponíveis ao usuário.

3.2.5 - Comparação do CNC convencional com o CNC de Arquitetura Aberta

A Tabela 3.5 resume uma comparação entre CNCs ditos convencionais, isto é, CNCs pertencentes a segunda geração, com os CNCs de Arquitetura Aberta em relação aos tipos de Flexibilidades.

Tabela 3.5: Comparação do CNC convencional com CNC de Arquitetura Aberta.

Tipos de Flexibilidade	CNC CONVENCIONAL	CNC ARQUITETURA ABERTA
Flexibilidade do Processo (quanto uma operação pode ser alterada)	• Dificulta a criar novas funções na programação. • Impossibilita diversificar marca / modelos de equipamentos	• Possibilita criar novas funções na programação • Possibilita diversificar equipamentos
Flexibilidade de Resposta (quão rápido)	• Algumas interfaces necessitam de conhecimentos do programa fonte para o usuário poder modificar	• Programa fonte disponível ao usuário e Interface gráfica amigável ao usuário
Flexibilidade de Sistema (recursos individuais que compõe o sistema)	• Alguns casos impossibilita interagir com outros sistemas não integrando as 'ilhas' de automação	• Possibilita interagir com outros sistemas integrando as 'ilhas' de automação no sentido de trocar informações.

Quanto à comparação dos custos de uma e outra aplicação, o hardware de arquitetura aberta leva vantagem ao utilizar um PC. Os pontos de I/O da rede como SERCOS, DeviceNet, Profibus, Interbus-S, permite um baixo custo de instalação. Construtores e usuários podem economizar e melhorar a performance da máquina-ferramenta porque SERCOS permitem selecionar drives e motores deixando aberto para escolha do mais indicado para o momento.

Quanto ao hardware, no CNC convencional utiliza-se um barramento proprietário. Sendo que no CNC de Arquitetura Aberta utiliza-se barramentos padrão ISA, PCI, VME, outros consagrados no mercado.

No CNC convencional utiliza-se placa proprietária para o controle de motores, amplificadores de sinal, etc. sendo que no CNC de Arquitetura Aberta pode-se trabalhar com placas padrão desenvolvidas por vários fabricantes diferentes.

O esquema do hardware do CNC convencional é ilustrado na Figura 3.7 (PROCTOR, 1997).

Figura 3.7 – Hardware do CNC convencional.

E o esquema do hardware de um CNC de Arquitetura Aberta pode ser ilustrado na Figura 3.8 (ALBUS, 1997).

Figura 3.8 – Hardware do CNC de Arquitetura Aberta.

3.3 Análise dos CNCs de Arquitetura Aberta na manufatura.

A partir da classificação realizada das arquiteturas em relação aos critérios de Flexibilidade e Funcionalidade, foi realizada uma análise utilizando a organização funcional de uma indústria de manufatura. Essa organização funcional pode ser descrita como: gerencia, departamento de engenharia e chão de fábrica. A Tabela 3.6 ilustra essa análise.

Tabela 3.6 – Análise dos CNCs de Arquitetura Aberta na manufatura.

Arquitetura Estrutura	OSACA	HOAM	OMAC	MOSAIC	OSEC
GERÊNCIA Integra Ilhas de Manufatura Altera conj. De maquinas	OS7		OM7		OE7 OE8
DEPTO. ENGENHARIA Flexibilidade no programa Flexibilidade no hardware	OS8	HM8 HM7	OM8	MS7 MS6	OE9
CHÃO DE FABRICA Alteração física na maquina Trabalha em tempo real	OS5	HM6 HM5	OM6	MS5 MS4	OE5

Tendo em vista as arquiteturas abertas aqui estudadas, realiza-se o posicionamento de cada arquitetura diante da uma estrutura de produção.

