



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DE SÃO PAULO**

**Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
MBIS – Executivo em Ciência da Computação**

João Aristides Bottura Filho

**Um estudo de caso de organização de programas de
automação industrial baseada na Norma IEC61131-3**

São Paulo

2007



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DE SÃO PAULO**

**Programa de Pós-Graduação Latu Sensu
MBIS – Executivo em Ciência da Computação**

João Aristides Bottura Filho

**Um estudo de caso de organização de programas de
automação industrial baseada na Norma IEC61131-3**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação Latu Sensu da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo para obtenção do Certificado de Conclusão do Curso Master Business Information Systems – Executivo em Ciência da Computação.

Orientador: Gregorio Bittar Ivanoff

São Paulo

2007

Ficha Catalográfica

Bottura Filho, João Aristides

**Um estudo de caso de organização de programas de
automação industrial baseada na Norma IEC61131-3**

**Monografia de Conclusão de Curso – Pontifícia
Universidade Católica de São Paulo**

Bibliografia

1. Controlador Programável; 2. Automação Industrial; 3. IEC61131-3; 4. Planejamento Estratégico; 5. Processos organizacionais de desenvolvimento de software.

**Aos meus pais João Aristides e Maria
Valentina que sempre me apoiaram em
todos os passos da minha vida.**

Agradecimentos

A Deus, em primeiro lugar, pois me serve de guia e em quem busco forças para enfrentar os desafios da vida.

Ao meu orientador, Gregorio Bittar Ivanoff, pela paciência e dedicação durante todo o desenvolvimento desta Monografia.

A todos os professores, pela dedicação e entusiasmo demonstrados ao longo do curso. Um agradecimento especial aos professores Alexandre Campos Silva, Lawrence Chung Koo, Ítalo Santiago Veja, Marcos Lara, Fábio Câmara Araújo de Carvalho e Walter Kuroda, pelos conhecimentos transmitidos, pela amizade e receptividade durante a minha passagem pelo programa MBIS.

Aos amigos que fiz durante o curso; em especial aos amigos Wagner, Lúcia e Fátima pela sinergia que tivemos.

Um agradecimento especial a minha esposa Márcia, pelo seu apoio incondicional em todas as horas deste trabalho.

Às minhas filhas Bruna Fernanda e Maria Júlia, por serem o motivo da minha luta e dedicação.

A minha irmã Mércia, pelo apoio na elaboração desta monografia.

Ao Daniel, Marcos, Cabrera, José Nilton, Carlos Ori, Bruno e Rodrigo do departamento de aplicações da ATOS, pelo apoio e entrevistas concedidas para este trabalho.

À empresa ATOS, pela bolsa de estudo concedida e pelo apoio incondicional do Sr. Arnaldo, Luciano e Pietro, diretores da Atos que mais do que amigos, são exemplos a serem seguidos.

Um estudo de caso de organização de programas de automação industrial baseada na Norma IEC61131-3

Bottura Filho, João Aristides

Resumo

Esta monografia apresenta o estudo de caso de um fabricante de Controladores Programáveis (CP's) que, identificando uma inovação tecnológica em curso representada pela norma IEC61131-3 (responsável pela padronização das linguagens de programação utilizadas para programar os CP's), agiu de forma estratégica e migrou de uma programação proprietária para uma programação baseada na norma. Esta mudança alterou a percepção de seus clientes sobre a proposta de valor, dando à empresa uma vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes. Para efeito de entendimento do assunto, a norma e seus principais conceitos e estruturas também são detalhados.

Abstract

This paper presents a case study of a Programmable Controller manufacturer that perceiving a technological innovation represented by the IEC61131-3 (standard for the Programmable Controllers' languages), acted strategically and moved from a traditional proprietary programming environment to an environment based on the IEC61131-3 standard. This movement changed the customer's perception about the company's value proposal, giving it a competitive advantage compared to its competitors. To ensure good understanding of the subject, the standard and its main concepts and structures are detailed.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	JUSTIFICATIVA	1
1.2	Objetivos.....	4
1.3	Metodologia.....	4
1.4	Estrutura do trabalho.....	5
2	LIGAÇÃO ENTRE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO (PE) E A NORMA IEC61131 7	
2.1	Considerações iniciais.....	7
2.2	Os elementos que compõem o Planejamento Estratégico de uma empresa.....	8
2.2.1	Primeira Fase: Orientação da empresa.....	8
2.2.2	Segunda fase: Gestão do conhecimento ou diagnóstico.....	10
2.2.3	Terceira fase: Implementação das estratégias	13
2.3	Contribuições da norma IEC61131- 3 na geração de valor de uma empresa	17
2.4	Utilizando a norma IEC61131-3 como diferencial competitivo.....	17
3	OS CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS E A NORMA IEC61131-3.....	20
3.1	Considerações iniciais.....	20
3.2	Histórico dos Controladores Programáveis	20
3.3	Conceituação sobre Controladores Programáveis.....	23
3.4	Princípio de funcionamento dos Controladores Programáveis	24
3.5	Criação da norma IEC61131 e seu organismo regulador	26
3.5.1	Histórico.....	26
3.5.2	O organismo internacional PLCOpen	28
3.6	Modelo de software proposto pela norma IEC61131-3.....	30
3.6.1	Aplicando o Modelo de Software em Sistemas Reais.....	32
3.6.2	Utilizando as Configurações IEC em Aplicações Reais	34
3.6.3	Unidades de Organização de Programas (POUs).....	35
3.6.4	Tarefas (<i>TASKS</i>).....	44
3.7	Linguagens de Programação.....	48
4	ESTUDO DE CASO	51
4.1	Considerações iniciais.....	51
4.2	Caracterização da empresa.....	52
4.2.1	Natureza do negócio.....	53
4.2.2	Porte e Localização	54
4.2.3	Principais mercados	54
4.2.4	Perfil dos funcionários	55
4.2.5	Aspectos competitivos	57
4.3	Levantamento de dados sobre o estudo de caso.....	64
4.3.1	Funcionamento básico de uma sopradora de plástico	65
4.3.2	Cliente atendido com esta aplicação	66
4.3.3	Informações sobre as ferramentas de programação da empresa	69
4.3.4	Indicadores	75
4.3.5	Método para captura dos dados.....	77
4.3.6	Resultados obtidos	78
4.3.7	Análise Crítica dos dados.....	79
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
5.1	Quanto aos objetivos propostos	80
5.2	Quanto às dificuldades enfrentadas	81
5.3	Quanto à continuidade do trabalho	81
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
7	ANEXO A: Linguagens de programação descritas na norma IEC61131-3	83

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Visão geral das fases de um planejamento estratégico.....	8
Figura 2.2 - Matriz SWOT para determinação das estratégias.	13
Figura 2.3 - Perspectivas do BSC mostrando relações de causa e efeito.	14
Figura 2.4 - Cadeia de valor genérica. (Fonte: Herrero, 2005).....	15
Figura 2.5 - Caminho entre a visão estratégica e a agregação de valor.	16
Figura 3.1 - Relação entre o CP e suas entradas e saídas.	24
Figura 3.2 - Processamento cíclico do Controlador Programável.	26
Figura 3.3 - Selos de conformidade oferecidos pela norma.	30
Figura 3.4 - Modelo de software definido pela IEC61131-3.	32
Figura 3.5 - Controle feito por um único Controlador Programável.	33
Figura 3.6 - CP com múltiplos processadores no mesmo barramento.....	33
Figura 3.7 - Processamento distribuído.	34
Figura 3.8 - Divisão de aplicações em vários recursos.	35
Figura 3.9 - Exemplos de Blocos de Função do tipo temporizador.	40
Figura 3.10 - Bloco funcional.	41
Figura 3.11 - Representação IEC para bloco funcional.....	41
Figura 3.12 - Escalonamento preemptivo e não-preemptivo.....	48
Figura 3.13 - Resumo das linguagens de programação pela norma IEC61131-3.....	49
Figura 3.14 - Exemplos de um comando feito em IL,ST,FBD e Ladder.....	49
Figura 4.1 - Fluxograma para estudo de caso (Fonte: Tachizawa, 2000).....	52
Figura 4.2 - Previsão de mercado para Controladores Programáveis.	57
Figura 4.3 - Distribuição dos usuários para produtos de alta tecnologia.....	62
Figura 4.4 - Primeiro site brasileiro sobre a IEC61131.....	64
Figura 4.5 - Processo simplificado de sopro (Fonte: Senai -RS, 2006).....	65
Figura 4.6 - Vista da fábrica, mostrada de cima da sopradora HDL-30.	67
Figura 4.7 - Vista lateral da sopradora HDL-30.	67
Figura 4.8 - Vista do painel elétrico com o CP à direita.....	68
Figura 4.9 - Vista dos alimentadores da sopradora HDL-30.....	68
Figura 4.10 - Logo das duas ferramentas de programação.	69
Figura 4.11 - Exemplo de um programa a partir da norma IEC61131-3.	71
Figura 4.12 - Alocação direta do valor inicial da variável, a partir da IEC61131-3.....	71
Figura 4.13 - Programa para alocar o valor das variáveis de forma não customizada.	72
Figura 4.14 - Representação da redução de linhas proporcionado pela norma.	72
Figura 4.15 - Alarme implementado com 5 linhas, a partir de linguagem customizada.	73
Figura 4.16 - Alarme implementado com apenas 1 linha, a partir da programação baseada na norma IEC61131-3.....	73
Figura 4.17 - Programa sem usar bloco de função.....	74
Figura 4.18 - Função “Refrigeração” criada pelo usuário.	75
Figura A.1 - Exemplo de um diagrama ladder.	84
Figura A.2 - Realimentação em ladder.	85
Figura A.3 - Exemplo de programa escrito em texto estruturado.....	85
Figura A.4 - Representação de blocos funcionais e funções em FBD.	86
Figura A.5 - Exemplo de blocos de Temporizadores.....	87
Figura A.6 - Exemplo de programação em Lista de Instruções.....	88
Figura A.7 - Exemplo de um processo por batelada.....	91

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Resumo da norma IEC61131.	27
Tabela 3.2 - Funções numéricas padrões.....	37
Tabela 3.3 - Funções de comparação	38
Tabela 4.1- Distribuição dos empregados da ATOS segundo o grau de escolaridade.....	56
Tabela 4.2 Características apresentadas pelo processador “ADSP BF532”.....	61
Tabela 4.3 - Comparação das principais características dos aplicativos disponibilizados pela empresa.	70
Tabela 4.4 - Indicadores quantitativos utilizados para medir a eficiência do emprego das diretrizes normativas da IEC61131-3.....	76
Tabela 4.5 - Indicadores qualitativos utilizados para medir a eficiência do emprego das diretrizes normativas da IEC61131-3.....	76
Tabela 4.6 - Planilha utilizada para o levantamento dos indicadores qualitativos.	77
Tabela 4.7 - Indicadores quantitativos da empresa do estudo de caso	78
Tabela 4.8 - Indicadores quantitativos da empresa do estudo de caso	78
Tabela A.1 Simbologia de contatos definida pela norma.....	84
Tabela A.2 Simbologia de bobinas	84

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Desde o advento dos Controladores Programáveis (CP's¹), muitas linguagens proprietárias foram desenvolvidas pelos fabricantes desses componentes, tornando impossível a padronização dos programas.

O resultado desta falta de padronização tem impacto direto na qualidade dos produtos e implica em:

- necessidade de treinamentos para diferentes equipamentos;
- formação de equipes específicas de manutenção para cada fabricante;
- perda de tempo e de dinheiro - consequência direta muitas vezes não percebida pelos usuários.

Esse cenário, vivenciado constantemente por usuários e por integradores que utilizam CP's em seus projetos, tem justificado a busca de novas formas de programação, e encontra forte apoio nas diretrizes da norma IEC61131-3 (International Electrotechnical Commission-1993) que padroniza as linguagens de programação desses dispositivos.

Ao se empregar tais diretrizes para a programação dos CP's, tem-se um ganho de valor proporcionado sobretudo por:

- redução do tempo necessário para desenvolver aplicações;
- redução das necessidades de manutenções adicionais em programas desenvolvidos;
- facilidade de elaboração do plano de manutenção; e
- possibilidade de construção de produtos de qualidade superior.

Na época da elaboração deste trabalho, foi constatado a pequena quantidade de empresas brasileiras fabricantes de CP's que participam de entidades, tais

¹ Ao longo do texto, ao se fazer referência a **Controlador Programável**, pode-se ter distintas formas de grafia – por extenso ou utilizando-se a sigla “CP” para o singular ou “CP's” para o seu plural.

como a PLCopen², que trabalham em favor da divulgação da implementação da norma. Há portanto, um reduzido número de usuários preocupados em adotar a norma ou até mesmo que a conheçam de forma satisfatória. Este quadro é agravado ao se constatar que mesmo entre os que a utilizam, o fazem de modo parcial, não se beneficiando das reais vantagens que a norma proporciona.

Como conseqüência direta desta realidade tem-se, em termos de mercado brasileiro, um baixo índice de equipamentos desenvolvidos segundo a norma e, por conseqüência, um baixo número de empresas que desfruta de seus benefícios.

Essa situação é justificada em parte pela exigência de uma expressiva mudança na base tecnológica das empresas que querem fazer uso da norma, pois se exige o uso de microcontroladores de última geração, que possam suportar a implementação da norma, os quais nem sempre estão disponíveis a custo competitivo.

No entanto, a falta desses microcontroladores começa a ser gradualmente revertida, pois começam a ser lançadas - a custos mais competitivos - novas famílias de microcontroladores capazes de suportar a implementação da norma. Não obstante, ainda há uma inércia do mercado para implementar outras modificações necessárias, principalmente em função dos elevados investimentos exigidos.

Trata-se, no entanto, de um caminho irreversível, que as empresas deverão trilhar caso queiram continuar sendo competitivas no mercado. Para mostrar a viabilidade deste caminho à maioria das empresas nacionais, sejam elas fabricantes ou usuárias de CP's, será apresentado um estudo de caso realizado em uma empresa fabricante de Controladores Programáveis que migrou recentemente de uma programação proprietária para uma programação

² A PLCopen , uma associação profissional mundial com cerca de 100 membros e escritórios na Europa, EUA e Japão, é uma promotora independente da norma IEC61131 e seu trabalho é divulgado através do site: www.plcopen.org.

que segue a norma IEC61131-3, buscando, nesta mudança, uma estratégia de competitividade.

O ambiente de pesquisa desenvolveu-se na empresa ATOS Automação Industrial Ltda. que projeta, produz e comercializa equipamentos de automação industrial.

Como nos dias de hoje o Controlador Programável tornou-se uma “*commodity*”, este fabricante, para aumentar sua receita, também presta serviço de desenvolvimento de software para CP's, além de desenvolver projetos de montagem e sistemas “*turn key*”.

O fabricante atua nas mais diversas áreas de automação tais como plástico, manufatura e refrigeração, o que lhe permite ter uma maior compreensão das necessidades dos clientes e também dos usuários finais.

Neste ambiente, e pelas entrevistas feitas pelo autor com seus administradores, ficou claro que uma mudança da proposta de valor dos fabricantes de equipamentos está em curso (modelo de negócios), pois os parâmetros de desempenho passam a ser determinados pela flexibilidade de desenvolvimento das aplicações e pela velocidade com que são disponibilizadas.

Tendo esta percepção, cabia à alta administração desenvolver uma estratégia que pudesse trazer inovação a seus produtos e que produzisse em seus clientes uma mudança de comportamento, pois somente desta forma a proposta de valor da empresa seria percebida.

A inovação necessária foi buscada através da implementação da IEC61131-3, norma responsável pela padronização das linguagens de programação utilizadas para programar os CP's.

Por se acreditar no grande potencial da norma para atender às necessidades do mercado de automação no que se refere à padronização das linguagens e também quanto às vantagens nela embutidas, é que se propôs o presente trabalho, cujos objetivos fundamentais estão explicitados na seqüência.

1.2 OBJETIVOS

Frente ao cenário anteriormente apresentado, os objetivos deste trabalho são:

- discutir de forma prática, o potencial da norma IEC61131-3 ser uma tecnologia capaz de agregar valor aos negócios das empresas, sendo, portanto, um elemento importante da estratégia competitiva da empresa.
- apresentar as principais estruturas da norma IEC61131-3, identificando modelos de software que possam trazer benefícios aos usuários de sistemas de automação.
- fazer uma comparação entre uma programação proprietária e a programação baseada na norma IEC61131-3, identificando possíveis ganhos e dificuldades a partir de sua adoção.

1.3 METODOLOGIA

Para que os objetivos apresentados pudessem ser atingidos, a metodologia do trabalho contemplou duas formas de atuação distintas. Primeiro, foi pesquisado, na bibliografia disponível, os temas principais deste trabalho buscando-se relacionar a norma IEC61131-3 e o planejamento estratégico da empresa, procurando fundamentar o trabalho e buscando-se registrar os principais conceitos preconizados pela norma e também evidenciar as vantagens e benefícios possíveis de serem obtidos pelos usuários de Controladores Programáveis, quando se faz uso da norma.

Num segundo momento, após a consolidação desses conceitos, realizou-se um estudo de caso em um fabricante de controlador programável que migrou da programação proprietária para uma programação baseada na norma.

A realização do estudo de caso teve por objetivo mostrar de forma prática os ganhos obtidos com a adoção da norma, sendo adotados alguns indicadores, tais como a redução do tempo de desenvolvimento, a inteligibilidade do código, a reutilização do código e a manutenção do código.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos, sendo este de introdução em que se apresenta a motivação para a realização do trabalho, bem como seus objetivos, metodologia e estruturação.

No **segundo capítulo** evidencia-se a importância das empresas buscarem um diferencial competitivo pelo emprego de novas tecnologias, sendo que este comportamento deverá estar expresso em seu planejamento estratégico, de modo que possa traduzi-lo em vantagem competitiva, apresentando uma proposta de valor superior à de seus concorrentes. Nesta linha, o objetivo deste capítulo foi o de mostrar a IEC61131 como uma metodologia que pode agregar valor ao negócio das empresas que trabalham direta ou indiretamente com equipamentos industriais que a adotam.

No **terceiro capítulo** resgata-se informações básicas sobre controladores programáveis enfocando-se:

- histórico dos Controladores Programáveis;
- conceituação sobre Controladores Programáveis;
- princípio de funcionamento do Controlador Programável;

Além disso, ainda neste capítulo, faz-se uma abordagem sobre a norma IEC61131-3, a partir dos seguintes tópicos:

- criação da norma IEC61131 e seu organismo regulador;
- modelo de software oferecido pela norma IEC61131-3;
- linguagens de programação propostas pela norma.

No **quarto capítulo** é apresentado o estudo de caso, resgatando-se a premissa que motivou a adoção da norma pela empresa, ou seja, a necessidade de buscar uma inovação tecnológica que a colocasse novamente em vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes.

A empresa objeto do estudo também experimentou uma mudança comportamental no que se refere ao modo de programação que é um dos indícios de que a nova proposta de valor foi aceita e assimilada por seus funcionários e clientes.

No estudo feito, procurou-se levantar dados e informações que pudessem evidenciar os efeitos desta mudança.

No **quinto capítulo** registram-se as considerações finais referentes a este trabalho, com destaque para os objetivos alcançados, expressando-se, também, as propostas para a continuidade do trabalho em desenvolvimentos futuros.

Na seqüência são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, bem como os anexos que dele fazem parte.

2 LIGAÇÃO ENTRE O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO (PE) E A NORMA IEC61131

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As empresas, de um modo geral, buscam um diferencial competitivo em relação à sua concorrência e, neste cenário, a adoção de novos métodos e técnicas tem sido uma das estratégias adotadas, com vistas a se agregar valor e se manter no mercado cada vez mais desafiador.

Nos dias de hoje, a automação possui papel de destaque quando se fala em gerar e agregar valor para uma empresa da indústria seriada, mais especificamente a automação por meio de Controladores Programáveis e, associadas a estes, as diretrizes da norma IEC61131-3. A norma parte 3 da norma é a responsável por padronizar as linguagens de Programação a serem empregadas em CP's.

Para que se possa ter uma visão da importância do mercado de Automação Industrial, cita-se os números da indústria eletroeletrônica brasileira que em 2006 apresentou crescimento de 7%, para o setor de telecomunicações em relação a 2005. Para o setor de Automação Industrial, especificamente, o crescimento foi de 11%. (ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Eletro Eletrônica, 2007)

Neste cenário, o objetivo deste capítulo é mostrar que a adoção da IEC61131-3 é uma estratégia que pode agregar valor ao negócio das empresas que trabalham direta ou indiretamente com equipamentos industriais.

Para isto, os tópicos abordados são:

- Os elementos que compõem o Planejamento Estratégico de uma empresa.
- Contribuição da norma IEC61131-3 na geração de valor de uma empresa.
- Utilização da norma IEC61131-3 como diferencial competitivo

2.2 OS ELEMENTOS QUE COMPÕEM O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE UMA EMPRESA

Segundo Kuroda (2005), a importância de se traçar e acompanhar as estratégias de uma empresa materializa-se no momento em que acontece o alinhamento entre os diferentes departamentos de uma empresa - Vendas, Finanças, Marketing, Produção e Desenvolvimento - fazendo com que a energia produzida pelos departamentos individualmente possa ser somada de forma a alcançar os objetivos estratégicos definidos.

De uma forma genérica, a implantação de um Planejamento Estratégico passa por um processo composto pelas fases mostradas na Figura 2.1 e que serão brevemente discutidas na seqüência.

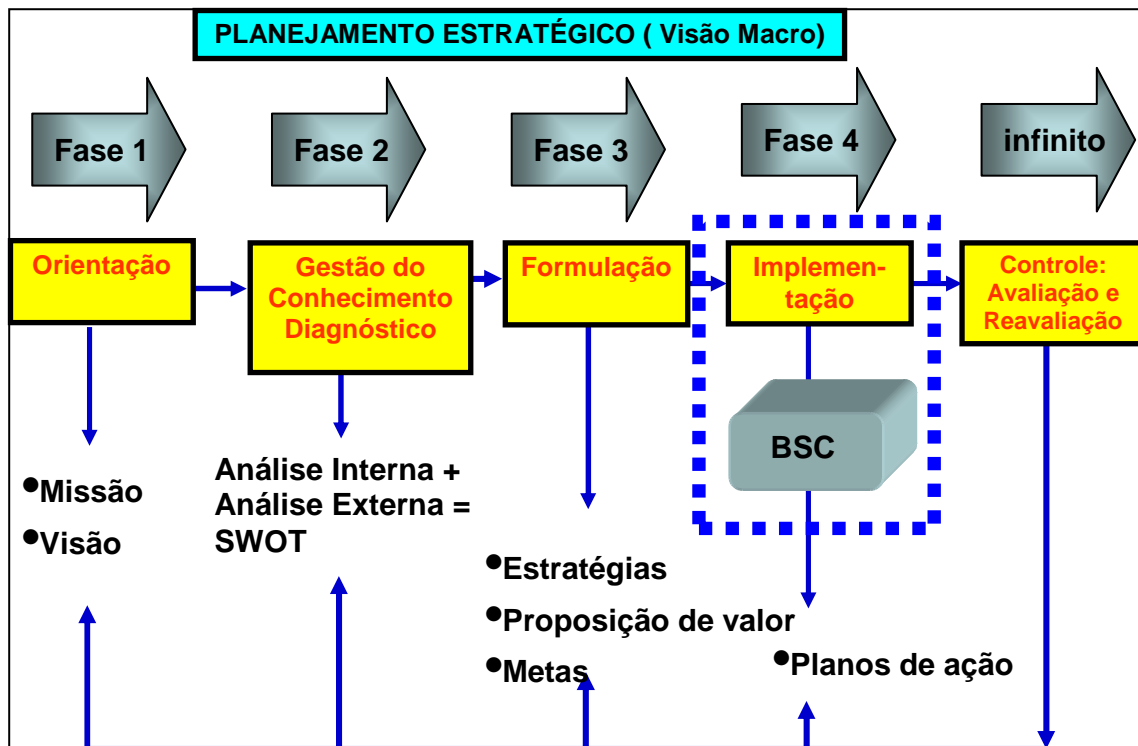


Figura 2.1 - Visão geral das fases de um planejamento estratégico (fonte: Kotler, 2000).

