SERGIO LUIZ PEREIRA

"ECOECONOMIA TECNOLÓGICA COOPERATIVA"

UMA PROPOSTA CONCEITUAL: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA AUTOMAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE INCLUSÃO SOCIAL E DE SUPORTE AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

São Paulo
2009

SERGIO LUIZ PEREIRA

"ECOECONOMIA TECNOLÓGICA COOPERATIVA"

UMA PROPOSTA CONCEITUAL: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA AUTOMAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE INCLUSÃO SOCIAL E DE SUPORTE AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Livre-Docente

Área de concentração: AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Defendida em 17/7/09

São Paulo
2009

DEDICATÓRIA

Para Chantal e Désirée, amadas esposa e filha. Para Francisco e Palmyra, amados pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, por ter me agraciado com família, saúde, paz, amigos e colegas.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por ter me aceitado no seu corpo docente e sempre ter me incentivado ao aprimoramento.

A todos os amigos e colegas do PEA – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP.

A todo pessoal do GAESI – Grupo de Automação Elétrica de Processos Industriais – e em especial a Luzia, nossa dedicada secretária, e Stela, que trabalhou criteriosamente na revisão dessa tese.

A todas as instituições de ensino que me receberam como estudante, professor e pesquisador.

A todas as instituições públicas e privadas onde atuei como engenheiro ou consultor.

A todos os amigos e colegas com os quais tive contato profissional e pessoal, estendendo meu apreço àqueles com os quais ainda convivo.

A todos os meus professores, alunos e orientados, pela confiança e enorme estímulo para o meu desenvolvimento.

E, finalmente, agradeço carinhosamente à minha esposa, filha, pai e mãe, pelo infinito amor e fé.

A fé remove montanhas.

Jesus Cristo

RESUMO

A humanidade vive, neste início do século XXI, uma época sem precedentes na sua história. O desenvolvimento científico e tecnológico acumulado até o presente momento possibilita uma infinita gama de oportunidades. Os avanços da ciência e da tecnologia sempre foram materializados em significativas inovações de processos ou criações de produtos desde a presença do homem sobre a face da Terra. Parte constitutiva e constituinte da evolução da organização social e comportamental dos vários grupos humanos, bem como das suas mudanças culturais, a evolução da técnica e da ciência apresenta momentos de saltos significativos de desenvolvimento que, não por acaso, acham-se vinculados às transformações das diferentes sociedades humanas, em diferentes épocas. Visto sob perspectiva histórica, este tema coloca em pauta a condição atual da humanidade: ela vive uma época decisiva e caracterizada por uma sucessão de crises globais de natureza econômica e política. As dificuldades relativas à produção de alimentos, energia e abastecimento de água crescem a cada dia e somam-se aos problemas oriundos das alterações no meio ambiente e às suas respectivas conseqüências. Diante deste contexto, esta tese de livre-docência apresenta e fundamenta uma proposta de aplicação da ciência e da tecnologia da automação como ferramentas de viabilização para que a humanidade atinja uma nova etapa de desenvolvimento econômico e produtivo denominada "Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa", na qual a inclusão social e a promoção do desenvolvimento sustentável são os seus principais objetivos.

ABSTRACT

Mankind is living, in the beginning of the 21st. Century, an era without precedent in its history. The scientific and technological development accrued up to the moment allows an infinite range of opportunities. The scientific and technological breakthroughs materialized in significant process innovations or product creation since man's presence on the face of the Earth. An integral part of the evolution of the social and behavioral organization of the various human groups, as well as of its cultural changes, the technical and scientific development presents moments of significant development leaps which, not by chance, are linked to the changes in the different human societies in different eras. From the historical point of view, this issue puts mankind's current status on the agenda: it is living a decisive time characterized by a series of global crises of economic and political nature. The difficulties related to food production, energy and water supply increase every day and add to the problems resulting from changes in the environment and their consequences. Within this context, this habilitation thesis presents and justifies a proposal to use science and automation technology as tools to make it viable for mankind to achieve a new economic and production development called "Cooperative Technological Ecoeconomics", in which social inclusion and promoting sustainable development are the major goals.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de blocos ilustrativo de um processo produtivo genérico. 22

Figura 2 - Modelo de processo de transformação. Fonte: Slack, Chambers, Johnston (2001). 23

Figura 3 - Gráfico histórico da variação de temperatura e da variação dos níveis de CO2 na atmosfera. Fonte: Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS. Disponivel <http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/> acesso em 07 de junho de 2007. 36

Figura 4 - Gráfico da temperatura média global e da concentração de Dióxido de Carbono na atmosfera. Fonte: Woods Hole Research Center. Disponível <http://www.whrc.org/> Acesso em 07 de junho de 2007. 37

Figura 5 - Eras do Processo Produtivo e Econômico da Humanidade ao longo do tempo e os principais atores, fatores e desenvolvimentos tecnológicos agentes das transformações. 40

Figura 6 - Ilustração efetuada à época da primeira Revolução Industrial. Disponível <http://www.google.com.br/search?hl=PTBR&q=fotos+da+primeira+revolu%C3%A7%C3%A3o+industrial&btnG=Pesquisa+Google&meta> Acesso em 21 de novembro de 2008. 45

Figura 7 - Ilustração efetuada à época da primeira Revolução Industrial. Disponível <http://faustocefetsp.vilabol.uol.com.br/revindustrial2.html> Acesso em 21 de novembro de 2008. 45

Figura 8 – Fotografia do Ford Modelo T. Disponível <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T> Acesso em 06 de junho de 2007..48

Figura 9 - Explosão em um teste nuclear estadunidense em 1951. Disponível <http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:479px-Atomic_blast.jpg> Acesso em 9 de julho de 2007. 50

Figura 10 - Fotografia dos primeiros berlinenses pulando o Muro de Berlim em novembro 1989. Disponivel <http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,1389294,00.html> Acesso em 5 de julho de 2007....53

Figura 11 - Modelagem em diagrama de blocos da integração conceitual de processos produtivos e de sistemas. 61

Figura 12 - Diagrama de blocos de um sistema genérico automatizado. 62

Figura 13 - Representação de um sistema genérico real. 68

Figura 14 - Representação conceitual de relacionamento das variáveis controladoras e variáveis controladas de um sistema genérico. 68

Figura 15 - Classificação dos sistemas físicos. Fonte: Cassandras (1993). 70

Figura 16 - Ilustrativo histórico do desenvolvimento da ciência, engenharia e da tecnologia da automação. 74

Figura 17 - Exemplo genérico de planta industrial com diversos sistemas automatizados operando de forma independente "stand alone". 75

Figura 18 - Exemplo genérico de planta industrial com diversos sistemas automatizados operando de forma integrada. 76

Figura 19 - Modelo da Pirâmide da Automação em cinco níveis. Fontes: Webb (1992), Andrade (2001). 77
Figura 20 - Ilustrativo da arquitetura de hardware de uma planta de produção de sabonetes. Fonte: Andrade (2007). 79
Figura 21 - Visão parcial da tela do sistema supervisório de uma planta industrial de produção de sabonetes. Fonte: Andrade (2007). 79
Figura 22 - Curva clássica do índice de falhas de um equipamento ao longo do tempo de vida. 84
Figura 23 - Curva idealizada do índice de falhas de um programa ao longo do tempo de vida. 85
Figura 24 - Curva real e curva idealizada do índice de falhas de um programa ao longo do tempo de vida. 86
Figura 25 - Gráfico aproximado da relação dos custos de alteração em programas em três fases distintas do projeto. 88
Figura 26 - Modelo simplificado de quatro etapas de gestão de projetos de automação 90
Figura 27 - Modelo expandido de quatro etapas de gestão de projetos de automação 91
Figura 28 - Parte (a) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação 93
Figura 29 - Parte (b) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação 94
Figura 30 - Parte (c) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação 95
Figura 31 - Parte (d) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação 96
Figura 32 - Parte (e) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação 97
Figura 33 - Principais seqüências de atividades desenvolvidas por operadores humanos interagindo com Sistemas Supervisórios. 104
Figura 34 - Ilustrativo do modelo de interação do (SISES) (Sistema de Integração de Sistemas Especialistas e Supervisórios) com o operador humano. 105
Figura 35 - A funcionalidade de um SE ao longo do tempo. Fonte: Andrade (2007). 107
Figura 36 - A funcionalidade do NESISES ao longo do tempo. Fonte: Andrade (2007). 108
Figura 37 - Macro arquitetura do NESISES 109
Figura 38 - Ilustrativo da operacionalidade dos módulos do NESISES. Fonte: Andrade (2007). 110
Figura 39 - Diagrama esquemático da aplicação da metodologia de diagnóstico automático de curtos-circuitos em alimentadores primários de redes de distribuição reticuladas tipo spot. Fonte: Garcia (2006). 112

Figura 40 - Etapas de procedimento da metodologia de simulação desenvolvida. Fonte: Ugulino (1999).....113

Figura 41 - Seqüência em macro-blocos da operação da Simulação "Off-line". Fonte: Yukishima (2006). 114

Figura 42 - Seqüência em macro blocos de operação da Simulação em Tempo Real. Fonte: Yukishima (2006). 115

Figura 43 - Arquitetura de Hardware genérica para operar a simulação em tempo real com a ferramenta FASTR . Fonte: Yukishima (2006).....115

Figura 44 - Ilustrativo das Macro Etapas da MACSA. Fonte: Machado (2005).....118

Figura 45 - Ilustrativo da Proposta de Arquitetura de Hardware Genérica Utilizando Instrumentação Inteligente e Redes de Campo. Fonte: Souza (2006).....120

Figura 46 - Ilustrativo da Proposta de Controle das Variáveis de Controle de cada Etapa do Processo Estação Automatizada de Tratamento de Água. Fonte: Souza (2006).....121

Figura 47 - Ilustrativo da macro rotina de Execução nas Etapas da Estação Automatizada de Tratamento de Água – Fonte: Souza, (2006). 121

Figura 48 - Ilustrativo da Arquitetura de Hardware do Modelo de Gestão da Estação Automatizada de Tratamento de Água. Fonte: Souza (2006). 122

Figura 49 - Fluxograma da Metodologia para Auxílio da Engenharia em Automação Residencial MAEAR. Fonte: Gudim (2007).....126

Figura 50 - Fotografia do vilarejo de Walcott, perto de Great Yarmouth, no Reino Unido alagado. (Phil Noble/Reuters., 2007). Disponível em <http://noticias.uol.com.br/album/071109_album.jhtm.> Acesso em 11/12/2008. 130

Figura 51 - Fotografia da Praça de São Marco inundada. Ao fundo, a catedral e o Palácio dos Doges. (AFP FHOTO/ANDRÉA PATTARO, 2008) Disponível em <http://www.uai.com.br/UAI/html/sessao_1/2008/12/01/em_noticia_interna,id_sessao=1&id_noticia=90356/em_noticia_inter.....131

Figura 52 - Fotografia de geleira em processo de derretimento na Groenlândia (2007). Disponível em <http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/12/071217_nivelmaraumentafn.shtml.> Acesso em 12/07/2008. 132

Figura 53 - Fotografias do glacial Chacaltaya na Bolívia. Fonte: Climate Change And Water. Technical Paper of Intergovernamental Panel on Climate Change - IPCC (2008).....135

Figura 54 - Consumo per capita de kcal por dia nas diversas fases do desenvolvimento humano. Fonte: Goldemberg, Villanueva (2003).....137

Figura 55 - Pirâmide da Hierarquia das Necessidades de Maslow. 138

Figura 56 - Fotografia da usina Itaipu Binacional. Disponível <http://www.ambienteemfoco.com.br/?p=817> Acesso em 18/01/2008.....141

Figura 57 - Exemplo genérico de um ponto de operação de uma organização em relação a diversas dimensões de indicadores de desempenho. 147

Figura 58 - Exemplo genérico de um ponto de operação ao longo de dois momentos distintos de uma organização, em relação a diversas dimensões de indicadores de desempenho.....148
Figura 59 - Modelo operacional da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa.....157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das principais definições relacionadas ao controle e automação de sistemas e de processos. 64
Tabela 2 - Tipos de processos produtivos. 66
Tabela 3 - Classificação de sistemas físicos. 71
Tabela 4 - Exemplos de mitos administrativos, profissionais e de clientes. 87
Tabela 5 – Pesquisas em orientações de Doutorados, Mestrados e Especializações em Automação até dezembro de 2008. 100
Tabela 6 – Pesquisas em orientações de Trabalhos de Conclusão de Curso em Automação até dezembro de 2008. 101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.C. - Antes de Cristo

A.R. -Automação Residencial

ASAGE - Algoritmo do Sistema Automatizado de Gestão de Energia.

CIM – Computer Integrated Manufacturing

CLPs - Controladores Lógicos Programáveis

CNC - "Computer Numerical Control"

EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ERP – "Enterprise Resource Planning"

EUA - Estados Unidos da América

FASTR - Ferramenta de engenharia para Aplicação de Simulação em Tempo Real

FMS - Flexible Manufacturing System

GHG "Green House Gás"

GWh – Gigawwatt-hora

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IEC - "International Eletrotechnical Committee"

IEEE - "Institute of Electrical and Electronic Engineering"

IHM - Interface Homem Máquina

IPCC – "Intergovemmental panel on Climate Change"

IPCC – "Intergovernmental Panel on Climate Change"

ISA – "The Instrumentation, Systems, and Automation Society"

ISA - Instrument Society of America

ISO – International Standard Organization

ISO: International Organization for Standardization

JIT - "Just in Time"

Kwh – Quilowatt-hora

MACAF - Método Adaptativo de Correção de Amplitude e Fase

MACSA - Metodologia de Avaliação da Confiabilidade de Sistemas de Automação

MAD - "Mutual Assured Destruction"

MAEAR - Metodologia Para Auxílio de Engenharia Em Automação Residencial

MAEAR - Metodologia Para Auxílio de Engenharia Em Automação Residencial

MAFPID - Metodologia para Aferição da Função de Controle Proporcional Integral Derivativa

MAPC - Metodologia para Avaliação de Plantas de Cogeração

MARPASI - Metodologia de Aplicação das Redes de Petri em Automação de Sistemas Industriais

MBA - "Master of Business Administration"

MES - "Manufacturing Execution System"

MIT - "Massachusetts Institute of Tecnology"

MRP - "Material Requirement Planning"

MRPII - "Material Requirement Planning II"

MWh – Megawatt-hora

NASDAQ - "North American Securities Dealers Automated Quotation System"

NESISES - Neural Sistema de Integração de Sistemas Especialistas e Supervisórios

PEA - Departamento de Energia e Automação da Escola Politécnica da USP

PECE - Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP

pH - Potencial Hidrogeniônico'

PIB - Produto Interno Bruto

PID - Proporcional Integral Derivativa

PIMS – "Process Information Management Systems"

PNB - Produto Nacional Bruto

RNAs - Redes Neurais Artificiais

RNATr - Redes Neurais Artificiais Previamente Treinadas

S.E. - Sistema Especialista

S.S - Sistema Supervisório

SAGE - Sistema Automatizado de Gestão de Energia.

SCADA – "Supervisory Control And Data Acquisition"

SISES - Sistema de Integração de Sistemas Especialistas e Supervisórios

TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo

UNEP - "United Nations Environment Programme"

URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

WMO - "World Meteorological Organization"

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

INTRODUÇÃO

1 PROCESSOS PRODUTIVOS E DESENVOLVIMENTO HUMANO 20

1.1 INTRODUÇÃO 20

1.2 CONCEITUAÇÃO DE PROCESSO PRODUTIVO E TERMOS AFINS 20

1.2.1 Macro variável - distúrbios 25

1.2.2 Macro variável - tecnologia 26

1.2.3 Macro variável - decisões 28

1.2.4 Macro variável - energia 29

1.2.5 Macro variável - matéria-prima 30

1.2.6 Macro variáveis de sustentabilidade 32

1.3 DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO COMO PROPULSORES DO DESENVOLVIMENTO HUMANO – UMA ABORDAGEM HISTÓRICA 38

1.3.1 Era Pré-Histórica 41

1.3.2 Era do Artesanato 41

1.3.3 Era da Primeira Revolução Industrial 42

1.3.4 Era da Segunda Revolução Industrial 46

1.3.5 Era da Terceira Revolução Industrial 49

1.3.6 Era da Nova Economia 53

2 TÓPICOS GERAIS DA CIÊNCIA, DA ENGENHARIA E DA TECNOLOGIA DA AUTOMAÇÃO 58

2.1 INTRODUÇÃO 58

2.2 DEFINIÇÕES E TERMINOLOGIA DE: SISTEMA, PLANTA E PLANTA PRODUTIVA 58

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS E DE SISTEMAS 65

2.4 CLASSIFICAÇÃO DE TIPOS DE SISTEMAS 67

2.5 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA, ENGENHARIA E DA TECNOLOGIA DA AUTOMAÇÃO 72
2.6 GESTÃO DE PROJETOS DE AUTOMAÇÃO 81
2.7 COMPETITIVIDADE E NOVOS DESAFIOS PARA AS EMPRESAS DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO 98

3 PESQUISAS E ATIVIDADES RELACIONADAS À AUTOMAÇÃO DESENVOLVIDAS NO PERÍODO DE 1995 A 2008 99

3.1 INTRODUÇÃO 99
3.2 RESULTADOS DE PESQUISAS RELATIVAS AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS 102
3.2.1 Emprego de Sistemas Especialistas em Sistemas Supervisórios de Automação Industrial 102
3.2.2 Emprego de Redes Neurais para Diagnóstico Automático de Falhas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica 111
3.3 RESULTADOS DAS PESQUISAS RELATIVAS AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO DE PROCESSOS COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS 113
3.4 RESULTADOS DAS PESQUISAS RELATIVAS AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS E DE METODOLOGIAS PARA A GESTÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 116
3.5 RESULTADOS DAS PESQUISAS RELATIVAS AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS E METODOLOGIAS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS 119
3.6 RESULTADOS DAS PESQUISAS RELATIVAS AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO DE METODOLOGIAS E FERRAMENTAS DE AUXÍLIO À ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO 123

4 AUTOMAÇÃO, O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A INCLUSÃO SOCIAL 128

4.1 INTRODUÇÃO 128
4.2 A NECESSIDADE URGENTE DE MUDANÇAS NA ECONOMIA E NOS PROCESSOS PRODUTIVOS 128
4.3 DADOS RELEVANTES RELATIVOS À NECESSIDADE DE INVESTIMENTOS EM INFRA-ESTRUTURA, GERAÇÃO DE ENERGIA E OS DECORRENTES IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE ... 136

4.4 FUNDAMENTOS DA MACRO ARQUITETURA PARA UMA NOVA ERA DO PROCESSO ECONÔMICO E PRODUTIVO DA HUMANIDADE DENOMINADA ECOECONOMIA TECNOLÓGICA COOPERATIVA 143
4.4.1 Macro transformações relativas à organização social e econômica da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa 145
4.4.2 Macro transformações tecnológicas da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa. 151
4.4.2.1 Combate ao desperdício por meio da educação e da conscientização da população e alteração de hábitos de consumo em escala global 152
4.4.2.2 Combate ao desperdício por meio de investimentos e melhoria da gestão dos sistemas logísticos e de infra-estrutura 152
4.4.2.3 Desenvolvimento de processos produtivos mais eficientes em relação às variáveis físicas de entrada e às variáveis de sustentabilidade 154
4.4.2.4 Desenvolvimento de processos que produzam a menor quantidade possível de lixo e sucata, reciclagem e coogeração 154
4.4.2.5 Aumento significativo de novas fontes de energia limpa e de energia de fontes renováveis na matriz energética mundial 155
4.4.3 Modelo operacional da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa 156
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 160
6 REFERÊNCIAS 164

INTRODUÇÃO

O ser humano talvez seja o único ser vivente deste planeta que se autodefine e que também, além de registrar a sua passagem pelo mundo de forma sistemática e consciente, tenta explicar a sua existência. A ciência, a filosofia e a religião refletem e se propõem, cada uma à sua maneira, a explicar sobre a vida e sobre o universo. Tanto as religiões como as diversas correntes filosóficas e científicas apresentam fundamentos, formulando respostas ou hipóteses sobre temas essenciais para a necessidade de conhecimento da humanidade, como o início do universo, o início da vida, o porquê de tudo, de onde viemos e para onde vamos.

O que impele o ser humano a refletir sobre si mesmo e sobre o universo não é consenso entre cientistas, filósofos e teólogos e também não é o objeto de estudo e de análise desta tese de livre-docência. Entretanto, é fato que ele assim o faz desde algum período indeterminado de tempo da pré-história até os dias atuais. E esta habilidade ou necessidade de tentar modelar o universo à sua volta e relacionar as causas e os efeitos dos fenômenos físicos e comportamentais da sua e das demais espécies vivas permitiu ao ser humano desenvolver métodos, processos e ferramentas que, até o presente momento, lhe deram uma enorme vantagem competitiva sobre os demais seres vivos do planeta Terra.

O homem possui diversos atributos e habilidades e, até onde se saiba, é neste planeta o ser que mais utiliza e desenvolve ferramentas. Entretanto, a sua grande habilidade em desenvolver e empregar ferramentas e em desenvolver processos produtivos pode ser o motivo do seu bem-estar e também o da sua própria degradação ou, até mesmo, extinção.

O desenvolvimento de ferramentas depende do desenvolvimento científico e também do desenvolvimento tecnológico. Classicamente, a ciência pode ser definida como um conjunto organizado de conhecimentos relativos ao universo que abrange fenômenos naturais, ambientais e comportamentais. Assim sendo, dentro deste conceito, o trabalho puramente científico é destituído de objetivos práticos e a sua motivação consiste em ampliar o conhecimento sobre o universo. Em outras palavras, a ciência não cria diretamente produtos ou serviços, mas desenvolve modelos e ferramentas conceituais de análise sobre o universo ou sobre qualquer componente, parte ou entidade existente nele. Já uma das definições clássicas para a tecnologia é que a mesma é um conjunto ordenado de conhecimentos científicos,

técnicos, empíricos e intuitivos que são empregados no desenvolvimento, na produção, na comercialização e na utilização de bens ou serviços. A tecnologia, conforme sua finalidade, recebe qualificativos como tecnologia de processo, tecnologia de produto, de comercialização, de operação etc. Devido à rapidez das mudanças que estão sendo promovidas pela humanidade em todos os setores produtivos, constata-se que, cada vez mais, a fronteira conceitual e prática entre a ciência e a tecnologia torna-se mal delimitada. Também é difícil afirmar qual delas nasceu primeiro. Entretanto, é notório saber que a ciência promove o desenvolvimento tecnológico e a tecnologia empurra o desenvolvimento científico. Entre as duas está a engenharia, que, por sua vez, pode ser definida como sendo a fusão da ciência e da tecnologia capaz de transformar idéias em produtos e serviços. O nível do desenvolvimento atual da ciência da tecnologia e da engenharia tem permitido que a humanidade interfira significativamente no meio ambiente do planeta Terra, no seu destino e no destino das demais espécies. São as decisões de como elaborar, produzir e partilhar os produtos e serviços que conduzem ou não a humanidade em direção a um desenvolvimento sustentável. Esta tese de livre-docência tem como principal objetivo contribuir para o aperfeiçoamento do modelo de tomada de decisão relacionado à elaboração, produção e usufruto de produtos e serviços, no sentido de garantir o desenvolvimento sustentável. Para tanto, a mesma está estruturada em seis capítulos:

O capítulo 1 discorre sobre as relações entre o homem e o meio ambiente, com foco na elaboração de processos produtivos e seu imbricamento com o desenvolvimento científico e tecnológico, apresentando a historicidade dessas relações.

O capítulo 2 traz uma revisão geral sobre os principais tópicos da teoria da automação e a sua aplicabilidade na automação de processos.

O capítulo 3 apresenta uma síntese da atividade de orientação do autor deste trabalho em pesquisa e desenvolvimento da ciência e tecnologia de automação.

O capítulo 4 sustenta a fundamentação de como a ciência e tecnologia da automação podem e devem ser empregadas para a promoção do desenvolvimento sustentável e da inclusão social.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais e os possíveis novos caminhos para que a ciência e tecnologia de automação sejam focadas no desenvolvimento humano, na melhoria da qualidade de vida e na inclusão social.

O capítulo 6 apresenta a bibliografia empregada.

1 PROCESSOS PRODUTIVOS E DESENVOLVIMENTO HUMANO

1.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma conceituação de processo produtivo e uma análise das variáveis que o constituem. Também estabelece relações entre processo produtivo, sociedade e meio ambiente, traçando um panorama dos impactos das ações humanas ao gerar processos produtivos para a obtenção de bens e serviços. Sob uma perspectiva histórica, são abordadas as relações entre progresso científico e tecnológico e desenvolvimento da humanidade, da pré-história até os dias atuais, momento que se configura como tempo de escolhas vitais para a sobrevivência da espécie.

1.2 Conceituação de processo produtivo e termos afins

A observação do universo permite concluir que, a cada instante, uma infinita gama de eventos e transformações físicas e biológicas, dos mais diversos tipos de elementos, acontece simultaneamente no espaço e no tempo. Desde os primeiros passos neste planeta, o homem aprendeu a observar a natureza e a tentar reproduzir, recriar, orientar, controlar, transformar e adaptar os mais diferentes tipos de eventos e transformações dos elementos, em função dos seus interesses. Para tanto, ele teve que iniciar o desenvolvimento da sua ciência e da sua tecnologia a fim de criar ferramentas, sistemas e processos artificiais com intenção de atingir os seus objetivos de transformação e de exercer um relativo controle dos elementos e do mundo à sua volta. Dessa forma, o homem criou e tornou-se condutor de uma vasta gama de processos nas suas relações com a natureza e a cultura.