O CNC da Arquitetura Osaca tem direcionado seus trabalhos atuando um pouco em cada área da empresa, sendo que a flexibilidade em poder integrar *ilhas* de manufatura, possibilita uma facilidade no controle da produção [OS7]. Flexibilidade no programa em poder trabalhar com Unidades Funcionais reutilizáveis facilita o desenvolvimento do setor de engenharia [OS8] e atua diretamente na máquina [OS5].

O CNC da Arquitetura HOAM é atuante nos setores de engenharia referindo as flexibilidades de programações [HM8] e na flexibilidade do hardware [HM7], e atuante também no chão de fábrica quanto as modificações

no aprimoramento da máquina-ferramenta ao introduzir uma placa DSP elaborada pela engenharia [HM6] de modo a trabalhar em tempo real [HM5]

O CNC da Arquitetura OMAC tem direcionado seus trabalhos atuando um pouco em cada área da empresa, sendo que a flexibilidade em poder alterar conjunto conjuntos de máquina-ferramentas [OM7] na manufatura, possibilita uma facilidade no controle da produção, Flexibilidade no programa em poder trabalhar com a interface do usuário padrão facilita o desenvolvimento no setor de engenharia [OM8] e atua diretamente na máquina [OM6].

O CNC da Arquitetura MOSAIC é atuante nos setores de engenharia referindo as flexibilidades de programações [MS7] e na flexibilidade do hardware [MS6], e atuante também no chão de fábrica quanto as modificações da máquina-ferramenta [MS5] de modo a ter facilidade ao trabalhar em tempo real pelo fato de utilizar o sistema operacional UNIX [MS4]

O CNC da Arquitetura OSEC é a mais atuante no sentido de integrar a gerencia com o setor de engenharia de planejamento e chão de fábrica, tendo direcionado seus trabalhos em integrar ilhas de manufatura [OE7] e alterar conjuntos de máquinas [OE8] com flexibilidade no programa [OE9] chegando a alteração física da máquina [OE5] com objetivo de se ter uma automação industrial total.

Visão Global das Arquiteturas

Figura: 3.9 visão global das Arquiteturas

Na indústria há vários setores que participam diretamente ou indiretamente para produção industrial, na figura 3.9, mostra-se uma visão global da atuação de cada Arquitetura.

De forma que as Arquiteturas HOAM e MOSAIC atuam diretamente no chão de fábrica, trabalhando em tempo real na máquina ferramenta e as Arquiteturas OSACA e OMAC atuam no planejamento operacional integrando ilhas de manufatura e a Arquitetura OSEC atua visando um gerenciamento do sistema como um todo.

3.4 Vantagens e desvantagens da utilização de CNCs de arquitetura aberta

A partir desse estudo, pode-se descrever as vantagens e desvantagens na utilização de CNCs de Arquitetura Aberta.

- Vantagens

O principal benefício em utilizar Arquitetura Aberta é realizar a integração dos equipamentos, tendo uma interface mais amigável na configuração, comunicação e atualização da configuração das máquina-ferramentas. Alguns benefícios de uma arquitetura aberta são:

- Facilitar a programação do usuário, criando-se rotinas de configuração do controlador (PRITSCHOW, 1996);
- Desenvolver algoritmos de controle adaptativo para aplicações inovadoras como, por exemplo, trabalho que utiliza sensores de força, sensores de vibração, etc. (HOSKE, 1996).
- Facilitar as conexões na rede para integrar as máquinas, obtendo troca de informações entre chão de fábrica e gerência (KOREN, 1996);
- Escrever algoritmos para controles especiais de servos-motores, aumentando o desempenho das máquina-ferramentas
- Utilizar a mesma interface do operador para diferentes máquinas, para desse modo simplificar o treinamento de usuário e redução do custo. (YAMAZAKI, 1996);

Nos sistemas de controle CNC convencionais, o usuário não pode acrescentar ou modificar as funções baseadas nas suas idéias após a instalação do sistema. Especialmente as funções e a interface homem máquina que não podem ser reconfiguradas.