2.2.1 Primeira Fase: Orientação da empresa

Nesta fase devem ser escritas a Missão e a Visão da empresa.

A primeira determina a razão de ser da empresa, define o que é o negócio da empresa. Deve ser definida em função das necessidades do ambiente e não

em termos de produtos ou serviços. Segundo Kotler (2000), a declaração da missão deve ser para os colaboradores, um guia motivador e precisa estar fortemente vinculada às competências da organização.

A definição da missão pode e deve ser redefinida sempre que for necessário, ponderando as variáveis internas e externas; porém, deve ser escrita visando ao longo prazo.

Exemplos de Missões de algumas empresas:

- Preservar e melhorar a vida das pessoas (Merck – indústria farmacêutica)
- Servir alimentos de qualidade, com rapidez e simpatia, num ambiente limpo e agradável (McDonald's)
- Alegria das pessoas (Disney)
- Fazer contribuições técnicas para o avanço e bem estar da humanidade (Hewlett-Packard).

No que se refere à visão, Segundo Haddad et al. (2004), a declaração de “visão” das organizações deve ser construída com base nos seus valores, sonhos, desejos e ambições, para servir como um norte aos esforços coletivos de seus colaboradores.

A visão deve responder aos seguintes questionamentos:

- Para onde queremos ir juntos?
- Qual é o sonho mais ambicioso da nossa organização?
- Qual é a nossa visão de futuro?
- O que queremos alcançar a longo prazo?
- Para onde nós vamos a partir de onde estamos?

Exemplos de “Visão” de algumas empresas:

- “Ser reconhecida como a empresa mais criativa do mundo” (3M);
- “Construir um site onde todos possam comprar qualquer coisa” (Amazon.com);
- “Ser o líder mundial em imagem” (Kodak);

- “Um lugar cativante para investir, para fazer compras e para trabalhar” (Sears);
- “Eliminar os abusos contra o meio ambiente e promover soluções ambientais” (Greenpeace).

2.2.2 Segunda fase: Gestão do conhecimento ou diagnóstico

Nesta fase são realizadas análises tanto internamente à empresa como externamente, buscando coletar o maior número de informações que possam ajudar na elaboração das estratégias da empresa.

Para a fase de diagnóstico, muitas ferramentas podem ser utilizadas tais como análise SWOT, matriz BCG, matriz Ansoff, análise das forças competitivas entre outras.

A análise SWOT é a ferramenta de gestão mais conhecida pelas empresas, devido à sua simplicidade de entendimento e também de implantação.

O termo SWOT vem do inglês e representa as iniciais das palavras: *Strengths* (forças); *Weaknesses* (fraquezas); *Opportunities* (oportunidades); e *Threats* (ameaças), cujas principais características serão comentadas na seqüência.

As **Forças** correspondem aos recursos e capacidades da empresa que podem ser combinados para gerar vantagens competitivas com relação a seus competidores.

São Exemplos genéricos de forças:

- Marca de produtos
- Conceito da empresa
- Participação de mercado
- Vantagens de custos
- Localização
- Fontes exclusivas de matérias-primas
- Grau de controle sobre a rede de distribuição

As **Fraquezas** representam os pontos mais vulneráveis da empresa, em comparação com os mesmos pontos de competidores atuais ou em potencial:

São exemplos genéricos de fraquezas:

- Pouca força da Marca
- Baixo conceito junto ao mercado
- Custos elevados
- Localização não favorável
- Falta de acesso a fontes de matérias-primas
- Pouco controle sobre a rede de distribuição

As **Oportunidades** correspondem às oportunidades para crescimento da empresa.

São exemplos genéricos de oportunidades:

- Novos mercados
- Novos produtos
- Necessidades não satisfeitas do consumidor
- Aumento do poder de compra do mercado
- Disponibilidade de linhas de crédito

As **Ameaças** correspondem a mudanças no ambiente que implicam em ameaças à sobrevivência da empresa.

São exemplos genéricos de ameaças:

- Mudanças nos padrões de consumo
- Lançamento de produtos substitutivos no mercado
- Redução no poder de compra dos consumidores
- Novos concorrentes

A análise SWOT determina uma divisão natural de enfoque, sendo que, de uma forma genérica, é dividida em ambiente interno e ambiente externo à empresa

Ao se proceder à análise do **ambiente externo** à organização o foco para sobre as **oportunidades e ameaças**; e para o **ambiente interno** à organização enfoca-se os **pontos fortes e pontos fracos**.

Esta divisão é necessária, pois as ações a serem aplicadas são diferentes, dependendo do caso.

O ambiente interno pode ser controlado pelos dirigentes da organização, já que ele é o resultado de estratégias de atuação definidas por eles mesmos. Desta forma, quando se percebe um ponto forte na análise, deve-se ressaltá-lo ainda mais; quando se percebe um ponto fraco, deve-se agir para controlá-lo ou, pelo menos, minimizar seu efeito.

Após a empresa ter conhecimento interno e externo e saber onde quer chegar, chega-se à fase das definições de **Estratégias, Proposição de Valor e Metas**.

De uma forma genérica, a **estratégia** descreve como uma organização cria valor para os seus diferentes públicos.

Segundo Kaplan e Norton (2000), a proposta de valor descreve a combinação única de produto, preço, serviço, relacionamento e imagem que o negócio oferece aos clientes.

A proposta de valor determina os segmentos de mercado almejados pela estratégia e a maneira como a organização se diferenciará nos segmentos alvo em relação à concorrência.

A proposta de valor varia de acordo com o setor de atuação de uma determinada organização; no entanto, existem atributos comuns inerentes a qualquer negócio, aqui destacados:

- Atributos dos produtos / serviços
- Atributos de relacionamento com os clientes
- Atributos de imagem e reputação

As estratégias podem ser conhecidas a partir do cruzamento de informações da matriz SWOT, conforme mostrado na Figura 2.2.

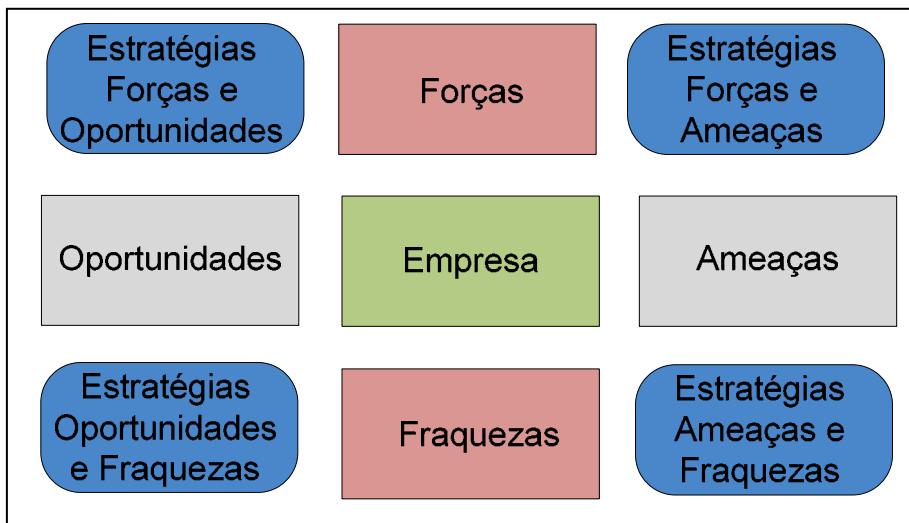


Figura 2.2 - Matriz SWOT para determinação das estratégias.

2.2.3 Terceira fase: Implementação das estratégias

O *Balanced Scorecard* (BSC) tem sido a abordagem de maior crescimento nos dias atuais para implantação das estratégias de uma empresa.

Segundo Herrero (2005), a metodologia do *Balanced Scorecard* traduz a missão e a visão da empresa em objetivos e medidas que devem refletir os interesses e as expectativas de seus principais *stakeholders*, podendo ser agrupados em quatro perspectivas diferentes:

Financeira: Demonstra se a execução da estratégia está contribuindo para a melhoria dos resultados financeiros, sendo possível medir este resultado através da monitoração de indicadores específicos tais como “retorno sobre investimentos”, “lucro líquido”, entre outros.

Do Cliente: Avalia se a proposta de valor formalizada pela empresa está sendo capaz de satisfazer as necessidades de seus clientes, sendo possível medir este resultado em termos de novos clientes conquistados, retenção dos atuais clientes, lucratividade por cliente e aumento da participação de mercado.

Dos processos internos: tem por objetivo identificar os principais processos dentro da cadeia produtiva, verificando se há a criação de valor que deve ser percebido pelo cliente

Do aprendizado e crescimento: verifica se a aprendizagem, a obtenção de novos conhecimentos e o domínio de competências do nível do indivíduo, do grupo e das áreas de negócio estão desempenhando o papel de viabilizadores das três perspectivas anteriores.

A Figura 2.3 mostra a relação de causa e efeito que deve existir entre as perspectivas de forma que haja formação de valor.

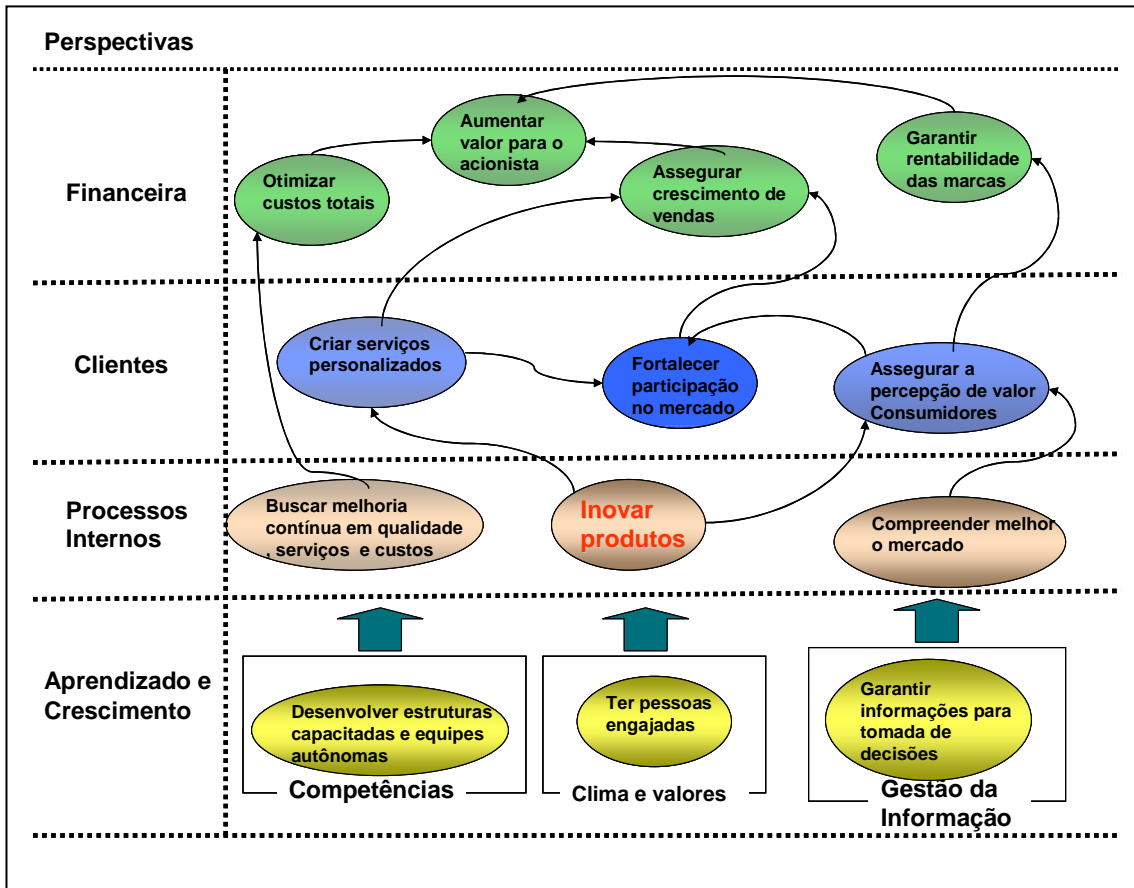


Figura 2.3 - Perspectivas do BSC mostrando relações de causa e efeito.

(fonte : Atos Automação Industrial Ltda.)

Para o tema discutido no presente trabalho, a perspectiva dos processos internos é a mais importante e será explorada com maior profundidade.

Segundo Herrero (2005), os processos internos desempenham três importantes papéis na implementação do BSC:

- Concentram o foco da organização nas iniciativas que viabilizam a proposição de valor para o cliente.

- Contribuem para a elevação da produtividade e geração de valor econômico agregado.
- Indicam os novos conhecimentos e as novas competências que os empregados precisam dominar para gerar valor para o negócio.

Segundo o mesmo autor, **os processos internos é que criam o valor percebido pelo cliente, aumentando o valor de mercado da empresa gerando por consequência riqueza para o acionista.**

Uma cadeia de valor genérica é mostrada na Figura 2.4.

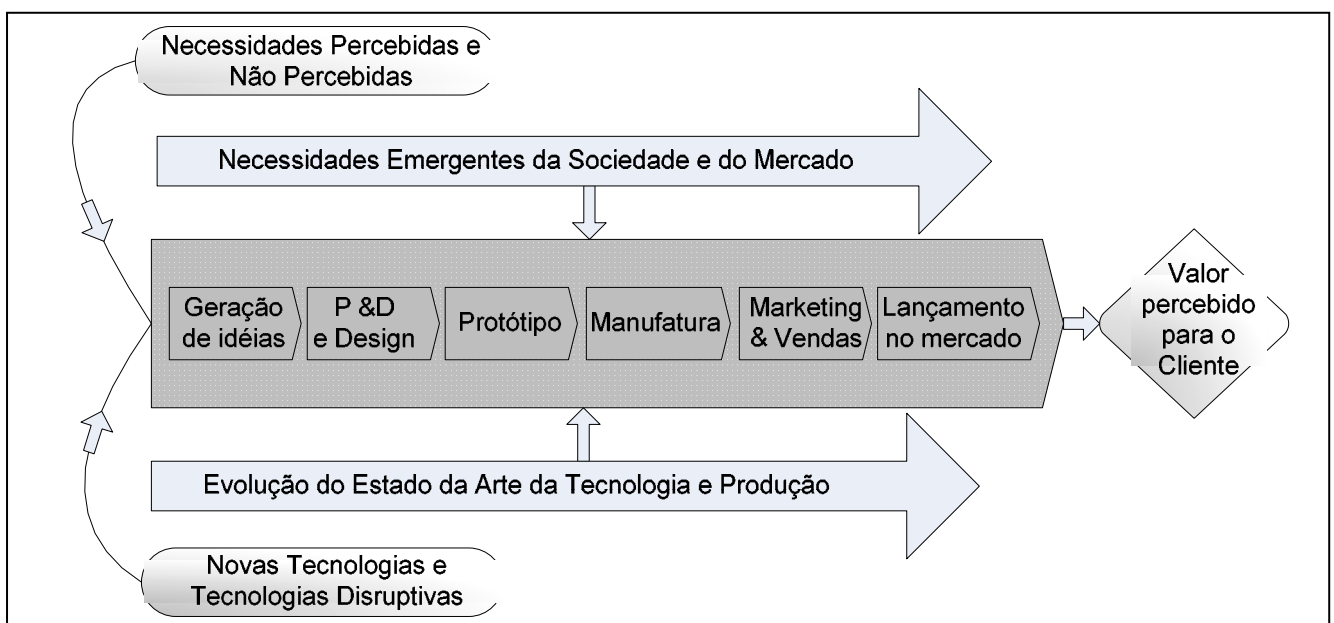


Figura 2.4 - Cadeia de valor genérica. (Fonte: Herrero, 2005)

Segundo o autor, a perspectiva dos processos internos é a responsável por monitorar e agregar novas tecnologias que surgem, além de atender as necessidades percebidas e também as não percebidas pelos clientes. O agente Marketing é fundamental nesta fase.

Para os fabricantes de equipamentos industriais, os sinais dos consumidores do mercado de automação são visíveis, sendo possível elencar ao menos quatro desejos genéricos desses consumidores:

- utilizar equipamentos intercambiáveis, com a possibilidade de redução do tempo necessário para desenvolver aplicações, além de redução de necessidades de manutenção adicionais em programas desenvolvidos;

- elaboração de planos de manutenção simplificados;
- aumentar a produtividade, melhorando sempre a relação custo/benefício dos produtos.
- aumento do valor agregado dos produtos de automação os quais, por consequência, implicariam em produtos de melhor acabamento, além de serem mais duráveis e robustos.

Através da análise da cadeia de valor, percebe-se que o caminho mais eficiente para a perpetuação das empresas é desenvolver uma estratégia que possa aproveitar as novas técnicas e métodos que se materializam pela criação de produtos com inovação e que estas inovações possam ser percebidas pelos clientes

A Figura 2.5 mostra como deve ser o caminho entre a visão estratégica até o cliente final que deve perceber o valor nos produtos da empresa.

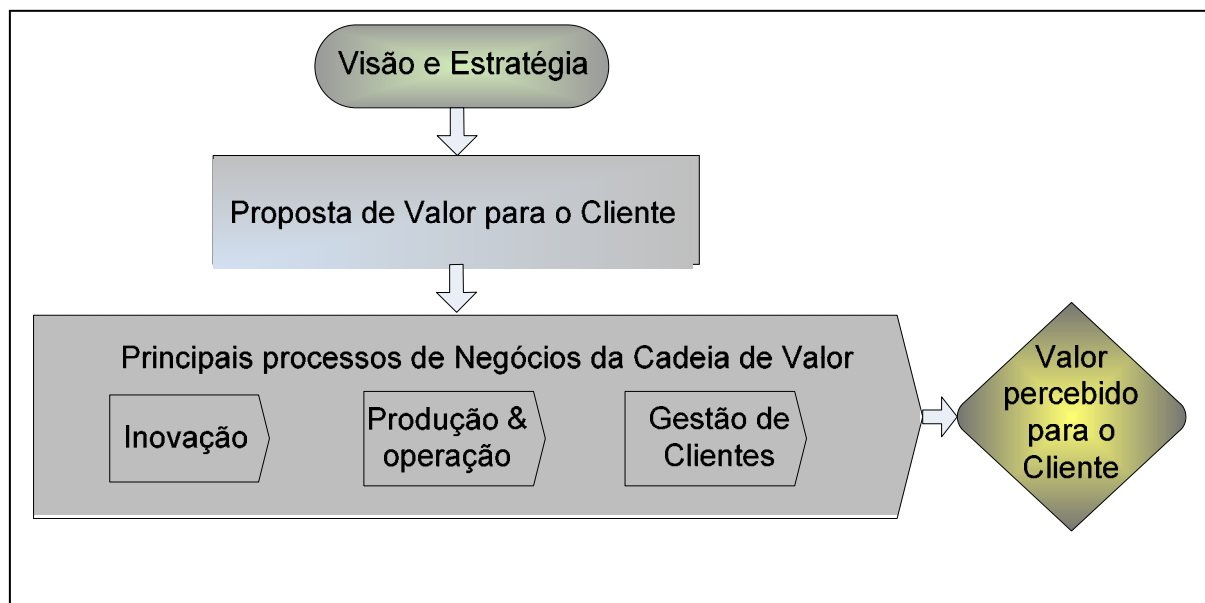


Figura 2.5 - Caminho entre a visão estratégica e a agregação de valor.

(Fonte: Herrero, 2005)

No contexto do planejamento estratégico, anteriormente apresentado, acredita-se que a adoção da norma IEC61131-3 possui todos os elementos necessários para geração de valor para as empresas que a adotam, sendo este aspecto discutido na seqüência.

2.3 CONTRIBUIÇÕES DA NORMA IEC61131- 3 NA GERAÇÃO DE VALOR DE UMA EMPRESA

A geração de valor será percebida a partir do momento que se puder :

- Programar em um tempo menor, utilizando-se de bibliotecas de usuário.
- Construir planos de manutenção enxutos, pois um programa estruturado sempre oferecerá um melhor entendimento, além do que, as bibliotecas de usuários criadas sempre possuirão qualidade intrínseca ou seja já foram validadas em outras aplicações.

Aliada às novas tecnologias de microcontroladores, que certamente são indispensáveis à implantação da norma, será possível:

- Construir CP's com maior valor agregado, que em função do seu desempenho contribuirão para a geração de produtos mais robustos e melhor acabados nas linhas de produção
- Aumentar a produtividade das plantas e processos em função do aumento do desempenho geral do CP.

A forma mais eficiente de se verificar a aceitação de uma nova tecnologia é verificar o grau de mudança que ela provoca nas pessoas que a utilizam.

Quando há mudança de comportamento, os ganhos são evidenciados e as chances da tecnologia se perpetuar aumentam.

Neste sentido, a adoção da norma tem este apelo de mudança de comportamento que está relacionada à forma como os programadores enxergam um processo ou uma máquina, onde a nova proposta é decompô-los em partes menores e tratá-los como componentes.

2.4 UTILIZANDO A NORMA IEC61131-3 COMO DIFERENCIAL COMPETITIVO

Para a maioria dos setores produtivos, a Automação Industrial tem se tornado, cada dia mais, um fator fundamental para aumento de produtividade das empresas.