Existem diversas definições acadêmicas e definições empregadas pelos mais diversos setores produtivos da sociedade para o termo processo. Segundo Ritzman e Krajewski (2004, p. 3), "um processo é uma atividade que parte de um ou mais insumos, transforma-os e lhes agrega valor, criando um ou mais produtos (ou serviços) para os clientes. O tipo de processo pode variar. Em uma fábrica, por exemplo, um processo primário seria a transformação física ou química de matérias-primas em produtos. Existem, porém, muitos processos não relacionados à manufatura em uma fábrica, como o processamento de pedidos, o acerto de

compromissos com os clientes e o controle do processo". Segundo o dicionário (Aurélio "O Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa" – 2ª ed. 1986, p. 1395), o termo processo é um "substantivo masculino que significa: ato de proceder, de ir por diante, sucessão de estados ou de mudanças, modo por que se realiza ou executa uma coisa; método, técnica. De acordo com Ogata (2003, p.2), "processo é uma operação ou desenvolvimento natural que evolui progressivamente, caracterizado por uma série de mudanças graduais que se sucedem, umas em relação às outras, de um modo relativamente estável e objetivando um particular resultado ou meta; ou uma operação artificial ou voluntária, que se constitui por uma série de ações controladas ou movimentos sistematicamente dirigidos objetivando um particular resultado ou meta. Processo é toda operação a ser controlada".

Apenas para melhor diferenciar os processos desenvolvidos pela atividade humana dos eventos, fenômenos ou processos naturais, este trabalho emprega o termo composto "processo produtivo" para designar todo conjunto de atividades que, se efetuadas devido à vontade humana, forneçam um produto ou serviço como variável de saída, quando o mesmo é alimentado por algumas macro variáveis de entrada inerentes e fundamentais ao próprio processo. Os processos produtivos são compostos de um ou diversos subprocessos. Todo processo produtivo impacta e é impactado pela sociedade. Assim sendo, todo processo produtivo pode ser situado dentro de um determinado setor da atividade econômica. A figura 1 ilustra o modelo relacional entre as macro variáveis de entradas e saídas de um processo produtivo genérico. Observa-se que este modelo representa uma dependência hierárquica entre o meio ambiente, sociedade humana, atividade econômica e os diversos setores da economia, representado pelas macro variáveis de sustentabilidade. Este modelo também ilustra, de forma genérica conceitual, os efeitos de sustentabilidade provocados pelas saídas e operações de um processo produtivo no meio ambiente, na sociedade humana e na atividade econômica.

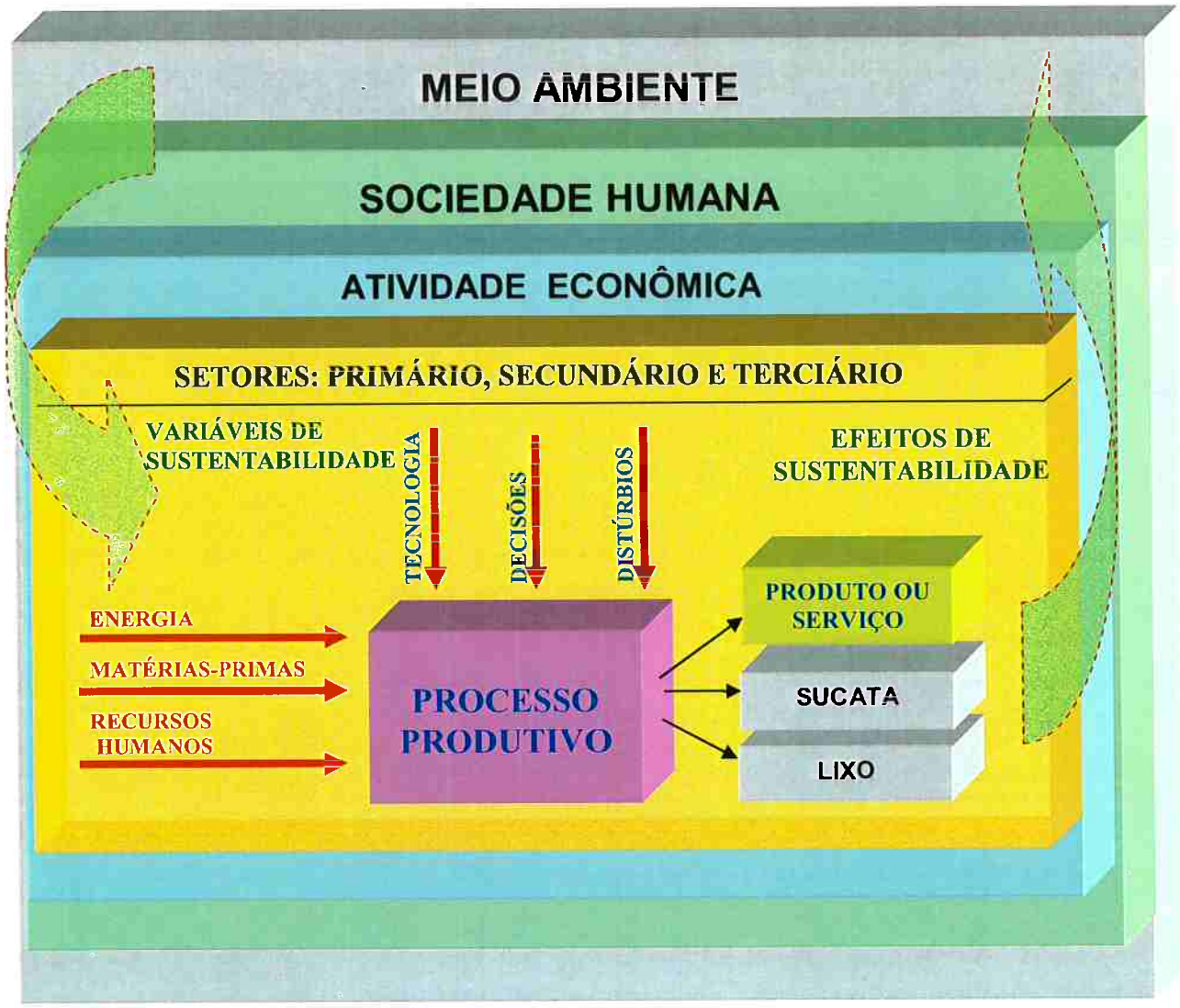


Figura 1 - Diagrama de blocos ilustrativo de um processo produtivo genérico.

Conforme ilustrado na figura 1, qualquer processo produtivo tem, como resultado direto da sua operacionalização, um produto ou serviço realizado e produz, como subprodutos, lixo e sucata. Qualquer processo produtivo para ser operacionalizado demanda seis categorias de macro variáveis de entrada: energia, matérias-primas, recursos humanos, tecnologia, decisões e distúrbios. Nesta tese de livre-docência, as macro variáveis de entrada - energia, matérias-primas e recursos humanos - são classificadas como macro variáveis físicas porque são mais facilmente reconhecidas e mensuradas pelos métodos clássicos da engenharia e da administração. Já as macro variáveis - tecnologia, decisões e distúrbios - são classificadas como macro variáveis estratégicas, porque, embora também sejam determinantes nos índices de competitividade mercadológica e de performance do produto ou serviço, nem

sempre são plenamente identificadas, classificadas, analisadas e mensuradas de forma clara e não ambígua pelos gestores ou responsáveis pelo processo.

Alguns autores denominam os processos produtivos como sendo processos de transformação. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2001) um processo de transformação é caracterizado por um conjunto de recursos de entradas empregado para transformar algo ou ser transformado em saídas de bens ou serviços. Ainda, segundo os autores, qualquer atividade produtiva pode ser vista conforme o modelo entrada-transformação-saída, ilustrado na figura 2.

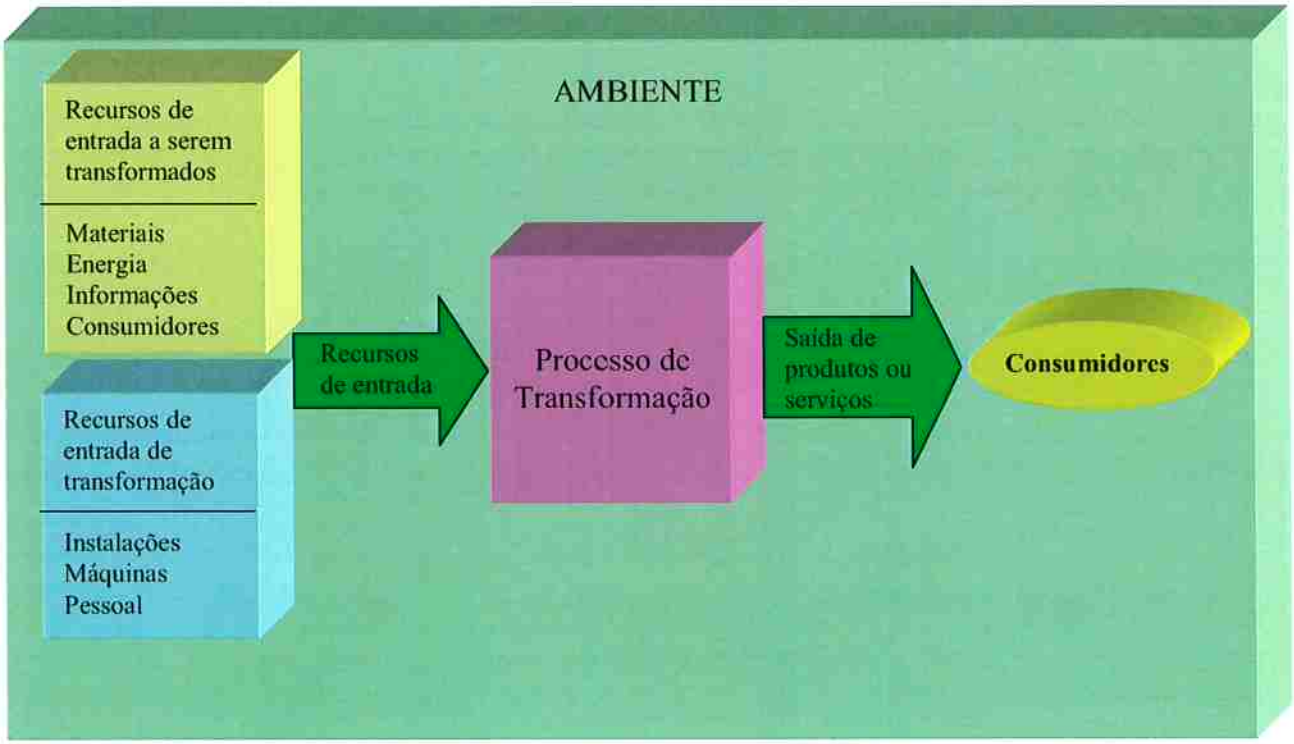


Figura 2 - Modelo de processo de transformação. Fonte: Slack, Chambers, Johnston (2001).

Esta forma de modelar os processos baseia-se, primeiramente, na separação conceitual entre recursos de transformação e recursos a serem transformados. A primeira categoria, recursos de transformação, engloba toda a infra-estrutura sistêmica física ou metodológica empregada diretamente e indiretamente por um determinado processo. A segunda categoria, recursos a serem transformados, engloba todo tipo de entrada no sistema que será trabalhado, manipulado, transportado ou transformado.

Observe-se que o modelo proposto por Slack, Chambers e Johnston (2001) não ilustra o lixo e a sucata produzidos por qualquer processo de transformação.

Entretanto, deve-se considerá-los como inerentes, em maior ou menor escala, em qualquer atividade de transformação. Nesta forma de modelar em um processo de transformação de uma operação de uma linha aérea, por exemplo, o avião, a tripulação de bordo, a equipe de terra são as entradas classificadas como recursos de transformação. Já os passageiros e as cargas são entradas classificadas como recursos a serem transformados. Observe-se que, nesta sistematização, o recurso humano é classificado, em parte, como recurso de transformação e, em parte, como recurso a ser transformado, pois o processo de transformação é definido como o de transportar pessoas e cargas enquanto que, as saídas do processo são, justamente, o transporte de pessoas e de cargas efetuados. Em uma montadora automobilística, os recursos de transformação como máquinas, ferramentas e pessoas realizam operações nas peças e materiais recebidos. O processo de transformação é definido como sendo o de produzir veículos. As saídas do processo são os veículos produzidos.

As duas maneiras de modelar os processos apresentados neste trabalho, figuras 1 e 2, são distintas e, de certa forma, complementares. As mesmas também demonstram que não existe na ciência acadêmica a adoção de definições únicas e universais para a engenharia de automação, a engenharia de produção e a ciência da administração. É comum até, em algumas situações específicas, haver divergências semânticas e conceituais entre a cultura acadêmica e as múltiplas culturas adotadas por diversas empresas. Observa-se que alguns gestores empresariais ou mesmo engenheiros costumam denominar de processo a sua infra-estrutura dos sistemas de transformação.

Entretanto, conforme já afirmado neste trabalho, o termo processo produtivo é mais adequado para designar o que se faz e como são processadas as seis variáveis de entrada para efetuarem a produção de um determinado produto ou serviço.

Ligados ao processo produtivo, outros termos necessitam ser, nesta tese, conceituados. Um deles, algoritmo do processo, é empregado para designar e enfatizar com um maior detalhamento toda a seqüência de etapas, de operações e de suboperações de um determinado processo produtivo. Os termos sistema, planta industrial e planta produtiva são empregados para designar toda a infra-estrutura física, organizacional e metodológica empregada por um determinado processo produtivo para que o mesmo seja efetuado.

Uma das definições clássicas de produto é ser ele todo bem físico tangível resultante de um processo produtivo. Na mesma perspectiva de definições consagradas temos que serviço é todo bem intangível resultante de um processo produtivo.
Os processos produtivos agregam valor aos recursos transformados pelos mesmos. Deve-se observar que a cada dia que passa a indústria prestadora de serviços ganha espaço percentual no PIB - Produto Interno Bruto - dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Entretanto, sabe-se que nos dias atuais, cada vez mais os produtos incorporam serviços ou trazem, intrinsecamente agregados aos mesmos, uma maior ou menor porcentagem de serviços. Desta forma, alguns autores como Correa e Correa (2006) identificam que as empresas, para sobreviverem em um ambiente cada vez mais competitivo, procuram operar nos seus respectivos mercados oferecendo um novo conceito de produtos e serviços definidos como pacote de valor. Um pacote de valor é composto de componentes tradicionalmente considerados como produtos e de parcelas ou ações tradicionalmente consideradas como serviços. Por exemplo, uma empresa de engenharia de automação oferece produtos de hardware e de software, mas também oferece a solução de engenharia, a instalação e o treinamento do pessoal que irá operar o sistema ou processo automatizado. Uma concessionária de veículos oferece o serviço de diagnóstico e também peças de reposição. O processo de globalização da economia e as crescentes exigências e demandas dos mercados regionais e internacionais estão obrigando as empresas e instituições a investirem na modernização e otimização de seus processos e também reverem suas práticas administrativas e posicionamentos institucionais e contratuais, no sentido de ampliarem a dimensão dos pacotes de valor por elas oferecidos. Neste contexto, as variáveis de entrada, a capacidade de processá-las e todas as metodologias e relações empresariais, sociais e políticas devem ser constantemente avaliadas e melhoradas.

1.2.1 Macro variável - distúrbios

Um distúrbio pode ser de origem física, social ou mesmo econômica. Por exemplo, uma determinada praga na lavoura de laranjas de um determinado país fatalmente favorecerá a indústria cítrica de um país concorrente. A recente gripe aviária ocorrida em alguns países asiáticos interferiu, significativamente, nas exportações de frangos e derivados do Brasil e demais países produtores do gênero. O mesmo

acontecimento também gerou uma forte necessidade de alterações nos processos de toda a cadeia produtiva do setor, no sentido de melhorar as práticas epidemiológicas preventivas e também corretivas, uma vez que novas e mais exigentes normas e barreiras sanitárias surgiram em decorrência.

Um distúrbio econômico que ocasione uma significativa mudança na taxa do câmbio pode, repentinamente, inviabilizar ou maximizar a competitividade de um determinado produto, tornando os seus custos de produção ou de comercialização impeditivos ou muito atraentes em relação aos seus concorrentes internacionais. Uma decisão no âmbito da política nacional pode favorecer ou não um determinado setor da economia.

Os distúrbios podem, também, ser de ordem natural, meteorológica ou sísmica. Podem ocorrer em grande escala ou mesmo em pequena magnitude e reduzido impacto. Os distúrbios também podem acontecer na forma de acidentes, por causa de desgastes ou desvios. Alguns exemplos de distúrbios são: quebra de uma válvula de uma turbina de vapor, abertura acidental de uma porta, variações da matéria-prima etc.

Assim sendo, é notório saber que, embora os distúrbios sejam aleatórios e, na maioria das vezes, também indesejáveis, sempre há e haverá a ocorrência de toda a sorte de distúrbios que, por sua vez, interferem ou interferirão em diferentes níveis de magnitude nos processos produtivos. Portanto, os mesmos devem ser administrados e compensados pelos operadores e gestores dos processos para garantir a segurança, a qualidade, a competitividade e a lucratividade dos processos produtivos. É certo afirmar que, não importa quanto tempo leve, sempre, de tempos em tempos, distúrbios ocorrem e interferem em toda a cadeia produtiva. Entretanto, se a infra-estrutura sistêmica e os gestores dos processos produtivos estiverem razoavelmente preparados, os seus impactos danosos serão minimizados.

1.2.2 Macro variável - tecnologia

A macro variável tecnologia é, conceitualmente, classificada como uma macro variável estratégica porque determina uma série de atributos e índices de desempenho físicos, como eficiência energética do processo, e também porque implica diretamente nos índices de desempenho do produto e serviço como, qualidade, garantia da qualidade, preço etc.

Uma das definições de tecnologia é considerá-la como um conjunto ordenado de conhecimentos científicos, técnicos, empíricos e intuitivos que são empregados no desenvolvimento, na produção, na comercialização e na utilização de bens ou serviços. A produção de bens ou serviços envolve diversos tipos de tecnologia como: tecnologia de processo, tecnologia de produto, tecnologia de comercialização, tecnologia de operação etc. Todas essa formas de tecnologia podem ser agrupadas em três tipos: tecnologia explícita, tecnologia sistêmica e tecnologia implícita.

A tecnologia explícita, que é composta por conhecimentos ou habilidades de pessoas pode ser transmitida por tradição oral ou estar registrada na forma de informações contidas em documentos, tais como relatórios, patentes, projetos, desenhos etc. A tecnologia explícita é uma riqueza ou mercadoria que também pode ser comercializada diretamente na forma de: cessão de direitos de fabricação, de fornecimento ou transferência de tecnologia, de prestação de serviços de engenharia, de projetos, de assistência técnica, consultoria etc.

A tecnologia sistêmica é a tecnologia incorporada e presente na forma de hardware e software de um determinado processo produtivo. Em outras palavras, a mesma é composta do conjunto de máquinas, equipamentos, infra-estrutura de forma geral e ferramentas computacionais (caso estas últimas existam), de uma determinada planta produtiva. Entenda-se como planta produtiva todo e qualquer conjunto de equipamentos que são fundamentais para a transformação da matéria-prima, no seu sentido mais genérico possível, em um produto ou serviço.

A tecnologia implícita é aquela que se acha incorporada nos bens ou serviços produzidos. A mesma utiliza a tecnologia explícita e a tecnologia sistêmica no processo de agregação de valor ao serviço ou ao produto. Por exemplo, um fio de cobre tem incorporado diversas tecnologias: de mineração, de beneficiamento do minério, de produção e refino de cobre, de trefilação, de proteção superficial etc. A tecnologia implícita é comercializada no valor do preço do produto ou serviço porque, em cada etapa do desenvolvimento ou da produção, há uma parcela de custo e uma intenção de lucro correspondentes às tecnologias até então incorporadas. Por exemplo, o quilo de fio de cobre custa mais do que o quilo do cobre em lingote que, por sua vez, é comercializado por um preço muito superior ao do quilo do minério quando extraído de uma jazida. A agregação de valor cresce exponencialmente em relação ao incremento da tecnologia implícita. Assim sendo, o

preço do quilo do avião exportado por uma empresa do setor da aviônica, como a brasileira Embraer - Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A -, é gigantescamente mais elevado do que o preço do quilo do minério que compõe parte da liga metálica da fuselagem do mesmo. Conclui-se, portanto, que a tecnologia implícita perpassa e é incorporada aos produtos e serviços em toda a cadeia produtiva em âmbito de produção regional ou, mesmo, em uma cadeia produtiva transnacional e globalizada. Os índices de performance de um produto ou serviço são diretamente proporcionais aos índices de tecnologia de projeto e de processo dos mesmos.

Conclui-se, portanto, que para todo processo existe um determinado estágio ou nível tecnológico explícito, sistêmico e implícito para que o mesmo seja efetuado.

Um homo sapiens de uma determinada tribo, há cem mil anos, em plena savana africana, quando produzia o seu pote de barro ou mesmo o seu arco e flecha, detinha um determinado nível tecnológico apropriado para executar os processos de fabricação dos seus utensílios, ferramentas ou armas. Um outro ser humano, de uma outra tribo, não necessariamente detinha o mesmo nível, ainda que estivesse produzindo produtos similares. Evidentemente, o que possuísse o nível tecnológico mais avançado estava com uma vantagem competitiva em relação ao outro. Esta mesma lógica era válida para um artesão da Idade Média, assim como é válida para qualquer empresa ou profissional dos tempos atuais ou mesmo do futuro.

1.2.3 Macro variável - decisões

Decisões são macro variáveis de naturezas estratégicas e abrangentes. Normalmente são os gestores e responsáveis pelos processos produtivos que as equacionam e definem. Ao longo do tempo, a gama das decisões que envolvem um processo pode ser infinita e de diferentes magnitudes. As decisões podem ser tomadas para corrigir desvios nos processos, alterar seus parâmetros ou envolver uma reestruturação da matriz energética ou da planta produtiva. A ciência e tecnologia da engenharia e também da administração de empresas têm desenvolvido uma série de ferramentas de engenharia e metodologias de processos para auxiliar nas tomadas de decisões. A engenharia da automação cada vez mais desenvolve aplicativos e produtos como sistemas supervisórios, sistemas especialistas, simuladores de processos etc. A administração científica constantemente aprimora e desenvolve novos métodos para auxiliar na

programação da produção, no planejamento agregado e também no planejamento estratégico das empresas (Slack, Chambers, Johnston, 2001). Esses métodos envolvem modelos de informação, modelos de mensuração e, finalmente, modelos de decisão.

Conclui-se, portanto, que os gestores de processos constantemente executam tomadas de decisões sobre os seus respectivos processos. A qualidade e a assertividade das decisões tomadas determinam o sucesso do processo e, até mesmo, a longevidade dos mesmos e das empresas.

1.2.4 Macro variável - energia

Segundo Goldemberg e Villanueva (2003), a energia pode se apresentar de diversas formas como: energia de radiação, energia química, energia nuclear, energia térmica, energia mecânica, energia elétrica, energia magnética, energia elástica etc. Até onde atinge o presente conhecimento da ciência humana, a energia não pode ser criada ou, mesmo, destruída. Porém, a energia pode ser convertida de uma forma para outra. Os processos de conversão de energia são regidos pelas duas leis fundamentais da termodinâmica.

A primeira lei, também conhecida como sendo a lei da conservação da energia, estabelece a indestrutibilidade da energia. A segunda lei estabelece que não é possível empregar todas as formas de energia com a mesma eficiência. Energia é o insumo básico de forma direta e indireta de qualquer processo natural ou artificial. Portanto, a utilização da energia, de forma consciente ou inconsciente, está presente em qualquer atividade da humanidade ou processo produtivo por ela desenvolvido. A eficiência energética de um sistema energético é medida pela relação entre a quantidade de energia transformada e a quantidade de energia fornecida ao sistema. Um sistema energético é um tipo peculiar de processo de transformação de energia. Um exemplo de um sistema energético é uma turbina na qual a energia térmica de entrada, obtida pela queima do gás natural, é transformada em energia mecânica. Nem todos os sistemas efetuam processos com o objetivo de transformação de energia como os sistemas ou processos energéticos. Entretanto, como todos os processos empregam alguma forma de energia para a sua execução, pode-se também determinar a eficiência energética de todos os processos por meio de diversas metodologias. Uma delas é a medida da produtividade que pode,

inclusive, ser adimensional. Por exemplo, as respectivas eficiências energéticas de duas linhas de produção de reatores eletrônicos de duas empresas distintas, ou mesmo de duas linhas de produção de molho de tomate de empresas concorrentes, também podem ser avaliadas e comparadas por meio de verificação das produtividades das mesmas. Ou seja, a relação volume produzido por Kwh consumido em cada linha é uma das maneiras de se determinar a produtividade e também a eficiência energética de cada uma delas. Observe-se que somente faz sentido comparar a eficiência energética relativa entre duas linhas de produção ou mesmo de dois processos produtivos quando os mesmos produzem o mesmo produto ou prestam o mesmo tipo de serviço. Evidentemente que a empresa detentora de um processo energeticamente mais eficiente em relação aos seus concorrentes terá, neste quesito, uma vantagem competitiva e estará com uma postura social e ambiental mais responsável.

Observa-se que, cada vez mais, os setores governamental, acadêmico e empresarial estão focados no estudo, na análise e em ações práticas de melhoria da eficiência energética dos seus mais diversos processos produtivos.