Como o sistema de arquitetura aberta, é programável e tem escalabilidade, isto é, pelo fato de ser possível se programar inserindo novas funções e pelo fato de se ter um hardware que possibilita ampliação, permite uma fácil reconfiguração, o que não ocorre com os CNCs convencionais

- **Desvantagens**

Algumas desvantagens dos CNCs de Arquitetura Aberta podem ser listadas abaixo:

- No sistema convencional as funções são bem definidas, entretanto, mais limitadas para sua fácil alteração por técnicos especializados. No CNC de Arquitetura Aberta necessita-se de uma mão de obra multi funcional, especializada em mecânica, eletrônica e informática;
- Necessita de uma melhor documentação no programa para facilitar o entendimento e para futuras alterações .
- Por ser baseada em sistemas operacionais de mercado, pode necessitar uma freqüente atualização, devido aos conflitos de versões.

3.5 - Tendências

O que se espera para o futuro, é que haja uma definição na padronização no software e no hardware para os CNCs de Arquitetura Aberta, no sentido de se atingir certos objetivos, tais como:

- Melhoria da intercambialidade entre equipamentos relacionados, de forma que a livre combinação de um equipamento produzido por um fabricante possa ser usada com os que são feitos por outros fabricantes.
- Melhoria na conectabilidade com equipamentos relacionados, isto é, um mecanismo de conexão padronizada, desta forma permitindo a redução de hora-homem para desenvolvimento.
- Estabelecimento do sistema, isto é, os fabricantes que oferecem software e hardware abertos devem constituir uma organização de garantia de terceira parte, de modo a materializar o crescimento dos sistemas de arquitetura aberta.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a necessidade do estudo dos CNCs de Arquitetura Aberta devido a evolução da tecnologia de automação industrial nos sistemas de manufatura, pois o sistema produtivo torna-se cada dia mais complexo para o atendimento da demanda. Novas técnicas são indispensáveis para se atingir estes objetivos, sendo os CNCs de Arquitetura Aberta uma delas.

Foi realizada uma revisão bibliográfica do Comando Numérico Computadorizado onde se mostrou o funcionamento do Controlador Lógico Programável, sua linguagem de programação e forma de processamento dos sinais de entrada e saída, detalhando seu hardware e software. Quanto ao CNC mostrou-se o Comando Numérico interligado a uma máquina-ferramenta de forma a visualizar o sistema mecânico e o sistema eletrônico (IHM, teclado, Comando Numérico). A forma de programação através do código G e a interação existente entre CLP-CNC.

Também descreveu a origem do CNC de Arquitetura Aberta e sua definição por diversos centros de pesquisas. Há vários tipos de arquitetura aberta sendo desenvolvida nos EUA, Europa e Ásia, as quais tem em comum o uso do microcomputador (ou estação de trabalho) para seu controle, sendo que a Arquitetura OSACA é direcionada mais para a área de *software*, a Arquitetura OMAC atua mais na área prática de aplicações industriais, a Arquitetura OSEC

atua na automação em toda área fabril, logística e suporte e a Arquitetura HOAM-CNC atua na área de hardware em termos de implementação de novos sensores e módulos especiais.

Esse trabalho pode classificar essas Arquiteturas descrevendo a características de cada tipo, enfatizando a área de atuação de cada uma em relação aos critérios hardware e software, funcionalidade e flexibilidade.

Relacionado os CNCs de Arquitetura Aberta pode-se observar que as Arquiteturas OSACA e OMAC se aproximam mais uma da outra no que se refere às áreas de atuação dentro do planejamento da produção, as Arquiteturas HOAM e MOSAIC atuam mais em relação ao chão de fábrica e engenharia e finalmente a Arquitetura OSEC atua na automação em toda área fabril, logística e suporte

Todas estas arquiteturas têm como propósito integrar equipamentos de vários fornecedores diferentes e obter soluções de controle a um custo menor, mantendo o mesmo desempenho. Foi também realizado uma comparação dos CNCs chamados convencionais com os CNCs de Arquitetura Aberta, destacando suas principais diferenças entre suas flexibilidades.