De uma forma mais direta, a palavra de ordem é “**produzir mais, com maior qualidade e em menor tempo**”. Não entrando nos efeitos colaterais causados pela automação em massa como, por exemplo, o desemprego causado pela obsolescência prematura da mão-de-obra, a realidade atual leva a admitir que sem o aumento de produtividade associado à redução de custos, dificilmente as empresas terão chances de criar valor, mantendo seu negócio de forma sustentável ao longo do tempo, é neste ambiente competitivo e agressivo que a automação desempenha seu papel mais importante, determinando a velocidade com que as mudanças ocorrem.

Em muitos casos, a Automação Industrial é quem determina a agressividade de uma empresa e pode determinar de forma negativa ou positiva seu destino.

A quantidade de atividades automatizadas a ser empregada deve, portanto, fazer parte das estratégias das empresas. Podemos citar como exemplo o caso da Toyota que obteve destaque em qualidade e produtividade ao empregar de forma maciça robôs em suas linhas de montagem.

A equação mais importante a ser buscada é a que permite encontrar o balanço ideal entre os investimentos em automação e a produtividade possível de ser obtida. O desequilíbrio para qualquer um dos lados pode causar impactos importantes no fluxo de caixa das empresas.

Dentro desta perspectiva, a automação de máquinas e processos através da utilização de equipamentos industriais mais modernos passa a ser fundamental para alcançar o nível de competitividade ideal das empresas.

A experiência profissional do autor desta monografia indica que a definição de equipamentos industriais é muito abrangente; porém, restringindo o espectro para o setor de manufatura e processos, verifica-se que o emprego de Controladores Programáveis nestes segmentos é muito expressivo em função de sua versatilidade em se adaptar às mais diversas aplicações.

O desenvolvimento tecnológico para os CP's tem se mostrado excepcional nos últimos anos, beneficiado pela evolução tecnológica, principalmente na oferta de novas famílias de microcontroladores.

Com esta visão, as empresas que dependem de automação, e procuram uma proposta de valor diferenciada, necessitam acompanhar seu desenvolvimento e devem incluir, em seu planejamento, estratégias específicas que visam acompanhar as inovações no campo de Controladores Programáveis.

Também para os fabricantes de Controladores Programáveis a verificação de tecnologias disruptivas devem ser monitoradas e acompanhadas.

Neste contexto, a norma IEC61131 deve ser vista e entendida como um possível elemento de diferenciação no mercado. Compreender seu potencial e também traduzir seus benefícios em vantagem competitiva é uma possível opção estratégica para as empresas.

3 OS CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS E A NORMA IEC61131-3

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos dias de hoje, a Automação Industrial possui papel de destaque quando se fala em gerar e agregar valor para as empresas que, de forma direta ou indireta, utilizam máquinas ou processos em seus sistemas produtivos. Mais especificamente, os Controladores Programáveis são considerados um dos mais importantes componentes para se alcançar os níveis de qualidade e produtividade de um processo ou de uma máquina, requisitos básicos para o sucesso daquelas empresas.

Para que se conheça a natureza e a extensão deste tema, é necessário que os conceitos, as definições sobre os CP's e como se dá sua programação estejam bem consolidados. Sendo assim, este capítulo visa apresentar uma abordagem geral sobre os controladores e também sobre a Norma IEC61131-3, enfocando os seguintes tópicos:

- histórico dos Controladores Programáveis;
- conceituação sobre Controladores Programáveis
- princípio de funcionamento do Controlador Programável.
- criação da norma IEC61131 e seu organismo regulador
- modelo de software oferecido pela norma IEC61131-3
- linguagens de programação

3.2 HISTÓRICO DOS CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS

Os Controladores Programáveis foram desenvolvidos no final dos anos 60, com a finalidade de substituir painéis de relés em controles baseados em lógicas combinacional e ou seqüencial, os quais eram utilizados em linhas de montagem nas indústrias de manufatura, principalmente automobilística. Aos poucos foram sendo progressivamente adotados pelas indústrias de processos.

Segundo Oliveira et al. (2007), o critério de projeto para o primeiro controlador foi especificado em 1968, por uma divisão da General Motors Corporation. O objetivo inicial era eliminar o alto custo associado aos sistemas controlados a relés, os quais necessitavam modificações na fiação, o que muitas vezes era inviável, tornando-se mais barato simplesmente substituir todo painel por um novo.

As especificações iniciais requeriam um sistema de controle baseado em componentes de estado sólido, com a flexibilidade do computador, capaz de suportar o ambiente industrial, ser facilmente programado e reprogramado, de manutenção facilitada, reutilizável e que apresentasse a possibilidade de se expandir. Ou seja, o novo sistema de controle, substituto dos relés, deveria possibilitar modificações feitas por *softwares* ao invés de modificações de *hardware*, de custo muito mais elevado.

Como inicialmente os CP's substituíam painéis de relés no controle discreto, foram chamados de Controladores Lógicos Programáveis – CLP (*Programmable Logic Controllers* – PLC).

Com o sucesso de uso de CLP's na indústria, a demanda por novas funções e maior capacidade aumentou consideravelmente. Os equipamentos cresceram em poder de processamento, número de entradas e saídas (I/O) e novas funções. Entretanto, estes controladores ainda usavam lógica discreta e só eram utilizadas na indústria, pois seus custos tornaram inviáveis em outras aplicações, como, por exemplo, em automação predial.

A partir de 1970, com o advento da tecnologia de microprocessadores, os controladores passaram a ter uma grande capacidade de processamento e alta flexibilidade de programação e expansão, apresentando características tais como: a realização de operações aritméticas com ponto decimal flutuante, fácil processamento de dados e comunicação com computadores. Desta forma, os CLP's atuais podem atuar tanto em controle discreto, como em automação de manufatura, onde as máquinas apresentam ações automáticas e podem ser empregados ainda em controle contínuo, como em processos químicos e siderúrgicos, com características primordialmente analógicas. Portanto

atualmente, os controladores são bem mais complexos e não executam somente lógica do tipo “E” e “OU”, motivo pelo qual passaram a ser chamados apenas de **Controladores Programáveis – CP’s** (Oliveira et al., 2007).

O sistema utilizado para programar o controlador era um dispositivo dedicado e acondicionado em uma maleta portátil, chamada de maleta de programação, de forma que podia ser levada para campo a fim de alterar dados e realizar pequenas modificações no programa. O sistema de memória do controlador não permitia facilidades de programação por utilizar memórias do tipo EPROM³.

Inovações no *hardware* e *software* entre 1975 e 1979 proporcionaram ao controlador maior flexibilidade e capacidade de processamento. Isto significou, dentre outros atributos, o aumento na capacidade de memória e de entradas e saídas remotas, a possibilidade de controle analógico, controle de posicionamento e de comunicações.

A expansão de memória permitiu um programa de aplicação maior e uma maior quantidade de dados, de forma que os programas de controle não ficassem restritos à lógica e ao seqüenciamento, mas também realizassem aquisição e manipulação de dados. Com o desenvolvimento do controle analógico, o controlador programável preencheu a lacuna existente entre controle discreto e controle contínuo.

Os custos com fiação foram reduzidos significativamente com a capacidade do controlador de se comunicar com subsistemas de entrada/saída localizados em pontos remotos, distantes da unidade central de processamento e perto do equipamento a ser controlado. Ao invés de trazer centenas de fios para o armário do CP, os sinais dos subsistemas podem ser multiplexados e transmitidos por um único par de fios trançados. Esta técnica permitiu a reestruturação de grandes sistemas em pequenos subsistemas melhorando a confiabilidade, manutenção e partida gradual do subsistema principal.

³ EPROM – (Electric Programmable Read Only Memory) são memórias apenas de leitura, programáveis eletricamente e muito utilizadas até a década de 90.

Atualmente, existem vários tipos de controladores, desde os de pequena capacidade, até os mais sofisticados que realizam operações que antes eram consideradas específicas para computadores. A evolução do hardware conduziu a melhorias significativas nas características do controlador.

3.3 CONCEITUAÇÃO SOBRE CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS

Segundo a norma IEC61131-2, Controladores Programáveis são equipamentos eletrônicos baseados em microprocessadores, que usam uma memória programável para armazenamento de instruções com funções tais como de lógica, seqüenciamento, temporização, contagem, controle PID (Proporcional Integral e Derivativo), intertravamentos, operações aritméticas, entre outras e destinados a comandar e monitorar máquinas ou processos industriais através de módulos de entradas/saídas analógicos ou digitais.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) também define o termo CLP como um equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais.

Segundo a NEMA (National Electrical Manufactures Association), é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

O Controlador Programável difere de equipamentos convencionais para controles industriais pela programabilidade e pelo modo seqüencial de execução das instruções. O software desenvolvido pelo fabricante do Controlador Programável também se diferencia, pois realiza funções de acesso ao hardware, diagnósticos, comunicações, históricos e determina o funcionamento do controlador em um modo de operação dedicado (ciclo de varredura) e totalmente transparente para o usuário.

A segunda distinção é que os CP's foram projetados especificamente para operar em ambientes agressivos, podendo operar em áreas com quantidades substanciais de ruídos elétricos, interferências eletromagnéticas, vibrações mecânicas, temperaturas elevadas e condições de umidade adversas, conforme especificação de cada fabricante.

Com o objetivo de verificar a interação do Controlador Programável e os dispositivos de campo, na Figura 3.1 é ilustrada a relação entre as variáveis de entrada, que são lidas pelo Controlador Programável, e as variáveis de saídas, que são atualizadas fisicamente nos atuadores de campo.

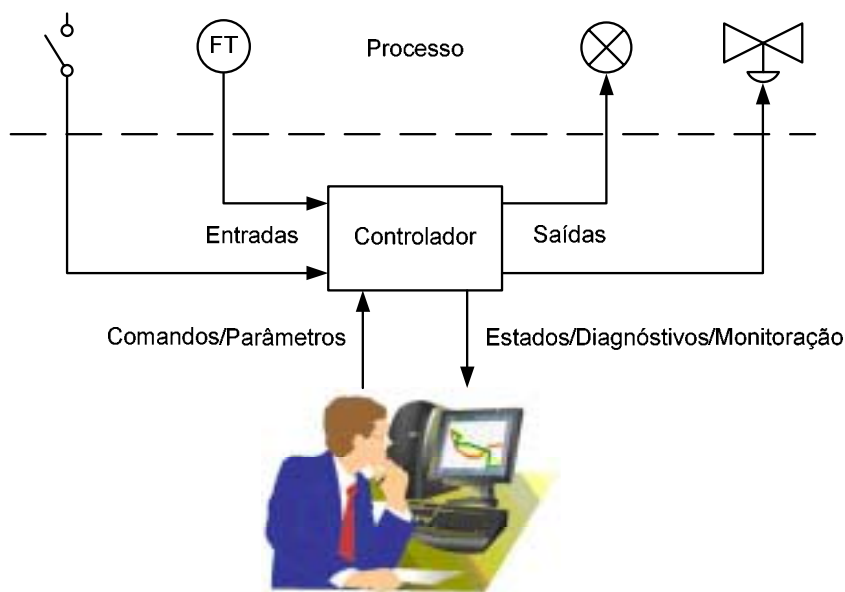


Figura 3.1 - Relação entre o CP e suas entradas e saídas.

3.4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS

Quando o Controlador Programável é energizado, as seguintes operações são internamente realizadas:

- *Teste de escrita/leitura da memórias RAM, Flash, SDRAM* – Com o objetivo de verificar se há problemas técnicos que impeçam seu início de funcionamento.

- *Limpeza das memórias imagens de entrada e saída* – Os registros que não são remanescentes, ou seja, aqueles que não necessitam manter o valor entre uma inicialização e outra, devem receber valores conhecidos, coerentes com o tipo de dado que representam.
- *Teste de executabilidade do programa de usuário* – Rotina do sistema que verifica se há alguma incoerência no programa de usuário, definido para ser executado, evitando nestas situações que operações ilegais sejam executadas.
- *Execução de rotinas de inicialização (rotinas auxiliares)* – são rotinas relacionadas aos periféricos do Controlador Programável tais como Interface Homem Máquina quando conectada, impressoras etc.

Após a inicialização, a Unidade Central de Processamento (UCP) passa a fazer uma varredura constante, ou seja, rotinas repetitivas em um circuito fechado. Essa seqüência de atividades definidas e controladas pelo programa ocorre em um ciclo chamado de Varredura ou *Scan*, sendo que uma varredura convencional é descrita na seqüência.

A primeira etapa da varredura tem por objetivo atualizar os dados das entradas, transferindo-os para uma memória imagem dentro do Controlador Programável.

Memória imagem é um “espelho” do estado das entradas e saídas. Esta memória será consultada pelo Controlador Programável no decorrer do processamento do programa de usuário. Ela recebe, em cada endereço correspondente a uma entrada, o seu estado ligado ou desligado, no caso de entradas digitais, ou um valor numérico, no caso de entradas analógicas.

Uma vez gravados os dados das entradas na respectiva memória imagem, inicia-se a execução do programa de acordo com as instruções definidas pelo usuário. Durante o processamento do programa, o Controlador Programável armazena os dados na memória imagem das saídas.

Por fim, o Controlador Programável transfere esses dados para as saídas físicas; desta forma, o ciclo termina e a varredura é reiniciada.

A Figura 3.2 ilustra o processamento cíclico de um Controlador Programável.

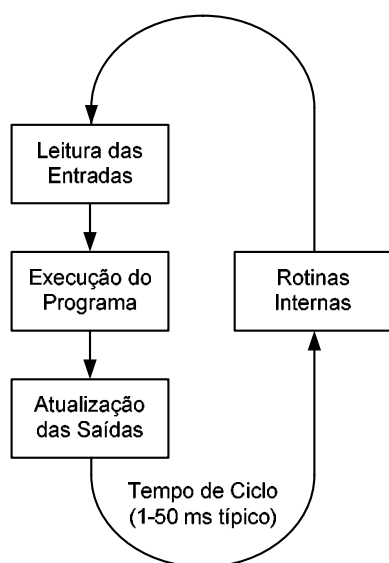


Figura 3.2 - Processamento cíclico do Controlador Programável.

O tempo necessário para executar uma varredura varia de controlador para controlador e depende de alguns fatores como o tamanho do programa, instruções programadas e programas habilitados. O tempo de varredura é uma consideração importante na seleção do controlador, pois indica a rapidez com que o controlador pode reagir às entradas de campo e resolver a lógica de controle.

3.5 CRIAÇÃO DA NORMA IEC61131 E SEU ORGANISMO REGULADOR

3.5.1 Histórico

Segundo Karl-Heinz (2001), a Norma começou a ser desenvolvida em 1992, a partir do grupo de trabalho denominado SC65B WG7 criado pela IEC (International Electrotechnical Commission), constituído por representantes de diversos fabricantes de Controladores Programáveis e também por usuários destes equipamentos.

Segundo esse mesmo autor, a norma IEC61131 representa a combinação contínua de diferentes normas, fazendo menção a outras dez normas IEC50, IEC 559, IEC617-12, IEC617-13, IEC 848, ISO/AFNOR ISO/IEC 646, ISO 8601, ISO 7185, ISO 7498.

O objetivo daquele grupo era avaliar o projeto completo para Controladores Programáveis, incluindo *hardware*, instalação, testes, documentação, programação e comunicação.

Alguns grupos de trabalhos constituídos por especialistas foram então formados para desenvolver as diferentes partes da nova norma. O grupo de trabalho 3 recebeu o objetivo primário de desenvolver um novo padrão de linguagens que se tornou a parte 3 da então chamada norma IEC 1131.

Como em alguns países já existia o código 1131 para outra norma e visando criar uma nomenclatura única em todo o mundo, a partir de 1998 a IEC 1131 passou a ser chamada de IEC 61131.

A IEC 61131-3 passou a ser o primeiro esforço real para a padronização das linguagens de programação para a automação industrial.

A Tabela 3.1 apresenta o estado atual da norma como um todo.

Tabela 3.1 - Resumo da norma IEC61131.

Parte	Título	Conteúdo	Publicação
Parte 1	<i>General Information</i>	Definição da terminologia e conceitos.	2003 (2ª Ed.)
Parte 2	<i>Equipment requirements and tests</i>	Teste de verificação e fabricação eletrônica e mecânica.	2003 (2ª Ed.)
Parte 3	<i>Programmable Languages</i>	Estrutura do software do CP, linguagens e execução de programas.	2003 (2ª Ed.)
Parte 4	<i>User guidelines</i>	Orientações para seleção, instalação e manutenção de CP's.	2004 (2ª Ed.)
Parte 5	<i>Communications</i>	Funcionalidades para comunicação com outros dispositivos.	2000 (1ª Ed.)
Parte 6	<i>Reservada</i>		
Parte 7	<i>Fuzzy Control Programming</i>	Funcionalidades de software, incluindo blocos funcionais padrões para tratamento de lógica nebulosa dentro de CP's.	2000 (1ª Ed.)
Parte 8	<i>Guidelines for the Application and Implementation of Programming Languages</i>	Orientações para implementação das linguagens IEC 1131-3.	2003 (2ª Ed.)

3.5.2 O organismo internacional PLCOpen

Embora a norma a norma IEC61131-3 tenha padronizado diversos aspectos relativos à programação dos Controladores Programáveis, muitos destes aspectos são dependentes de implementação, ou seja, o fabricante do Controlador Programável tem a liberdade de definir a forma como será implementado. Como exemplo, pode ser citado a definição da base de tempo dos temporizadores que embora seja uma característica de suma importância, fica a cargo de cada fabricante definir. Nesta situação, caso haja uma migração de um programa de usuário de um equipamento para outro, os temporizadores deixariam de funcionar corretamente, o que caracterizaria uma incompatibilidade que só poderia ser resolvida por uma intervenção mais direta, ou seja, refazendo-se a lógica criada o que torna a troca de programas entre fabricantes inviável.

Em função desta liberdade concedida pelas diretrizes da norma, apenas sua existência não é o bastante para que fabricantes, integradores e usuários finais passem a utilizá-la de forma plena, mesmo porque podem existir erros de interpretação e implementação, sendo necessários testes para certificação dos produtos.

A partir deste cenário, em 1992 foi fundada a PLCOpen, definida como uma associação independente, destinada a promover e a dar suporte ao uso da norma, sendo suas principais atividades:

- especificação de elementos mandatórios para certificação de produtos em diferentes níveis de conformidade com a norma IEC61131-3;
- desenvolvimento de um software de teste baseado nas especificações de certificação;
- realização de testes e certificações de produtos conforme a norma IEC61131-3;
- divulgação da norma e realização de eventos para estimular a adoção da mesma;
- elaboração de bibliotecas de funções e blocos funcionais padronizados, para atendimento às necessidades dos usuários da norma;

- atuação junto às entidades normalizadoras e aos usuários, para definição de melhorias e sugestões para revisão da norma junto à IEC;
- complementação de aspectos não cobertos pela norma IEC61131-3;

As atividades de certificação da PLCOpen incluem três níveis de conformidade, sintetizados a seguir.

Nível Básico - BL (*Base Level*): É um nível de entrada para os fabricantes de equipamentos que adotam a norma, mostrando o seu comprometimento com a mesma. Para os usuários, este nível proporciona uma interpretação uniforme da norma, especialmente importante quando eles têm de trabalhar com sistemas de diferentes fabricantes.

Nível de Conformidade - CL (*Conformity Level*): Define quais tipos de dados o fabricante tem disponível em seu produto.

A norma define 26 tipos de dados, sendo disponibilizados desde dados simples como *booleanos*, até estruturas complexas como *Arrays* e *Strings*.

Nível Reutilização - RL (*Reusability Level*): É um nível estabelecido pela norma para que as Funções e Blocos Funcionais sejam reutilizáveis em diferentes ambientes de programação. A troca de informações é feita através da padronização de um arquivo de texto baseado na linguagem de texto estruturado.

Atualmente apenas algumas especificações e testes de certificações estão disponíveis, faltando, por exemplo, a especificação para a linguagem *Ladder*.

Os produtos testados e aprovados pela PLCOpen recebem um selo de conformidade de acordo com o nível de certificação obtido; os quais são mostrados na Figura 3.3.

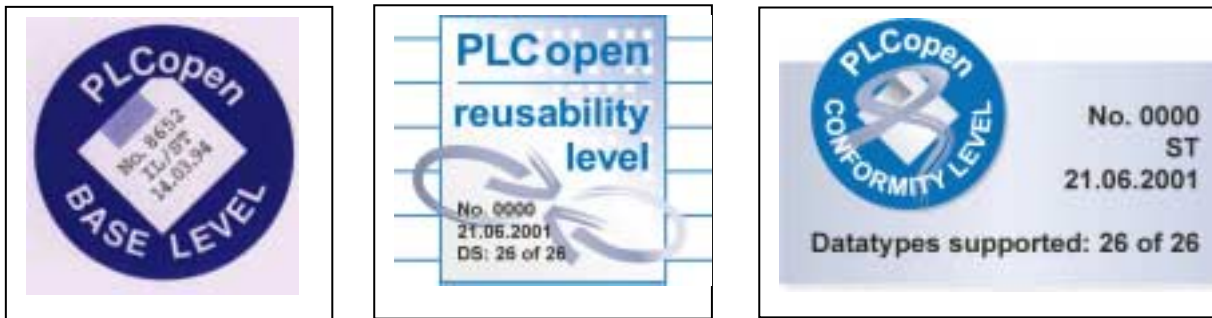


Figura 3.3 - Selos de conformidade oferecidos pela norma.

3.6 MODELO DE SOFTWARE PROPOSTO PELA NORMA IEC61131-3

Um dos aspectos mais importantes da programação de qualquer sistema é a capacidade de decompor o software em partes menores, permitindo que sejam devidamente gerenciadas. Este foi um dos principais objetivos do grupo que elaborou a norma IEC 61131-3.

A norma proporciona que sejam desenvolvidos ambientes de programação capazes de decompor programas complexos em diferentes elementos de software, os quais possuem uma interface padronizada e bem definida entre os mesmos.

Também são definidas cinco linguagens de programação para o desenvolvimento de módulos ou componentes de software.

A programação baseada na norma IEC 61131-3 é orientada para o desenvolvimento de programas a partir da abordagem “de cima para baixo” (*top-down*) ou “de baixo para cima” (*bottom-up*), fundamentada por três princípios básicos:

- modularização;
- estruturação;
- reutilização.

Estes princípios são os grandes diferenciais da norma IEC 61131-3, sendo as cinco linguagens os instrumentos que possibilitam implementá-los através da programação.

O grupo encarregado do desenvolvimento da norma IEC 61131-3 considerou um contexto amplo de um programa de Controlador Programável. Todo programa tem que existir e interagir com o ambiente onde está inserido. Não é possível definir a estrutura de um programa de um Controlador Programável sem um bom entendimento das interfaces e interações com o sistema de controle como um todo e com o processo controlado.

Quando um CP está executando ou processando o programa carregado em sua memória, são necessárias as seguintes interfaces:

Interfaces de Entrada/Saída: Permite o acesso aos dispositivos para leitura dos sinais do processo como pressões e temperaturas assim como fazer o comando dos dispositivos de campo, motores, atuadores e outros.