Tão importante quanto o uso racional da energia é, também, a matriz energética que movimenta a economia de uma sociedade. As quatro fontes primárias de energia disponíveis no planeta Terra são: energia radiante emitida pelo Sol, energia das marés, oriunda das interações gravitacionais entre o Sol, a Terra e a Lua, a energia geotérmica e a energia nuclear. A energia radiante do Sol interage com os elementos da atmosfera e da superfície terrestre e, juntamente com a energia gravitacional, forma o clima planetário que envolve as correntes marítimas, as diferentes temperaturas regionais, os níveis dos oceanos, os índices pluviométricos etc. A energia irradiante solar é, também, parcialmente absorvida pelo processo da fotossíntese e transformada em biomassa. Apenas a título de lembrança, parte da biomassa é também a matéria-prima do petróleo e do gás natural. Ao longo dos milênios, a humanidade vem aprendendo a utilizar de forma direta, indireta e composta, as fontes primárias de energia nos seus processos produtivos.

1.2.5 Macro variável - matéria-prima

A macro variável matéria-prima está presente em todo processo produtivo que gera um produto ou, até mesmo, um serviço. No dicionário Aurélio (2007) o verbete

matéria-prima, cujo plural é matérias-primas, é um substantivo masculino cujo significado é definido como sendo a substância bruta principal e essencial com que se faz alguma coisa. Entretanto, no contexto atual da engenharia de processos e da engenharia de automação, o conceito de matéria-prima como substância bruta é expandido para toda substância ou entidade essencial que será transformada ou manipulada pelo processo produtivo. Assim sendo, a matéria-prima de um processo pode ser, até mesmo, um elemento intangível, como um conjunto de informações. A natureza do processo produtivo é quem determina e classifica os diferentes grupos de matérias-primas necessários como recursos a serem transformados. Determinados processos produtivos transformam e manipulam somente um tipo de matéria-prima. Outros são alimentados por diversos tipos de matérias-primas que podem ser, inclusive, de naturezas diversas. Por exemplo, em um curso de graduação, os alunos ingressantes podem ser considerados, sob esta ótica, como matérias-primas que serão transformadas em profissionais ao longo do processo produtivo de educação. Empresas que atuam no comércio eletrônico têm, como matérias-primas essenciais, as informações. Dentro da cadeia produtiva as matérias-primas de uma determinada empresa são transformadas em produtos acabados ou em serviços prestados que, por sua vez, compõem o conjunto de matérias-primas para uma outra empresa. Assim sendo, os programas de melhoria contínua e de gerenciamento da qualidade cada vez mais dedicam esforços no sentido de modelar e atuar na cadeia produtiva como um todo, uma vez que, a qualidade das mesmas tem um impacto significativo nos índices de desempenho dos processos produtivos, bem como na qualidade dos seus produtos e serviços e nos níveis de lixo e sucata gerados.

1.2.6 Macro variável - recursos humanos

A macro variável recursos humanos está presente de forma direta ou indireta em, praticamente, todos os processos produtivos. Mesmo em processos 100% automatizados, existe a presença do elemento humano na supervisão presencial ou remota ou, até mesmo, na tomada de decisão em alguma etapa do processo. Evidentemente que nos processos 100% automatizados a participação do elemento humano na atuação direta do controle e da execução é, praticamente, ou mesmo, zero. Ainda assim, o elemento humano é fundamental na sua concepção, tomada de

decisão, contratação etc. Em processos não automatizados, a performance humana é absolutamente determinante de forma direta em todas as etapas do processo e em todos os seus índices de desempenho, como também nos níveis de qualidade dos produtos e dos serviços finais. Em processos semi-automatizados ou automatizados, a performance humana na supervisão e na tomada de decisões também interfere de forma direta ou indireta nos níveis de qualidade e nos níveis de desempenho do processo como: eficiência energética, produtividade, produção, tempos de produção, níveis de rejeição e de retrabalho, índice de falhas, níveis de sucata etc.

Desde os primeiros estudos efetuados no início do século XX por Frederik Taylor, tido como o pai da Administração Científica, o tema vem sendo estudado e aperfeiçoado. O período subseqüente à Segunda Guerra Mundial é também um marco para o início de estudos e aplicações de novas práticas administrativas e gestoras dos recursos humanos. Programas de qualidade começaram a ser implementados inicialmente na indústria automobilística japonesa. Em pouco tempo a motivação e o envolvimento da preponderância dos funcionários nos programas de controle da qualidade, de qualidade total e de melhoria contínua da qualidade tornaram-se parte integrante e essencial nos processos produtivos e são apontados, por diversos autores, como uma das fortes razões para o sucesso da indústria japonesa.

Esses mesmos programas evoluíram conceitualmente e, ao longo do tempo, vêm sendo implementados nos parques industriais de vários países e também nas empresas prestadoras de serviços que buscam a excelência.

É certo afirmar que a qualidade dos recursos humanos empregados em todas as classes de processos produtivos é também uma categoria de variável de entrada fundamental para garantir a competitividade e eficiência dos processos produtivos de qualquer setor da economia e, portanto, a própria sobrevivência das empresas.

1.2.6 Macro variáveis de sustentabilidade

Além das seis macro variáveis de entrada ilustradas na figura 1, todo processo produtivo também demanda, de forma direta ou indireta, o emprego de recursos básicos como água, atmosfera, biosfera etc. Assim sendo, todo processo produtivo impacta o meio ambiente de forma mais ou menos significativa. Além disso, existem fatores sócio-políticos e sócio-econômicos que também são determinantes para o

sucesso ou fracasso de qualquer empreendimento ou atividade produtiva da iniciativa privada ou pública.

Neste trabalho as macro variáveis de sustentabilidade são definidas como sendo as pertencentes ao conjunto de macro variáveis essenciais para a operacionalização ou, mesmo, para existência dos processos produtivos. Observe-se que, normalmente, as mesmas não são contabilizadas, classificadas e mensuradas de forma direta e objetiva como as demais macro variáveis decisão, distúrbios, tecnologia, energia, matérias-primas e recursos humanos. Porém, são vitais. As variáveis de sustentabilidade podem ser de natureza física, estrutural ou sócio-política. Por exemplo, um determinado processo demanda uma quantidade finita e conhecida de MWh de energia elétrica para ser executado. A energia elétrica demandada é uma das macro variáveis de entrada do processo. Entretanto, a energia primária necessária para operacionalização da usina geradora de eletricidade, os eventuais minérios demandados durante o processo de geração de energia, as condições climáticas, os materiais e os recursos humanos empregados na implantação e manutenção do sistema de geração, de transmissão e de distribuição da parcela de energia elétrica demandada pelo determinado processo são algumas das macro variáveis de sustentabilidade do processo e também dos demais processos dependentes do sistema elétrico, aos quais estão ligados. Mesmo que a água não entre como matéria-prima de um processo produtivo qualquer, a mesma é essencial para as demais atividades da empresa e, portanto, a água pode ser, ao mesmo tempo, em alguns casos, uma das matérias-primas e também uma macro variável de sustentabilidade. Já em outros processos, a água é, somente, uma das macro variáveis de sustentabilidade. A qualidade do ar em uma sala de produção de semicondutores é extremamente classificada, monitorada e controlada pois interfere diretamente na qualidade do produto final semi condutor. Entretanto, a qualidade do ar de uma determinada zona industrial ou mesmo de uma cidade interfere na saúde pública, na qualidade de vida e, até mesmo, no efeito estufa do planeta que, por sua vez, interfere nas condições climáticas. Assim sendo, a atmosfera e a qualidade do ar também são macro variáveis de sustentabilidade para qualquer processo produtivo.

A figura 1 também ilustra a estrutura de dependência entre o conjunto conceitual de atividades produtivas definido como atividade econômica, a sociedade humana e o meio ambiente. Conforme indicado pela figura 1, qualquer atividade econômica

somente pode ocorrer dentro do universo da sociedade humana. Assim sendo, embora a figura 1 não as ilustre, existem diversas variáveis geográficas, ambientais, sociais, comportamentais, religiosas, culturais e políticas que determinam a viabilidade ou não de um determinado processo. Em resumo, a atividade econômica somente pode existir em escala se houver uma sociedade humana que lhe dê suporte de existência e de finalidade. Entretanto, embora alertados há muito tempo pela comunidade científica, somente nas últimas duas décadas é que governos e empresas começaram a tomar consciência de que não pode haver nenhuma sociedade humana sem que haja, também, um meio ambiente que a sustente e dê suporte à vida, como um todo.

Sem um meio ambiente propício não existe vida porque os organismos vivos, para existirem, demandam, conforme a espécie, condições específicas e determinadas. Entretanto, até onde a ciência humana conhece, todos os organismos vivos necessitam, cada um a seu modo, de fontes de energia.

A demanda mundial por energia cresce de forma absoluta e também, proporcionalmente, por habitante. O consumo de água segue a mesma tendência. Assim sendo, com o aumento populacional e com o aumento proporcional das demandas individuais da maioria da população planetária, conclui-se que, mantidos os atuais padrões e tendências de comportamento, como também os atuais níveis tecnológicos na condução dos processos produtivos, em breve os recursos planetários do meio ambiente não terão condições de fornecer o suporte à sociedade humana, à economia e, portanto, a toda cadeia produtiva.

No início do desenvolvimento humano as macro variáveis de sustentabilidade eram tão importantes quanto são nos dias atuais. Entretanto, o impacto gerado no meio ambiente pela existência e atividade humana era significativamente menor em épocas remotas do que é atualmente. Segundo Goldemberg e Villanueva (2003) um ser humano de 1 milhão de anos atrás consumia, aproximadamente, 2 mil kcal/dia. Estima-se que, nesta época, a população não ultrapassava o número de 500.000. Atualmente, a população planetária ultrapassa a cifra dos 6 bilhões e o consumo per capita nos países desenvolvidos está na ordem de 250 mil kcal/dia.

Ainda de acordo com os autores citados o consumo energético per capita tem aumentado principalmente devido à expansão do leque das atividades humanas que partiu de uma sociedade primitiva nômade e coletora até chegar aos dias atuais. As atividades relacionadas ao comércio, transporte, indústria e agricultura, lazer e,

infelizmente, também as atividades relacionadas às guerras, totalizam, aproximadamente, 97% do consumo per capita de energia. Diversas pesquisas constatam que o consumo energético também não está distribuído uniformemente entre os países e comprovam a estreita ligação entre os indicadores como PIB – Produto Interno Bruto, PNB – Produto Nacional Bruto -, IDH – Índice de Desenvolvimento Humano - e o consumo médio de energia de cada país. O perfil de consumo das diversas fontes primárias de energia também muda em função do nível de desenvolvimento socioeconômico e também da localização geográfica do país. Constata-se que a maioria dos países menos desenvolvidos, embora consumam menos energia, por outro lado empregam fontes energéticas mais poluidoras e também menos eficientes. Portanto, todos os países, em maior ou menor grau, impactam o meio ambiente de diversas formas.

As mudanças no meio ambiente causadas pelas ações humanas são denominadas ações antropogênicas. Há aproximadamente cem anos, o consumo per capita de recursos minerais do ser humano era de, aproximadamente, 2 toneladas por ano. Atualmente, a média de consumo por indivíduo está na ordem de 8 toneladas por ano. Estima-se que a sociedade humana com mais de seis bilhões de pessoas tornou-se uma força geológica que consome por volta de 48 milhões de toneladas e pode ser comparada, até mesmo, à força de ação dos vulcões, dos ventos, das chuvas e das marés, que movimentam, juntas, algo em torno dos 50 milhões de toneladas por ano.

Os desmatamentos, as alterações da topografia, as grandes barragens, o despejo constante de toda a sorte de poluentes e materiais nas bacias hidrográficas e nos mares também cresceram significativamente nos últimos cem anos. A ocupação desenfreada e desorganizada de regiões de mananciais é outro vetor de alteração na capacidade regenerativa e produtiva do planeta. Em 400 A.C., o filósofo Platão já lamentava a dizimação das florestas que um dia haviam coberto as montanhas da Grécia e que foram descritas, 100 anos antes, pelo grande poeta e orador Homero. Durante a Idade Média e Moderna as principais florestas do continente europeu foram, praticamente, consumidas. Os Estados Unidos da América e o continente asiático também tiveram um desmatamento significativo nos últimos trezentos anos. Desde o seu descobrimento, o Brasil perdeu mais de 90% da sua Mata Atlântica original e os atuais níveis de desmatamento da Amazônia ainda são elevadíssimos.

Diversas organizações e institutos internacionais de muitos países vêm patrocinando projetos de estudos com o intuito de equacionar as complexas variáveis que interferem no clima terrestre. Um destes projetos, patrocinado pelo Ministério da Ciência da Rússia, pelo *Office of Polar Programs of the NSF* dos Estados Unidos da América é coordenado na França pelo *Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS*. Parte dos resultados de seus estudos foram publicados na revista Nature (3 Junho 1999) com o título *Climate and Atmospheric History of the past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctic*. A figura 3 ilustra os dados da evolução da variação da temperatura, juntamente com a variação dos níveis de CO2 durante um período de, aproximadamente, 450.000 A.C. até o ano do nascimento de Cristo. Conforme os registros indicam, ocorreram variações com amplitudes de 8 a 12 graus Centígrados da temperatura média da Terra, em função das variações de CO2 na atmosfera terrestre.

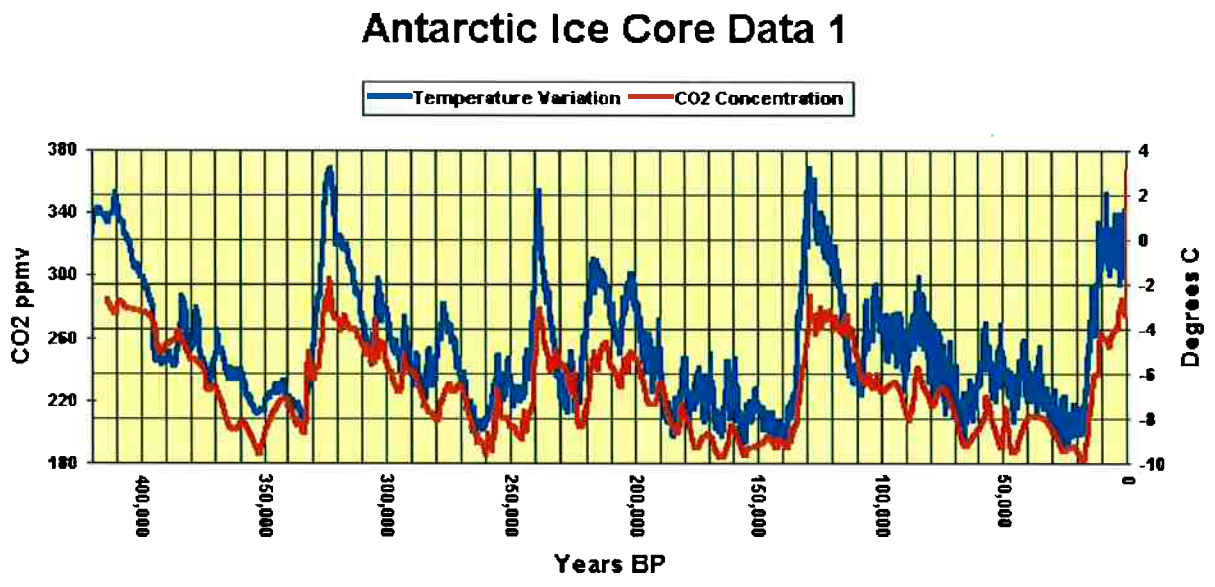


Figura 3 - Gráfico histórico da variação de temperatura e da variação dos níveis de CO2 na atmosfera. Fonte: Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS. Disponivel <http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/> Acesso em 07 de junho de 2007.

Atualmente, não há mais como negar a relação direta entre a temperatura média da Terra e, conseqüentemente, do seu clima, com os níveis de CO2 e demais gases causadores do efeito estufa. Também não há como negar a participação da raça humana para o aumento dos níveis destes gases. A figura 4 ilustra as variações da temperatura média a partir da metade da primeira Revolução Industrial.

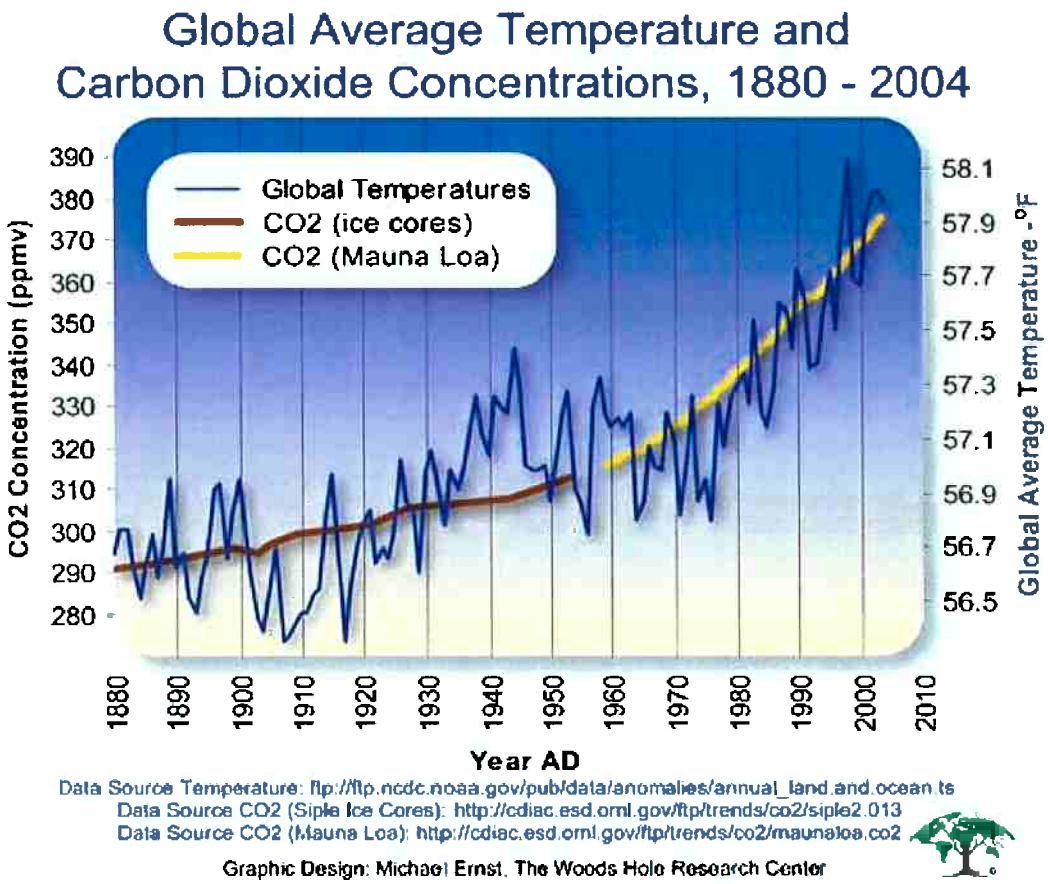


Figura 4 - Gráfico da temperatura média global e da concentração de Dióxido de Carbono na atmosfera. Fonte: Woods Hole Research Center. Disponível <http://www.whrc.org/> Acesso em 07 de junho de 2007.

Os dados de diversas pesquisas divulgados pelos mais respeitados centros de pesquisa da comunidade científica são conclusivos e mostram que o aumento populacional e o aumento das atividades humanas têm gerado impactos ambientais de toda ordem, aumentando, significativamente, a concentração dos chamados "Green House Gás - GHG" ou Gases de efeito estufa. Diversas publicações vêm, inclusive, alertando sobre os sinais evidentes do aumento global da temperatura e alguns dos seus reflexos no clima, no derretimento das geleiras etc. Estima-se que,

mantidas as atuais tendências em relação aos níveis de emissão de Dióxido de Carbono - CO2 -, um dos principais gases do efeito estufa, na atmosfera e as atuais tendências de reflexos no clima planetário, por volta do ano de 2050 a calota de gelo polar ártico desaparecerá nos meses de verão. O degelo de grandes massas de gelo poderá, também, contribuir para a quebra da linearidade e da auto-regulagem do sistema climático global. Os impactos de uma grande massa de água doce sendo despejada nos oceanos provavelmente alterarão as correntes marítimas e também aumentarão o nível dos oceanos. O degelo também poderá acelerar, ainda mais, o processo de aquecimento. Na condição de gelo, a imensa massa de água retida nos pólos Norte e Sul reflete muito do calor recebido pela radiação solar. Entretanto, essa mesma massa de água, se colocada no estado líqüido, absorverá muito mais calor, o que, fatalmente, agravará o sistema climático global.

Como qualquer alteração no clima gera, imediatamente, reflexos regionais e também reflexos globais, todos os processos produtivos da sociedade humana são afetados em maior ou menor escala. Assim como uma determinada safra de vinho tornou-se excepcional porque, entre outros fatores, em um determinado ano houve uma combinação ideal de insolação e chuva, uma praga pode-se desenvolver repentinamente e inviabilizar, economicamente, toda uma indústria de sucos cítricos ou mesmo, a indústria pecuária de um determinado país.

A desertificação, as secas, as enchentes geram impactos na economia mundial que afetam, até mesmo, os países distantes dos epicentros das calamidades. Assim sendo, as macro variáveis de sustentabilidade são cada vez mais reconhecidas pela comunidade científica e também pela sociedade como determinantes, não somente para o sucesso de um determinado produto ou serviço, mas também para a manutenção da própria existência da humanidade.

1.3 Desenvolvimento científico e tecnológico como propulsores do desenvolvimento humano – uma abordagem histórica

Do ponto de vista econômico e produtivo, existem diversas maneiras, fundamentadas em estudos acadêmicos de classificação, das fases ou etapas do desenvolvimento das sociedades humanas. Alguns acadêmicos dividem as eras da humanidade em três etapas: agrária, industrial e pós-industrial. Pode-se, também,

classificar o desenvolvimento humano em apenas duas grandes fases: a era da velha economia e a era da nova economia.

As classificações acadêmicas existentes podem divergir em alguns casos e, em outros, serem complementares. Esta tese introduz e apresenta um modelo de classificação do desenvolvimento humano baseado na transformação e na evolução da organização social e na tecnologia produtiva da execução dos mais diversos processos produtivos. O conceito de organização social deve ser interpretado neste trabalho não no sentido estrito de uma organização política institucionalizada, mas sim no sentido mais abrangente da organização da divisão do trabalho nos mais diversos processos produtivos e dos resultados e benefícios oriundos dos mesmos. A figura 5 ilustra as diversas eras da humanidade ao longo do tempo e os principais atores, fatores e desenvolvimentos tecnológicos agentes das transformações.

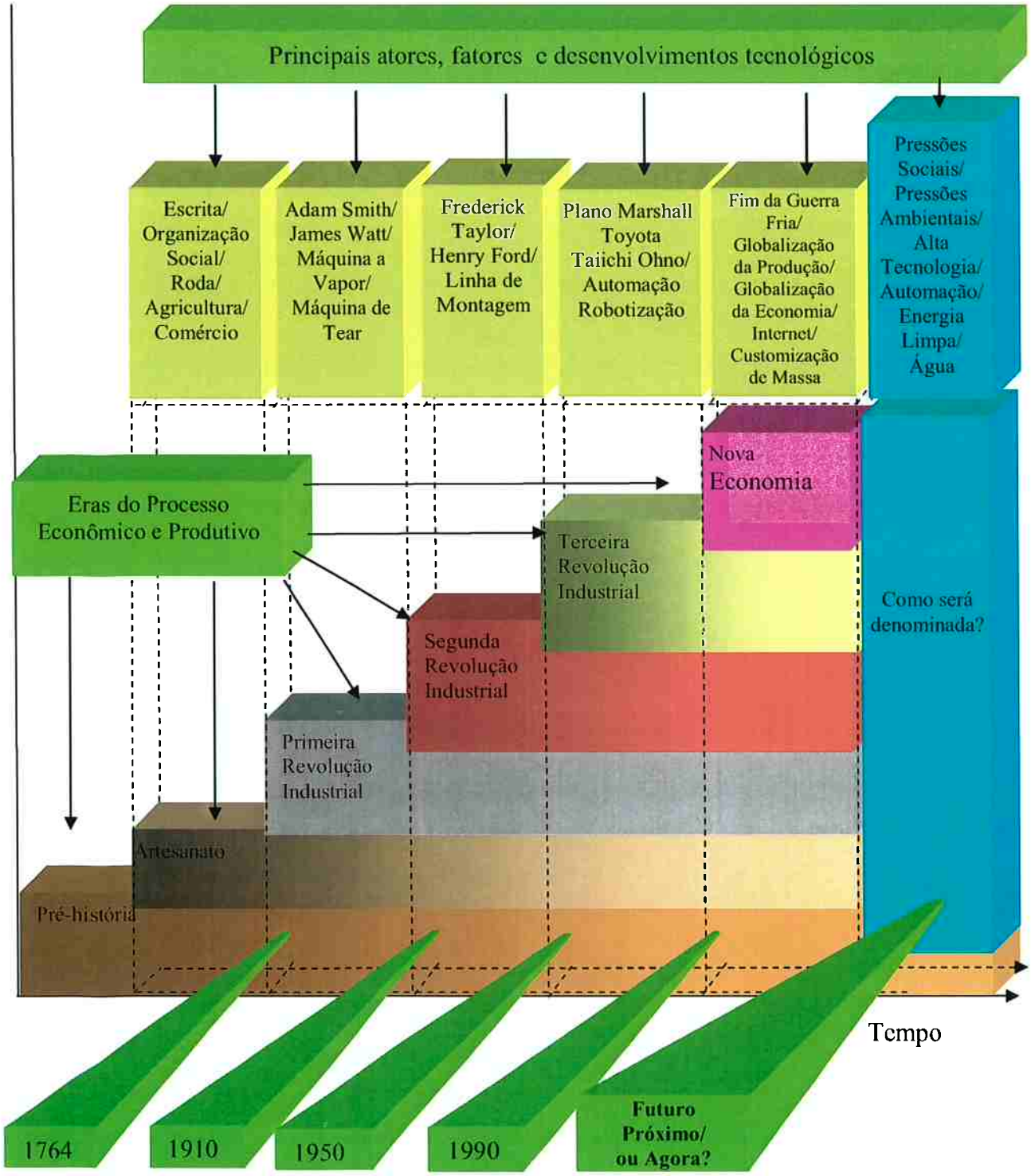


Figura 5 - Eras do Processo Produtivo e Econômico da Humanidade ao longo do tempo e os principais atores, fatores e desenvolvimentos tecnológicos agentes das transformações.