Foram descritas também as suas tendências futuras e analisadas as vantagens e desvantagens da utilização dos CNCs de Arquitetura Aberta . Desta forma esse trabalho concentra informações que podem auxiliar na escolha ou não de um CNC de Arquitetura Aberta para uma determinada aplicação destacando as principais potencialidades para o seu usuário final.

4.1 Propostas para trabalhos futuros

Como o CNC de Arquitetura Aberta é uma nova tecnologia que abrange a manufatura, uma das propostas seria fazer uma análise do comando numérico em relacionando ao CIM.

Devida as facilidades na sua programação para o usuário, podem ser estudadas interfaces e funções que utilizam as tecnologia de Inteligência artificial para melhoria de seu desempenho.

Assim como o desenvolvimento de algoritmos de controle adaptativo para aplicações inovadoras como, por exemplo, trabalhos que utilizam sensores de força, sensores de vibração, sensores acústicos, etc.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTINTAS, Y.(1998). IMM / ORTS CIRP 98, www.malinc.com/papers/cirp98.html, 24/set.
- ALTINTAS,Y.; NEWELL N.; ITO M. (1996). Modular CNC desing for intelligent machining, part.1: desing of a hierarchical motion control module for CNC machine tools. TRANSACTIONS OF THE ASME - Journal of manufacturing Science and engineering v.118, p508-521, nov.
- ALTINTAS, Y.; MUNASINGHE, W.K. (1994). A Hierarchical Open-Architecture CNC System for Machine Tools, CIRP Vol.43/1
- ASATO, O. L.; KATO, E.R.R.; INAMASU,R.Y.; PORTO,A.J.V.(1999) Analysis of CNC's of Open Architecture in the use of machines tool, XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia - São Paulo - Brasil, Anais,Cobem99, seção S22, p.167.nov.
- BABB, M. (1996). PC's: the foundation of Open Architecture Control Systems, Control Engineering, p.43-45, jan.
- BEL, G.; CAVAILLE, J.B.; DUBOIS, D. (1988). Flexible Manufacturing Systems: modelling and simulation. Systems and Control, Encyclopedia, Theory Technology Application. P.1642-1649.
- Boletim InFoco da GE-Fanuc.(1998), Open CNC: integrando automação e controle, Fev.

BRIKMAN, B. Strategy for flexibility. In: Advances in production management systems 85, p.242-248, North-Holland, 1986.

BROWNE, J. (1988) Production Management Systems – A CIM Persctive. Addison Wesley.

GROOVER, M.P. (1980). Automation Production Systems and computer-Integrated Manufacturing, ed. Prentice Hall inc., New Jersey.

HERRING, G.E. (1998). Users agendas will dominate control technology, says a builder, Manufacturing Engineering, v.121, p.86-88, jul.

HOSKE, M. T. (1996). New CNC controller is 'Fully Open', Control Engineering v.43, n.15, p.69-70,nov.

IEEE Standards products catalog (1998) IEEE/NEMI PR 1533-1998, IEEE/NEMI Low-Cost Open Architecture Controller Specification, <http://standards.ieee.org/catalog/nemi/Preface.html>

KATO, E.R.R. (1994). Projeto do Intertravamento de Centros de para ambiente de manufatura flexível. São Carlos. 180p. dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

KINSELLA, J. (1998), A user and builder of open systems says they're easier to service and support, Manufacturing Engineering, v.121, p.94-95, jul.

KOREN, YORAM.(1993). Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw-Hill, Inc. United States.

KOREN, YORAM.; PASEK, Z. J.; ULSOY A. G.; BENCHETRIT,U.(1996). Real-time open control architectures and system performance, CIRP v.45, jan.

KOREN YORAM; PASEK ZBIGNEIW J.; ULSOY A. G. and WRIGHT, P.K.(1996). Timing and Performance of Open Architecture Controllers, DSC-Vol.58, Proceedings of the ASME Dynamics Systems and Control Division ASME .