Interfaces de comunicação: Muitos sistemas necessitam trocar informações com outros CPs, Interfaces Homem Máquina (IHMs), etc.

Interfaces de sistema: Consiste na interface entre o programa do CP e o *hardware* do mesmo, para garantir o seu correto funcionamento. São utilizados os serviços do sistema que são uma combinação do *hardware* e *firmware* do CP.

A Figura 3.4 apresenta o modelo de software definido pela norma, que é descrito na seqüência.

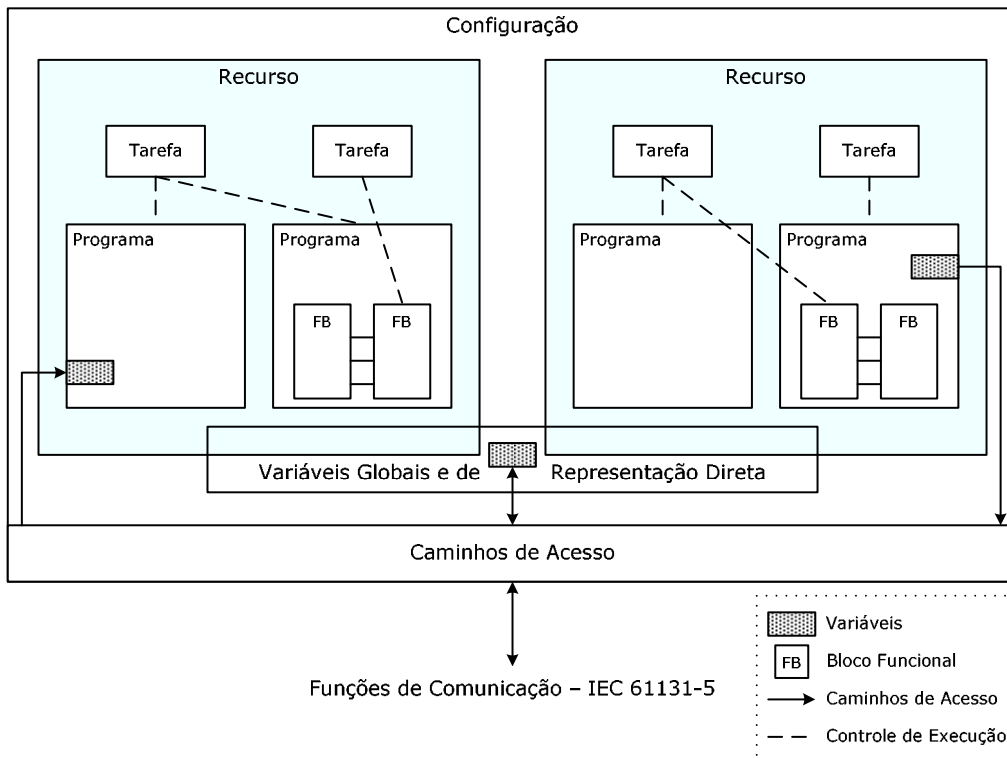


Figura 3.4 - Modelo de software definido pela IEC61131-3.

3.6.1 Aplicando o Modelo de Software em Sistemas Reais

A utilização do modelo de software proposto pela norma em sistemas reais é dependente de implementação. Na prática, observa-se que o modelo é implementado total ou parcialmente, em função da evolução natural dos produtos de mercado. Para exemplificar, serão discutidas algumas possibilidades.

Em CPs de pequeno porte, com somente um módulo processador, o modelo a ser adotado deverá se reduzir a uma configuração, um recurso e um único programa, como na Figura 3.5. A configuração conterá todo o programa que definirá o comportamento de todo o CP.

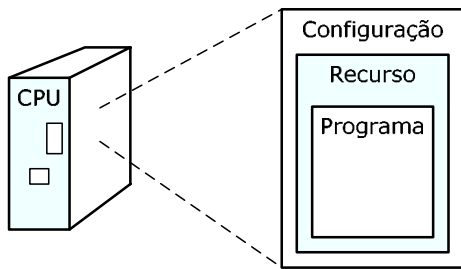


Figura 3.5 - Controle feito por um único Controlador Programável.

Em sistemas de grande porte, com múltiplos processadores, a aplicação do modelo se torna mais elaborada. Todo o CP pode ser considerado como uma única configuração. Cada processador será normalmente representado como um recurso. Dependendo da capacidade de processamento, cada recurso poderá suportar um ou mais programas, como ilustra a Figura 3.6.

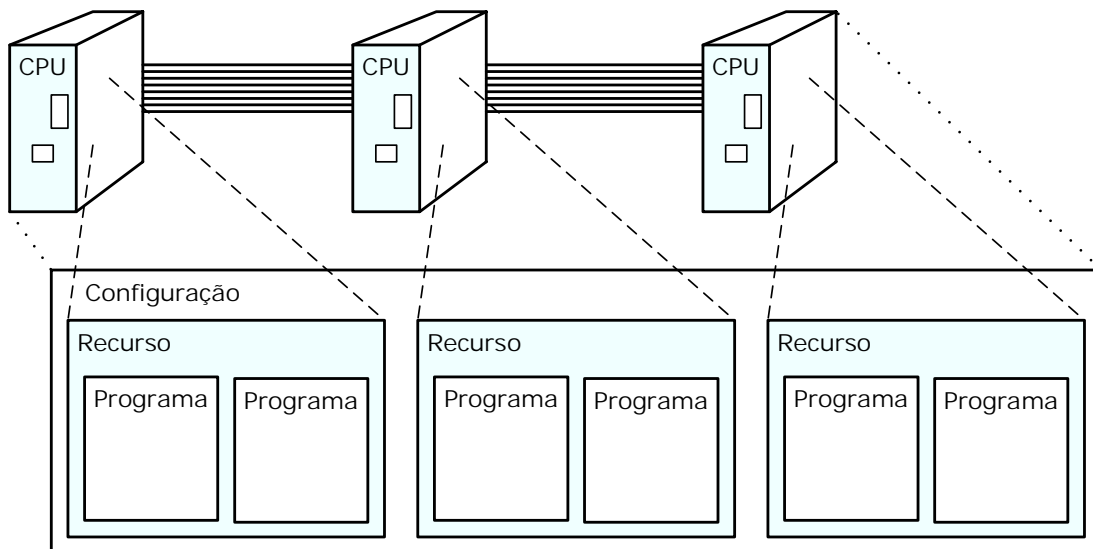


Figura 3.6 - CP com múltiplos processadores no mesmo barramento.

Sistemas distribuídos, interligados por redes de comunicação, com várias unidades de processamento, como ilustrado na Figura 3.7, podem ser considerados como uma ou várias configurações. As unidades de processamento poderão ser agrupadas em configurações dependendo das necessidades da aplicação de controle.

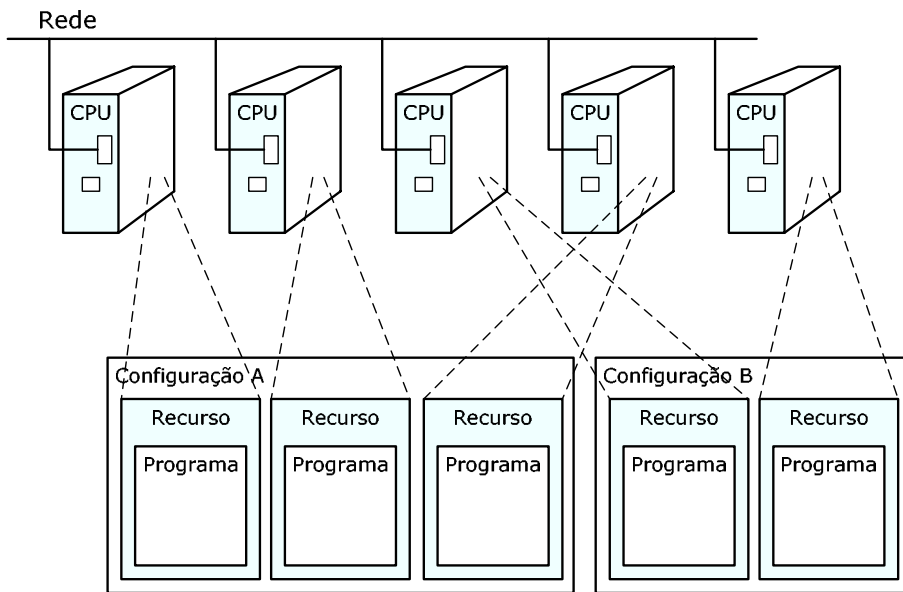


Figura 3.7 - Processamento distribuído.

Cada nó da rede pode ser um CP de pequeno porte, com um único processador. É importante observar que os diferentes nós de uma configuração podem acessar um conjunto comum de variáveis globais e de representação direta. A norma não aborda o gerenciamento de configurações distribuídas.

3.6.2 Utilizando as Configurações IEC em Aplicações Reais

O conceito de aplicação não é definido na norma. Uma aplicação pode ser considerada como uma solução para atender às necessidades de controle para partida, controle e parada de uma máquina, planta industrial ou parte desta. Ou seja, uma aplicação reúne um conjunto de programas para atendimento a um grupo funcional do processo.

Dentre estas necessidades, pode-se citar o tratamento dos sinais dos sensores e atuadores de campo, intertravamentos, malhas de controle, tratamento de eventos, interação com o operador e comunicação com dispositivos remotos.

Para o funcionamento da aplicação, pode ser necessário o carregamento de vários programas em um ou vários recursos. Como exemplos de aplicações, podem ser citados o controle de um forno, controle do sistema de transporte, controle do laminador.

Como cada recurso pode ser carregado, partido ou parado de forma independente, diferentes aplicações podem funcionar simultaneamente. Não é recomendado que diferentes aplicações sejam implementadas no mesmo recurso, para garantir a independência de carregamento, partida e parada das mesmas. Entretanto, se esta independência não for relevante, não existem impedimentos para isto.

O compartilhamento de recursos entre aplicações é ilustrado na Figura 3.8

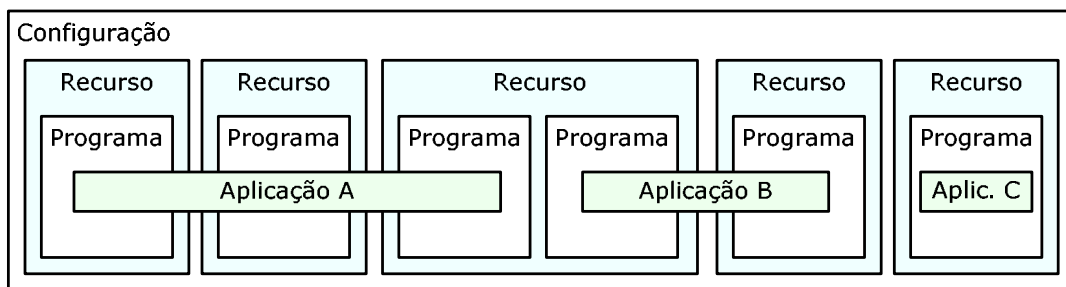


Figura 3.8 - Divisão de aplicações em vários recursos.

3.6.3 Unidades de Organização de Programas (POUs)

As Unidades de Organização de Programas ou *Program Organization Units* (POUs) são as formas de implementar o programa do CP através da associação de variáveis e instruções utilizando as linguagens da norma ou linguagens adicionais. Ou seja, a criação de um programa aplicativo consiste na criação e na associação de POUs entre si. Determinadas POUs podem ser utilizadas como partes de outras, com o objetivo de estruturar a programação e reutilizar o código. Os três tipos de POUs definidas pela norma são:

- Funções;
- Blocos Funcionais; e
- Programas.

As POUs foram concebidas pela norma com o objetivo de atender às necessidades e características de uma aplicação de controle industrial. Suas principais características definidas pela norma são:

- possibilidade de fornecimento pelo fabricante ;
- possibilidade de desenvolvimento pelo usuário (derivadas);

- não permitem a recursividade.

Normalmente, as POUs são fornecidas ou desenvolvidas como bibliotecas de *software*, com o objetivo de preservar o conhecimento e maximizar a reutilização de código.

A hierarquia normal entre as POUs é dada por:

- Programas podem conter qualquer tipo de POU;
- Blocos Funcionais podem conter outros Blocos Funcionais e Funções;
- Funções somente podem conter Funções.

3.6.3.1 Funções (*FUNCTIONS*)

São elementos comuns para a definição de novas POUs e tratam-se de elementos reutilizáveis de software que, quando executados com certo conjunto de valores de entrada (parâmetros), produzem um ÚNICO dado como resultado, o qual pode ser um tipo de dado simples ou de múltiplos elementos (vetores e estruturas). As funções não são instanciáveis, isto é, só existem em tempo de execução, não sendo necessário um identificador para alocação de memória para dados. As funções trigonométricas são os tipos mais comuns de funções.

a) Uso de Funções

As principais características da POU do tipo Função são:

- Deve ser feita a declaração do tipo (definição) antes do uso.
- Não é permitida a recursividade, ou seja, uma função não pode fazer a chamada para si própria.
- não é definida uma saída formal para a função, sendo que a mesma retorna o resultado pela chamada do nome da função.
- quando invocada, produz apenas uma variável de saída que é o próprio nome da função.
- funções não podem armazenar valores dentro de variáveis internas, ou seja, não possuem memória de estados (instância).

- a chamada de uma função com as mesmas entradas deve sempre apresentar o mesmo resultado (não possui memória de estados).
- funções podem ser usadas dentro da declaração de outras funções (funções derivadas), blocos funcionais e programas.
- suporta sobrecarga de tipo (*type overloading*), isto é, a função pode trabalhar com todos os tipos de dados de um tipo genérico (*any*).
- não é permitida a declaração de variáveis de representação direta.
- o corpo da função pode ser definido utilizando-se as linguagens LD, IL, ST e FBD.

b) Exemplos de funções:

A Tabela 3.2 apresenta as Funções Numéricas padrões definidas pela norma e mais comumente usadas. Todas suportam dados genéricos.

Tabela 3.2 - Funções numéricas padrões

Nome da função	Tipo de dado	Descrição
ABS	ANY_NUM	Valor absoluto
SQRT	ANY_REAL	Raiz quadrada
LN	ANY_REAL	Logaritmo natural
LOG	ANY_REAL	Logaritmo base 10
EXP	ANY_REAL	Exponencial
SIN	ANY_REAL	Seno (radianos)
COS	ANY_REAL	Coseno (radianos)
TAN	ANY_REAL	Tangente (radianos)
ASIN	ANY_REAL	Arco-seno (radianos)
ACOS	ANY_REAL	Arco-coseno (radianos)
ATAN	ANY_REAL	Arco-tangente (radianos)

A Tabela 3.3 apresenta as funções de Comparação definidas pela norma, as quais permitem realizar comparações entre dados, observando-se as seguintes características:

- Comparam dados do mesmo tipo;
- Sempre retornam um valor booleano;
- Podem ser usadas com qualquer tipo de dados.

Tabela 3.3 - Funções de comparação

Nome da função	Símbolo	Descrição
GT	>	Maior que Resultado := IN1 > IN2
GE	>=	Maior ou igual a Resultado := IN1 >= IN2
EQ	=	Igualdade Resultado := IN1 = IN2
LE	<=	Menor ou igual a Resultado := IN1 <= IN2
LT	<	Menor que Resultado := IN1 < IN2
NE	<>	Diferente de Resultado := IN1 <> IN2

3.6.3.2 Blocos Funcionais (FUNCTION BLOCKS)

É a categoria de Unidade de Organização de Programa (POU) mais importante dentro do modelo de reutilização de código da norma, sendo um dos principais elementos para estruturação de programas dentro da abordagem de projeto de cima para baixo (*top-down*) e de baixo para cima (*bottom-up*) proposta pela norma IEC.

Um bloco funcional é um elemento encapsulado de software que pode ser reutilizado em diferentes partes de uma aplicação ou mesmo de diferentes projetos. O bloco funcional pode ser utilizado para resolver desde pequenos problemas, como um temporizador, por exemplo, até uma grande unidade de uma planta, como um reator.

Um bloco funcional define o comportamento de dados (lógica interna), a estrutura de dados (instância) e a interface externa (parâmetros de entrada e

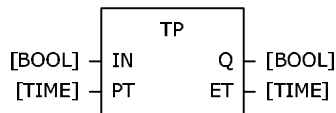
saída). Somente os tipos de dados definidos pela norma podem ser utilizados para a interface externa.

Os blocos funcionais são os elementos básicos de um sistema de controle que podem ser programados em qualquer uma das 5 linguagens. Blocos funcionais devidamente projetados e depurados podem ser utilizados em uma ampla gama de aplicações e projetos, sendo que a tendência atual é a utilização de bibliotecas.

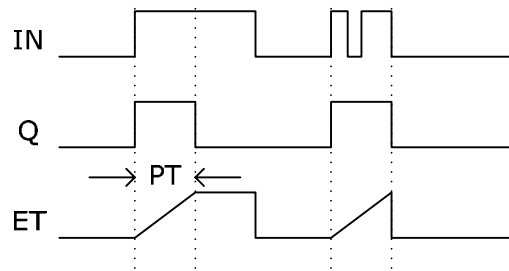
A norma IEC define um conjunto básico de blocos funcionais padrões, os quais são bastante elementares (temporizadores, contadores, etc.) O exemplo para temporizadores é mostrado na Figura 3.9.

Quando a instância de um bloco funcional é invocada, a mesma é executada, avaliando todas as suas variáveis (entradas, saídas e internas) através do seu algoritmo, criando novos valores para suas saídas e variáveis internas. Isto permite que um algoritmo específico ou um conjunto de ações seja aplicado em um conjunto de dados de entrada para produzir um novo conjunto de dados de saída (Figura 3.10).

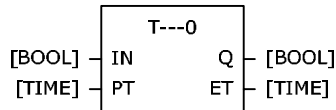
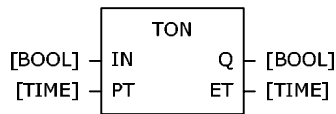
Temporizador de Pulso



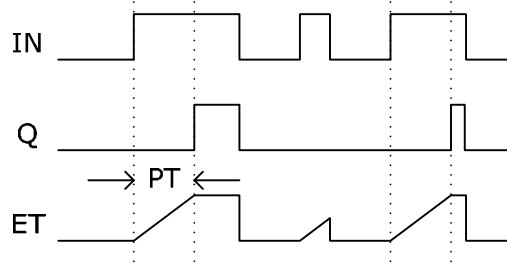
Quando a IN vai para 1, a saída Q vai para 1 e permanece neste estado durante o tempo PT, independente do estado de IN. A saída ET será incrementada. Enquanto Q é TRUE, o tempo decorrido ET será incrementado. Ao final do pulso, o tempo decorrido será mantido até o início do próximo pulso.



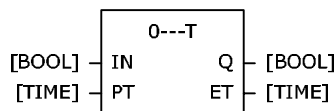
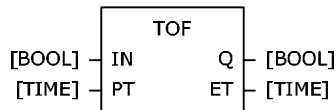
Atraso na Subida



Após a mudança de IN para 1, a saída ficará em 0 durante o tempo especificado por PT e depois irá para 1. Se IN mudar para 0 em qualquer instante, a temporização é interrompida e a saída Q mantida em 0. Durante a temporização, a saída ET refletirá o valor do tempo decorrido.



Atraso na Descida



Quando a entrada IN vai para 1, a saída Q vai para 1. A saída Q é mantida em 1 durante o tempo PT após IN voltar para 0. Se IN mudar para 1 em qualquer instante, a temporização é interrompida e a saída Q mantida em 1. Durante a temporização, a saída ET refletirá o valor do tempo decorrido.

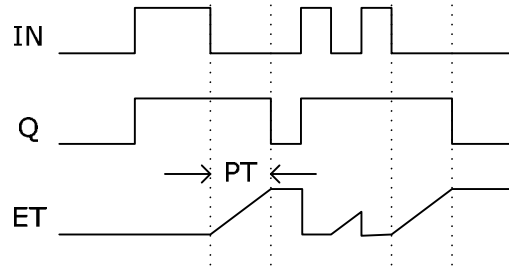


Figura 3.9 - Exemplos de Blocos de Função do tipo temporizador.

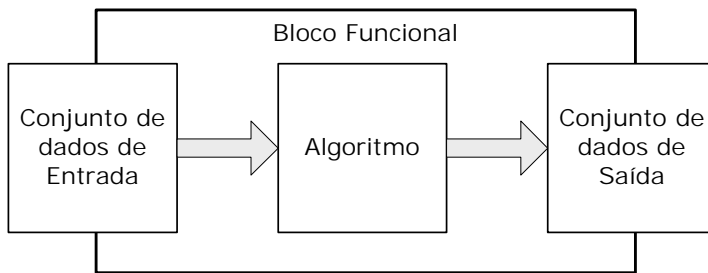


Figura 3.10 - Bloco funcional.

Uma importante característica dos blocos funcionais é a persistência de dados. Os valores de suas variáveis são mantidos entre uma execução e outra. Se as variáveis de um bloco funcional são definidas usando RETAIN, os valores são mantidos mesmo entre o desligamento e o religamento do CP.

O bloco funcional é representado por um retângulo com pinos de entradas do lado esquerdo e pinos de saída do lado direito. A simbologia utilizada é baseada na norma IEC 617-12 “*Graphical symbols for diagrams*”. O tipo do bloco funcional é indicado na parte superior interna do retângulo, os nomes dos parâmetros de entrada e saída são mostrados no interior do bloco e o nome da instância do bloco é mostrado na parte superior externa (Figura 3.11).

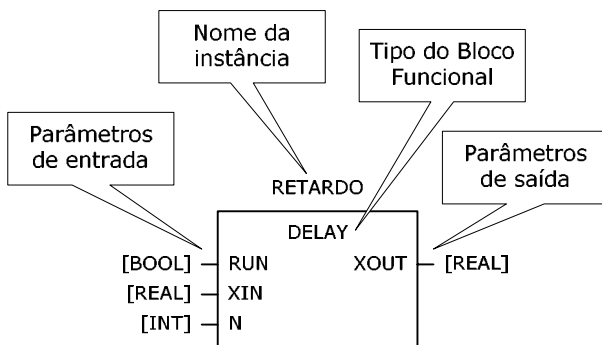


Figura 3.11 - Representação IEC para bloco funcional

3.6.3.3 Uso de Blocos Funcionais

As principais características da POU do tipo Bloco Funcional são:

- Não é permitida a recursividade.
- Devem ser declarados o tipo e as instâncias do Bloco Funcional.