1.3.1 Era Pré-Histórica

A Pré-História é o período entendido entre o aparecimento do ser humano, por volta de 2 a 4 milhões de anos, até o surgimento da escrita na Mesopotâmia, há, aproximadamente, 6000 anos (4000 A.C.). A ciência atual acredita que todos os seres humanos descendem da mesma espécie ancestral comum que foi evoluindo para diversas e sucessivas espécies e ramificações como: *Australopithecus, Homo habilis, Homo erectus* e, finalmente, o *Homo sapiens.*

Acredita-se que o *Homo habilis,* além de já dominar o fogo, foi o primeiro a fabricar instrumentos, ferramentas e utensílios. A era Pré-Histórica pode ser classificada, sob a ótica da habilidade e da tecnologia de processos produtivos, em três fases: Paleolítica, Neolítica e a Idade dos Metais. No período Paleolítico preponderava a propriedade coletiva dos meios de produção e os utensílios eram elaborados a partir da pedra lascada. No período Neolítico o ser humano inicia o processo de sedentarização e a prática das atividades agrícolas, pecuárias e aviárias. No período definido como a Idade dos Metais, com o aperfeiçoamento das técnicas de metalurgia, as ferramentas de trabalho e as armas são sofisticadas e, portanto, as discrepâncias competitivas entre diversos grupos começam a ficar mais evidentes; e, conseqüentemente, a gerar o aparecimento de tribos ou pequenos grupos sociais com maiores probabilidades de sobrevivência. Assim sendo, a Pré-História pode ser classificada como a era inicial do desenvolvimento humano e dos processos produtivos.

1.3.2 Era do Artesanato

A transição da era Pré-Histórica e tribal para a Idade Antiga, considerada como sendo o início da Era do Artesanato, aconteceu por volta de 4000 A.C., com o desenvolvimento da escrita, juntamente com o surgimento das primeiras civilizações ou sociedades organizadas em estruturas culturais e políticas de servidão ou escravistas. A região denominada pelos gregos antigos de Mesopotâmia, que fica situada no epicentro do Oriente e era a passagem natural entre a Ásia e o Mediterrâneo, foi o núcleo do processo civilizatório dos sumérios, acádios, ameritas (babilônicos), assírios e caldeus. Quase que concomitantemente, por volta de 3500 A.C., as populações que viviam às margens do rio Nilo (nordeste do continente

africano) formaram dois reinos, o Baixo Egito, na região do delta do rio, e o Alto Egito, no decurso do vale do Nilo. Os dois reinos, Baixo Egito e Alto Egito, foram unificados em um único reino, aproximadamente em 3200 A.C.

Essas novas sociedades, aos poucos, desenvolveram relações comerciais, relações de interdependência e relações conflituosas, que moldaram o surgimento e o colapso das nações que escreveram o início da história da própria humanidade. Entretanto, fica evidente que o aprimoramento dos processos produtivos pré-históricos e o desenvolvimento dos novos processos produtivos tiveram um significativo impulso com desenvolvimento científico e tecnológico possibilitado pelo surgimento das organizações sociais mais estruturadas e da linguagem escrita. Em aproximadamente 2000 anos, a própria linguagem escrita evoluiu rapidamente, das estruturas baseadas em símbolos pictóricos para diversas estruturas baseadas em alfabetos. A Era do Artesanato é definida como o período de tempo que se inicia com as primeiras civilizações e finda em 1764. Assim sendo, a Era do Artesanato é o período histórico que compreende a Idade Antiga e a Idade Média, até, praticamente, o início da Idade Moderna.

1.3.3 Era da Primeira Revolução Industrial

Em 1764, o filósofo e economista escocês Adam Smith publicou a sua obra mais importante "*An Inquiry Into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*" ("Uma investigação sobre a natureza e a causa da riqueza das nações"). Essa obra, que mais tarde seria simplesmente conhecida como a "Riqueza das Nações", tornou-se, provavelmente, um dos livros mais influentes no mundo ocidental. Ao ser publicada, as doutrinas nela apresentadas exerceram uma rápida e intensa influência na burguesia emergente composta de comerciantes, industriais e financistas, ansiosos por eliminar os diretos feudais e o mercantilismo ainda existente na época. Adam Smith procurou demonstrar que a riqueza das nações resultava da atuação de indivíduos que, movidos apenas pelo seu próprio interesse egoísta "*self-interest*", promoviam o crescimento econômico e a inovação tecnológica. Adam era um ferrenho defensor do livre comércio e da iniciativa privada e afirmava que "não é da benevolência do padeiro, do açougueiro ou do cervejeiro que eu espero que saia o meu jantar, mas sim do empenho deles em promover seu próprio auto-interesse". Assim sendo, para o célebre escocês tido como o pai da economia moderna e

considerado o mais importante teórico do liberalismo econômico, a pouca ou nenhuma intervenção governamental na liberdade de ação da iniciativa privada era essencial para o desenvolvimento econômico. Para ele, a livre concorrência entre os fornecedores era a chave para a queda dos preços e também para as constantes inovações tecnológicas, capazes de baratear o custo de produção para se imporem no mercado competitivo. A frase mais famosa de Adam Smith publicada na sua obra de 1764 é: "Assim, o mercador ou comerciante, movido apenas pelo seu próprio interesse egoísta "*self-interest*", é levado por uma mão invisível a promover algo que nunca fez parte do interesse dele: o bem-estar da sociedade." Estava então, introduzido subliminarmente, o conceito de que a riqueza de uma nação é o resultado direto das atividades produtivas que a mesma realiza e não, simplesmente, oriunda da sua extensão territorial ou da quantidade de recursos naturais.

Contemporâneo e conterrâneo de Adam Smith, James Watt, certo dia, recebeu a tarefa de consertar um modelo primitivo de motor, desenvolvido na primeira década do século XVIII pelo inventor inglês Thomas Newcomen. O mesmo utilizava o vapor de água produzido numa caldeira, aquecida com carvão para fazer girar bombas d'água. Watt concluiu que, para melhorar seu funcionamento, era necessário elevar a temperatura do vapor, resfriando-o depois, bruscamente, durante a expansão. Acrescentou, então, o condensador de vapor e outros artifícios destinados a melhorar o rendimento do engenho. Assim, em 1768, era inventada por James Watt a máquina a vapor. Em pouco tempo a máquina a vapor era empregada em larga escala nas minas de carvão para bombeamento de água, e depois, também, para operar os elevadores das mesmas. A máquina a vapor tornou-se o motor da máquina de tear, inventada em 1785 pelo inglês Edmond Cartwright. Substituindo a energia humana e animal, a máquina a vapor também alterou, drasticamente, os meios de produção, os meios de transporte e de movimentação de cargas.

O desenvolvimento, a proposição e a aplicação das idéias de Adam Smith concomitantemente ao desenvolvimento tecnológico promovido por James Watt são os marcos e as bases para o início da era produtiva denominada Primeira Revolução Industrial.

Em outras palavras, a Primeira Revolução Industrial somente ocorreu porque, novamente, na história da humanidade houve um significativo desenvolvimento conceitual da organização sócio-econômica produtiva, juntamente com um significativo desenvolvimento científico e tecnológico.

A Primeira Revolução Industrial gerou enormes impactos na sociedade. A população da cidade de Londres, Inglaterra, saltou de 800.000 habitantes por volta de 1700 para 5.000.000, em apenas um século. Trabalhadores homens, mulheres ou crianças recebiam salários baixíssimos por uma jornada de trabalho de até 80 horas semanais. Por volta de 1820 a jornada de trabalho foi reduzida para 67 horas por semana e, em 1860, para 50 horas semanais.

No início do século XIX, surgiram os primeiros movimentos das classes operárias, reivindicando melhores condições. Em 1811, na Inglaterra, surge o movimento Catequista que era contrário ao emprego das máquinas devido à sua maior eficiência em relação aos seres humanos. Logo em seguida acontece a sua radicalização na forma do movimento Luddismo, derivado do nome de um de seus líderes, Ned Ludd. O Luddismo resultou na invasão e depredação de diversas fábricas. Os luditas, denominação dada aos integrantes do movimento, também foram chamados de "quebradores de máquinas".

Seguido ao Luddismo, em 1837 surgiu o movimento Cartista, organizado por trabalhadores que reivindicavam melhorias nas condições de trabalho como: jornada de 8 horas por dia, regulamentação do trabalho feminino, eliminação do trabalho infantil, folga semanal, estabelecimento do sufrágio universal etc. Em seqüência, os operários das fábricas formaram associações denominadas "trade unions", que seriam as bases para o nascimento dos sindicatos. O século XIX escreveu um importante e agitado capítulo da história humana. Foi o século da unificação política de países como a Alemanha, a Itália e o Japão. Foi neste século, também, que o economista e cientista social alemão Karl Heinrich Marx publicou, em 1867, o livro intitulado "O Capital".

Embora a Revolução Francesa, influenciada pelos ideais iluministas e impulsionada pelas tremendas desigualdades sociais existentes na época, tenha ocorrido entre 5 de maio de 1789 e 9 de novembro de 1799, a França, assim como a maioria dos países europeus e também os Estados Unidos da América, somente começou a sua industrialização em tempo e em velocidade distinta no século subseqüente, o que deixou a Inglaterra na dianteira tecnológica da produção, até pelo menos por volta de 1850. As figuras 6 e 7 apresentam ilustrações que representam, de forma pictórica, a época da Primeira Revolução Industrial.

Figura 6 - Ilustração efetuada à época da primeira Revolução Industrial. Disponível <http://www.google.com.br/search?hl=PTBR&q=fotos+da+primeira+revolu%C3%A7%C3%A3o+industrial&btnG=Pesquisa+Google&meta> Acesso em 21 de novembro de 2008.

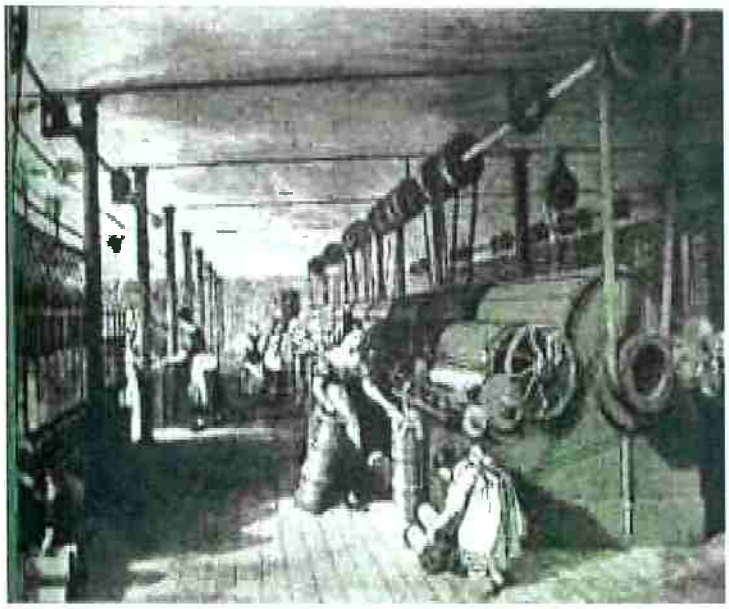


Figura 7 - Ilustração efetuada à época da primeira Revolução Industrial. Disponível <http://faustocefetsp.vilabol.uol.com.br/revindustrial2.html> Acesso em 21 de novembro de 2008.

1.3.4 Era da Segunda Revolução Industrial

No início do século XX, Frederick Winslow Taylor, nascido a 20 de março de 1856 nos Estados Unidos da América, propôs a utilização de métodos científicos cartesianos na administração das empresas. Segundo Reid e Sanders (2005, p.7) "Taylor era um engenheiro que se preocupava com a eficiência. Por meio do gerenciamento científico, procurou aumentar a produtividade do trabalhador e o resultado da organização. Esse conceito tinha duas características. Primeiro, admitia-se que o trabalhador era motivado apenas pelo dinheiro, sendo limitado somente pela sua capacidade física. Taylor achava que a produtividade do trabalhador era regida por leis científicas e que cabia à gerência descobrir essas leis mediante medições, análises e observações. Os trabalhadores deveriam ser pagos na razão direta do que produziam". O segundo princípio defendido por Taylor era o da divisão e da especialização do trabalho. Taylor preconizava o treinamento dos trabalhadores, o planejamento dos processos, a co-participação entre o capital e o trabalho e também a supervisão funcional, para que todas as fases de um trabalho ou processo produtivo pudessem ser acompanhadas e monitoradas, de modo a permitir verificar se as operações estavam sendo desenvolvidas em conformidade com as instruções programadas. Para Taylor, cabia à gerência e à direção definir e projetar os sistemas produtivos, estabelecer as metas de produção, e aos trabalhadores, apenas seguir e se esforçarem para atingir os objetivos. A aplicação prática do Taylorismo podia ser resumida em seis etapas:

a - Desenvolver uma ciência que pudesse aplicar-se a cada fase do trabalho humano;

b - Selecionar o melhor trabalhador para cada serviço, em seguida ensiná-lo, treiná-lo e formá-lo, em oposição à prática tradicional da época que era a de deixar para ele a função de escolher método e formar-se;

c - Separar as funções de preparação e de planejamento da execução do trabalho, definindo-as com atribuições precisas;

d - Especializar os agentes nas funções correspondentes;

e - Predeterminar tarefas individuais ao pessoal e conceder-lhes prêmios quando realizadas;

f - Controlar a execução do trabalho.

Frederick Winslow Taylor, o operário técnico que se graduou em engenheira mecânica estudando à noite, tornou-se, historicamente, reconhecido como "O Pai da Administração Científica". A administração científica é baseada em quatro princípios fundamentais: princípio do planejamento, princípio da preparação ou da capacitação dos trabalhadores, princípio do controle e princípio da execução.

Contemporâneo de Taylor, Henry Ford (1863-1947) foi um empresário arrojado que possuiu fábrica de vidros, siderurgia e, até mesmo, se aventurou em uma fracassada plantação de seringueiras na Amazônia brasileira. Ford também foi o fundador da Ford Motor Company e o principal responsável pela popularização das idéias de Taylor, ao adaptá-las e aprimorá-las para suas fábricas. Combinando tecnologia, Administração Científica, divisão do trabalho e peças intercambiáveis, Ford não somente criou, por volta de 1910, a linha de montagem móvel, como também introduziu e viabilizou o conceito de produção em massa. Surgia, então, o "Fordismo", que é um modelo de produção em massa que revolucionou a indústria automobilística e também criou o mercado de massa para os automóveis, pois uma das obstinações perseguidas e atingidas de Ford era a de baratear a tal ponto o preço dos veículos que, praticamente, qualquer operário pudesse adquiri-los. Anteriormente a Henry Ford, os automóveis eram montados em um local fixo e os operadores é que se moviam de um veículo para outro, a fim de executarem os seus serviços. Este sistema produtivo era denominado de "produção cigana". A linha de montagem desenvolvida por Ford empregava um guincho manual e uma longa corda para puxar os veículos até os respectivos postos de trabalho dos operários que executavam, cada um, sempre as mesmas operações constituintes de uma pequena etapa do conjunto e da seqüência de operações necessárias à realização da montagem completa do veículo.

O sucesso de Ford foi impressionante e o modelo de veículo símbolo do "Fordismo" é o lendário Ford Modelo T. Por volta de 1908, no início da sua produção, o tempo médio para a montagem de um veículo era de 12,5 horas e o preço final U$ 850,00. Em 1914, a Ford Motor Company, com, aproximadamente, 13.000 empregados, produziu 300.000 veículos, o que correspondia, de forma estimativa, à somatória da produção das demais companhias que, na época, juntas, empregavam algo em torno de 66.350 empregados. Em 1926, a produção era de 2 milhões de carros por ano, com um tempo médio aproximado de montagem de um veículo igual a 93 minutos e com o preço final em torno de U$ 260,00.

Uma de suas premissas mais famosas e que melhor retrata o espírito do "Fordismo" é que poderiam ser produzidos automóveis de qualquer cor, desde que os mesmos fossem pretos. Um dos motivos da imposição de Ford pela cor preta é que a tinta desta cor secava mais rapidamente do que as demais cores e, portanto, os carros poderiam ser montados mais rapidamente. A figura 8 apresenta uma fotografia do veículo Ford Modelo T, também denominado Ford Bigode no Brasil, que foi o símbolo do "Fordismo".

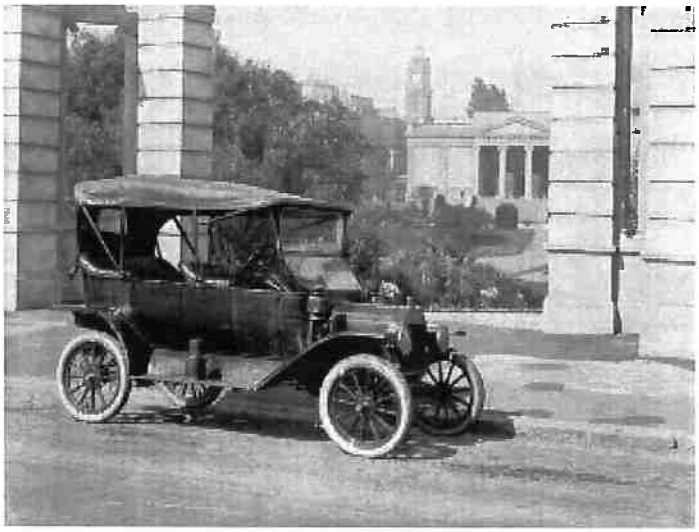


Figura 8 – Fotografia do Ford Modelo T. Disponível <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T> Acesso em 06 de junho de 2007.

Apesar de a indústria de Ford ter sido superada no final da década de 20 do século XX pela General Motors, que, sob o comando de Alfred Solan, apostou na diversificação dos produtos e começou a alterar a relação com o consumidor de veículos, o "Fordismo", como filosofia predominante dos países desenvolvidos, perdurou ainda por quatro décadas e teve o seu apogeu entre os anos 50 e 60 do século XX.

Frederick Winslow Taylor e Henry Ford são os marcos e principais agentes para o início da era definida como a Era da Segunda Revolução Industrial. A verticalização das empresas passou a demandar uma complexa estrutura administrativa. Muitas delas começaram a financiar pesquisas básicas e aplicadas, pois a evolução científica e tecnológica começou a acelerar e a redefinir-se em menores espaços de

tempos, tornando os mercados cada vez mais competitivos. Durante a Segunda Revolução Industrial, os Estados Unidos da América assumem a liderança da economia mundial e, ao final da Segunda Guerra Mundial, o PIB americano representa um pouco mais do que 50% do PIB dos países desenvolvidos. As duas Grandes Guerras e as alterações geopolíticas ocorridas com o processo de emancipação das colônias européias contribuíram, significativamente, para o desenvolvimento americano. Entretanto, diversos economistas também atribuem o sucesso americano a três fatores:

a - Uma estrutura maior de capital aberto das suas empresas;

b - A forte preocupação americana com o livre mercado e a sua oposição a cartéis;

c - A grande adequação e aceitação da sociedade americana ao produto padronizado.

Se a máquina a vapor foi o motor da Primeira Revolução Industrial, a eletricidade foi, por sua vez, o propulsor da Segunda Revolução Industrial, permitindo a produção de toda uma gama de eletrodomésticos e de máquinas menores, que, inclusive, influenciaram fortemente o mercado consumidor. Devido também às duas Guerras Mundiais, as mulheres do mundo desenvolvido começaram a integrar-se ao mercado de trabalho e a acelerar, ainda mais, as transformações culturais e políticas do turbulento século XX.

1.3.5 Era da Terceira Revolução Industrial

Em 1939, estourou a Segunda Guerra Mundial, que somente terminaria em 1945. Os impactos danosos da mesma nas economias dos países europeus foram dramáticos. Os Estados Unidos da América (EUA) e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) emergiram como superpotências e consolidaram uma política global bipolar, fundamentada, por um lado, no capitalismo representando a democracia e a liberdade, e, por outro, no socialismo, apresentado como a resposta ao domínio burguês e às desigualdades sociais. Tanto os EUA, como a URSS, tinham como objetivo principal a difusão de seus sistemas políticos e culturais no resto do mundo e, também, o domínio dos seus respectivos mercados. Foi dado início à Guerra Fria entre as duas superpotências que resultou em uma intensa

corrida armamentista tradicional e, nos anos subseqüentes, também em uma corrida armamentista nuclear. O potencial bélico criado pelos dois países, EUA e URSS, gerou o estado conhecido como MAD "Mutual Assured Destruction", ou Destruição Mútua Assegurada. Os custos militares da corrida armamentista geraram nas décadas seguintes um forte impacto negativo nas duas economias. A figura 9 apresenta uma fotografia de um teste nuclear, tema e temor comum, apresentado de tempos em tempos nos noticiários da época.

Figura 9 - Explosão em um teste nuclear estadunidense em 1951. Disponível <http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:479px-Atomic_blast.jpg> Acesso em 9 de julho de 2007.

Durante o período da Guerra Fria, a Europa Ocidental, a América Central e a América do Sul compunham o bloco que ficava sob forte influência cultural e econômica estadunidense, enquanto que todo o leste europeu e a maior parte do continente asiático ficaram sob o domínio soviético.

Para se contrapor a um possível avanço da influência soviética na Europa Ocidental, os EUA, por meio do seu então secretário de estado George Marshall, criou um amplo plano conhecido como plano Marshall, de ajuda econômica aos países assolados pela guerra, baseado em juros baixos e em investimentos públicos de infra-estrutura, com vistas à reconstrução da economia européia. A França, a recém-criada Alemanha Ocidental e o Reino Unido foram os maiores beneficiados do plano Marshall. Entre os anos de 1947 a 1950, o Japão não recebeu tanto apoio

dos EUA como os países europeus. Mesmo assim, a presença americana neste período foi fundamental para o início da sua reconstrução econômica e industrial. Entretanto, com a eclosão, em 25 de Junho de 1950, da Guerra da Coréia, o Japão tornou-se o principal aliado americano na Ásia e passou a receber dos Estados Unidos da América maiores investimentos financeiros e ajuda científica e tecnológica. Reconhecidos como uns dos principais gurus da qualidade, Willian Edwards Deming e Joseph M. Juran estiveram junto a professores e pesquisadores que atuaram no Japão neste período. Deming foi enviado pelas Forças Aliadas para ensinar técnicas estatísticas aplicadas ao controle de processos. Teve uma convivência de quase duas décadas com os japoneses e foi tratado como o pai da qualidade no Japão. Em reconhecimento ao seu trabalho, o seu nome tornou-se o Prêmio Japonês de Qualidade, denominado Deming Prize. Juran, à semelhança de Deming, atuou em várias áreas da qualidade e atingiu notoriedade internacional; em muito contribuiu para a reconstrução japonesa. Outra personalidade importantíssima na reestruturação da visão administrativa e organizacional dos processos produtivos foi Taichii Ohno, da empresa japonesa Toyota Motor Company. Deve-se a ele a união das principais qualidades do "Fordismo" com a flexibilidade da produção associada a uma gestão participativa e comprometida da classe operária com busca da melhoria da qualidade e melhoria da eficiência dos processos. Ohno era um ferrenho inimigo do desperdício e o seu sistema ficou conhecido por denominações como: "Toyota Production System", JIT "Just in Time" e Produção Enxuta.

A década de 60 do século XX presenciou um significativo desenvolvimento da engenharia eletrônica e da computação, o que permitiu o desenvolvimento de: computadores, micro-processadores, CLPs "Controladores Lógicos Programáveis", tornos computadorizados, também denominados CNCs "Computer Numerical Control" etc. Nascia na época a engenharia e a indústria da Automação Programável, incluindo, conceitualmente nessa denominação, também a ciência, a tecnologia e a indústria da Robótica. A Automação Programável complementou e, em muitos casos, substituiu a Automação Fixa nos processos produtivos industriais.

O período de tempo do início da Guerra Fria e que vai até, aproximadamente, o término da década de 90, é classificado como a Terceira Revolução Industrial. Observe-se que, novamente, os principais agentes de transformação são o desenvolvimento e a aplicação de uma nova visão gerencial e administrativa da

produção e das operações, associados ao desenvolvimento e aprimoramento da engenharia e da tecnologia de processos produtivos.

A Primeira Revolução Industrial teve o seu início na Inglaterra, a Segunda Revolução Industrial aconteceu primeiramente nos EUA e a Terceira Revolução Industrial teve o Japão como seu precursor. Enquanto no transcorrer da Segunda Revolução Industrial, em linhas gerais, as palavras-chave eram produção em massa e produtividade, durante a Terceira Revolução Industrial a qualidade, a garantia da qualidade, a flexibilidade e o tempo de resposta às demandas de um mercado cada vez mais volátil e exigente começaram a ser os fatores primordiais e determinantes para o sucesso empresarial. As empresas japonesas, seguidas pelas empresas alemãs ocidentais reconstruídas no pós-guerra, tiveram, inicialmente, uma vantagem significativa em relação às gigantes americanas, baseadas, em sua maioria, em linhas de produção fixas e dedicadas. A organização dos equipamentos das plantas industriais, assim como a gestão dos recursos humanos, alterou-se significativamente nas indústrias. A engenharia e a gestão das empresas tiveram que fazer significativos investimentos, tanto em equipamentos como também em recursos humanos envolvidos em todas as etapas da produção, como projeto, desenvolvimento, desenvolvimento de fornecedores, testes, implementação da linha de produção, programação e controle da produção. Novos e importantes conceitos de gestão como Engenharia Simultânea, Desdobramento da Função da Qualidade, Parcerias com Fornecedores, Engenharia de Valor, Gestão Participativa etc. foram incorporados ao dia-a-dia das empresas propulsoras das transformações produtivas. As novas tecnologias e equipamentos permitiram que configurações de arranjos físicos industriais como células de montagem gerassem Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS) que, apesar de não possuírem a mesma capacidade e velocidade de produção das linhas dedicadas, ofereciam uma enorme vantagem em tempo de resposta às alterações de projeto e de produto, além de, também, serem adaptáveis para realizar novos processos produtivos. Durante a era da filosofia Henry Ford, "Fordismo", o ponto de partida da produção era o que a fábrica poderia fazer, o foco era o produto e o lucro viabilizava-se por meio do grande volume de vendas. A partir da Terceira Revolução Industrial cristalizou-se o conceito de que o ponto de partida da produção é o mercado, com o foco em produtos customizados e com a idéia de que o lucro se viabiliza por meio da satisfação do cliente.