LUGGEN, W.W. (1984). Fundamentals of numerical control, Delmar Publishers Inc. e.2, USA.

LOBÃO, E.C. (1995) Intertravamento de Máquinas-ferramentas: Proposta de roteiro para projeto e implementação, e estudo de caso em ambiente de manufatura flexível. São Carlos. 175p. dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MACHADO, ARYOLDO. (1987). Comando Numérico aplicado às máquinas-ferramentas, ed.2, editora Icone, São Paulo.

MALONE, J.P. (1997). Open Architecture CNC uses Profibus, Control Engineering, v.44, i.4, p.116. mar.

MIYAGI, P.E. (1996). Controle Programável- Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos, Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, Brasil.

MILES,PETER.(1998).Open architecture: forecasting the adoption wave
ROBOTICS WORLD, summer

MARIOTTO, F.L. O conceito de competitividade da empresa: uma análise crítica.Revista de Administração de Empresa. 31(2), p.37-52.abril-junho. 1991

MUSCAT, A. R. N.; FLEURY, A.C.C. Indicadores da qualidade e produtividade na industria brasileira. Revista indicadores da qualidade e produtividade. Ano 1,n.2, p.81-107, 1993.

ORKAN Informática e treinamento. (1994), Manual do curso Siemens modelo SIMATIC S5, ed.1, São Bernardo do Campo, SP, Brasil

- OSACA. (1998). Open System Architecture for Controls within automation Systems, relatórios de atividades e resultados, <http://www.osaca.org.>, data : 06/10/98, Switzeland.
- OSHIDA,M.(1996). Trabalho apresentado na Conferência Internacional dos Engenheiros de Manufatura 7, apud Conceição A.; Simon, T. (1997), Muito se fala sobre equipamentos CNC abertos, mas, o que se espera deles ?. Máquinas e Metais, n.376, p121-24, mai.
- OSHIRO, O. T. (1998). Uma arquitetura paralela para o controle de máquina-ferramenta de ultraprecisão, São Carlos. 98p. tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PINE, I.B.J. *Personalizando Produtos e Serviços-Customização Maçã: A Nova Fronteira da Competição dos Negócios*. Madron Books. 1994. 344p.
- PRAHALAD, C.K.; HAMEL, G. The Core competence of the corporation. Harvard Business Review, maio-junho, p.79-91, 1990
- PORTO, A.J.V. (1985). Introdução ao Controle Numérico, publicação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- PRITSCHOW, G.; DANIEL, CH.; JUNGHANS, G.; SPERLING, W.; (1993). Open System Controllers – A Challenge for the Future of the Machine Tool Industry, apud, ALTINTAS, Y. ., MUNASINGHE, W.K (1994), A Hierarchical Open-Architecture CNC System for Machine Tools, CIRP Vol.43, Jan.
- PRITSCHOW, G.; DANIEL CH.; JUNGHANS G.;SPERLING W. (1993).Open System controllers – A challenge for the future of the Machine Tool Industry. CIRP v.42,p.449- 52, jan.
- PROCTOR M.F. & ALBUS J.S. (1997). Open architecture controller IEEE SPECTRUM v.34, n6, p.60-4, jun.

- PROCTOR M.F.(1993). Open architecture for machine control NISTIR-5307, Technical report, NIST, Gaithersburg, MD, December, apud KOREN, Y; PASEK, Z. J.; ULSOY A . G.;
- WRIGHT, P.K.(1996). Timing and performance of open architecture controllers, ASME proceedings of the ASME Dynamics Systems and Control Division, v.58, p.283-290
- ROCKWELL AUTOMATION. (1998). Boletim Informativo da Rockwell Automation, n.25, ano VII, jul.
- ROBER, S.J. & SHIN, Y.C. (1995). Modeling and Control of CNC Machines Using a PC-Based Open Architecture Controller, Mechatronics, v.5, n.4, p.401-420,
- ROMI Industria S.A. (1998). Manual do curso de operação e programação MACH 9L, Santa Barbara D'Oeste, SP, Brasil
- SLACK, N. Vantagem competitiva em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais, São Paulo, Atlas, 1993.
- STALK, Jr.G.; HOUT, T.M. Competindo contra o tempo. Rio de Janeiro, ed. Campus, 1993
- TAKAHASHI, S.(1997). Projeto Organizacional e de Equipes de Desenvolvimento de Produto: Uma Abordagem Integrada, São Carlos. 257p. tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SHAWKY, A.M. & ELBESTAWI, M.A. (1998). Model-based predictive control of workpiece accuracy in bar turning JOURNAL OF MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING v.120, p.5767,feb.. ASME