- Quando invocado, um bloco funcional pode produzir uma ou mais variáveis de saída (parâmetros).
- Os valores dos parâmetros de entrada e saída de uma instância podem ser acessados através das linguagens textuais, utilizando, para isto, o conceito de estrutura de dados (PID1.SP, por exemplo).
- As instâncias de um bloco funcional são declaradas através da declaração de variáveis, pertencendo ao escopo da POU onde são declaradas. Podem também ser declaradas como variável global, sendo acessível pelos elementos de software dentro de um recurso ou configuração.
- Somente as variáveis de entrada e saída (parâmetros) de uma instância são acessíveis externamente. As variáveis internas somente são acessíveis pelo algoritmo interno do bloco.
- Blocos funcionais permitem a persistência de dados (memória de estados) através das suas instâncias, ou seja, os valores de suas variáveis são preservados entre uma execução e outra.
- Pode ser invocado em linguagens textuais pelo nome da instância, sempre que necessário, ou em linguagens gráficas pelo emprego do bloco em um diagrama.
- Uma instância de bloco funcional pode ser utilizada na declaração de outro Bloco Funcional (derivado) ou Programa, mas não em uma Função.
- É possível passar uma instância de um bloco funcional como entrada de outra POU (inclusive funções), possibilitando a esta manipular os dados da instância do bloco.
- Não é permitida a declaração de variáveis globais e de representação direta dentro de um bloco funcional.
- O corpo do bloco funcional pode ser definido utilizando-se as linguagens LD, IL, ST, FBD e SFC.

3.6.3.4 Programas (PROGRAMS)

Um programa é a maior forma de POU e pode ser declarado no nível do recurso. Consiste no agrupamento de funções e blocos funcionais, associados para desempenhar a função de controle desejada.

Conceitualmente, o programa é muito similar a um bloco funcional, sendo um componente reutilizável de maior amplitude, ou seja, um bloco de construção de *software*. Tipicamente, um CP pode fazer uso de extensas bibliotecas de blocos funcionais; porém, com poucos programas. São utilizados para o controle de equipamentos de maior porte em uma planta industrial, tais como correias transportadoras, moinhos e turbinas.

Normalmente, a escolha entre implementar uma lógica usando bloco funcional ou programa depende da estruturação definida para a aplicação, necessidades de reutilização de código, acesso a endereços de E/S (variáveis diretas) e recursos disponibilizados pelo ambiente de programação.

a) Uso de Programas

As principais diferenças entre as características de um programa em relação aos blocos funcionais são:

- Somente podem ser declarados no nível do recurso.
- Programas podem conter declarações de variáveis de representação direta, ou seja, endereçamento direto de pontos de entrada e saída.
- Programas podem conter declarações de variáveis globais, que podem ser acessíveis pelos blocos funcionais através do uso de variáveis externas.
- Programas podem conter variáveis de acesso (VAR_ACCESS), as quais permitem o acesso remoto pelos serviços de comunicação.
- Programas podem conter instâncias de blocos funcionais, mas não de outros programas, isto é, estes não podem ser aninhados.
- Instâncias de blocos funcionais de um programa podem ser executadas por diferentes tarefas de controle.
- Programas podem ser instanciados somente dentro de recursos.

3.6.4 Tarefas (*TASKS*)

É um mecanismo de escalonamento muito útil para sistemas de tempo real que define a execução periódica ou em resposta a um evento (mudança de estado de alguma variável booleana). As tarefas controlam a execução de programas em diferentes taxas, em função das características da aplicação.

A necessidade de executar programas em taxas diferentes tem por objetivo atender às exigências de tempo de resposta do processo sob controle e de otimizar o uso da capacidade de processamento do CP. Um forno, por exemplo, que possui uma capacidade térmica muito grande, pode ter sua temperatura controlada por um algoritmo que é executado uma vez a cada minuto, permanecendo estável. Já as funções de intertravamento de segurança de uma máquina ferramenta devem ser executadas a cada 5 ms (milissegundos).

O uso de tarefas escalonadas é a forma mais eficiente de controle em tempo real, adequando as exigências de controle com a capacidade de processamento do CP. CPs que fazem uso de tarefas são denominados sistemas multitarefa.

“As tarefas podem ser do tipo “periódico” ou engatilhado” (controladas por eventos). A cada tarefa periódica, pode-se atribuir um período de execução e uma prioridade (em ordem decrescente). Quanto menor o número, maior é a prioridade, sendo “0” (zero) a maior prioridade possível.

Para as tarefas engatilhadas, pode-se atribuir uma prioridade também em ordem decrescente, sendo que o disparo das mesmas é feito pela transição do evento responsável pelo gatilho.

O ciclo de *scan* de um CP convencional pode ser considerado como uma tarefa do tipo engatilhada e não periódica. Ou seja, o gatilho do início da tarefa é o evento de fim de execução da mesma, fazendo com que a sua execução seja cíclica.

A norma IEC assume que tarefas em diferentes recursos sempre são executadas de forma independente. Entretanto, em algumas implementações, pode ser necessária a utilização de mecanismos de sincronização.

A norma também define que instâncias de blocos funcionais possam ter suas execuções controladas por tarefas independentes às dos programas aos quais as mesmas sejam pertencentes. Esta possibilidade aumenta ainda mais a flexibilidade de otimização do uso da capacidade de processamento do CP.

O uso da multitarefa é fundamental para o atendimento às crescentes exigências da aplicação de CPs na indústria. Portanto, o correto entendimento da multitarefa é item obrigatório para os programadores de CP's que queiram criar aplicações de alta performance.

Quando se dispara uma tarefa, significa que todas as instruções dos programas e blocos funcionais associados à mesma serão executadas pelo processador do CP com sua capacidade máxima, para concluir a execução das tarefas o mais rápido possível. Diz-se, assim, que a tarefa toma o controle do processador para a execução de seus programas e blocos funcionais.

Os modernos CP's utilizam a multitarefa para controle de todo o processamento inerente aos mesmos. Desta forma, tarefas de sistema controlam a atualização de entradas e saídas (E/S), comunicação, funções internas, dentre outras; e tarefas de usuário controlam o programa aplicativo. Portanto, uma configuração inadequada das tarefas do usuário pode afetar o comportamento de tarefas do sistema, em função das prioridades utilizadas.

Em sistemas multiprocessados (múltiplos processadores no mesmo CP), o sistema operacional pode alocar tarefas distintas a diferentes processadores, obtendo um processamento realmente paralelo. Sistemas multiprocessados ainda não são comuns em sistemas de CP.

Um sistema multitarefa eficiente deve ser concebido desde o projeto da CPU (*Central Processing Unit*) do CP que deve possuir características específicas, tais como memória protegida e chaveamento de contexto.

Quando existem tarefas múltiplas em um recurso, normalmente são atribuídos diferentes intervalos e prioridades para cada tarefa periódica, assim como diferentes prioridades e eventos para cada tarefa engatilhada. Para permitir o funcionamento das tarefas, podem ser utilizados dois métodos de escalonamento, o preemptivo e o não-preemptivo. O método adotado por um CP pode alterar significativamente o comportamento do sistema.

Normalmente, a identificação de um produto de mercado quanto a utilização de escalonamento preemptivo ou não-preemptivo exige a consulta dos manuais do fabricante ou do *help* da ferramenta de programação, uma vez que esta informação não é clara na utilização do ambiente de programação. As características desses dois tipos de escalonamentos serão sintetizadas na seqüência.

a) Escalonamento Não-preemptivo

Neste tipo de escalonamento, uma tarefa, uma vez iniciada, sempre completa seu processamento. Quando a tarefa termina, a de maior prioridade à espera do processador é escalonada. Caso haja a mesma hierarquia de prioridade, a tarefa que está esperando há mais tempo é escalonada. Após a sua execução, uma tarefa só será escalonada quando o seu intervalo de execução se esgotar (periódica) ou quando o seu gatilho voltar a ocorrer (engatilhada).

No caso de mais de uma tarefa de igual prioridade necessitar ser escalonada pelo sistema operacional no mesmo instante, normalmente utiliza-se a ordem de configuração das tarefas no programa aplicativo como critério de desempate.

O intervalo (período) entre a execução de tarefas pode variar muito neste tipo de escalonamento. Uma tarefa que demore um pouco mais em um laço de repetição irá atrasar todas as demais. Isto torna impossível prever com exatidão quando uma determinada tarefa será executada e caracteriza o sistema como não determinístico, apresentando uma pior característica para aplicação em sistemas de controle em comparação com os sistemas preemptivos.

Em sistemas não preemptivos, as tarefas engatilhadas somente serão executadas quando da ocorrência do evento de gatilho e da disponibilidade do processador do CP, independentemente da prioridade associada à mesma.

A definição de prioridades em sistemas preemptivos tem como principal finalidade o desempate entre tarefas prontas para escalonamento.

b) Escalonamento Preemptivo

É recomendado para sistemas que devem apresentar comportamento determinístico no tempo. Neste sistema, quando o intervalo de disparo de uma tarefa de maior prioridade vence, a tarefa em execução sofre preempção (é suspensa) e a nova tarefa de prioridade maior passa a executar imediatamente. Isto significa que a tarefa de maior prioridade toma o controle processador quando a mesma é disparada. Quando a tarefa de maior prioridade termina, a tarefa suspensa anteriormente volta a executar do ponto onde parou. Esta troca de tarefa é denominada chaveamento de contexto e deve ser feita o mais rápido possível pelo sistema operacional do CP.

Em um sistema preemptivo, uma tarefa de maior prioridade sempre toma o controle do processador, sendo um sistema de alto determinismo e mais adequado para utilização em sistemas de controle de alta criticidade. Isto é interessante, principalmente, para tarefas engatilhadas, as quais normalmente reagem a eventos críticos do processo.

O sistema preemptivo pode ser configurado com tarefas de mesma prioridade e se comportar de forma semelhante ao sistema não-preemptivo, sendo, portanto, mais flexível.

A Figura 3.12 exemplifica o comportamento dinâmico dos tipos de escalonamento. Deve ser observado que a tarefa C, de baixa prioridade, atrasa a execução da tarefa A, de alta prioridade, no caso do escalonamento não-preemptivo. Por outro lado, no caso do preemptivo, a tarefa A interrompe a tarefa C, tomando para si o controle do processador, por ser uma tarefa de maior prioridade.

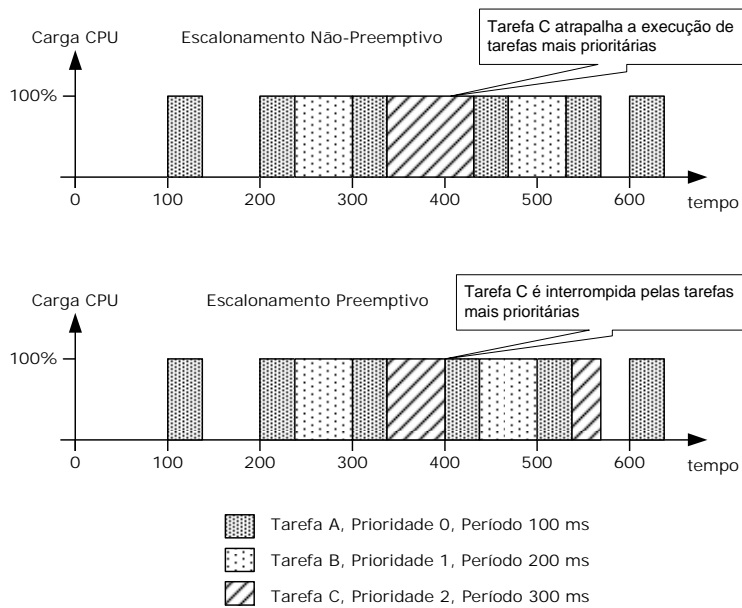


Figura 3.12 - Escalonamento preemptivo e não-preemptivo (Fonte: Oliveira et al., 2007).

Embora a norma não especifique a maneira, os sistemas devem oferecer recursos para informar ao programador quando não será cumprido o intervalo programado.

No sistema multitarefa, uma tarefa de baixa prioridade pode atrasar muito para começar a ser executada ou mesmo demorar muito para ser finalizada. Por isso, a maioria dos sistemas de CP multitarefa possui mecanismos de “cão-de-guarda” (*watchdog*) com temporização configurável para cada tarefa. Desta forma, caso uma tarefa exceda um tempo máximo para ser executada, será gerada uma falha de sua execução.

Os modernos CPs possuem facilidades para controlar a execução das tarefas em modo de depuração, tais como parar, suspender e executar passo a passo. Além disso, informam os tempos de execução e atraso para iniciar cada tarefa, auxiliando no diagnóstico e na manutenção.

3.7 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

A norma oferece cinco linguagens de programação, sendo que cada linguagem possui peculiaridades distintas. Na prática o programador, dependendo do problema a ser resolvido, deverá escolher a linguagem mais adequada.

O resumo das linguagens pode ser visto no quadro mostrado na Figura 3.13.

Seqüenciamento Gráfico de Funções				
Lista de Instruções (IL)	Texto Estruturado (ST)	Diagrama Ladder (LD)	Diagrama de Blocos Funcionais (FBD)	SFC
Linguagens Textuais		Linguagens Gráficas		

Figura 3.13 - Resumo das linguagens de programação oferecidas pela norma IEC61131-3

Na Figura 3.14 é apresentado um exemplo de codificação de um comando composto por dois contatos e uma saída feito nas linguagens IL,ST,FBD e Ladder.

Para efeito de entendimento das características de cada linguagem, no apêndice A, são dadas mais informações sobre cada linguagem.

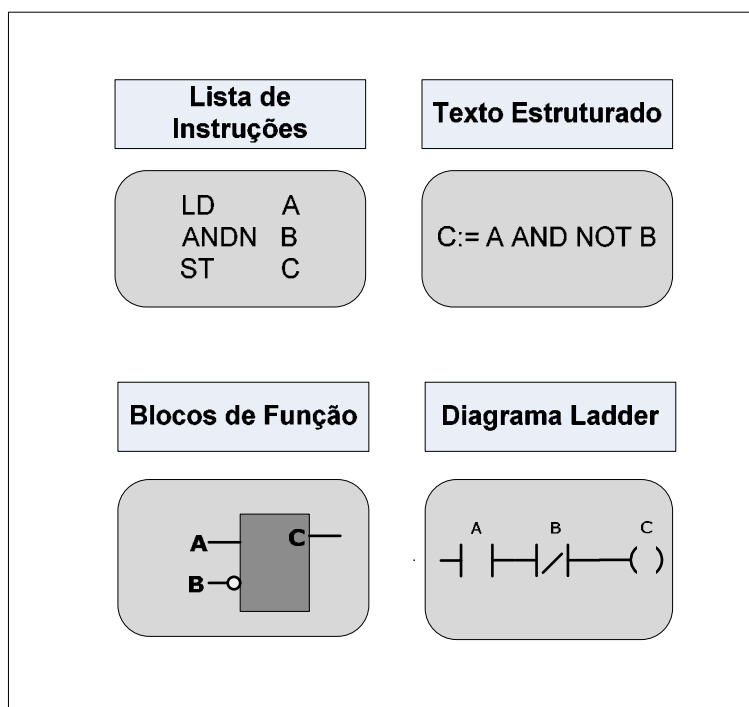


Figura 3.14 - Exemplos de um comando feito em IL,ST,FBD e Ladder.

Com este capítulo foi possível resgatar as informações básicas sobre o Controlador Programável além do modelo de software seguido pela norma IEC61131-3, sendo estes conceitos importantes para o entendimento do estudo de caso relatado no próximo capítulo.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Mais do que a pesquisa de artigos, leituras de normas e livros, a verificação em campo de um determinado assunto, também chamada de estudo de caso, permite consolidar teorias, modelos e hipóteses.

Esta ação é totalmente pertinente no caso em questão, tendo em vista que o emprego da norma IEC61131-3 é ainda muito recente no Brasil e que praticamente não há textos científicos ou mesmo técnicos publicados sobre o tema. Portanto, atingir dois dos objetivos propostos por este trabalho:

- 1) fazer uma comparação entre uma programação proprietária e a programação baseada na norma IEC61131-3, identificando possíveis ganhos e dificuldades a partir de sua adoção.
- 2) discutir de forma prática, o potencial da norma IEC61131-3 ser uma tecnologia capaz de agregar valor aos negócios das empresas.

A empresa escolhida para este estudo é bastante adequada porque possui o perfil ideal para se verificar o impacto - positivo ou negativo - da adoção da norma IEC61131-3 em seus equipamentos, pois a mesma é fabricante de Controladores Programáveis e está passando por um processo de transição em que os produtos antigos foram projetados sem ter uma norma como referência e os novos produtos atendem às prescrições da norma IEC61131-3.

Segundo o fabricante, em 2002, no planejamento estratégico da empresa, foi identificada a possibilidade de se criar um grande diferencial competitivo entre seus concorrentes a partir da adoção da IEC61131-3.

Para descrever esta trajetória entre a identificação e os primeiros resultados práticos da estratégia adotada, serão seguidos os passos descritos por Tachizawa (2000) que descreveu um fluxo de informações para um estudo de caso.

Segundo esse autor, um estudo de caso deve ser desenvolvido a partir de uma organização e seguir um fluxo de dados conforme mostrado na Figura 4.1.

Respeitando esta seqüência, os tópicos o estudo da bibliografia pertinente ao assunto e a fundamentação teórica foram explorados no capítulo 2; neste capítulo, portanto, serão apresentados os levantamentos de dados da organização, sua caracterização e será realizada a análise e interpretação das informações levantadas.

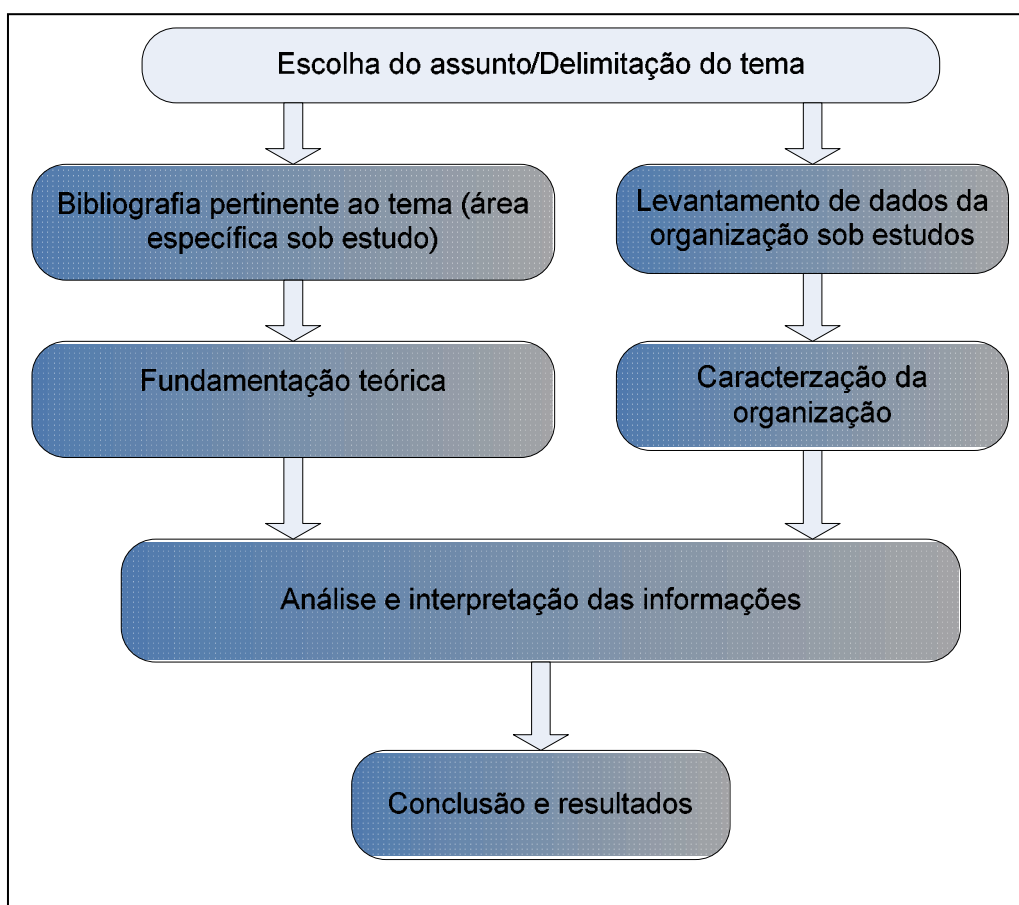


Figura 4.1 - Fluxograma para estudo de caso (Fonte: Tachizawa, 2000).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Segundo Tachizawa (2000), “A caracterização da empresa tem a intenção de auxiliar futuros leitores de monografia a compreender o que é pertinente e importante para a empresa, constituindo a base para a aplicação dos conceitos originados da fundamentação teórica para se chegar à análise e interpretação dos resultados”.

A empresa escolhida é a ATOS Automação Industrial Ltda. que trabalha no ramo de Automação Industrial há 33 anos e atua nas mais diversas áreas o que lhe permite ter uma maior compreensão das necessidades dos clientes e também dos usuários finais.

A caracterização da empresa está dividida em cinco partes: natureza do negócio; porte e localização; principais mercados; perfil dos funcionários e aspectos competitivos, os quais serão sintetizados na seqüência.

4.2.1 Natureza do negócio

A empresa em questão tem seu foco principal em projetar, industrializar e aplicar Controladores Programáveis.

4.2.1.1 Missão da empresa

“Oferecer soluções em automação industrial e predial através da criação de produtos e serviços diferenciados que agregam valor e superam as expectativas dos clientes, visando manter a continuidade e prosperidade da organização, parceiros e colaboradores”.

4.2.1.2 Visão da empresa

“Ser a maior e melhor empresa brasileira fabricante de equipamentos e fornecedora de serviços agregados para automação, competitiva internacionalmente, reconhecida pelo extremo profissionalismo e solidez diante das transformações do ambiente global”

4.2.1.3 Valores

- Agir com integridade, honestidade, respeito e humildade;
- Fazer tudo com entusiasmo e dedicação;
- Sempre valorizar os colaboradores e parceiros.

4.2.2 Porte e Localização

Trata-se de uma empresa privada, de pequeno porte e com 126 funcionários.