1.3.6 Era da Nova Economia

Em 18 de março de 1990, as negociações entre as Alemanhas Ocidental e Oriental, divididas pelo Muro de Berlim, símbolo da Guerra Fria, culminaram no Tratado de Unificação *Einigungsvertrag*, celebrado em 31 de agosto de 1990. No início da década de 90, o então presidente da URSS Mikhail Gorbachev começou a acelerar os dois processos de reformas internas: "Perestroika", que era constituído de uma série de medidas de reformas econômicas, e "Glasnost", que era baseado na liberdade de expressão da imprensa soviética e na transparência do governo. Os blocos Ocidental e Oriental aproximaram-se, diplomaticamente, marcando o fim da Guerra Fria, enquanto terminava a Era da Terceira Revolução Industrial. A figura 10 apresenta uma fotografia dos primeiros berlinenses pulando, em massa, o Muro de Berlim em novembro de 1989.

Figura 10 - Fotografia dos primeiros berlinenses pulando o Muro de Berlim em novembro 1989. Disponível <http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,1389294,00.html> Acesso em 5 de julho de 2007.

Após o ano de 1990, novas e significativas mudanças organizacionais, administrativas e tecnológicas começaram a ocorrer nas empresas, devido às novas demandas dos mercados mundiais e também devido às alterações geopolíticas do mundo. A economia tornou-se globalizada e o avanço tecnológico dos equipamentos e produtos acelerou significativamente. Houve um barateamento do hardware de dispositivos baseados em semicondutores, e também ocorreu um forte avanço no conhecimento e no desenvolvimento de ferramentas e produtos de software para as

mais diversas atividades de engenharia e administrativas. A indústria da Tecnologia da Informação iniciou um crescimento vertiginoso. O processo de globalização da economia e da produção propiciou, também, uma série de fusões e de incorporações empresariais, promovendo impactos profundos nas relações trabalhistas. As empresas que não passaram por profundas alterações na sistemática de gestão e também não fizeram investimentos em tecnologia, em processos e em recursos humanos, dificilmente conseguiram manter-se competitivas. Os conceitos de qualidade, de gestão da qualidade, de prazo, de preço, de modelo de decisão, de gestão de recursos humanos, de parcerias com fornecedores e de conformidade normativa foram estudados, analisados, revisados, aprimorados e implementados em todas as empresas que objetivaram atingir o patamar de excelência de uma empresa classificada como uma empresa de classe mundial. A indústria de serviços cresceu, alterando significativamente a participação no PIB de países como EUA, Inglaterra, França, Alemanha, Brasil etc. Em diversos países industrializados iniciou-se um processo de desindustrialização, com a migração das suas plantas industriais para países ainda não industrializados, como a China, Índia etc. A internet popularizou-se e a indústria baseada no comércio eletrônico cresceu a taxas inimagináveis até duas décadas atrás. Conforme dados disponibilizados em 5 de junho de 2007 nos sites: Câmara do Comércio Eletrônico Câmera–e.net (http://www.camara-e.net/interna.asp?tipo=1&valor=3505) e Comércio Eletrônico Brasil (http://www.imasters.com.br/artigo/4388/ecommerce/comercio_eletronico_brasil_crescimento_proximo_dos_80/) houve um crescimento de mais de 360% do volume de negócios feitos pela internet no Brasil, entre 1997 a 1998. A média de crescimento a partir do ano 2000 ficou acima dos 35% ao ano. Se no ano de 1998 a totalização dos negócios atingiu quase a cifra de US$ 170 milhões, em 2005 o valor transacionado ficou por volta de R$ 9,9 bilhões. Somente no Brasil, no início de 2007, o número de usuários da internet já ultrapassava os 30 milhões. A NASDAQ - North American Securities Dealers Automated Quotation System – (bolsa de valores eletrônica, constituída por um conjunto de corretores conectados por um sistema informático, com sede em Nova York) alçou um forte papel na economia mundial, assim como as demais principais bolsas de valores do mundo.

As profundas alterações que ocorreram a partir dos anos 90 fizeram com que alguns economistas classificassem o desenvolvimento econômico, ilustrado na figura 5, em

apenas duas fases: Nova e Velha economia. Há, inclusive, autores que também classificam as empresas como atuantes em apenas dois setores: o da velha economia e o da nova economia. E também há os que definem a era atual como a Era da Informação.

É claro que o desenvolvimento humano pode ser classificado de diferentes maneiras, conforme a relevância dos fatos e dos eventos a serem ponderados, segundo os critérios e as análises efetuadas. Entretanto, esta tese de livre-docência adota a modelagem proposta na figura 5, por acreditar ser este um modelo didático e razoavelmente completo, que ilustra, de forma inequívoca, a simultaneidade entre os principais desenvolvimentos científicos e tecnológicos e os desenvolvimentos econômicos, organizacionais e políticos. A modelagem ilustrada na figura 5 também permite a representação do fato de que, em termos de processos produtivos ou mesmo organizacionais, nenhuma transição, em escala mundial, ocorreu de forma absolutamente abrupta e definitiva. Na realidade, tanto no passado como no mundo atual, as diversas eras produtivas se sobrepõem, em diferentes porcentagens, às vezes até mesmo dentro dos países mais avançados. Existem, em alguns lugares do mundo, determinadas tribos indígenas nas quais o modelo organizacional, social e produtivo é, praticamente, pré-histórico. Da mesma forma que mesmo, em alguns países, que participam ativamente da economia global, existem comunidades operando em uma economia regionalizada equivalente à Era do Artesanato. Em muitos países, especialmente naqueles que ainda possuem grandes desigualdades sociais, convivem, lado a lado na economia, empresas e setores com práticas organizacionais, métodos e tecnologia de processos produtivos de eras absolutamente distintas. Por exemplo, se por um lado existe no Brasil um parque industrial e uma indústria de serviços progressista, competitiva e classificada como de classe mundial, existe também uma economia subterrânea que não aparece claramente nas estatísticas oficiais e que opera, preponderantemente, com práticas e tecnologia ainda da Era da Primeira Revolução Industrial. Tais fatos ocorrem porque, assim como a realidade social e econômica reflete a realidade educacional de um país, a realidade educacional reflete a realidade social e econômica do mesmo país. Se a vida imita a arte ou se é a arte que imita a vida, ainda não existe um consenso no mundo artístico e filosófico. Entretanto, o desenvolvimento de uma sociedade é conseqüência direta do nível de educação da mesma. Há, no Brasil, muitas universidades que são modelos de excelência e referência em ensino,

pesquisa e extensão. Entretanto, existe uma carência histórica de investimentos em infra-estrutura e em recursos humanos da qual padece o ensino fundamental público do país. Também é notório saber que boa parte das pesquisas científicas efetuadas não são materializadas em produtos e serviços.

A interdependência da economia globalizada assumiu tal magnitude que, uma crise temporária ou mesmo um ataque especulativo na economia de um país asiático, por exemplo, pode gerar um efeito cascata na economia mundial, causando, até mesmo, um período de recessão na economia global. Um distúrbio político no Oriente Médio interfere no preço do petróleo nas bolsas de Nova York, de Londres etc. De uma certa forma, a consciência das questões macro econômicas popularizou-se de tal forma que, em muitos países, é comum ouvir termos típicos da ciência econômica como "mercado futuro", "blindar a economia", "carteira de ações", "vulnerabilidade da economia" etc., verbalizados corriqueiramente até mesmo em noticiários não especializados das mídias televisiva, radiofônica e impressa.

Conforme explanado ao longo deste capítulo, o desenvolvimento social, político, econômico, científico e tecnológico humano nunca param e são interdependentes. Entretanto, embora determinados eventos e fatores sejam empregados nos mais diversos modelos acadêmicos como marcos históricos para a classificação científica de determinadas eras ou períodos do desenvolvimento humano, as transformações evolutivas não ocorrem de forma simultânea entre todas as sociedades ou nações. O sucesso econômico de qualquer empresa ou de uma nação é totalmente dependente de como a mesma executa os seus processos produtivos. O universo, o meio ambiente e as sociedades estão em constantes transformações. A história demonstra que nenhuma sociedade ou nação mantém-se eternamente na dianteira ou liderança em relação às demais. Impérios econômicos, assim como nações, nascem, desenvolvem-se e, por fim, sucumbem ou são superados. A longevidade dos mesmos é sempre relativa e dependente do quanto é investido no aprimoramento e na adaptação dos processos produtivos às constantes alterações do ambiente à sua volta.

A modelagem apresentada na figura 5 aporta uma nova Era do Desenvolvimento Humano, ainda sem um nome específico, que sucede ou sucederá, em breve, a atual. Esta nova etapa está sendo escrita ou, em futuro próximo, será registrada como um novo capítulo da odisséia humana. O fato de a mesma não ser classificada com um nome específico neste trabalho é porque, ainda, não existe um

distanciamento histórico que permita uma análise retroativa e desapaixonada dos eventos. Entretanto, é certo que as atuais necessidades humanas e os gigantescos impactos ambientais, sumariamente descritos neste capítulo, pressionam e pressionarão ainda mais as transformações organizacionais, sociais e tecnológicas, necessárias para continuidade e a própria sobrevivência da espécie humana. Entretanto, caberá à humanidade, como sempre, fazer as suas escolhas.

2 TÓPICOS GERAIS DA CIÊNCIA, DA ENGENHARIA E DA TECNOLOGIA DA AUTOMAÇÃO

2.1 Introdução

O ponto de partida para a compreensão da abrangência e das possibilidades da ciência e da tecnologia da automação reside no conhecimento e na definição de conceitos básicos como: o próprio termo automação, processo produtivo, sistema, planta, planta produtiva, algoritmo de processo, controle de processo, otimização de processo etc. Assim sendo, este capítulo apresenta uma revisão geral sobre os principais tópicos da teoria da automação, da sua aplicabilidade em sistemas que desenvolvem processos produtivos e uma breve revisão histórica do desenvolvimento da ciência e da tecnologia da automação. Aborda, também, algumas importantes sistemáticas de classificação de processos produtivos e os principais aspectos relativos à gestão de projetos de automação.

2.2 Definições e terminologia de: sistema, planta e planta produtiva

Diversos autores da área da engenharia de controle e automação e também da área de administração da produção e das operações têm desenvolvido, sistematizado e classificado o conhecimento teórico e empírico da automação e da gestão de processos produtivos. Uma vez definidos no capítulo 1 deste trabalho os termos processo e processo produtivo, surge a necessidade de definir, cientificamente, os termos: sistema, planta, planta produtiva, algoritmo de processo, controle de processo e otimização de processo.

Existem diversas definições para sistema. Uma delas é que um sistema é uma combinação de componentes que agem conjuntamente para realizar uma função que não pode ser efetuada por nenhum dos componentes separadamente (The IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, 1977).

Segundo Ogata (2003, p.2), "sistema é uma combinação de componentes que agem em conjunto para atingir um determinado objetivo. A idéia de sistema não fica restrita apenas a algo físico. O conceito de sistema pode ser aplicado a fenômenos abstratos dinâmicos, como aqueles encontrados na economia. Dessa maneira, a

palavra sistema pode ser empregada para se referir a sistemas físicos, biológicos, econômicos e outros." Ainda segundo Ogata (id.ibidem, p.2), "um sistema a controlar ou planta pode ser parte de um equipamento ou apenas um conjunto de componentes de um equipamento que funcione de maneira integrada, com o objetivo de realizar uma operação..." Assim sendo, um sistema a controlar ou uma planta pode ser uma nave espacial, um reator químico, um gerador elétrico, um motor elétrico, uma esteira transportadora, uma fábrica, um sistema de transporte ferroviário, um sistema de controle de fluxo de cargas portuárias ou de controle de acesso de pessoas etc.

Conforme definido no capítulo 1 deste trabalho, um processo produtivo é formado por uma sucessão de estados e operações sistematicamente controlados que objetivam realizar algum evento, produzir algo ou atingir uma determinada meta. A infra-estrutura em que um determinado processo produtivo é efetuado, geralmente, é denominada de sistema, sistema a controlar, planta, planta industrial, planta produtiva, chão de fábrica, recursos de transformação etc. O termo planta industrial é empregado para definir a infra-estrutura física de um determinado processo produtivo industrial. Este termo costuma, também, ser substituído pelo termo equivalente chão de fábrica. Já o termo planta produtiva é também empregado para nomear sistemas ou infra-estruturas que realizam atividades produtivas que extrapolam as atividades industriais ou atividades relacionadas exclusivamente à produção de produtos. Como o termo processo produtivo, atualmente, possui uma larga abrangência de atividades geradoras de produtos e serviços, em todos os setores da atividade humana, as infra-estruturas ou os sistemas a serem controlados podem ser, preponderantemente, físicos, conceituais, virtuais ou mesmo compostos. Por exemplo, o processo de transmitir energia elétrica é efetuado por meio de redes elétricas de transmissão e de distribuição, formadas pelo conjunto de equipamentos físicos como cabos elétricos, subestações, transformadores, torres de transmissão, postes, bancos de capacitores, sistemas de proteção, softwares de controle e de supervisão, equipes de manutenção etc. O processo produtivo de uma pizzaria tradicional é efetuado por meio de uma infra-estrutura sistêmica, composta pelo forno, bancada, utensílios de manipulação etc. Um "call center", basicamente, possui uma infra-estrutura fundamentada em recursos humanos treinados para o atendimento, e em computadores, servidores, linhas telefônicas e softwares destinados ao tratamento da informação.

Todo processo necessita, em maior ou menor grau, de um controle sobre as suas variáveis. O controle de um processo produtivo demanda monitoração, supervisão e, também, a atuação, quando necessária, tanto nas macro variáveis de entrada do processo como também nas variáveis controladoras e controladas do mesmo.

Durante a primeira Revolução Industrial, as máquinas a vapor proporcionaram a substituição da força física humana e animal na tração e na propulsão dos processos produtivos. Entretanto, o controle, a supervisão e a atuação das principais tarefas nos processos industriais cabiam, predominantemente, à ação humana.

A figura 11 ilustra uma modelagem em diagrama de blocos da integração entre sistemas e processos produtivos. Um determinado processo produtivo, para ser efetuado, demanda, além das macro variáveis de sustentabilidade e também dos seis tipos de macro variáveis de entrada, de uma infra-estrutura física ou mesmo conceitual. Essa infra-estrutura é definida neste trabalho como sendo sistema, planta, planta industrial ou planta produtiva. Assim sendo, todo sistema possui uma ou mais variáveis controladoras (variáveis de entrada) e uma ou mais variáveis controladas (variáveis de saída). Por exemplo, o nível de tensão de referência ou "set point" de um sistema controlador de velocidade é uma variável de entrada ou uma variável controladora de um sistema de tração de uma locomotiva elétrica de uma composição ferroviária. A velocidade da locomotiva é uma das variáveis controladas ou de saída do sistema, enquanto as pessoas ou as cargas transportadas são o serviço prestado pelo processo produtivo de transporte de pessoas ou de cargas. A infra-estrutura ou o sistema de transporte é a composição ferroviária. O sistema de controle de velocidade é um subsistema do sistema de composição ferroviário e o mesmo é composto, genericamente, por controlador, driver de acionamento, motor elétrico, sensor de velocidade, interface homem-máquina etc.

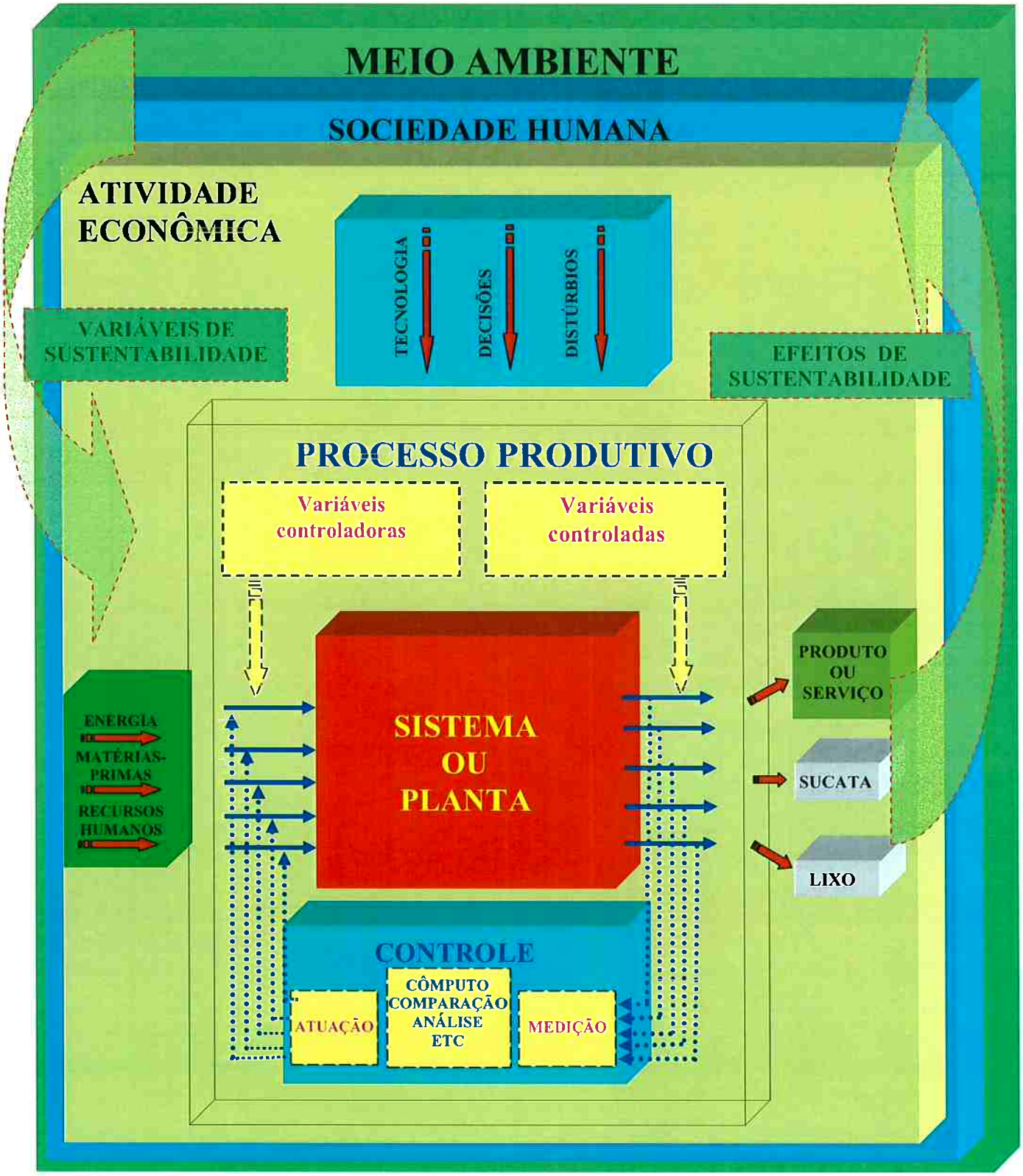


Figura 11 - Modelagem em diagrama de blocos da integração conceitual de processos produtivos e de sistemas.

Qualquer sistema a ser controlado demanda que haja, pelo menos, uma variável controladora ou valor de referência e, no mínimo, uma variável controlada de saída. Conforme ilustrado na figura 11, a atividade de controle envolve a medição das variáveis de saída ou variáveis controladas do sistema, o cômputo ou a análise dos desvios das variáveis controladas em relação às variáveis controladoras, a atuação nas variáveis controladoras para que as variáveis controladas atinjam, dentro de limites especificados no projeto, apenas desvios aceitáveis em relação aos valores desejados das variáveis controladas.

Um sistema no qual a medição das variáveis controladas, o cômputo, a comparação, a análise com as variáveis controladoras e a atuação nas mesmas são efetuados pelo elemento humano é classificado como sendo um sistema manual. Um sistema manual executa um ou mais processos manuais. Por outro lado, um sistema no qual a medição das variáveis controladas, o cômputo, a comparação, a análise com as variáveis controladoras e a atuação nas mesmas são efetuados pelo elemento humano é classificado como sendo um sistema automático ou automatizado que efetua um processo automático ou processos automáticos.

Existe, ainda, uma categoria de sistemas semi-automáticos nos quais parte do controle é efetuado pelo elemento humano e parte por equipamentos e dispositivos de controle automático. A figura 12 ilustra um diagrama de blocos de um sistema genérico automatizado.

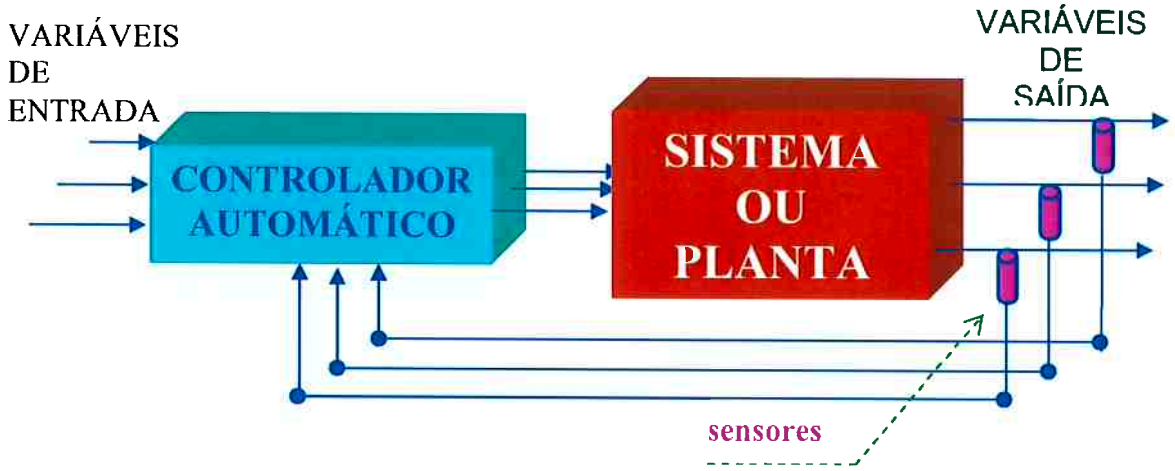


Figura 12 - Diagrama de blocos de um sistema genérico automatizado.

Esta tese de livre-docência procura definir, de maneira distinta, os principais termos e conceitos relativos à ciência da automação, no sentido de também contribuir para uma sistematização e uma maior unificação do conhecimento acadêmico com conhecimento dos profissionais e de empresas que atuam no mercado da automação. Esta motivação deve-se ao fato de que diversos autores e diversas instituições empresariais nem sempre empregam a mesma nomenclatura na elaboração de trabalhos científicos ou mesmo na elaboração de contratos de prestação de serviços de engenharia de automação de processos. A tabela 1 contém, de forma sintética, os principais termos e definições relativos à engenharia de automação e controle empregados nesta tese de livre-docência.

Tabela 1 - Resumo das principais definições relacionadas ao controle e automação de sistemas e de processos.

Processo produtivo	É uma atividade que parte de um ou mais insumos físicos e tecnológicos, transforma-os e lhes agrega valor, criando produtos ou serviços.
Macro variáveis físicas de entrada de um processo produtivo	São três tipos de variáveis: a variável matérias-primas são insumos que são transformados e manipulados pelo processo produtivo; a variável energia é o insumo que possibilita a execução do trabalho do processo produtivo; a variável recursos humanos são os insumos humanos de transformação que executam de forma direta ou indireta parte ou a totalidade do processo produtivo.
Macro variáveis estratégicas de entrada de um processo produtivo	São variáveis intrínsecas e fundamentais de todo processo produtivo que determinam de que forma ou como, quanto, quando e onde o processo produtivo executará as suas funções. As mesmas são: decisão, distúrbios e tecnologia.
Macro variáveis de sustentabilidade	São o conjunto de macro variáveis de entrada que disponibilizam, de forma direta ou indireta, os insumos essenciais para a operacionalização, ou mesmo para a existência dos processos produtivos. São relativas aos recursos extraídos do meio ambiente e também da sociedade humana e da economia.
Sistema, planta, planta produtiva	Sistema é uma combinação de componentes que agem em conjunto para atingir um determinado objetivo. Um sistema também pode ser biológico, organizacional, social ou mesmo conceitual. É a infra-estrutura que realiza um determinado processo produtivo.
Variável controlada	É a grandeza ou a condição que é medida e controlada em um determinado sistema. Geralmente, a variável controlada é a saída do sistema como, por exemplo: a velocidade de uma turbina, a posição do atuador de um robô, o ângulo de um rastreador de satélite etc. Entretanto, em um determinado sistema também pode existir o controle de uma ou mais grandezas de condições internas como por exemplo a corrente e a temperatura do estator de um motor de um sistema de controle de velocidade.
Sinal de referência, variável controladora, "set point"	É a grandeza de referência do sistema que serve como parâmetro de valor desejado para a variável controlada do sistema.
Controle do sistema	É o ato de medir o valor da(s) variável(eis) controlada(s), computar e calcular o desvio e aplicar o valor necessário na(s) variável(eis) controladora(s) do sistema, de modo a corrigir ou limitar o desvio entre o valor medido e o valor desejado da ou das variáveis controladas.
Algoritmo do processo	É a seqüência das etapas e das ações para efetuar o processo.
Controle do processo	É o conjunto de procedimentos, envolvendo monitorações e ações de interferência no processo, visando garantir que o algoritmo de processo seja efetuado.
Otimização do processo	É a estratégia de análise do algoritmo do processo que visa melhorar o algoritmo do processo e, conseqüentemente, melhorar o desempenho do processo, ou interferir diretamente na qualidade ou nas características do produto. Pode também ser a melhoria de parte ou da totalidade do sistema, de modo a interferir, positivamente, no desempenho do processo,ou interferir, diretamente, na qualidade ou nas características do produto.
Automatizar um processo	É fazer com que o controle do processo seja efetuado sem a interferência humana.
Impactos de sustentabilidade	Correspondem a toda ordem de conseqüências diretas ou indiretas de alteração no meio ambiente, na sociedade humana e na economia causadas pelo processo produtivo.