SANTOS, J.L. (1996). Implementação e uso de rede fieldbus para monitoramento e controle de aplicação em tempo real, São Carlos. 160p. dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SIEMENS Ltda, Informações técnicas Catálogo do CLP Siemens modelo SIMATIC S7-200, Industrial Automation Systems, P.O.Box 4848, 90327 Nuremberg, Germany.(I)

SIEMENS Ltda, Informações técnicas Catálogo AUT1/1484-FO Siemens, Industrial Automation Systems, P.O.Box 4848, 90327 Nuremberg, Germany.(II)

SCHOFIELD, S., Open architecture Controller for Advanced Machine Tools – Ph.D. Thesis, The University of California, Berkeley. Apud Wright, p. et ali, Open architecture control for machine tools. WRIGHT, P.; SCHOFIELD, S.; WANG, F. C., (1996) Open Architecture Control For Machine Tools, Integrated Manufacturing Laboratory, The University of California, Berkeley, <http://infopad.eecs.berkeley.edu/~fuchung/papers>, 24 /nov./96

STEPHEN J. ROBER & YUNG C. SHIN.(1995). Modeling and control of CNC machines using a PC-based open architecture controller. MECHATRONICS v.5,n.4,p.401-420.

TAKEYAMA, H. (1994), OSEC – Open System Environment for Controller, <http://smlgw.sml.co.jp/osec/draft1.0/ose1e.htm>, apud Open CNC revolt spreading to Japan, Control Engineering, p.32, jan., 1996

TRAUBOMATIC. (1984). Institut für angewandte Organisationsforschung, curso básico de comando numérico CNC, editora Pedagógica e universitária Ltda., São Paulo.

YAMAZAKI, K. (1996), Conferência Internacional 7ª, Tokio,nov, apud, Conceição, M. A.; Simon, A. T.(1997), Há varios projetos de contralador CNC de arquitetura aberta em andamento nos EUA., *Máquinas & Metais*, p.46-69,out.

- YAMAZAKI K., HANAKI Y., MORI, M., TEZUKA K.(1997). Autonomously proficient cnc controller for high performance machine tools based on an open architecture concept. *CIRP*, v.46, p.275-278, jan.
- YELLOWLEY, I.; ARDEKANI, R.; YANG, L., SEETHALER, R. J. (1998). Development of robust extensible architecture for machine tool control, www.mech.ubc.ca/Faculty/Labs/ManLab/Bostonf/bonstonf.htm.03/09/1998.
- YEN, J. (1998). The biggest of the Big Three goes beyond the PC. *Manufacturing Engineering*, v.121, p.90-92, jul.
- WADA, R. (1996). Trabalho apresentado Conferência Internacional dos Engenheiros de Manufatura 7, Tokio, nov., apud, Conceição, M. A.; Simon, A. T.(1997), Há de haver um conceito bem diferente do atual para as máquinas de amanhã, *Máquinas e Metais*, ed. Aranda, ano XXXII, n.376, p.20-43, mai.
- WRIGHT, P.; SCHOFIELD, S.; WANG, F. C., (1996) Open Architecture Control For Machine Tools, Integrated Manufacturing Laboratory, The University of California, Berkeley, <http://infopad.eecs.berkeley.edu/~fuchung/papers>, 24 /nov./96