Localização: Rua Arnaldo Felmanas, 201 VI. Friburgo. CEP.: 04774-010

São Paulo - SP - Brasil

Pabx: 5522-1944 Fax: 5686-9194

4.2.3 Principais mercados

Num trabalho de parceria com fabricantes de máquinas e equipamentos industriais, a ATOS destaca-se principalmente pelo fornecimento de produtos e soluções para os seguintes segmentos:

a) Máquinas e Equipamentos

Equipamentos para fundição, forja e usinagem

Equipamentos para petroquímica e indústria de fertilizantes

Equipamentos para refinarias de álcool e açúcar

Fornos e caldeiras

Lavadoras Industriais Máquinas operatrizes

Máquinas para a indústria de bebidas

Máquinas para a indústria de madeira e manufaturados de madeira

Máquinas para couros, calçados e peles

Máquinas para indústria alimentícia

Máquinas para indústria de cerâmica

Máquinas para indústria de tecidos, fiação e vestuário

Máquinas para indústria farmacêutica, laboratórios e cosméticos

Máquinas para indústria gráfica

Máquinas para injeção de metais

Máquinas para injeção de poliuretano

Máquinas para transformação de borracha e termofixos

Máquinas para transformação de plástico - injeção, sopro e extrusão

Prensas hidráulicas

b) Saneamento básico

Captação, distribuição, controle de perdas, poços

ETA - Estação de tratamento de água

ETE - Estação de tratamento de esgoto

- c) **Telecomunicações**
 - Climatização e telesupervisão de ERB's, CCC's e centrais telefônicas
- d) **Energia**
 - Controle de demanda e fator de potência
 - Grupo moto-gerador
 - Medição de energia e multitarifiação
- e) **Automação**
 - Predial Automação de estacionamentos
 - Gerenciamento de utilidades
 - Prédio inteligente
- f) **Refrigeração**
 - Câmaras climatizadas e de armazenamento
 - Compressores tipo pistão e parafuso
 - Frigoríficos
 - Unidades Chiller
- g) **Construção Civil**
 - Controle de usinas de concreto
- h) **Indústrias**
 - Açúcar e álcool
 - Alimentícia
 - Auto Peças
 - Automotiva
 - Cerâmica
 - Embalagem
 - Metalurgia
 - Plástico
 - Vidraria

4.2.4 Perfil dos funcionários

Para a elaboração deste item foi feita uma entrevista com o gerente de Recursos Humanos e Qualidade da empresa, Sr. Márcio Kumada, em

02/02/2007, segundo o qual, o potencial e o desempenho de uma empresa podem ser analisados por dois fatores fundamentais, aqui destacados:

1. **fator técnico** - associado a seu patrimônio líquido, sua participação de mercado, analisado através de balancetes ou pesquisas de imagem;
2. **o seu patrimônio intelectual** - que está associado à qualidade e ao potencial de trabalho e dedicação de sua equipe de colaboradores que nos dias de hoje, para todas as organizações, é o diferencial mais importante.

Segundo o gerente, para as empresas de alta tecnologia, dentre as quais encontra-se a ATOS, é de vital importância reconhecer que a empresa só será bem sucedida se possuir colaboradores capacitados, motivados e, principalmente, satisfeitos em desempenhar sua função. A resposta, às diferentes demandas, vem através da criatividade e entusiasmo presentes em todos os departamentos da empresa.

A escolaridade dos funcionários, apresentada na Tabela 4.1, os quais foram obtidos junto ao departamento de Recursos Humanos da empresa, sendo que os mesmos comprovam a vocação da empresa de projetar, produzir e aplicar um produto de alta tecnologia.

Tabela 4.1- Distribuição dos empregados da ATOS segundo o grau de escolaridade.

Grau de escolaridade	Número de empregados
Pós-graduados	11
Cursando pós-graduação	3
Engenheiros e Tecnólogos	14
Graduados em outras áreas	12
Técnicos em eletrônica	19
Cursando superior	28
Ensino Médio	32
Ensino Fundamental	11
Total de empregados	130

4.2.5 Aspectos competitivos

4.2.5.1 Previsão de mercado para Controladores Programáveis

Segundo a ARC Advorsory Group, uma renomada empresa de pesquisa sobre mercados em diversas áreas, as empresas de um modo geral continuam a incrementar seus investimentos na aquisição de equipamentos de automação, sendo possível identificar neste incremento, a importância da automação para a conquista do mercado através da redução de custos no processo produtivo.

Como resultado destes investimentos, há um sensível aumento da demanda de Controladores Programáveis que são considerados componentes chave para os sistemas de automação em geral.

Segundo a mesma pesquisa, os fornecedores de CP's continuam inovando e oferecendo produtos com maior valor agregado para os usuários de sistema de automação, o que contribui diretamente para o aumento de especialização tanto para integradores de sistema e também para os próprios usuários finais.

A Figura 4.2 mostra a previsão de crescimento mundial de Controladores Programáveis.



Figura 4.2 - Previsão de mercado para Controladores Programáveis.

Fonte: www.arcweb.com.

4.2.5.2 Principais concorrentes

A estrutura de concorrência da empresa foi descrita por Aranha⁴ (2007) que destaca alguns dos principais grupos de concorrentes:

a) Líderes em produtos – são aquelas empresas líderes de mercado que atendem o segmento corporativo, particularmente:

- Siemens: oferece produtos de maior custo que os da ATOS. Possui marca forte e produtos de qualidade, mas o nível do serviço oferecido é variável;
- Allen Bradley (Rockwell Automation): possui produtos e serviços de qualidade e tem alta fidelidade por parte dos seus clientes. Seu nível de preço é mais alto do que o da ATOS; porém, competitivo nos produtos de entrada ou seja produtos com até dezesseis pontos de entradas e saídas;
- Schneider Electric (Telemecanique): empresa que atualmente está com uma postura bastante agressiva de mercado.

b) Seguidores de mercado – são aquelas empresas que concorrem com as líderes de mercado, mas tem menor força em relação à marca, estrutura de vendas ou qualidade de produtos e serviços oferecidos, com destaque para:

- GE: Possui participação pequena. Seu trabalho é realizado basicamente por meio de distribuidores;
- Moeller: Possui um produto “tropicalizado” (adaptado) para o mercado brasileiro; porém, seu nível de serviço é inferior ao oferecido pela ATOS.

c) Outras concorrentes: Empresas que representam marcas fortes como a H&S-Hitachi e outras empresas japonesas, americanas e coreanas. Oferecem bons produtos, mas o nível de serviço é instável.

⁴ Entrevista realizada pelo autor em 05/02/2007, com Arnaldo Aranha, diretor de vendas da empresa ATOS.

Concorrência de alguns produtos de pequeno porte em preço e recursos (Micrologix, Twido, e os shoebox da Mitsubish, Hitachi, etc.)

d) Pequenas empresas - Pequenos fabricantes e integradores que atendem principalmente às pequenas e médias empresas. Em sua maioria, não possuem marcas fortes.

Segundo Oliveira⁵(2007), considerando o mercado como um todo, os maiores concorrentes da ATOS são os líderes em produtos (Siemens, Rockwell e Schneider), pois apresentam maior barreira para a entrada da Atos em segmentos mais lucrativos como o corporativo e em médias empresas com maior qualidade). Segundo esse mesmo diretor, com a entrada do novo produto, com programação baseada na norma IEC61131-3, este cenário tende a se reverter a favor da empresa, pois além do produto o diferencial no atendimento contribuirá para a conquista de novos mercados.

4.2.5.3 Inovação quanto ao produto fabricado

Para sistemas físicos (*hardware*) que originalmente não suportavam a construção empregando-se as diretrizes da IEC61131-3, a aplicação da norma, caso passem a fazê-lo, inevitavelmente implicará numa queda de desempenho, particularmente na velocidade de processamento.

Este efeito acontece em função de que determinadas estruturas propostas pela norma como *Function* e *Function Block* demandam maior quantidade de memória e também maior tempo para mudança de contexto, que acontece quando há a passagem de parâmetros para a estrutura interna das funções criadas.

Além desta demanda, outras funções inerentes aos CP's de primeira linha, como a programação on-line e a redundância, fazem com que uma quantidade maior de memória seja necessária para implementá-las.

⁵ Entrevista realizada pelo autor em 05/02/2007, com Luciano de Oliveira, diretor de tecnologia e marketing da empresa ATOS.

A favor da implantação da norma, os novos microcontroladores já trazem diversas facilidades incorporadas em suas estruturas, antes só disponíveis em controladores de base PC.

Esta nova geração de microcontroladores está dando suporte à criação de novos produtos industriais, que passaram a comportar estruturas complexas, além de terem melhorado a velocidade de processamento.

Ciente desta nova realidade, a empresa pesquisada preparou-se durante dois anos para lançar uma nova CPU (*Central Processing Unit*) que fosse capaz de suportar as demandas de implantação da norma.

Segundo Oliveira (2007), o processador escolhido foi o "ADSP BF532" que possui como diferencial as características apresentadas na Tabela 4.2

Para a escolha do processador além das características técnicas, também participaram como elementos de decisão características estratégicas tais como a escalabilidade e o custo unitário do processador.

A escalabilidade teve como objetivo verificar se haveria sucessores dentro da mesma arquitetura de forma que os investimentos com treinamentos e adaptações em ferramentas de desenvolvimento pudessem ser otimizados.

A avaliação do custo é importante em função de haver variações significativas de preço em função do volume consumido ponderou o diretor.

Tabela 4.2 Características apresentadas pelo processador “ADSP BF532”

(Fonte: www.analog.com)

Característica	Detalhamento
Programação RISC (Reduced Instruction Set Computing)	Torna a busca das instruções mais rápidas.
Frequência de core de até 600Mhz	Os processadores convencionais possuem frequência de até 50 Mhz
Frequência de periféricos de até 133Mhz	Para estes processadores os periféricos são usualmente <i>SDRAM</i> 's e memórias <i>Flash</i> .
32 K byte de memória “Cachê”	Trata-se de uma porção de memória que funciona na mesma frequência do <i>core</i> , utilizada para antecipar as próximas instruções, tornando o processamento mais rápido, pois o <i>core</i> busca a próxima instrução na memória “ <i>Cachê</i> ” e não na externa.
10 níveis de “pipeline”	O <i>pipeline</i> é uma forma de aumentar o poder de processamento do controlador, em que as instruções subseqüentes são lidas durante determinados ciclos de execução das instruções anteriores. Esta técnica pode levar o microprocessador a executar uma instrução por ciclo de “ <i>clock</i> ”.
Suporte para até 512Mbyte de SDRAM	As SDRAM (Synchronous Dinamic RAM), são memórias RAM de alta frequência, são utilizadas para receber o firmware do microcontrolador, fazendo com que o mesmo possa rodar mais rápido quando comparado com as memórias Flash.
Vários tipos de Periféricos	Ex: Canais de comunicação (UART's), Serial Peripheral Interface (SPI), 10/100 timing MAC Controller, Real Time Clock (RTC), etc.

4.2.5.4 Estratégia adotada pela empresa para divulgação de novos produtos

A estratégia adotada pela empresa para divulgar o produto foi a de divulgar na mídia o maior número de cases de sucesso com o novo produto. Este fato pode ser comprovado através das versões do jornal eletrônico editado pela empresa onde o novo produto tem sido sistematicamente divulgado.

Esta estratégia está em consonância com os ensinamentos propostos por Moore (2005), que é um dos pioneiros no estudo da adoção de novas tecnologias pelos usuários.

O autor afirma que é possível classificar os consumidores em cinco categorias: inovadores, adotantes iniciais, maioria inicial, maioria tardia e retardatários.

A Figura 4.3, proposta por esse autor, mostra a distribuição dos usuários para produtos de alta tecnologia.

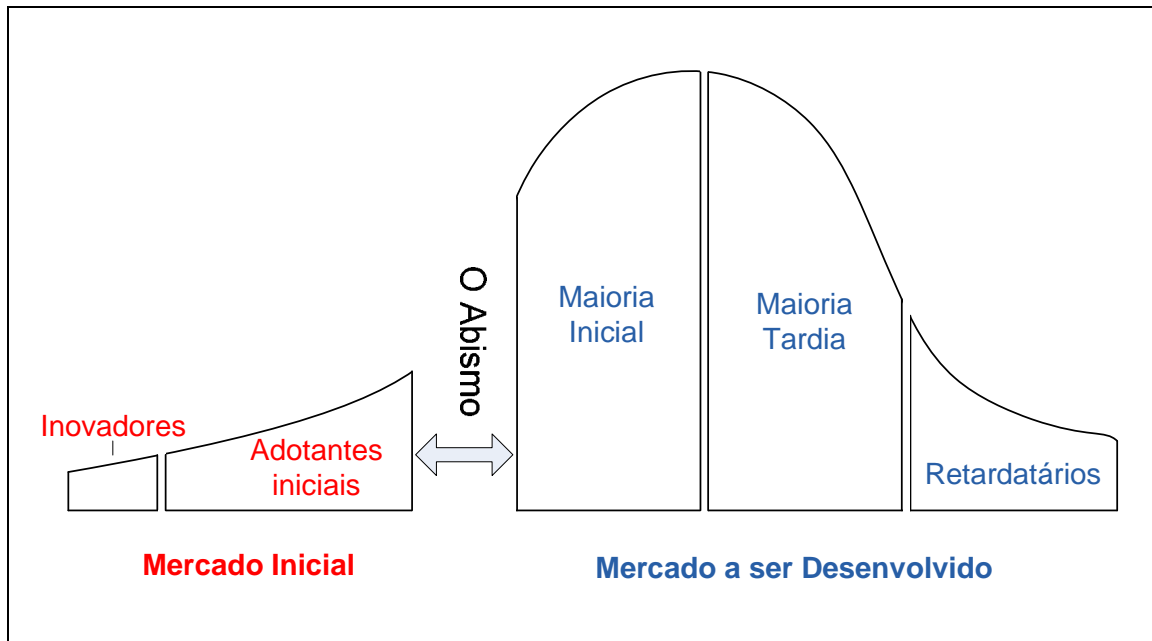


Figura 4.3 - Distribuição dos usuários para produtos de alta tecnologia.

(Fonte: Moore, 2005)

Segundo esta classificação, os consumidores são divididos em:

Inovadores (2,5%) são entusiasmados com a novidade, os primeiros a assumir o risco de compra dos novos produtos, mesmo com utilidade e qualidade não comprovadas.

Adotantes iniciais (13,5%) ou visionários, para quem a principal motivação é utilizar a inovação como vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes atuais.

A maioria Inicial (34%) ou pragmáticos, adotam uma inovação somente após verificarem que o novo produto tem um histórico de sucesso, medido pelo aumento de produtividade. Não compram a tecnologia em si, mas o que ela é capaz de fazer para melhorar seu negócio.

A maioria tardia ou conservadores (34%) São pessimistas em relação à possibilidade de obter algum retorno sobre o investimento em novas tecnologias. São muito sensíveis a preço.

Os retardatários (16%): São os inseguros com as novidades; não gostam de experimentar coisas novas e não seguem modismos. Somente adotam a inovação quando não lhes resta outra alternativa.

Segundo o modelo apresentado por Moore (2005), entre o lançamento de um produto que terá a preferência do mercado Inicial, composto por consumidores classificados como inovadores e adotantes iniciais e a explosão de vendas no maior mercado, classificado como o mercado a ser desenvolvido, existe o risco de o produto estacionar numa espécie de **limbo ou abismo**.

Também segundo o mesmo autor, há um período de **estagnação da adoção**, causado principalmente pelos pragmáticos que aguardam resultados concretos das vantagens que o novo produto poderá trazer antes de decidirem pela compra.

A recomendação do autor para este caso é encontrar um nicho de mercado que se identifique com o produto, divulgar na mídia a maior quantidade possível de cases de sucesso, de forma que a proposta de valor possa mostrar que há geração de resultados concretos.

Ao se classificar produtos que seguem a norma IEC61131-3 segundo o modelo apresentado, é possível arriscar com certa segurança, que se encontram na classificação de **Mercado Inicial**.

Os desafios de ultrapassar o abismo de Moore (2005) são muitos e passa por questões relacionadas à forma como as empresas enxergam a criação de valor para seu negócio, em que a inovação deveria ter papel importante dentro das estratégias de criação de valor para o cliente.

Dentro desta visão, a estratégia adotada pela empresa se encontra em sintonia com os preceitos divulgados pelo autor.

Outro fator importante se refere a própria situação da empresa em se comportar como um inovador ao adotar a norma em seus novos produtos, o que lhe garantirá um local de destaque frente a seus concorrentes apesar dos riscos de insucessos que rodeiam as novas tecnologias.

Também como parte integrante da estratégia de divulgação da norma, foi criado pela empresa um site exclusivo sobre a norma, com endereço eletrônico www.IEC61131.com.br.

A Figura 4.4 mostra a página de abertura do site.

A missão do site é divulgar a norma independente do fabricante que a siga. Para dar credibilidade ao site, foram postados inclusive arquivos de concorrentes, de forma que a isenção fosse total.

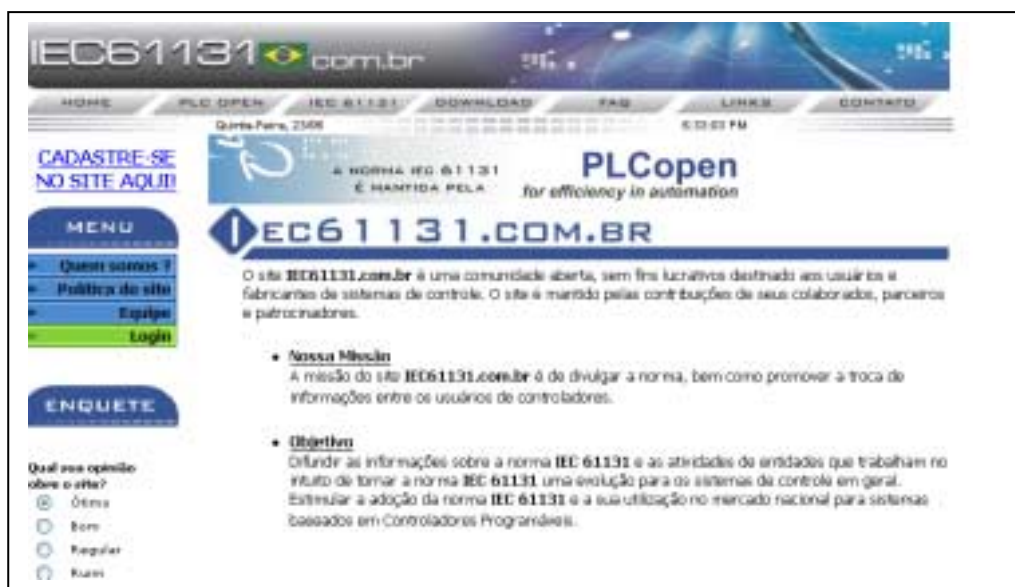


Figura 4.4 - Primeiro site brasileiro sobre a IEC61131.

4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE O ESTUDO DE CASO

Como anteriormente salientado, um dos objetivos deste trabalho é fazer uma comparação entre uma programação proprietária e a programação baseada na norma IEC61131-3.

Em função de a empresa trabalhar de forma diversificada, optou-se por focar o segmento Plástico, dentro do qual escolheu-se uma aplicação específica: automação de uma **sopradora de plástico**.

Não é objetivo deste trabalho detalhar de forma profunda o funcionamento de uma sopradora de plástico, além de haver um sigilo industrial embutido na programação de cada máquina, o que impede o autor de revelar detalhes

específicos das rotinas criadas. Apenas será dada uma noção geral de seu funcionamento.

4.3.1 Funcionamento básico de uma sopradora de plástico

A Figura 4.5 mostra de uma forma simplificada o processo de sopro.

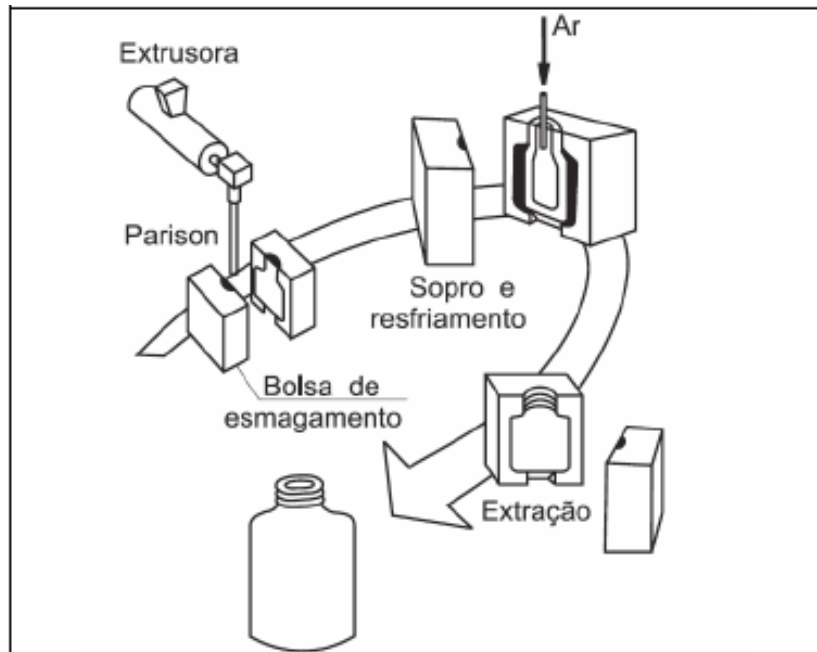


Figura 4.5 - Processo simplificado de sopro (Fonte: Senai -RS, 2006).

Na mesma figura, identifica-se o sistema de extrusão que é responsável por aquecer o material plástico até sua temperatura de trabalho, sendo formado por um sistema de rosca que empurra o material em direção à matriz.

A matriz juntamente com sistema de Parison, que modula a espessura da parede da mangueira, são responsáveis por dosar adequadamente a quantidade de material, atendendo requisitos de qualidade, resistência e economia.

Basicamente, o processo de sopro consiste em preencher a cavidade de um molde com material plástico. Para esta operação, primeiro há a entrada do material sob a forma de uma mangueira. Em seguida, o molde se fecha e começa o processo de sopro propriamente dito, que insufla ar dentro da cavidade, o que força a mangueira de plástico a aderir às paredes do molde.

Na seqüência, espera-se o tempo de resfriamento do material e aparando ou esmagando as rebarbas, resulta o produto final com a extração.

4.3.2 Cliente atendido com esta aplicação

As aplicações em estudo foram feitas para automatizar as máquinas sopradoras de plástico da empresa **Pavan Zaneti (Americana SP)**.

Principais características do modelo HDL-30 produzido pelo cliente são listadas abaixo:

- Capacidade para sopro de peças de 10 até 30 litros de volume e massa total, com rebarbas, de 3 kg de polietileno.

Comando de seqüência de funções através de um controlador programável (CP) com microprocessador e tela de visualização gráfica.

- Aquecimento geral da sopradora através de resistências elétricas comandadas por controladores de temperatura incorporados ao CP.
- Regulagem da altura da extrusora com motorização.
- Programador de espessura do Parison, com 25 ou 64/128 pontos.
- Cabeçotes acumuladores e programadores de 1.500, 3.000 e 4.000 cm³.
- Cabeçote com tecnologia "FIFO" - First In First Out - com capacidade especial de 5.300 cm³.

As figuras 4.6 a 4.8 mostram a máquina, identificada pelo código HDL-30, onde foi aplicada a programação IEC61131-3.

- Controlador programável com até 24 zonas de temperatura com controle independente por zona e identificação automática no elemento sensor.



Figura 4.6 - Vista da fábrica, mostrada de cima da sopradora HDL-30.



Figura 4.7 - Vista lateral da sopradora HDL-30.



Figura 4.8 - Vista do painel elétrico com o CP à direita.