2.3 Classificação de processos produtivos e de sistemas

Sistemas e processos produtivos podem ser estudados e classificados diferentemente, de acordo com a abordagem de critérios escolhida. Como a atuação e a abrangência da engenharia de automação tornam-se a cada dia maiores, faz-se também necessário classificar os tipos de processos produtivos e de sistemas em uma linguagem comum para engenheiros, gestores, clientes e prestadores de serviços de automação, a fim de que o esforço de engenharia e de gestão dos projetos e de automação de processos e de sistema seja otimizado. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), os processos produtivos são classificados em: processos em manufatura e processos em operações de serviços. Os processos em manufatura produzem produtos físicos, enquanto os processos em operações de serviços executam operações cujo produto final é um conjunto de serviços prestados. Enquanto produtos podem ser, eventualmente, armazenados, os serviços não podem ser estocados. A tabela 2 apresenta a síntese dos tipos de processos produtivos e as suas respectivas classificações. Convém ressaltar que, assim como nem sempre na prática é possível estabelecer uma linha divisória precisa entre um produto e um serviço, também, algumas vezes, as fronteiras entre os tipos de processos produtivos, processos em manufatura e operações em serviços não são perfeitamente nítidas. Por exemplo: eventualmente, uma determinada rede de padarias pode estar, em função do seu volume de produção, no limiar classificatório dos seus processos produtivos como processos produtivos de lote ou processos produtivos de batelada. O mesmo também pode acontecer com empresas prestadoras de serviços. Em Slack, Chambers e Johnston (2002) é citado um exemplo que foge à tipificação convencional de um processo em operação em serviço - é a sistemática de cirurgias oftalmológicas implementada pelo médico cirurgião russo Svyatoslav Fyodorov da cidade de Moscou. Fyodorov, que também é conhecido como o Henry Ford da Oftalmologia, introduziu métodos de produção da indústria automobilística, como produção em série e arranjos celulares, nos procedimentos cirúrgicos da sua clínica oftalmológica. Nela, vários cirurgiões executam, cada um ao seu tempo, partes do procedimento cirúrgico no mesmo paciente. Assim sendo, diversos pacientes podem ser operados ao mesmo tempo e, portanto, a produção e a produtividade da clínica, mesmo de uma forma polêmica, foram aumentadas.

Tabela 2 - Tipos de processos produtivos.

TIPOS DE PROCESSOS PRODUTIVOS		DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
PROCESSOS EM MANUFATURA	Processos de projeto	São processos que executam produtos específicos e muito customizados. Geralmente o tempo de execução é longo (mais de um ano) e o volume de produção é baixo e os recursos de transformação dedicados a cada processo são, praticamente, exclusivos.	Construção de navios, construção de aviões, edifícios, usinas, fábricas etc.
	Processos de serviços "jobbing"	São processos que executam produtos quase tão customizados como os processos de projeto; entretanto, os recursos de transformação empregados são, eventualmente, compartilhados.	Restauração de móveis, confecção sob encomenda etc.
	Processos de lotes ou batelada	São processos que executam uma quantidade mediana de produtos e também com uma variação mediana de características. Pode haver um razoável grau de customização.	Produção de pães pelas padarias, serviços de gráfica específicos etc.
	Processos de produção em massa	São processos que produzem grandes volumes de poucos produtos.	Produção de veículos de uma fábrica automotiva, produção de eletrodomésticos, produção industrial de pães etc.
	Processos contínuos	São processos com volumes de produção de produtos ainda maiores que os processos de produção em massa. A padronização dos produtos é grande e, eventualmente, o fluxo de produção é ininterrupto.	Produção de gasolina, produção de papel, produção de eletricidade etc.
PROCESSOS EM OPERAÇÕES DE SERVIÇOS	Serviços profissionais	São serviços com alto grau de customização para cada cliente específico. Os serviços profissionais tendem a serem baseados em pessoas e não tanto em equipamentos.	Serviços de consultoria, serviços médicos como cirurgias, consultas etc.
	Lojas de serviços	São serviços produzidos em grande escala e também com grande interação com os clientes e com um grau mediano de customização. Os serviços são produzidos baseados em diversas instalações da organização como centros de atendimento e centros operacionais.	Serviços bancários, serviços de lojas comerciais, serviços de operadoras de excursões de viagens etc.
	Serviços de massa	São serviços que abrangem muitas interações com os clientes; entretanto, com pouco tempo de contato e com baixo índice de customização. A prestação dos serviços é efetuada, preponderantemente, pela infra-estrutura e equipamentos.	Serviços de transporte aeroviário, transporte metroviário ou ferroviário. Serviços de telecomunicações. Serviços de supermercados etc.

2.4 Classificação de tipos de sistemas

Assim como diversos autores classificam, de forma similar ou não, os mais diversos tipos de processos produtivos, existem diferentes maneiras de se classificar os sistemas que os executam. Originalmente, a engenharia da automação concentrou as suas atividades nos sistemas físicos. Entretanto, o seu escopo de atuação cresceu e, atualmente, diversos tipos de sistemas que executam diversos tipos de processos também são objetos de estudo e de atuação da engenharia de automação.

Os sistemas físicos podem ser do tipo mecânico, elétrico, térmico, fluídico etc. Sistemas podem ser estudados e classificados diferentemente, de acordo com a abordagem tomada. Entretanto, uma das maneiras mais objetivas de estudar sistemas físicos, sob o enfoque da engenharia da automação, é analisá-los considerando alguns quesitos fundamentais como:

a - A natureza das variáveis controladas y(t) e das variáveis controladoras u(t), além dos respectivos tipos de sinais que podem ser associados a elas;

b – As relações intrínsecas existentes entre as variáveis controladoras e as variáveis controladas determinadas pelos sistemas;

c – Estabilidade e manutenção de determinadas características internas dos mesmos sistemas e as respectivas implicações nas relações entre as variáveis controladoras e variáveis controladas;

d - A dependência ou não dos valores atuais das variáveis controladas em relação aos valores anteriores das variáveis controladoras;

e - Os agentes que promovem as alterações dos estados dos sistemas ou dos processos.

A figura 13 representa um sistema genérico real com as suas respectivas variáveis controladoras e variáveis controladas (entradas e saídas), enquanto que a figura 14 representa o modelo conceitual de relacionamento das variáveis controladoras e variáveis controladas do mesmo sistema.

Figura 13 - Representação de um sistema genérico real.

Para se elaborar um modelo conceitual de um determinado sistema assume-se que existe uma relação matemática que relacione as funções de entrada (conjunto das variáveis controladoras) com as funções de saída (conjunto das variáveis controladas). Esta relação matemática muitas vezes recebe o nome de função de transferência.

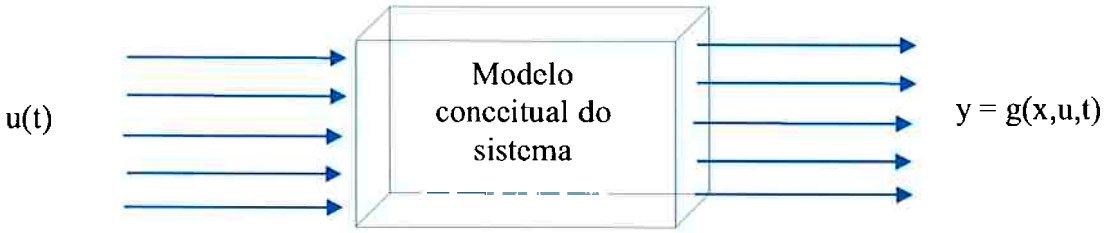


Figura 14 - Representação conceitual de relacionamento das variáveis controladoras e variáveis controladas de um sistema genérico.

Em um modelo conceitual, as variáveis u(t) representam as entradas ou variáveis controladoras ao longo do tempo, enquanto que as variáveis y(t) representam as saídas ou variáveis controladas ao longo do tempo.

As variáveis controladoras e controladas ao longo do tempo podem ser representadas, respectivamente, por dois vetores colunas transpostos, conforme mostram a equação 1 e a equação 2.

$$u(t) = \left[u_1(t),.....,u_p p(t)\right]^T$$ para $t_o \leq t \leq t_p$ (equação 1)

$$y(t) = \left[y_1(t),.....,y_m p(t)\right]^T$$ para $t_o \leq t \leq t_p$ (equação 2)

Assim sendo, uma das maneiras de se representar a função de transferência (relações entre as variáveis controladoras e variáveis controladas) de um modelo conceitual de um determinado sistema é g(u), conforme mostrado na equação 3.

$$y = g(u) = \left[g_1\left(u_1(t),.....u_p(t)\right),...,g_m\left(u_1(t),...,u_p(t)\right)\right]^T$$ equação 3

Observe-se que um modelo conceitual de um determinado sistema deve duplicar o comportamento do mesmo. Entretanto, todo modelo conceitual apresenta uma maior ou menor imprecisão em relação ao seu comportamento e ao comportamento do sistema modelado.

A literatura científica está repleta de metodologias de classificação de sistemas. Uma das mais abrangentes é apresentada por Cassandras (1993). A mesma é ilustrada na figura 15, que mostra uma possível classificação dos mais diversos sistemas físicos em dois grandes grupos:

a – Sistemas estáticos: são sistemas em que os valores presentes das variáveis de controladas dependem das condições iniciais do sistema e dos valores atuais das variáveis controladoras.

b – Sistemas dinâmicos: são sistemas em que os valores presentes das variáveis de saída dependem das condições iniciais do sistema, dos valores atuais e passados das variáveis de entradas.

Observe-se que, na realidade, nenhum sistema é 100% estático. Entretanto, dependendo da situação e das condições de contorno, existem diversos sistemas que podem ser modelados, com uma razoável precisão, como sendo sistemas estáticos, quando se deseja determinar as funções de transferência dos mesmos.

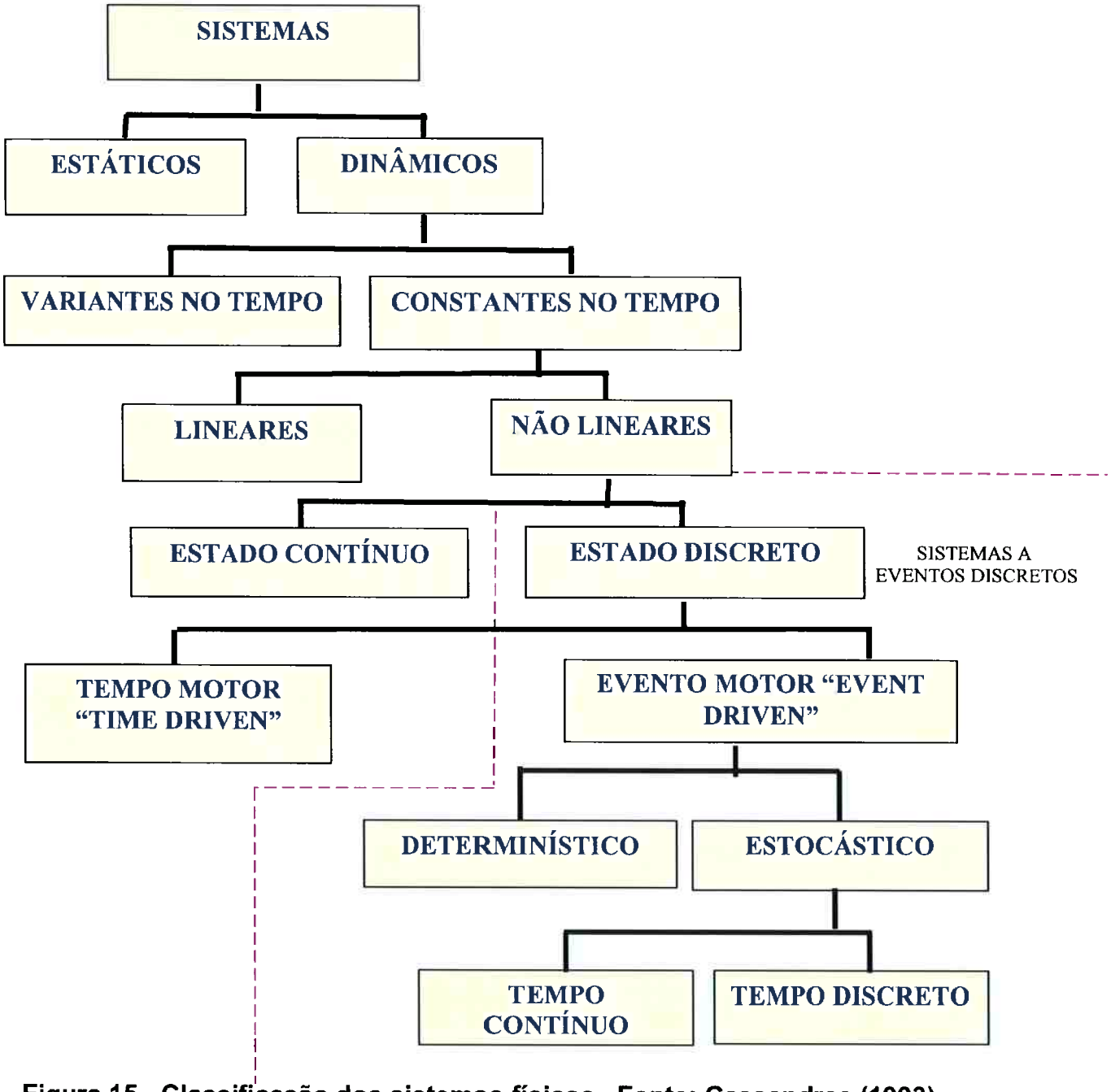


Figura 15 - Classificação dos sistemas físicos. Fonte: Cassandras (1993).

A tabela 3 apresenta um resumo conceitual de classificação de sistemas físicos, conforme a ilustração da figura 15.

Tabela 3 - Classificação de sistemas físicos.

Classificação de sistemas físicos	
Sistemas (tipos)	Características
ESTÁTICOS	Os valores das variáveis controladas são independentes dos valores passados das variáveis controladoras.
DINÂMICOS	Os valores das variáveis controladas são dependentes dos valores passados e presentes das variáveis controladoras.
VARIANTES NO TEMPO	O comportamento do sistema ao longo do tempo não permanece constante. Equivale afirmar que a sua função de transferência não permanece inalterada e, portanto, as relações entre as variáveis controladoras e controladas são alteradas.
CONSTANTES NO TEMPO	O comportamento do sistema ao longo do tempo permanece constante. Equivale afirmar que a sua função de transferência permanece inalterada e, portanto, as relações entre as variáveis controladoras e controladas não se alteram.
LINEARES	Um sistema linear satisfaz a condição $g(a_1u_1+a_2u_2) = a_1g(u_1)+a_2g(u_2)$, onde u_1 e u_2 são os vetores das variáveis controladoras, a_1 e a_2 são números reais e g(.) é variável controlada resultante.
NÃO LINEARES	Sistemas que não satisfazem a condição de linearidade.
ESTADO CONTÍNUO	As variáveis controladas podem assumir qualquer valor real ou mesmo complexo.
ESTADO DISCRETO	As variáveis controladas apenas podem assumir valores inteiros e positivos.
TEMPO MOTOR	O estado do sistema é alterado conforme o tempo é alterado. Assume-se que o tempo é o "motor" das transformações do sistema.
EVENTO MOTOR	O estado do sistema é alterado somente quando ocorre um evento discreto e assíncrono que promove uma alteração instantânea do estado do sistema.
DETERMINÍSTICOS	Quando os comportamentos de todas as variáveis controladas podem ser pré-determinados sem que haja a necessidade do emprego de modelos estatísticos.
ESTOCÁSTICOS	Quando uma ou mais variáveis controladas assumem um comportamento randômico.
TEMPO DISCRETO	Uma ou mais variáveis controladoras ou controladas são definidas (existem) em instantes discretos e definidos de tempo.
TEMPO CONTÍNUO	Todas as variáveis controladoras e todas as variáveis controladas são definidas (existem) em todo instante de tempo.

2.5 Breve histórico do desenvolvimento da ciência, engenharia e da tecnologia da automação

A ciência, a engenharia e a tecnologia da automação constituem um conjunto de conhecimentos empíricos e teóricos formados pelo estudo e pela aplicação de metodologias, ferramentas e equipamentos destinados a definir quando e como converter sistemas e processos produtivos manuais em sistemas e processos produtivos automáticos, ou em projetar e implementar processos produtivos automáticos. A automação atual também possibilita a coleta metodológica e precisa de dados que podem ser empregados para se obter a otimização do processo.

Segundo Ogata (2003) e diversos autores conceituados, foi James Watt quem efetuou o primeiro trabalho relevante de controle automático, construindo um regulador centrífugo para o controle de uma máquina a vapor. Assim sendo, os processos de mineração e de transporte de materiais passaram por um primeiro estágio de independência da ação humana, com o surgimento do chamado regulador de Watt. Pode-se considerar o regulador de James Watt como sendo marco inicial da ciência, da engenharia e da tecnologia da automação. Entretanto, foi no começo do século XX que as mesmas iniciaram um rápido desenvolvimento.

Atualmente a ciência, a engenharia e a tecnologia de automação fundamentam-se em duas grandes áreas:

a - a primeira área envolve o conhecimento que permite modelar, prever, analisar, de forma abstrata ou mesmo por simulacros virtuais ou em escala reduzida, os mais diversos índices de desempenho e os relacionamentos entre as diversas variáveis internas ou externas de um determinado sistema. Esta área também envolve a ciência de calcular e projetar ações de interferência e de correções necessárias para que os sistemas apresentem ou se aproximem dos desempenhos desejados;

b - a segunda área envolve o conhecimento de projetar, desenvolver, produzir e integrar produtos de hardware e de software que sejam capazes de realizar o controle dos sistemas que realizam os processos produtivos, por meio de medições, supervisões e de ações de interferência determinadas e projetadas pela primeira área.

Assim sendo, de uma forma generalista e abstraindo-se de um maior rigor formal, o termo ciência da automação pode ser associado a todo conhecimento teórico ou prático resultante das pesquisas acadêmicas que está registrado em livros, artigos ou em publicações específicas. Os termos engenharia e tecnologia da automação podem ser relacionados ao conhecimento e às práticas empregadas por empresas e profissionais da área na automação de processos e também ao desenvolvimento e produção de equipamentos e dispositivos destinados à automação de processos.
Embora ambos conhecimentos sejam complementares, pode-se constatar que, muitas vezes, as indústrias clientes da engenharia e da tecnologia da automação ou mesmo a maioria das empresas produtoras de produtos ou prestadoras de serviços de engenharia e tecnologia de automação não estão plenamente em sincronia na aplicação dos mesmos. Entretanto, o desenvolvimento científico e a implementação do mesmo em produtos e em serviços vêm se acelerando continuamente. A figura 16 apresenta um ilustrativo histórico do desenvolvimento da ciência, engenharia e da tecnologia da automação.

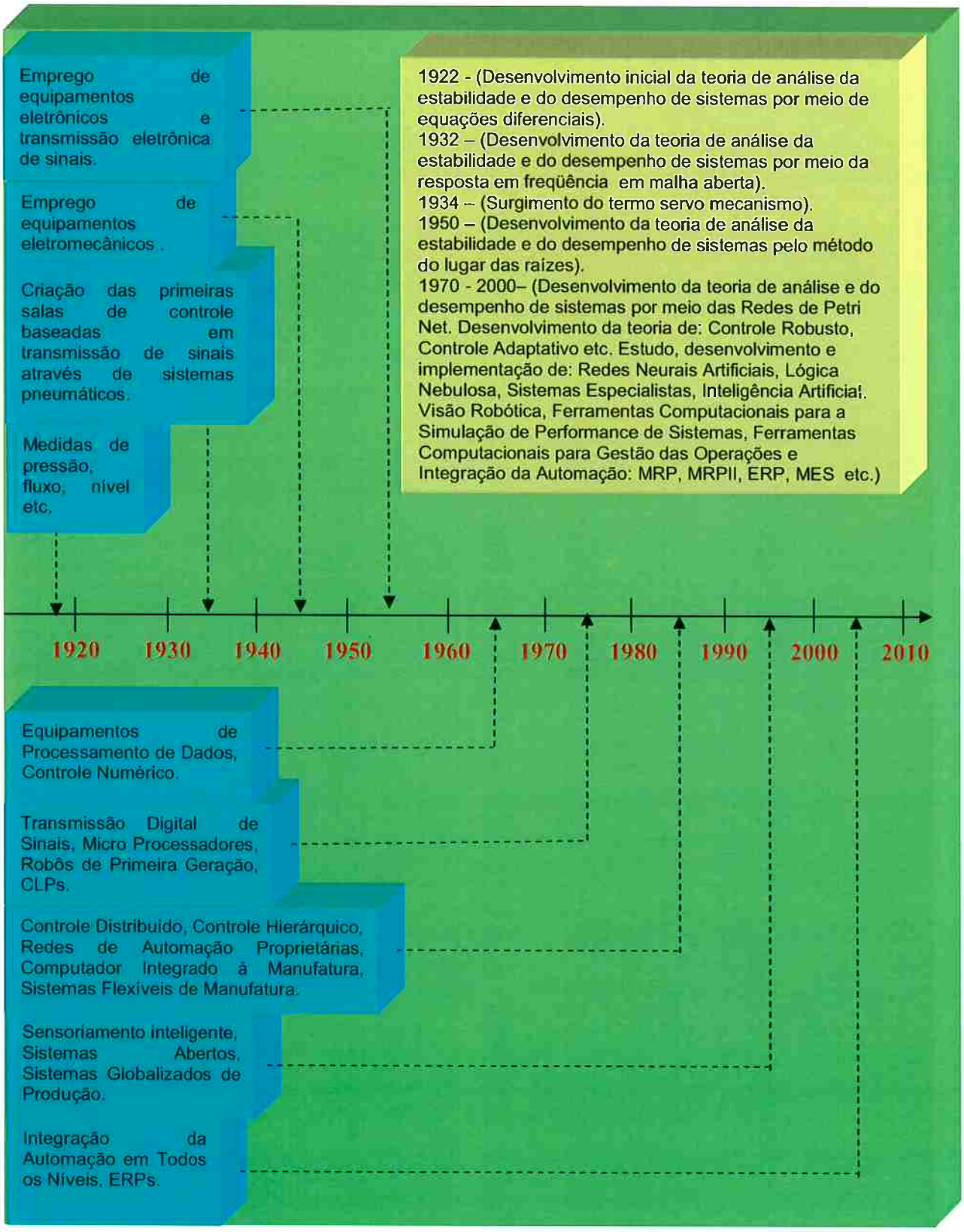


Figura 16 - Ilustrativo histórico do desenvolvimento da ciência, engenharia e da tecnologia da automação.

Conforme pode ser observado na figura 16, os avanços científicos e tecnológicos da automação tiveram uma significativa aceleração depois dos anos 80 do século XX. Os processos automatizados das décadas de 60 e de 70 operavam preponderantemente de formas independentes, conforme ilustrado na figura 17. Entretanto, nos anos 80, iniciou-se uma tendência de integração da automação dos mais diversos tipos de sistemas e processos automatizados. Esta tendência de automação gerou a necessidade da padronização e do desenvolvimento de redes de automação com protocolos abertos para que os diferentes produtos de fabricantes distintos pudessem ser utilizados nas mais diversas aplicações. A figura 18 ilustra uma planta automatizada genérica com diversos processos integrados por meio de redes de automação.