Figura 4.9 - Vista dos alimentadores da sopradora HDL-30.

4.3.3 Informações sobre as ferramentas de programação da empresa

Atualmente, a ATOS possui duas ferramentas de programação que são utilizadas para programar todos os equipamentos fabricados:

WINSUP – o qual representa a programação proprietária;

A1 – que é a ferramenta utilizada para programar os equipamentos baseado na norma IEC61131-3.

A ferramenta A1 possui uma restrição quanto ao número de linguagens implementadas, sendo a linguagem *ladder* a primeira disponível, com previsão de implementação das outras linguagens até o final do ano de 2007.

As duas ferramentas são gratuitas e podem ser baixadas diretamente no site do fabricante em www.atos.com.br.

A Figura 4.10 apresenta os dois logos das duas ferramentas de programação disponibilizadas pela empresa.



Figura 4.10 - Logo das duas ferramentas de programação.

As principais características oferecidas na nova ferramenta A1, em relação à ferramenta WINSUP, são mostradas a na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Comparação das principais características dos aplicativos disponibilizados pela empresa.

Permite a criação de funções e blocos de funções de usuário	NÃO	SIM
Permite trabalhar com endereçamento indireto	NÃO	SIM
Permite a criação de mais de um projeto no mesmo arquivo	NÃO	SIM
Possui o conceito de data types (tipos de dados)	NÃO	SIM
Permite trabalhar com nomes atribuídos às variáveis ao invés de endereço	NÃO	SIM
Permite reutilização de funções e blocos de funções	NÃO	SIM
Permite encadear blocos na mesma linha	NÃO	SIM
Possui simulador de CP	NÃO	SIM

Para ilustrar algumas dessas diferenças, nas figuras 4.11 a 4.14 serão apresentados exemplos implementados a partir das duas ferramentas de programação propostas pela empresa.

Exemplo 1 - A Figura 4.11 mostra a praticidade de se atribuir o nome à variável. Em destaque, tem-se a saída “FIM_INJECAO” sendo utilizada diretamente no diagrama Ladder, tornando o entendimento do programa mais eficiente. Na versão não normalizada (WINSUP) só era possível trabalhar com o endereço físico das variáveis.

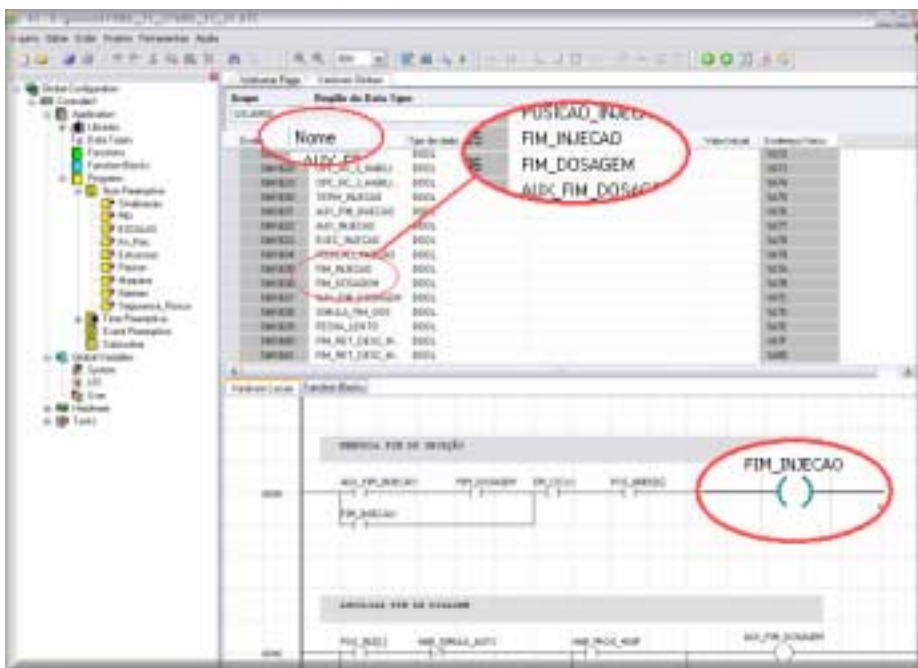


Figura 4.11 - Exemplo de um programa a partir da norma IEC61131-3.

Exemplo 2 - Possibilidade de se atribuir valores iniciais de trabalho diretamente à variável. Na versão não normalizada, isto não era previsto, sendo necessário utilizar rotinas adicionais para fazer a atribuição inicial de valores.

A Figura 4.12 representa a forma normalizada e a Figura 4.13 representa a maneira não normalizada de se atribuir valores.

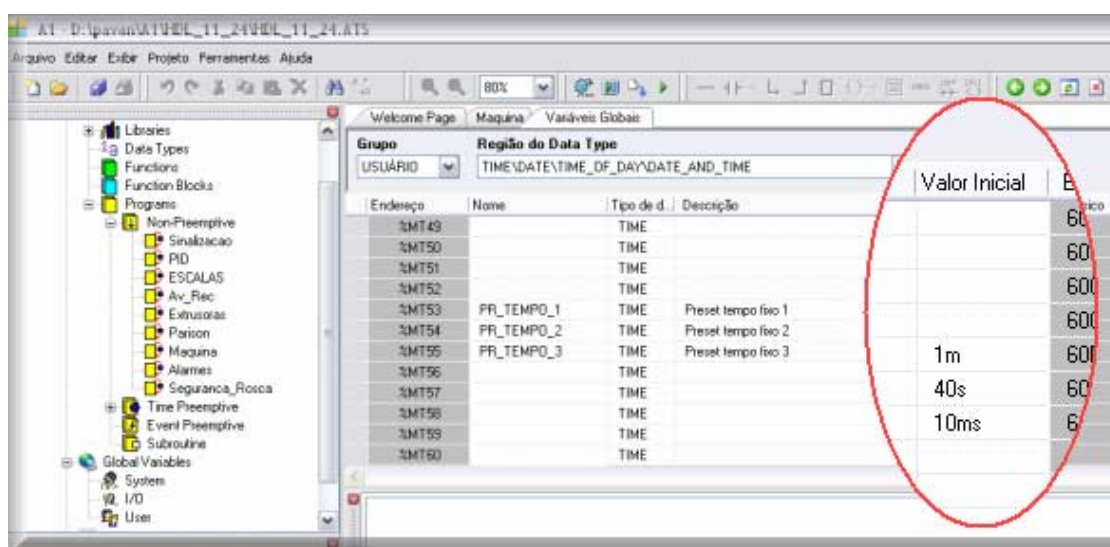


Figura 4.12 - Alocação direta do valor inicial da variável, a partir de programação baseada na norma IEC61131-3.

TABELA DE DADOS 1		TAB 10A2	
OFF		OFF	
		0110	0707
		0111	0809
		0709	1027
		0120	0713
		0300	0100
		0047	1001
		0470	1000
		0710	1000

TABELA DE DADOS 1		TAB 10A5	
OFF		OFF	
		0111	0707
		0111	0709
		1007	0219
		0304	0100
		0700	1000
		0410	0070
		1000	0710
		0047	1001

Figura 4.13 - Programa para alocar o valor das variáveis de forma não customizada.

Exemplo 3 - Otimização das linhas de programa, melhorando a inteligibilidade dos programas criados além de reduzir o tamanho do programa. A Figura 4.14 trás de forma figurativa o resultado que a possibilidade de encadear blocos em uma mesma linha, representando a redução no tamanho dos programas gerados com o recurso oferecido. Na Figura 4.15 é mostrado um programa para geração de um alarme que, no modo não padronizado, necessitou de 5 linhas para ser implementado e na forma normalizada apenas uma linha foi necessária, o que é ilustrado na Figura 4.16

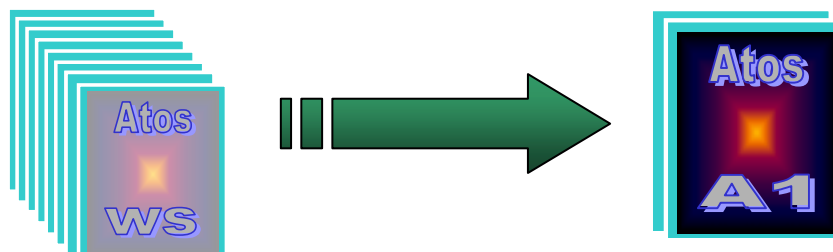


Figura 4.14 - Representação da redução de linhas proporcionado pela norma.



Figura 4.15 - Alarme implementado com 5 linhas, a partir de linguagem customizada.



Figura 4.16 - Alarme implementado com apenas 1 linha, a partir da programação baseada na norma IEC61131-3.

Exemplo 4 – Criação de blocos de função de usuário, que permite a reutilização do componente criado, além de modular o projeto, contribuindo para a redução da sua complexidade.

Esta característica pode ser visualizada na Figura 4.17, onde o programa criado na versão não normalizada apresenta uma repetição de estrutura de acionamento dos ventiladores.

Na Figura 4.18, esta mesma estrutura foi substituída por uma função chamada “refrigeração” que pode ser replicada para quantos ventiladores forem necessários.

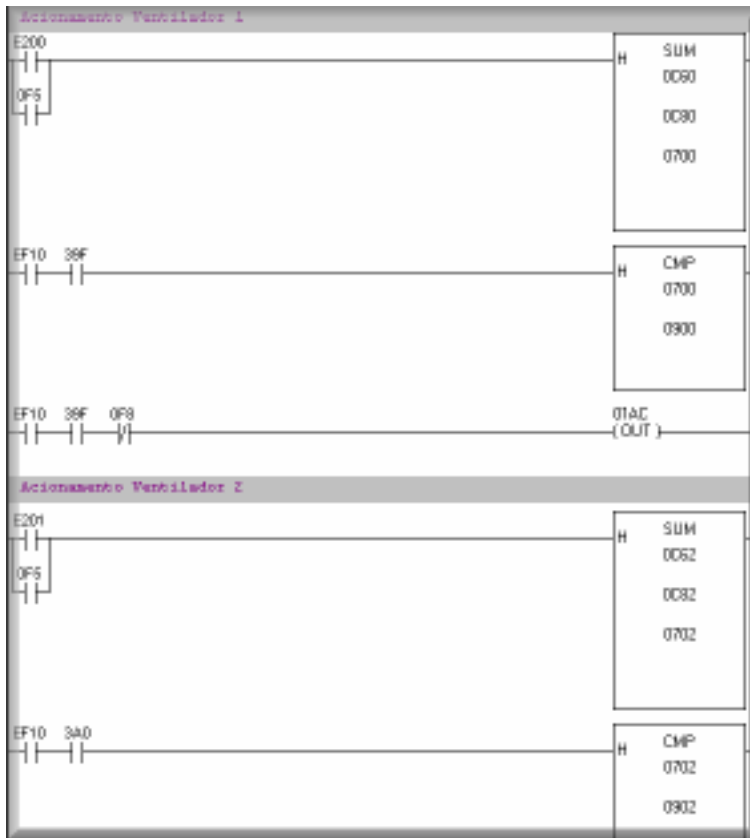


Figura 4.17 - Programa sem usar bloco de função.

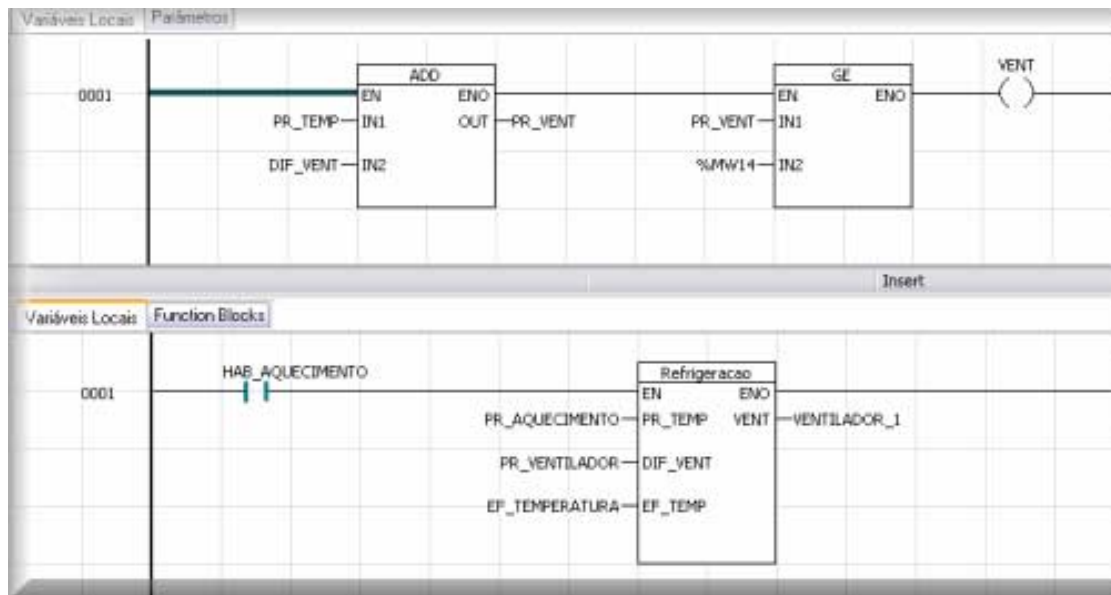


Figura 4.18 - Função “Refrigeração” criada pelo usuário.

4.3.4 Indicadores

Para que a comparação possa ser realizada de forma objetiva, os indicadores foram previamente estabelecidos e estão explicitados na seqüência, sendo classificados em quantitativos e qualitativos.

4.3.4.1 Indicadores quantitativos:

Esses indicadores, expressos na Tabela 4.4, foram medidos durante a execução dos dois projetos de automatização, a partir de dados das planilhas disponibilizadas pelo Departamento de Aplicações da ATOS.

Dentre os indicadores quantitativos apresentados, o tempo de start-up precisou ser ajustado com relação a atrasos provocados pelo cliente como por exemplos ordenação da parte hidráulica da máquina ou funções que não podiam ser concluídas por não estar a parte elétrica pronta para os testes.

Tabela 4.4 - Indicadores quantitativos utilizados para medir a eficiência do emprego das diretrizes normativas da IEC61131-3.

Indicadores quantitativos
Número de linhas criadas no projeto
Número de instruções criadas no projeto
Tempo de varredura do projeto
Tempo necessário para criar o projeto
Tempo necessário para depurar o projeto
Tempo necessário para realizar o <i>start-up</i> da máquina

4.3.4.2 Indicadores qualitativos

Esses indicadores foram estabelecidos a partir da percepção de profissionais da área de aplicações da empresa. A avaliação teve como objetivo explorar o grau de satisfação em se programar com as duas ferramentas. Os indicadores utilizados estão apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Indicadores qualitativos utilizados para medir a eficiência do emprego das diretrizes normativas da IEC61131-3.

Indicadores qualitativos
Grau de facilidade de criar os programas
Facilidade de documentação
Facilidade de depuração
Inteligibilidade do código
Reutilização do código
Manutenção do código

4.3.5 Método para captura dos dados

Para o levantamento dos indicadores quantitativos, recorreu-se às planilhas de histórico de projetos, além da verificação dos programas realizados para as duas aplicações.

Para os indicadores qualitativos, os dados foram colhidos através de entrevistas realizadas com 4 programadores, do departamento de aplicações da empresa, os quais tiveram contato com as duas ferramentas em diversos trabalhos realizados.

A planilha apresentada para a pesquisa dos indicadores qualitativos está apresentada na Tabela 4.6.

Foi explicado para cada um dos entrevistados o significado de cada item da planilha, de forma a não haver distorções entre as respostas.

A planilha tinha como proposta que cada item fosse mensurado com uma graduação de 0 a 10, indicando o grau de satisfação de cada ferramenta com o item perguntado.

Tabela 4.6 - Planilha utilizada para o levantamento dos indicadores qualitativos.

Nome do entrevistado: data / /		
Instrução: cada item deve receber uma nota de 0 até 10		
Item avaliado	Aplicativo WINSUP	Aplicativo A1
Grau de facilidade de criar os programas		
Facilidade de documentação		
Facilidade de depuração		
Inteligibilidade do código		
Reutilização do código		
Manutenção do código		
Obs.:		

4.3.6 Resultados obtidos

A tabulação dos dados quantitativos são mostrados na Tabela 4.7

Tabela 4.7 - Indicadores quantitativos da empresa do estudo de caso

Indicadores Quantitativos	Aplicação com WINSUP	Aplicação com A1
Número de linhas criadas no projeto	1620	715
Número de instruções criadas no projeto	4346	2724
Tempo de varredura do projeto	68 ms	10 ms
Tempo necessário para criar o projeto	20 dias (1 mês)	10 dias
Tempo necessário para realizar o “start-up” da máquina (1)	3 semanas	2 semanas

Para a tabulação dos dados qualitativos foi considerada a média aritmética simples dos dados das 4 entrevistas realizadas. Os resultados são mostrados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Indicadores quantitativos da empresa do estudo de caso

Indicadores qualitativos	Notas atribuídas pelas diferentes pessoas entrevistadas				Média das notas atribuídas pelas diferentes pessoas
	MC	BC	MN	JN	
Facilidade em criar os Programas					Média
A1	9	8	9	8	8,50
WINSUP	7	6	8	8	7,25
Facilidade de documentação					Média
A1	6	4	8	6	6,00
WINSUP	8	6	6	6	6,50
Facilidade de depuração					Média
A1	9	8	9	6	8,00
WINSUP	8	5	7	7	6,75
Inteligibilidade do código					Média
A1	8	8	9	8	8,25
WINSUP	7	7	6	5	6,25
Reutilização do código					Média
A1	6	8	9	5	7,00
WINSUP	7	5	5	1	4,50
Manutenção do código					Média
A1	8	5	8	6	6,75
WINSUP	7	5	5	6	5,75

4.3.7 Análise Crítica dos dados

A análise dos dados qualitativos revela a preferência por utilizar a programação baseada na norma, seja pelas facilidades apresentadas bem como pela resposta em termos de desempenho apresentado pelo hardware utilizado para suportar as diretrizes da norma.

Para os dados qualitativos, a reutilização de código se destaca como sendo um ponto forte da nova ferramenta de programação que utiliza as diretrizes da norma.

Porém, para a documentação, o aplicativo anterior obteve uma preferência levemente superior a nova ferramenta, pois a nova ferramenta, para alguns recursos básicos como copiar e colar linhas, ainda não está tão prática como a antiga.

Este resultado foi explicado no campo observação, sendo que todas as observações anotadas foram repassadas para os desenvolvedores do produto para que a ferramenta pudesse vir a ser melhorada.

Como comentário final, apesar de algumas críticas relacionadas a tornar a ferramenta A1 mais amigável, houve uma unanimidade quanto a preferência por ela, sendo sempre destacada como positiva a possibilidade de criação de funções e blocos de funções compondo a biblioteca de usuário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 QUANTO AOS OBJETIVOS PROPOSTOS

Pelos dados levantados no estudo de caso, é possível perceber um favorecimento dos números para a ferramenta que implementa a norma IEC61131-3, além de ter sido apontado nas entrevistas realizadas as vantagens competitivas conquistadas pela empresa com a utilização da ferramenta baseada na norma IEC61131-3.

A velocidade com que os novos programas podem ser criados e as facilidades observadas na utilização de funções e blocos de funções deram à empresa um destaque perante seus clientes, o que tem ajudado a conquistar novos mercados.

Por outro lado, desde o início deve haver uma orientação aos novos programadores quanto à correta forma de se utilizar os recursos da norma, pois nas entrevistas realizadas, os programadores que simplesmente começaram a programar, o fizeram da forma antiga, ou seja, sem se preocupar em decompor as aplicações em unidades menores transformando-as em funções ou blocos de funções.

É uma mudança de comportamento que deve ser estimulada para que se possa alcançar o máximo de benefícios com a adoção da norma.

Como consideração final, após a análise dos dados obtidos e pelas entrevistas feitas com seus administradores, ficou claro que uma mudança da proposta de valor dos fabricantes de equipamentos está em curso (modelo de negócios), tendo como destaque os parâmetros de desempenho sendo afetados pela flexibilidade de desenvolvimento das aplicações e velocidade com que são disponibilizadas. Podemos também atribuir a vantagem competitiva conquistada pela empresa frente a seus concorrentes nacionais, ao fato **de ter sido a primeira a adotar a norma** sendo que agora seus concorrentes terão muito mais dificuldades em trabalhar o mercado em função da barreira tecnológica criada.

5.2 QUANTO ÀS DIFICULDADES ENFRENTADAS

Durante o processo de elaboração desta monografia, houve o sentimento de defender a norma, de procurar provar suas qualidades e benefícios; porém, ao dar início às entrevistas, foi verificado que não era necessário ser “o guardião da norma”; ela, de forma explícita, apresenta vantagens suficientes para que, por si só, seja alvo de curiosidade e experimentação.

Há os que ainda duvidam de suas vantagens; porém, ao final desta monografia, chega-se à conclusão de que estes programadores que ainda relutam em adotá-la. Na verdade, estes são os que, por força de inércia, relutam por quebrar seu paradigma pessoal de programação, mudando de um processo contínuo de código para um processo de criação de componentes.

5.3 QUANTO À CONTINUIDADE DO TRABALHO

Como temas para trabalhos futuro podem ser listadas as seguintes atividades:

- Pesquisar o grau de evolução da norma no mercado nacional adotando indicadores como o número atual de fabricantes que a está adotando e em que grau.
- Acompanhar o grau de intercambialidade de programas entre fabricantes o que poderia ser a mola propulsora da .
- Caracterizar cenários futuros para a programação industrial explorando a possibilidade do Controlador Programável a nível de hardware poder executar programas complexos reservados atualmente para *desktops*.
- Monitorar o movimento das instituições de ensino em ensinar a programação baseada na norma IEC61131 o que poderia acelerar a divulgação da norma
- Acompanhar a norma IEC1499, que trata da troca de dados entre Blocos de Função que dentro de um horizonte de dois anos poderá ser também uma nova tecnologia a ser explorada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Haddad, Helton; Tenca, Evandro César; Schenini, Paulo Henrique; Fernandes, Sandra. Planejamento Estratégico de Marketing, FGV, 2004

Herrero, Emílio. Balanced Scorecard e a Gestão Estratégica. São Paulo. Campus, 2005

Kaplan, Robert ;Norton,David.A estratégia em ação - Balanced Scorecard. Rio de Janeiro,Campus,1997.

Karl-Heinz John, Michael Tiegelkamp. Programming Industrial Automation Systems. Springer, 2002

Kotler, Philip. Administração de Marketing. São Paulo. Prentice Hall,2000

Kuroda, Walter. Empresas e Negócios. MBIS PUCSP. (Notas de aula da disciplina Empresas e Negócios – MBIS PUCSP). São Paulo, 2005.

Moore.Geoffrey. Crossing the chasm, Collins Business Essentials, 2005

Oliveira, Marcos; Seixas, Constantino; Bottura Filho, João. Aplicando a norma IEC 61131 na Automação de Processos, 2007. Edição Independente, (no prelo)

International Electrotechnical Commission – IEC. IEC61131-3 Programmable controllers-part 3. 1993. Programming Languages; Editora: IEC

Tachizawa, Takeshy. Mendes, Gildásio. Como fazer Monografia na Prática, Editora FGV,2000

Sites acessados

Mercados de CP's: disponível em:

<http://www.arcweb.com/txtlstvw.aspx?LstID=d74ba698-cb5c-4c20-8a70-549ce4967cee> (Acesso em 16 out. 2006).

Informações sobre sopradoras de plásticos disponível em:

<http://www.sbrt.ibict.br/upload/sbrt2851.pdf> (Acesso em 16. out. 2006).

Informações sobre o mercado da indústria eletro Eletrônica disponível em:

<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/fimano06.pdf> (Acesso em 20.abr. 2007).

7 ANEXO A: LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO DESCRITAS NA NORMA IEC61131-3

Neste Anexo são detalhadas as linguagens de programação descritas na norma IEC61131-3, além de destacar características e simbologias de cada uma das linguagens.

A.1 Diagrama Ladder – LD

A linguagem de programação Diagrama Ladder, *Ladder Diagram* (LD), é uma linguagem gráfica baseada nos diagramas elétricos que representa contatos e bobinas interconectados, destacando o fluxo de energização entre os elementos.

O Diagrama Ladder é uma técnica utilizada para desenhar lógica usando relés. Estes diagramas já eram utilizados para documentar antigos armários de relés, antes da existência dos CPs. A norma IEC adotou a terminologia e a simbologia mais comumente utilizada pelos produtos de mercado, para facilitar a assimilação fácil por parte dos usuários.

Sua notação é bastante simples: uma linha vertical à esquerda representa um barramento energizado e uma outra linha paralela à direita representa uma barra de terra. Os elementos constituídos por contatos normalmente abertos, contatos normalmente fechados e bobinas de relés, são dispostos numa linha horizontal, formando caminhos seriais ou paralelos. A energização (fluxo de potência) sempre flui da esquerda para a direita na mesma linha.

O diagrama final se parece com uma escada (*ladder* em Inglês) em que as laterais são as linhas de alimentação e os degraus representam a lógica como mostrado na Figura A.1.

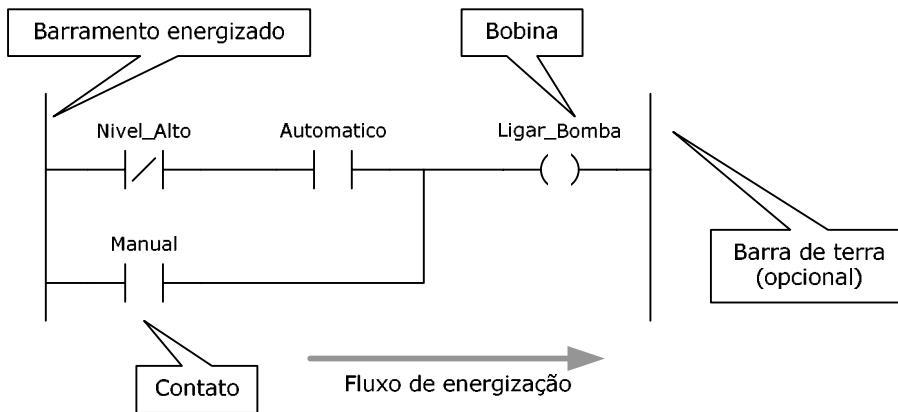


Figura A.1 - Exemplo de um diagrama ladder.

A simbologia de contatos definida pela norma é apresentada na Tabela A.1.

Tabela A.1 Simbologia de contatos definida pela norma.

Elemento Gráfico	Forma semi-gráfica	Forma Gráfica
Contato NA	---- ----	— —
Contato NF	---- / ----	— / —
Contato sensível à borda de subida	---- P ----	— P —
Contato sensível à borda de descida	---- N ----	— N —

A simbologia de bobinas definida pela norma é apresentada na Tabela A.2.

Tabela A.2 Simbologia de bobinas

Elemento Gráfico	Forma semi-gráfica	Forma Gráfica
Bobina.	---- () ----	—()—
Bobina Negada. É setada para o oposto do estado da linha de potência.	---- (/) ----	—(/)—
Bobina SET. É setada (ON) quando é alimentada e resetada (OFF) pela bobina RESET.	---- (S) ----	—(S)—
Bobina RESET. A bobina passa para o estado OFF e permanece neste estado até ser setada pela bobina SET.	---- (R) ----	—(R)—
Bobina Retentiva (com memória). Estado é mantido em caso de falha de alimentação do CP.	---- (M) ----	—(M)—

A.1.1 Realimentação em Diagramas Ladder

É permitida a realimentação em diagramas Ladder, ou seja, o contato de selo mostrado na Figura A.2 é o caso mais comum. Neste caso, não existe

ambigüidade, uma vez que, para a execução de um linha (*rung*), todos os estados dos sinais, contatos e bobinas são coletados antes do início da execução da mesma.

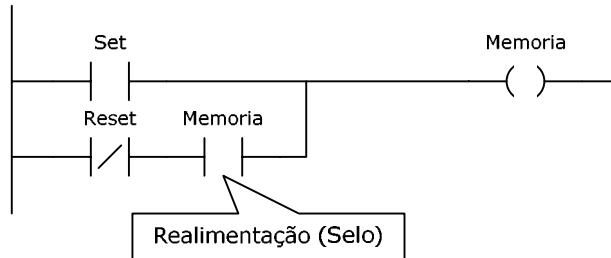


Figura A.2 - Realimentação em ladder.

A.2 Texto Estruturado (Structured Text – ST)

A linguagem de programação Texto Estruturado, Structured Text (ST) é uma linguagem de alto nível, com sintaxe similar ao Pascal da norma ISO 7185. Contém todos os elementos essenciais de uma linguagem de programação moderna, incluindo condicionais (IF-THEN-ELSE e CASE OF) e iterações (FOR, WHILE e REPEAT). Na Figura A.3 é mostrado um exemplo de programa escrito em texto estruturado.

```

VAR
  A, B : BOOL;
  C     : REAL;
  CV    : INT;
  TIC100 : PID;
END_VAR

B := 1;          (* Atribui o valor 1 a B          *)
A := B;         (* Atribui o valor de B a A          *)
C := SIN(X);    (* Atribui a saída da função SIN(X) a C *)
CV := CV + 1;   (* Atribui a CV o resultado de CV + 1 *)
TIC100 (SP := 100.0); (* Atribui 100.0 ao parâmetro SP da instância TIC100 *)

```

Figura A.3 - Exemplo de programa escrito em texto estruturado

A.3 Diagrama de Blocos Funcionais (Function Block Diagram – FBD)

A linguagem de programação Diagrama de Blocos Funcionais, *Function Block Diagram* (FBD), é uma linguagem gráfica baseada nos diagramas de circuitos que representa blocos interconectados, destacando o fluxo de sinais entre os elementos.

A notação utilizada para a representação de blocos funcionais e funções na linguagem FBD é apresentada na Figura A.4.

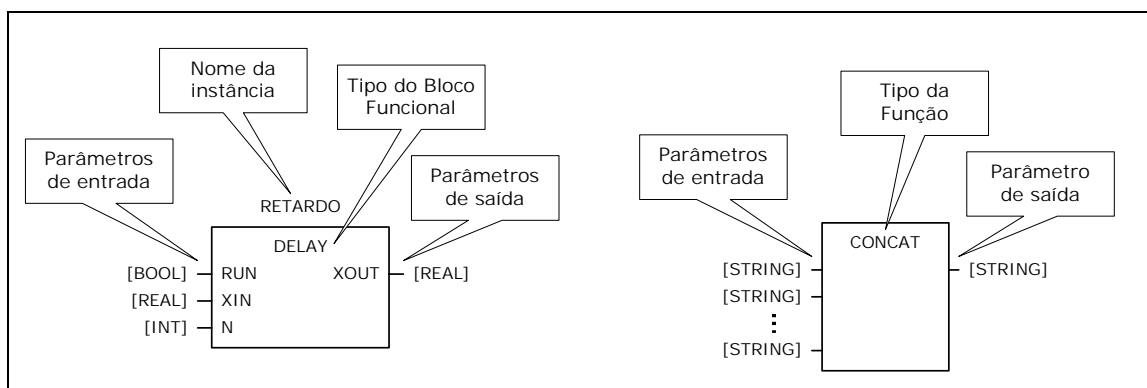


Figura A.4 - Representação de blocos funcionais e funções em FBD.

A.3.1 Blocos Funcionais Padrões

A norma IEC define um conjunto básico de blocos funcionais, os quais são freqüentemente usados na declaração de blocos mais complexos. Este conjunto contém os blocos mais elementares para utilização em sistemas de controle. São utilizados na construção de lógicas e algoritmos mais complexos para a criação de outras POUs.

Os blocos são dispostos em bibliotecas que acompanham os produtos de mercado. Normalmente, tem-se uma biblioteca com os blocos padrão IEC, bibliotecas especializadas do próprio fabricante e bibliotecas criadas pelo usuário. É importante observar aqui que, os blocos criados (derivados) pelo usuário podem ser declarados a partir de qualquer uma das bibliotecas. Se o usuário usar a biblioteca de blocos padrão IEC para criação de seus blocos derivados, estes terão maior facilidade de portabilidade para outros produtos, uma vez que os outros sistemas IEC terão as definições dos blocos padrões. Caso sejam utilizados os blocos proprietários de um determinado fabricante na criação dos blocos do usuário, a portabilidade ficará condicionada ao fato de um outro fabricante ter a definição dos blocos utilizados, o que não é a situação mais comum. Portanto, recomenda-se que o usuário, sempre que possível, utilize os blocos padrões IEC para criação de suas bibliotecas, objetivando uma portabilidade futura. Isto deve ser feito dentro do bom senso, não impedindo ao usuário de tirar proveito dos blocos mais sofisticados disponibilizados pelas bibliotecas dos fabricantes.

Um exemplo de blocos padronizados pela norma (temporizadores) é mostrada na Figura A.5.

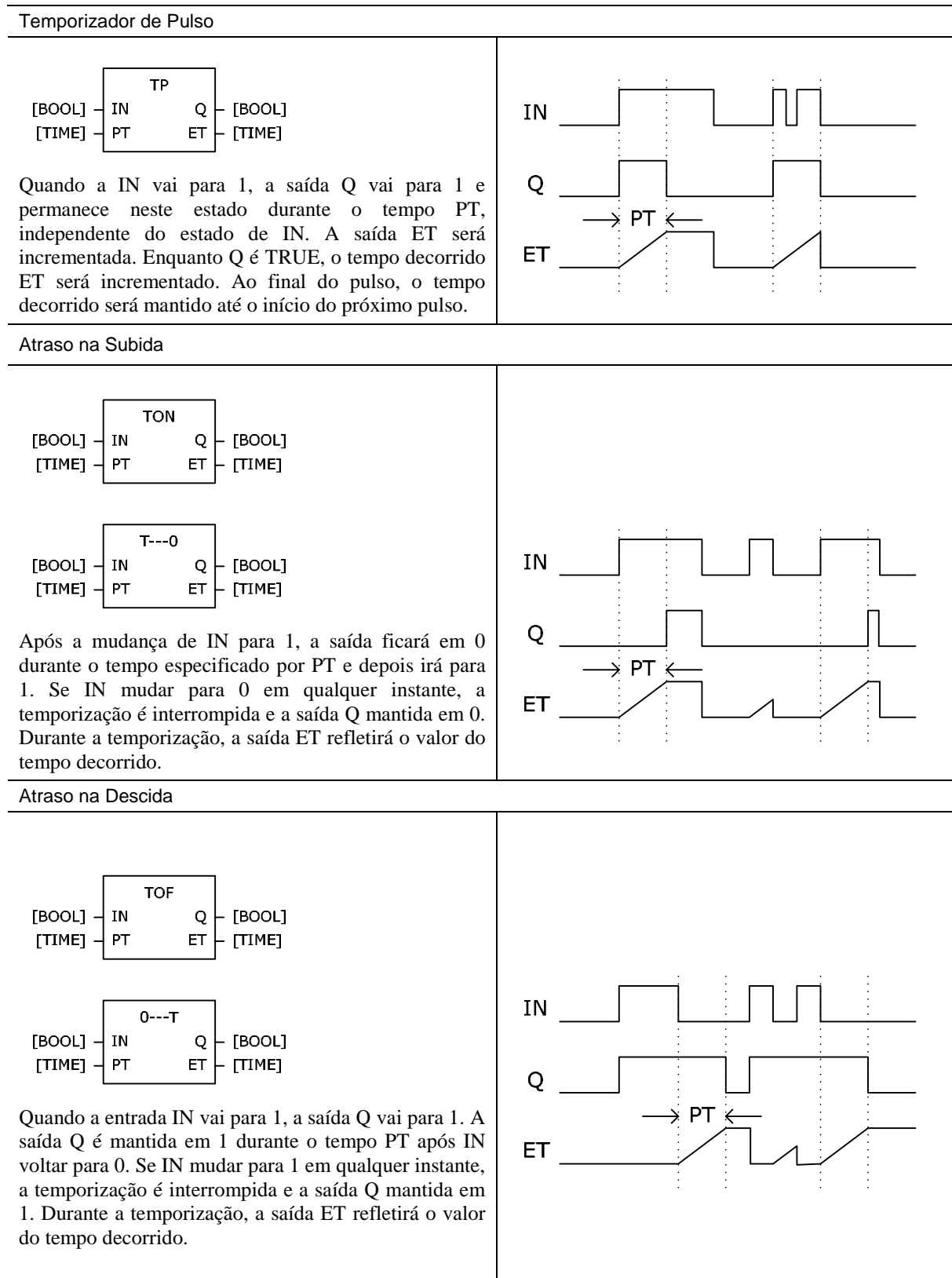


Figura A.5 - Exemplo de blocos de Temporizadores.

A.4 Lista de Instruções – IL

A linguagem de programação Lista de Instruções, *Instruction List* (IL), é uma linguagem textual de baixo nível, com estrutura semelhante ao Assembler.

É uma linguagem muito eficiente (mais rápida) por ser mais próxima da forma de processamento feita pela CPU (*Central Processing Unit*) do CP. Entretanto, é uma linguagem pouco estruturada e de difícil compreensão, quando o programa é muito complexo.

O modelo de execução é baseado no uso de acumulador simples. É uma linguagem recomendada para pequenas aplicações e para otimização de código, quando o desempenho de execução é um fator determinante.

Por ser uma linguagem mais simples, a sua implementação pelos fabricantes de CP é mais fácil, sendo a linguagem mais usada para CPs de pequeno porte.

Um exemplo da programação em Lista de instrução é mostrado na Figura A.6.

Rótulo	Opera- dor	Operando	Comentário
	LD	Entrada_1	(* Carrega Entrada_1 no acumulador *)
	AND	Entrada_2	(* Executa AND e retorna resultado para acumulador *)
	JMPCN	Marca	(* Salta se acumulador negado e igual a TRUE *)
	LD	TESTE_A	(* Carrega TESTE_A no acumulador *)
	OR	TESTE_B	(* Executa OR e retorna resultado para acumulador *)
	ST	%QX1	(* Armazena o valor do acumulador em %QX1 *)
Marca:	LD	Pressao	(* Carrega o valor de Pressão para o acumulador *)
	GE	150.0	(* Testa se Pressão >= 150.0 e retorna para acumul. *)
	ST	Alarme	(* Armazena o valor do acumulador em Alarme *)

Figura A.6 - Exemplo de programação em Lista de Instruções

A instrução LD carrega o valor do operando Entrada_1 no acumulador. O operador AND faz com que seja executada a operação AND entre o valor do acumulador e o operando Entrada_2, retornando o resultado para o

acumulador. JMPCN testa se o resultado do acumulador negado é igual a TRUE e salta para o rótulo Marca. Caso contrário, continua processando.

Se o programa saltar para o rótulo Marca, LD carrega o valor do operando Pressão no acumulador. O operador GE faz com que seja executada a operação GE (\geq) entre o valor do acumulador e o operando 150.0 (literal), retornando o resultado para o acumulador. ST armazena o valor do acumulador no operando Alarme.

LD carrega o valor da variável Teste_A no acumulador. A instrução OR faz com que seja executada a operação OR entre o valor do acumulador e o operando Teste_B, retornando o resultado para o acumulador. ST armazena o valor do acumulador no operando %QX1.

A.5 Seqüenciamento Gráfico de Funções - SFC

A linguagem de programação Seqüenciamento Gráfico de Funções, *Sequential Function Charts* (SFC), é uma linguagem gráfica baseada nas técnicas correntes para descrever o comportamento seqüencial

Universidades francesas desenvolveram uma linguagem de representação de processos seqüenciais baseada nas Redes de Petri, o Grafcet (*Graphe Fonctionnel de Command Etape-Transition*). Grafcet se tornou um padrão europeu. Em 1988 foi publicado o padrão IEC 848: *Preparation of function charts for control system*, baseado na linguagem Grafcet. Muitos fabricantes europeus de CPs oferecem Grafcet como uma linguagem gráfica. Ele é um subconjunto das redes de Petri destinado ao modelamento de processos seqüenciais. Entretanto, mesmo processos não necessariamente seqüenciais podem ser modelados através do Grafcet.

A norma IEC 61131-3 introduziu pequenas modificações no padrão IEC 848, visando adequar esta quinta linguagem às demais da norma. O SFC pode ser integrado às outras quatro linguagens IEC.

O SFC é a linguagem adotada pela norma ISA SP 88 para programação de sistemas para controle de bateladas (*batch*), devido à alta aderência do SFC a este tipo de aplicação.

O SFC permite descrever o comportamento seqüencial do programa de controle. Pode ser usado para descrever as principais fases de um processo na forma *Top-Down* (de cima para baixo), tais como Partida, Bombeando e Esvaziando ou os principais estados de uma máquina, como Funcionando e Parado.

Um aspecto muito importante da programação SFC é que são mostrados todos os estados e ações de um sistema, todas as possíveis mudanças de estado e as respectivas causas.

A Figura A.7 apresenta um exemplo para controle de um reator, utilizando uma seqüência simples (não possui ramificações simultâneas). Quando a POU é inicializada, o passo Início é executado a cada varredura da rede, assim como a condição lógica (evento) "Partir = TRUE" da transição seguinte. Quando a condição é satisfeita, o passo Início pára de ser executado (inativo), passando o passo Enche a ser executado a cada varredura da rede, assim como a condição lógica "Nível_Alto = TRUE" da transição seguinte. Este processo se repete, assim, sucessivamente.

Em resumo, uma vez iniciado o reator, quando Partir = True, o mesmo começa a encher até que o sensor Nível _Alto seja TRUE. Ocorrendo isso, o reator começa a aquecer até atingir Temperatura ≥ 150 . Quando a temperatura atinge o valor desejado, o agitador é acionado por um tempo de 10 minutos. Após este tempo, o material do reator é drenado até esvaziar o seu conteúdo, sensor Nível_Baixo não-atuado, finalizando o processo.

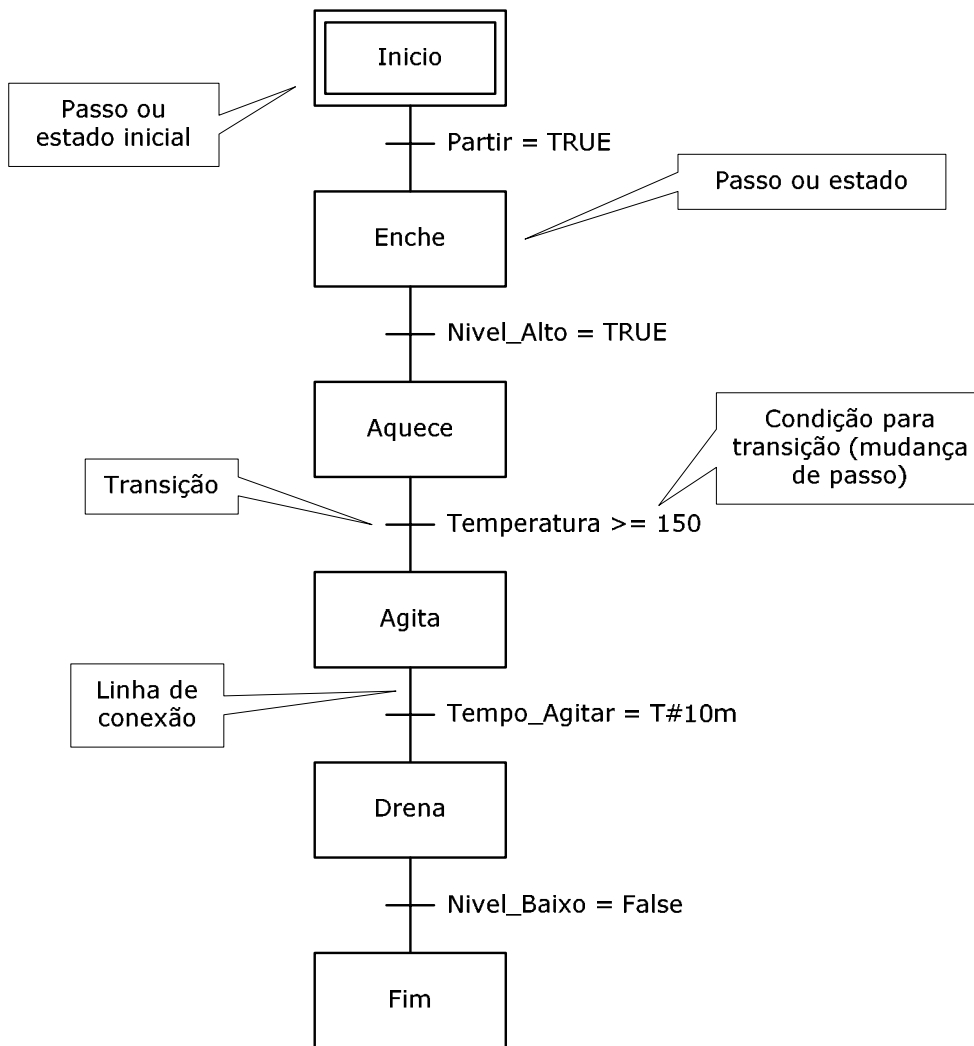


Figura A.7 - Exemplo de um processo por batelada.

A.5.1 Principais elementos do SFC

A figura anterior não exibe as ações de cada passo. Um passo pode ter associado ao mesmo uma ou mais ações. As ações são um conjunto de instruções que permitirão ao passo executar a função desempenhada pelo mesmo. Para o passo “Agita”, um exemplo de ação seria acionar a saída para ligar o motor do agitador.