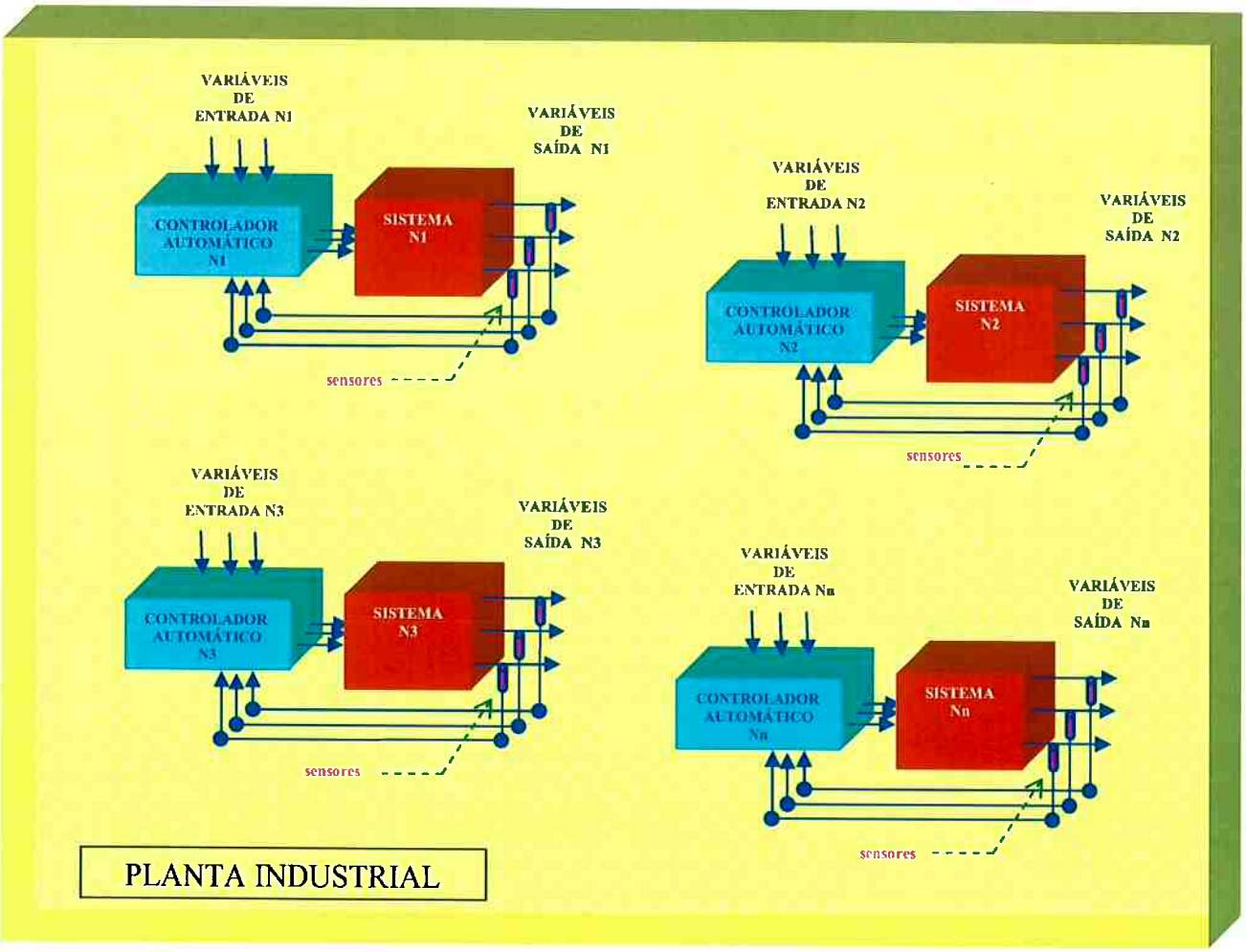


Figura 17 - Exemplo genérico de planta industrial com diversos sistemas automatizados operando de forma independente "stand alone".

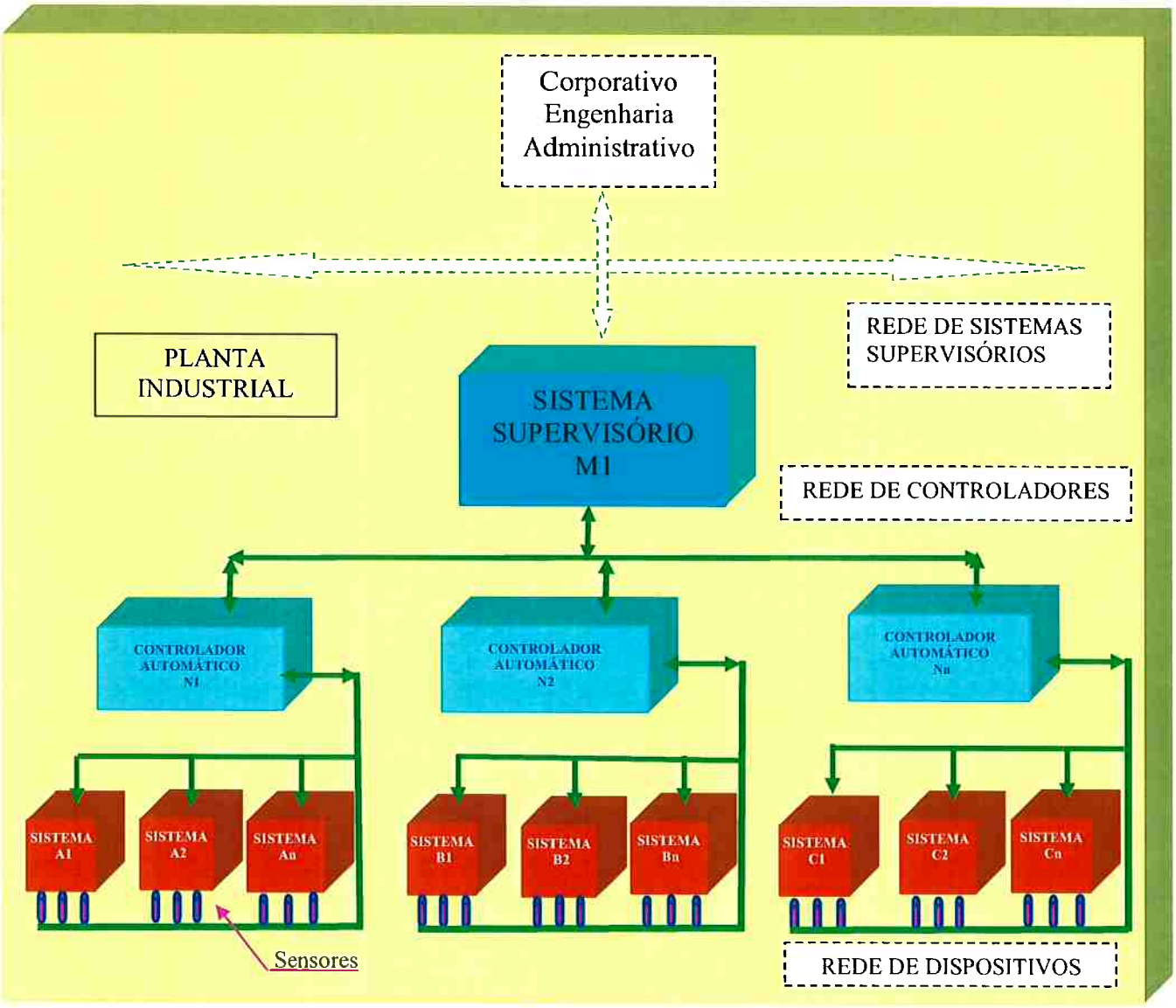


Figura 18 - Exemplo genérico de planta industrial com diversos sistemas automatizados operando de forma integrada.

Existem diversas maneiras de classificar os níveis de automação de uma determinada indústria. Um dos modelos mais adotados no ambiente acadêmico é a classificação por meio da pirâmide da automação em cinco níveis, onde cada nível é denominado: Nível 1 – Máquina, Nível 2 – Estação, Nível 3 – Célula, Nível 4 – Central, Nível 5 – Planta (Webb, 1992), (Andrade, 2001). A Figura 19 ilustra um modelo desenvolvido com cinco níveis.

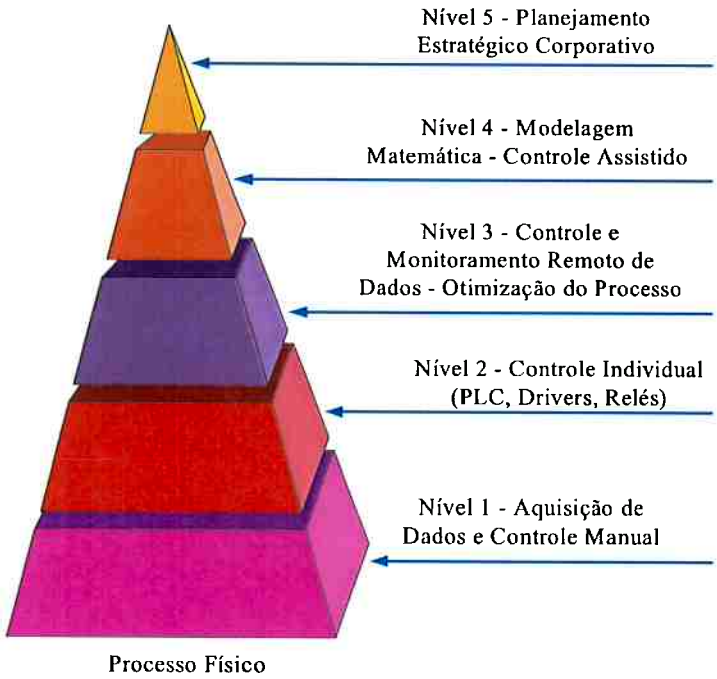


Figura 19 - Modelo da Pirâmide da Automação em cinco níveis. Fontes: Webb (1992), Andrade (2001).

A modelagem proposta estabelece cinco níveis em que:

a - nível 1 **(Máquina)** – Neste nível encontram-se os instrumentos de processo que incluem sensores e atuadores. Estes, além de fornecerem o meio de interagir com o processo que está sendo controlado, executam os processamentos iniciais e finais dos sinais trocados entre o processo e o sistema de controle. Executam, por exemplo, a correção da não-linearidade dos sensores de temperatura, pressão, nível, umidade, pH e dos medidores de vazão;

b - nível 2 (Estação) – Este nível responsabiliza-se pelo controle do processo propriamente dito, fazendo a aquisição de dados e gerando variáveis de controle através da aplicação de algoritmos. Neste nível estão os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), Inversores de freqüência, "Soft Starters" e demais "drivers" de acionamento, com integração parcial das funções;

c - nível 3 (**Célula**) – Este nível de controle, chamado de coordenação, coordena, aloca recursos, supervisiona e estabelece pontos de operação de todos os controladores do primeiro nível. Neste nível estão os sistemas supervisórios que concentram as informações sobre a planta industrial. Essa centralização de informações permite que os operadores centrais tomem decisões sobre as políticas a serem adotadas e sobre os valores dos pontos de operação dos controladores do nível inferior. Os parâmetros de operação também podem ser recebidos do nível hierárquico superior;

d - nível 4 (**Central**) – Neste nível de controle são gerados os valores dos pontos de operação e demais parâmetros necessários para que se obtenha o melhor rendimento possível das instalações. Neste nível ficam o planejamento estratégico, o controle de vendas e custos, administração geral da produção, engenharia etc. A automação neste nível emprega recursos computacionais de simulação, recursos computacionais de engenharia e recursos computacionais de controle e administração das operações como: MRPs (Material Requirement Planning), PIMS (Process Information Management Systems), MES (Manufacturing Execution System) e MRP II (Manufacturing Resource Planning II);

e - nível 5 (**Planta**) – Este nível representa o topo da hierarquia, ou seja, é o nível de corporativo responsável pela determinação da estratégia e política global da operação produtiva. Implementa as estratégias de produção, baseado na análise da disponibilidade de recursos físicos, matérias-primas, energia, recursos humanos e demanda do mercado. Além disso, gera informações que, conjugadas com informações dos outros níveis de controle, permitem a avaliação do desempenho da operação produtiva, a melhora dos modelos e algoritmos e os acertos no sistema de controle para aperfeiçoamento contínuo e melhor desempenho global. Os Sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), por exemplo, são utilizados neste nível e no nível 4 (Central).

As figuras 20 e 21 ilustram, respectivamente, a arquitetura de hardware de uma planta de automação de produção de sabonetes e uma das respectivas telas disponíveis em um sistema supervisório da mesma.

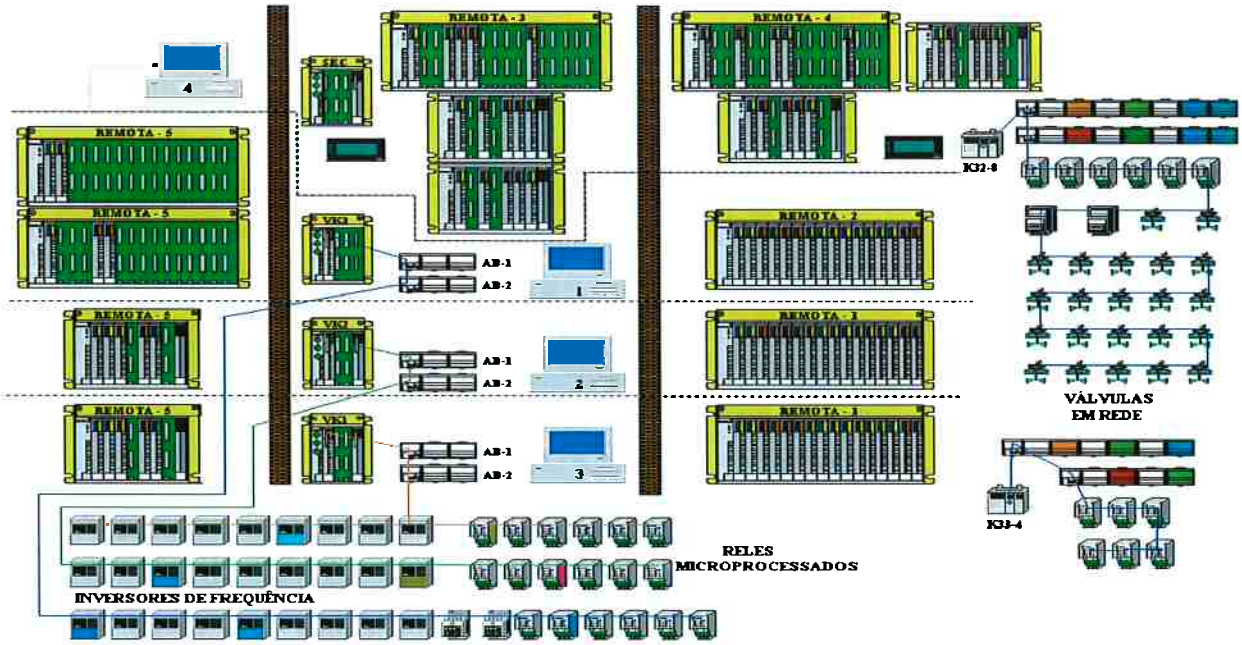


Figura 20 - Ilustrativo da arquitetura de hardware de uma planta de produção de sabonetes. Fonte: Andrade (2007).

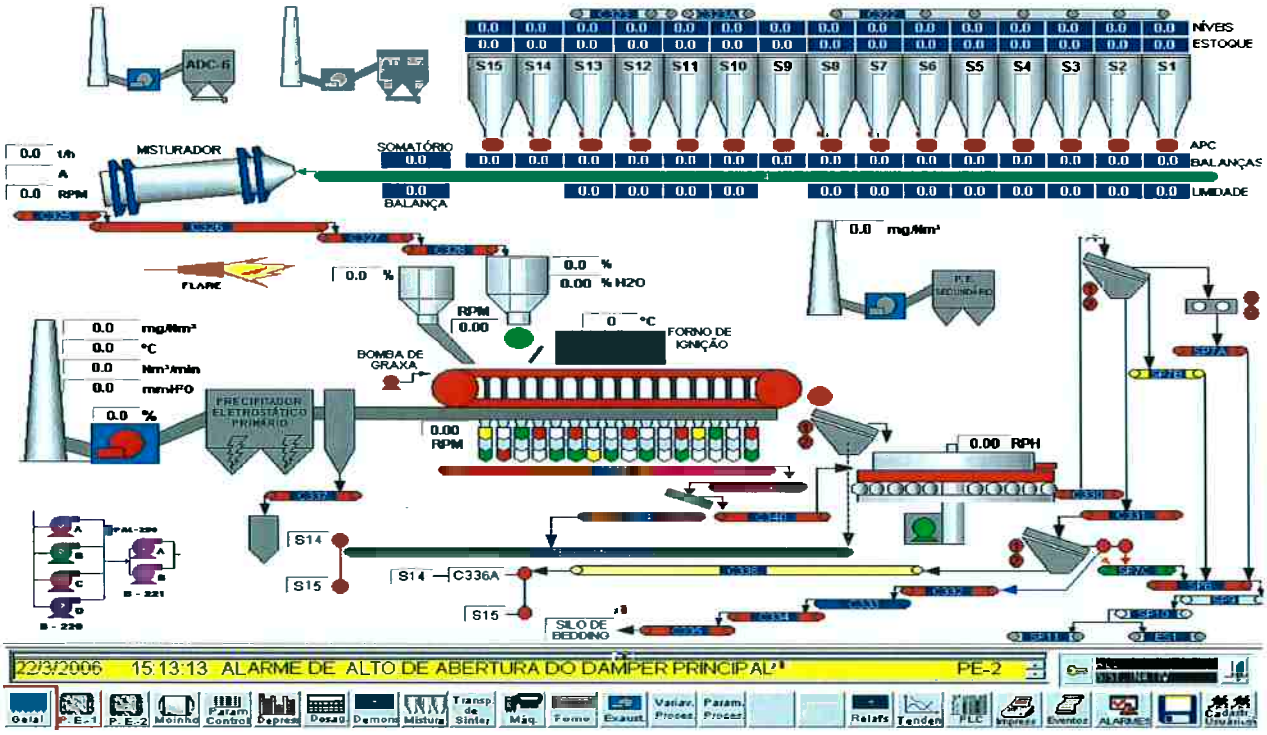


Figura 21 - Visão parcial da tela do sistema supervisório de uma planta industrial de produção de sabonetes. Fonte: Andrade (2007).

Conforme a classificação dos cinco níveis da pirâmide da automação, os Sistemas Supervisórios (S.S.) operam no nível célula, recebendo informações de dispositivos controladores como Controladores Lógicos Programáveis (CLP), inversores de freqüência etc. Os S.S. executam diversas funções vitais em um processo automatizado e também operam como Interface Homem-Máquina (IHM), com operadores humanos para que os mesmos possam analisar, diagnosticar, tomar decisões e interferir no processo. Os inversores de freqüência, os CLPs e demais controladores de processo recebem as informações das variáveis controladas por meio de sensores convencionais ou inteligentes. Independentemente do tipo de sensoriamento empregado, convencional ou inteligente, observe-se que as variáveis controladas podem ser de dois tipos: eventos ou proporcionais e contínuas no tempo.

Por exemplo: uma esteira transportadora de peças para serem empacotadas que, num determinado trecho, possui, além de diversos outros dispositivos, um par transmissor-receptor de sensores ópticos com tecnologia laser ou infra-vermelho e cujo feixe, entre o emissor e o receptor, é interrompido a cada peça que passa entre o par de sensores, é um sistema classificado como evento motor. Essa classificação é efetuada porque uma peça situada temporariamente entre os sensores é um evento que promove a alteração do estado do sistema. Daí o termo em inglês "event driven" ou, em português, evento motor (figura 15), que denota que o motor ou o causador das alterações no sistema é um evento. O evento da peça, interrompendo o feixe, promove uma alteração da tensão ou da corrente de saída do sensor receptor e uma variável binária ou boleana é associada ao evento da peça passando em frente ao par de sensores. Assim sendo, o controle automático deste sistema é efetuado por um sistema de supervisão e controle das variáveis boleanas, associadas aos diversos sensores do sistema. Este tipo de controle é também definido como controle por intertravamento.

Supondo-se que uma esteira transportadora possua um sistema de controle automático que atue sobre a velocidade dos motores da esteira por meio da realimentação do sinal de velocidade convertido em tensão e comparado com o sinal de referência, a variável controlada existe continuamente ao longo do tempo e varia proporcionalmente. Este sistema pode ser classificado como tempo motor "time driven" (figura 15), em que o tempo é o elemento transformador do estado ou das condições do sistema. Caso a esteira transportadora possua os dois tipos de

controle automático descritos, o sistema pode ser classificado como um sistema híbrido tempo motor e evento motor.

Conforme já afirmado neste trabalho, o sensoriamento pode ser convencional, também denominado Instrumentação Convencional, ou sensoriamento inteligente, também denominado Instrumentação Inteligente. Instrumentação Convencional é o termo empregado quando os instrumentos de medida utilizados são instrumentos convencionais ou instrumentos não-inteligentes. Os instrumentos de medida convencional não possuem nenhuma forma de processamento do sinal medido para compensá-lo ou mesmo conectá-lo a uma rede de sensores. Instrumentação Inteligente é o termo que designa o sistema de medida de avaliação de grandezas físicas que se utiliza normalmente de um computador digital (ou sistema com arquitetura semelhante) para todo (ou quase todo) o processamento do sinal e informação. O instrumento inteligente, após medir uma grandeza, realiza o processamento digital para refinamento do dado, ou seja, filtragem, média, linearização, calibração automática e auto-avaliação e disponibiliza a grandeza medida na forma de um dado ou informação a ser transmitida pela rede no qual ele está conectado.

Uma outra característica importante da instrumentação inteligente diz respeito ao padrão normalizado de rede de automação empregado pela mesma. Conforme ilustrado na figura 16, praticamente a totalidade dos projetos de automação industrial efetuados atualmente empregam redes de automação padronizadas (sistemas abertos) para que equipamentos de fornecedores distintos possam ser empregados.

2.6 Gestão de projetos de automação

Assim como o desenvolvimento científico e tecnológico da automação teve uma forte aceleração a partir da década de 80, o mercado nacional e internacional também acelerou o crescimento em termos de volume e faturamento. Diversos fatores contribuíram para tal fato.

Um dos vetores incentivadores para a expansão da atividade da automação nas empresas foi o acirramento da concorrência entre as mesmas, provocado, em parte, pelo início da globalização da economia e pelo fim do período da Guerra Fria. Novos blocos econômicos surgiram e diversas empresas iniciaram processos dramáticos

como fusões, incorporações, parcerias, transferência dos centros produtivos, transferência do controle acionário etc. Assim sendo, as pressões da sobrevivência econômica presentes nas disputas ocorridas em um mercado cada vez mais competitivo fizeram com que as empresas reestruturassem seus processos de gestão e, principalmente, modernizassem seus processos produtivos. A automação é uma das ferramentas-chave para a modernização dos processos gestores e principalmente, para a modernização dos processos produtivos. A automação possibilita uma série de ganhos de produção e também de produtividade, além de permitir:

a - redução dos custos de produção;

b - rápida resposta às necessidades ou distúrbios da produção;

c - redução no volume, tamanho e custo dos equipamentos;

d - restabelecimento mais rápido do sistema produtivo;

e - repetibilidade e maior qualidade na produção;

f - melhoria da garantia da qualidade;

g - possibilidade de introdução de sistemas produtivos interligados;

h -maior volume de informação gerada pelo processo produtivo, possibilitando sua gestão global;

i - possibilidade da redução da produção de lixo e sucata;

j - melhor aproveitamento das variáveis físicas, estratégicas e de sustentabilidade.

Paralelamente aos pontos positivos mencionados, a automação implica em elevados investimentos iniciais e impactos sociais devido à substituição humana na execução dos processos e, também, na geração da necessidade de uma mão-de-obra mais qualificada. A indústria moderna possui sistemas cada vez mais complexos, aumentando, com isso, a abrangência de todo o processo de automação e, conseqüentemente, os reflexos oriundos da substituição dos processos manuais por processos automatizados.

As principais empresas produtoras de dispositivos e de equipamentos de automação desenvolvem e produzem equipamentos cada vez mais confiáveis, robustos, flexíveis e capazes de executar uma grande variedade de funções de programação. Portanto, é certo afirmar que hoje existem diversas e excelentes opções disponíveis no mercado de produtores e de prestadores de serviços de automação e que as

possibilidades da automação de processos são crescentes. Constata-se, também, que há uma tendência cada vez maior de os clientes desejarem comprar soluções globais para os seus processos e não somente a automação de um determinado processo ou subprocesso. Assim sendo, o diferencial competitivo entre as empresas de automação está se fundamentando na eficiência dos seus respectivos sistemas de gestão dos processos de automação.

A composição dos custos de um processo de automação pode ser dividida em dois macro grupos: custos relativos ao hardware e custos relativos à engenharia e administração.

Os custos relativos ao hardware são compostos por todos os custos que envolvem a compra, transporte, instalação etc. dos dispositivos e dos equipamentos que compõem, de forma direta ou mesmo indireta, o sistema ou o processo automatizado.

Os custos relativos à engenharia e administração são compostos por todos os custos que envolvem definição, especificação e projeto do sistema, compra de softwares e licenças, programação dos equipamentos, testes, gestão administrativa e financeira do projeto, integração, testes de laboratório, testes de campo, treinamento do usuário, operação assistida etc. Constata-se que o componente de custos de engenharia e administração de um projeto de automação cada vez mais assume uma maior significância percentual no custo total do mesmo projeto, podendo chegar, em alguns casos, até a 80% do valor total dos custos. Este é mais um motivo para que a gestão de projetos seja eficiente, efetiva e eficaz para o alcance do sucesso total de um projeto de automação. Como a gestão eficiente de um projeto de automação pode ser fator crucial na definição de resultados entre o sucesso e o fracasso, a busca pela excelência na Gestão de Projetos de Automação tornou-se vital para o sucesso do desenvolvimento e da implantação da automação. Para que a excelência na Gestão de Projetos de Automação seja atingida, devem ser empregadas as melhores técnicas e ferramentas de engenharia e de administração nos processos de automação.

Deve-se ressaltar que os projetos de automação de processos envolvem tanto a especificação, a aquisição, a instalação e a integração dos dispositivos e dos equipamentos hardware como também a especificação, definição, integração e programação software de, por exemplo: controladores programáveis, inversores de freqüência, painéis de interface homem/máquina, sistemas supervisórios, redes de

automação etc. Entretanto, em um projeto de automação, ambos são fortemente interdependentes. Assim sendo, muitos dos princípios fundamentais da engenharia de software, assim como procedimentos de engenharia de processos, se aplicados convenientemente, melhorarão, significativamente, a gestão de projetos de automação de processos.

A figura 22 ilustra a curva clássica, também chamada de "curva da banheira", do índice de falhas de um equipamento ao longo do tempo (Pressman, 2006). O índice alto da taxa de falhas no início da vida de um equipamento ocorre devido à existência de defeitos de projeto ou mesmo a problemas não detectados na fabricação do mesmo. Um equipamento de um sistema automatizado também está sujeito a uma série de ações agressivas do ambiente como poeira, vibração, variações de temperatura, umidade, operações indevidas etc. que, eventualmente, podem comprometer o seu correto funcionamento. Em outras palavras, os equipamentos e dispositivos desgastam-se ao longo do tempo. Assim sendo, é fundamental que a estratégia de manutenção seja a mais eficiente possível; porém a mesma não garante a minimização da ocorrência de defeitos no início das operações.

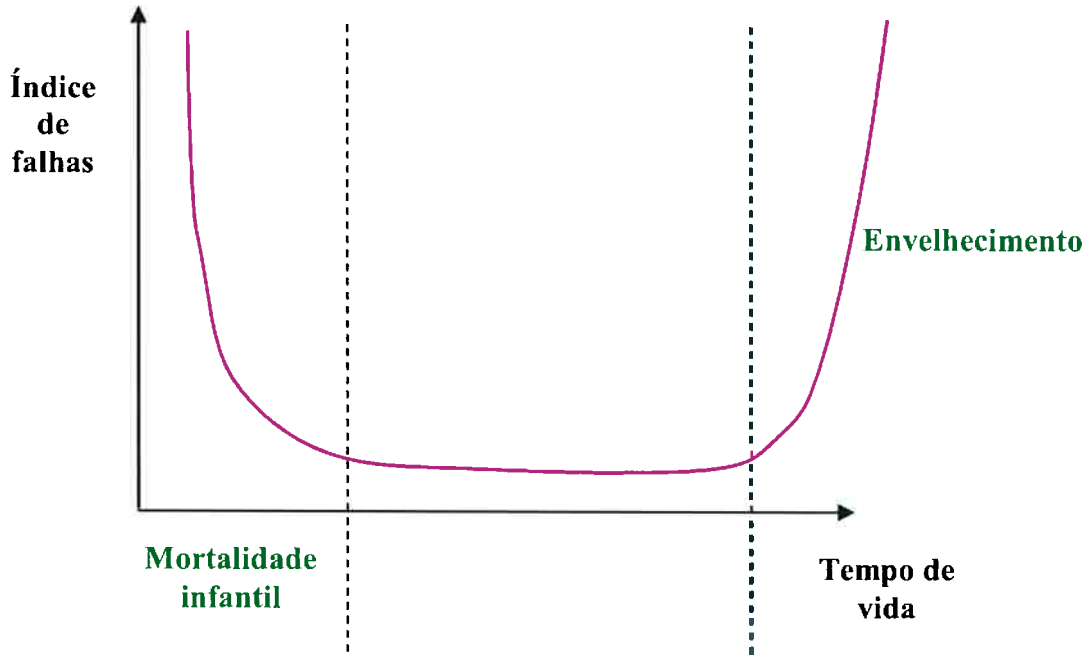


Figura 22 - Curva clássica do índice de falhas de um equipamento ao longo do tempo de vida.

Para eliminar os problemas de falhas, dentro do período denominado mortalidade infantil, os principais fabricantes de equipamentos e de dispositivos destinados à automação de processos submetem os mesmos, assim que são produzidos, a um processo de envelhecimento acelerado durante os testes de controle de qualidade. Desta forma, os equipamentos são entregues aos clientes já dentro de uma faixa de operação com uma maior probabilidade de performance sem falhas. Entretanto, convém lembrar que a "curva da banheira" também se aplica a um sistema composto de diversos equipamentos. Assim sendo, quando diversos equipamentos de fabricantes distintos são montados e interligados para formar um sistema de automação, embora os mesmos tenham sido envelhecidos individualmente, a operação conjunta do sistema está sujeita, no início da operação, a uma maior probabilidade de falhas; isto ocorre porque o sistema, como um todo, ainda estará, considerando a "curva da banheira", dentro do período classificado como mortalidade infantil. Torna-se, portanto, vital, que a gestão do projeto de automação, no início de operação, tenha procedimentos programados para minimizar os impactos iniciais das eventuais falhas sistêmicas. Este é mais um dos motivos para que a etapa denominada "start-up" assistido, ou início assistido das operações, seja corretamente especificada e contratada durante a negociação inicial da contratação do projeto de automação. Já os programas dos sistemas computacionais desenvolvidos para o projeto apresentam, por sua vez, características distintas em relação à taxa de falhas dos equipamentos e dispositivos hardware. Hipoteticamente, um programa apresenta uma curva de índice de falhas que é inicialmente alta no seu início de vida e depois permanece constante e baixa. A figura 23 apresenta o modelo de curva idealizada do índice de falhas ao longo do tempo de um programa.

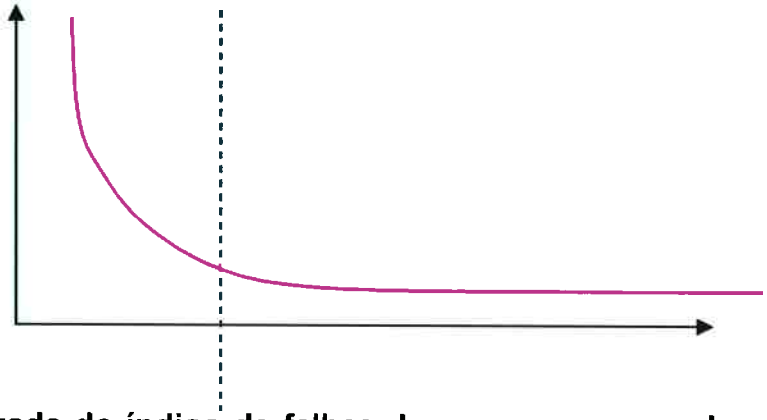


Figura 23 - Curva idealizada do índice de falhas de um programa ao longo do tempo de vida.

Entretanto, conforme exposto em Pressman (2006), todo programa está sujeito a alterações. Os programas e sistemas desenvolvidos para a automação de processos requerem alterações no início das operações e também, periodicamente, requerem novas versões, uma vez que, além de as necessidades dos clientes evoluírem, dificilmente pode-se prever, com 100% de acerto, a totalidade das reais necessidades dos clientes nos estágios iniciais da contratação de um projeto de automação. Assim sendo, é praticamente certeza que todo programa, mesmo que bem projetado e implementado, demandará pequenos ajustes no seu início de operação e também novas versões ao longo do tempo de vida do sistema de automação. A figura 24 ilustra a curva real do índice de falhas dos programas de um sistema de automação genérico (Pressman 2006).

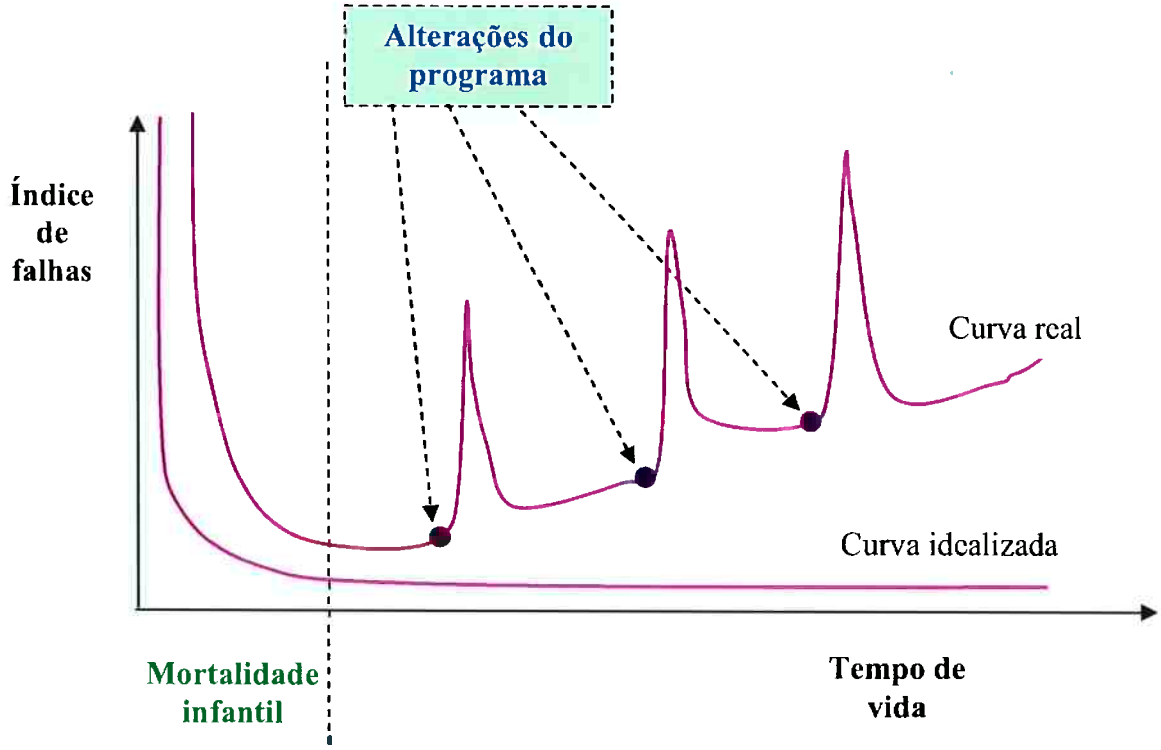


Figura 24 - Curva real e curva idealizada do índice de falhas de um programa ao longo do tempo de vida.

O alto índice de falhas no início das operações dos programas deve-se aos problemas inerentes à especificação, ao desenvolvimento e à programação. Uma vez que os mesmos sejam solucionados, o índice de falhas decai. Entretanto, a cada

nova alteração, a probabilidade da inserção de algum defeito ou mesmo operação indevida aumenta. Uma vez corrigida a eventual inserção de um defeito no programa, o índice de falhas é novamente reduzido. Observa-se, entretanto, que devido a alterações ocorridas normalmente, o programa pode tornar-se mais sujeito a falhas. Os principais autores da ciência da engenharia de software são unânimes em afirmar que um programa não se desgasta como um equipamento, porém o mesmo se deteriora. Como processos automatizados, além de empregarem diversos equipamentos e dispositivos interligados, envolvem cada vez mais programas e sistemas de softwares complexos e interativos, a premissa da engenharia de software - de que programas se deterioram - também é válida para os processos automatizados.

Assim sendo, os mesmos problemas encontrados no desenvolvimento de programas também estão presentes no desenvolvimento de processos automatizados. Segundo Pressman (2006), existem três categorias de mitos relativos ao software: mitos administrativos, mitos profissionais e mitos dos clientes. A tabela 4 apresenta alguns exemplos dos três tipos relativos ao software.

Tabela 4 - Exemplos de mitos administrativos, profissionais e de clientes.

TIPOS DE MITOS	EXEMPLOS
Mitos administrativos	O pessoal de desenvolvimento necessita apenas de um bom manual de procedimentos e de ferramentas de software e de hardware para efetuar um excelente trabalho.
	Caso a equipe esteja atrasada, basta apenas aumentar o número de membros na equipe.
Mitos profissionais	Escrito o programa e colocado em funcionamento, o trabalho estará concluído.
	A qualidade do programa somente poderá ser avaliada quando o mesmo estiver operando.
	Basta entregar o programa operando ao cliente que o mesmo estará satisfeito.
Mitos do cliente	Basta ser apresentada uma declaração abrangente e geral dos objetivos para que seja dado o início do desenvolvimento do sistema. As demais informações serão apresentadas no decorrer do desenvolvimento.
	Os requisitos de projeto podem ser alterados continuamente porque são, facilmente, implementados.

Evidentemente que, por melhor que seja efetuada a especificação de um programa genérico ou mesmo de automação, o mesmo sempre demandará alguma pequena alteração durante a etapa da entrega e também ao longo da sua vida útil. A figura 25 apresenta um gráfico aproximado do custo de alteração em programas genéricos nas suas respectivas fases de desenvolvimento: definição, desenvolvimento e entrega. Observe-se que o custo de alteração cresce significativamente à medida que a fase de um projeto de software avança. Este mesmo raciocínio pode ser aplicado para programas de automação.

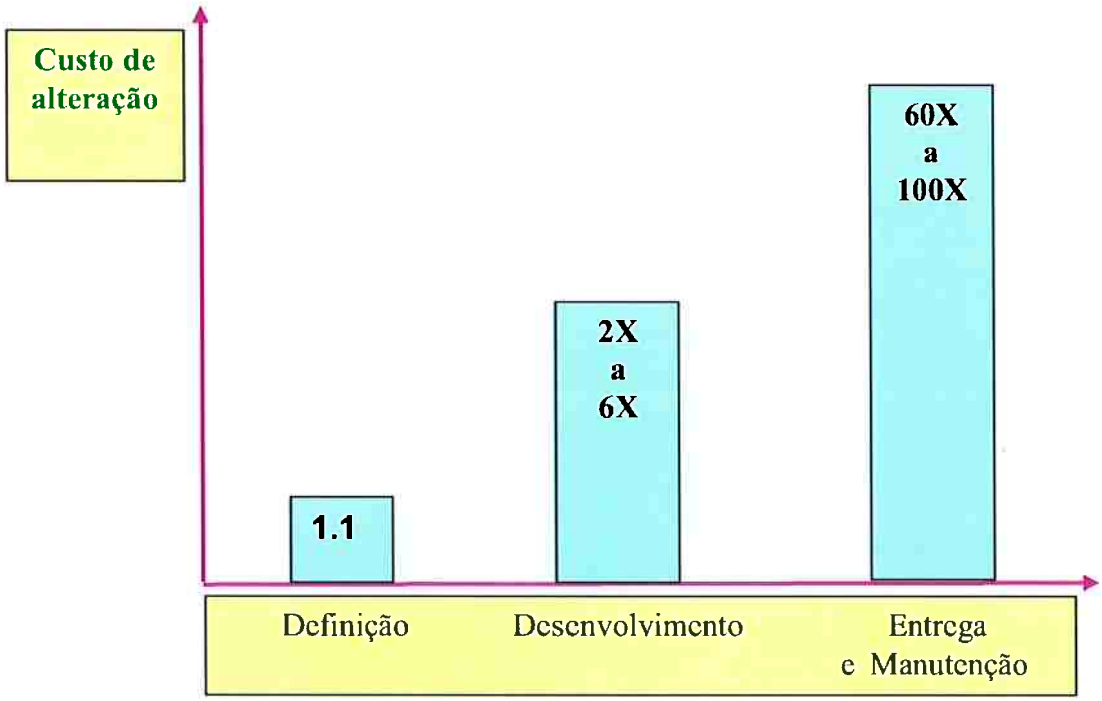


Figura 25 - Gráfico aproximado da relação dos custos de alteração em programas em três fases distintas do projeto.

Conforme afirmado neste trabalho, os projetos de automação de processos envolvem hardware e software. Tanto a engenharia de produtos, como de equipamentos e de software têm evoluído significativamente nas últimas décadas. Como conseqüência, aumentaram as possibilidades da engenharia de automação de atender as mais variadas necessidades dos clientes e, também, a gama de tipos de processos que podem ser automatizados. O volume financeiro em negócios de automação tem crescido constantemente nas últimas décadas. Originalmente, a engenharia da automação atuava preponderantemente nos processos industriais,

entretanto, a cada dia que passa, a atividade da automação de processos está mais presente em todos os setores da atividade econômica como: automação predial, automação comercial, automação hospitalar, automação agropecuária, automação do setor de energia elétrica, automação da segurança pública e privada, automação do transporte, automação das telecomunicações, automação hoteleira, automação de serviços em geral etc.

Entretanto, à medida que aumentaram as possibilidades de atuação da engenharia de automação, também aumentaram os fatores que podem comprometer o bom andamento dos processos de automação e a geração de conflitos entre clientes e empresas fornecedoras de engenharia de automação. Alguns desses fatores são:

a - muitas vezes o cliente desconhece as suas reais necessidades;

b – eventualmente o cliente é completa ou parcialmente leigo sobre o que é automação;

c – os prazos, geralmente, são comprimidos e, atualmente, não existe a possibilidade de se trabalhar com grandes margens de lucro, o que diminui a margem de erro na especificação e contratação de projetos de automação;

d – podem ocorrer inconsistências e equívocos na documentação apresentada pelo cliente;

e – normalmente, há uma certa resistência de alguns setores ou de profissionais da empresa detentora do processo a ser automatizado;

f – são rotineiras as alterações nas especificações promovidas pelo cliente;

g – algumas alterações nas especificações implicam, além de alterações nos programas, em alterações e ampliações no hardware;

h – podem ocorrer equívocos na elaboração do cronograma de execução ou no cronograma financeiro.

Em projetos de automação geralmente são necessárias diversas equipes para o desenvolvimento total. Alguns projetos de automação duram anos. Cada empresa de automação, assim como cada cliente possui a sua própria cultura de gestão de negócios, de desenvolvimento e de gestão de projetos. Porém, é fundamental que os canais de comunicação entre ambas sejam os mais transparentes e rápidos possíveis para otimizar esforços e minimizar conflitos. Não existe um modelo único e universal para a gestão de projetos de automação, uma vez que a variedade e

complexidade de um projeto para outro pode variar significativamente. Porém, algumas metodologias básicas e cuidados especiais podem contribuir, de forma importante, para o sucesso do projeto. Assim sendo, independentemente da cultura de cada empresa, a eficiência da gestão da automação do processo em todas as fases do ciclo de vida de um processo automatizado é vital para que os principais benefícios da automação sejam atingidos.

As figuras 26 e 27 ilustram, respectivamente, dois modelos de gestão de processos de automação, divididos em quatro macro etapas.

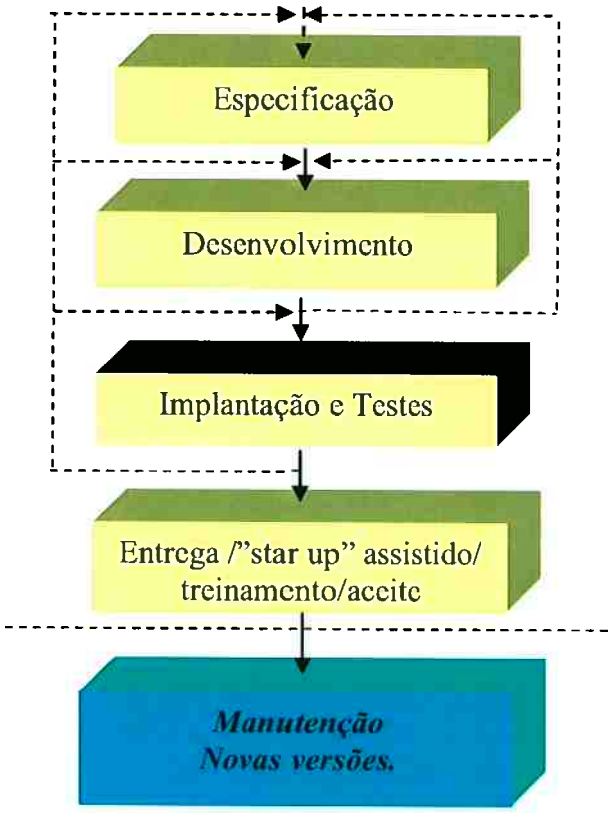


Figura 26 - Modelo simplificado de quatro etapas de gestão de projetos de automação.

O modelo simplificado ilustrado na figura 26 divide um projeto de automação em quatro macro etapas: especificação, desenvolvimento, implantação e entrega. Cada uma destas macro etapas é, na realidade, composta de diversas subetapas que incluem as diversas atividades que compõem um projeto de automação. A figura 27 ilustra um modelo expandido de gestão de processos de automação, dividido, também, em quatro macro etapas.

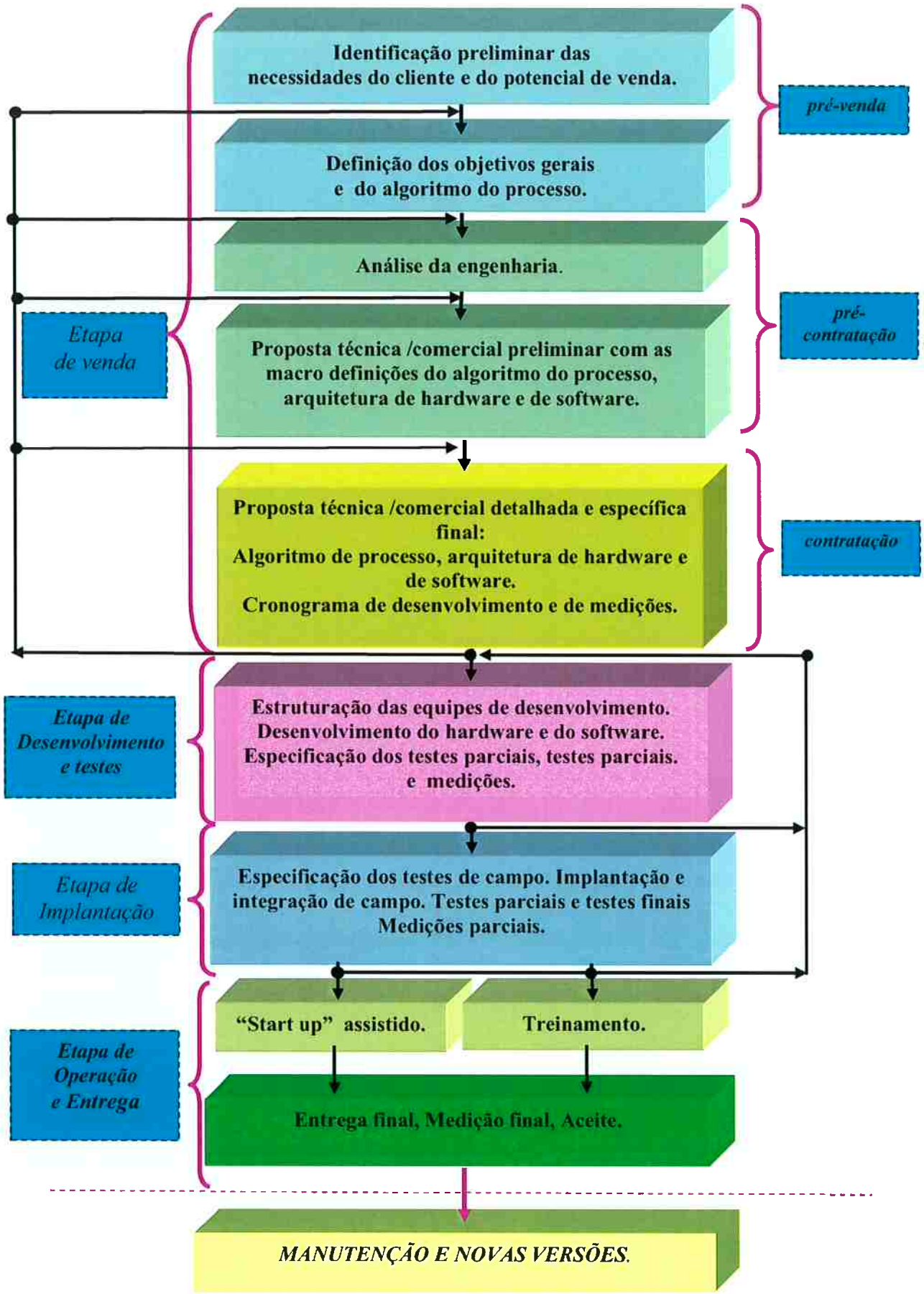


Figura 27 - Modelo expandido de quatro etapas de gestão de projetos de automação.

Em ambos os modelos apresentados, figuras 26 e 27, as linhas tracejadas indicam eventuais retornos a etapas ou subetapas anteriores para efetuar correções ou alterações, conforme esteja em andamento o processo de automação. Embora não esteja explicitado nos dois modelos, é fundamental que o cliente e o fornecedor da engenharia de automação efetuem, de forma sistemática e metodológica, reuniões técnicas, documentando-as e protocolando-as. Os tipos e formatos de documentos podem variar conforme a cultura de cada empresa, entretanto os mais usuais são: documentos de engenharia interna, documentos de engenharia do cliente, manuais de operação e de manutenção do cliente, cursos de treinamento, cronograma financeiro, cronograma de desenvolvimento, atas de reunião etc. Todos os documentos relativos ao cliente devem ter o aceite do mesmo, bem como todas as medições parciais e finais, que devem ser especificadas. Outra recomendação importante é que, no contrato, a nomenclatura empregada seja acompanhada da definição específica consagrada pela literatura ou definida pelas partes negociantes. Devido ao crescente aumento da complexidade dos processos automatizados, torna-se fundamental que a macro etapa de entrega seja corretamente especificada e dimensionada durante a macro etapa de contratação. A macro etapa da entrega, geralmente, demandará que o cliente necessite de treinamento para operar o sistema automatizado, e, certamente, demandará que o fornecedor da engenharia de automação dedique tempo e esforço para ajustar e certificar-se que o processo automatizado operará conforme o previsto. Muitas vezes a subetapa do "start up" assistido pode estender-se durante meses. Evidentemente que, quando todo o processo de automação é efetuado de forma eficiente e ordenada, os ajustes durante a entrega não serão de grande magnitude. Tanto o modelo proposto na figura 26 como o modelo proposto na figura 27 apresentam, após a entrega do trabalho, a macro etapa *manutenção e novas versões*. Esta macro etapa, quando bem gerida, representa uma maior segurança para o cliente e também para a empresa prestadora da engenharia de automação e fomenta, entre ambos, o desenvolvimento de uma parceria de longa duração incentivando novos negócios em automação de processos. As figuras (28, 29, 30, 31 e 32) apresentam um fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação, expandindo cada uma das etapas ilustradas na figura 27.

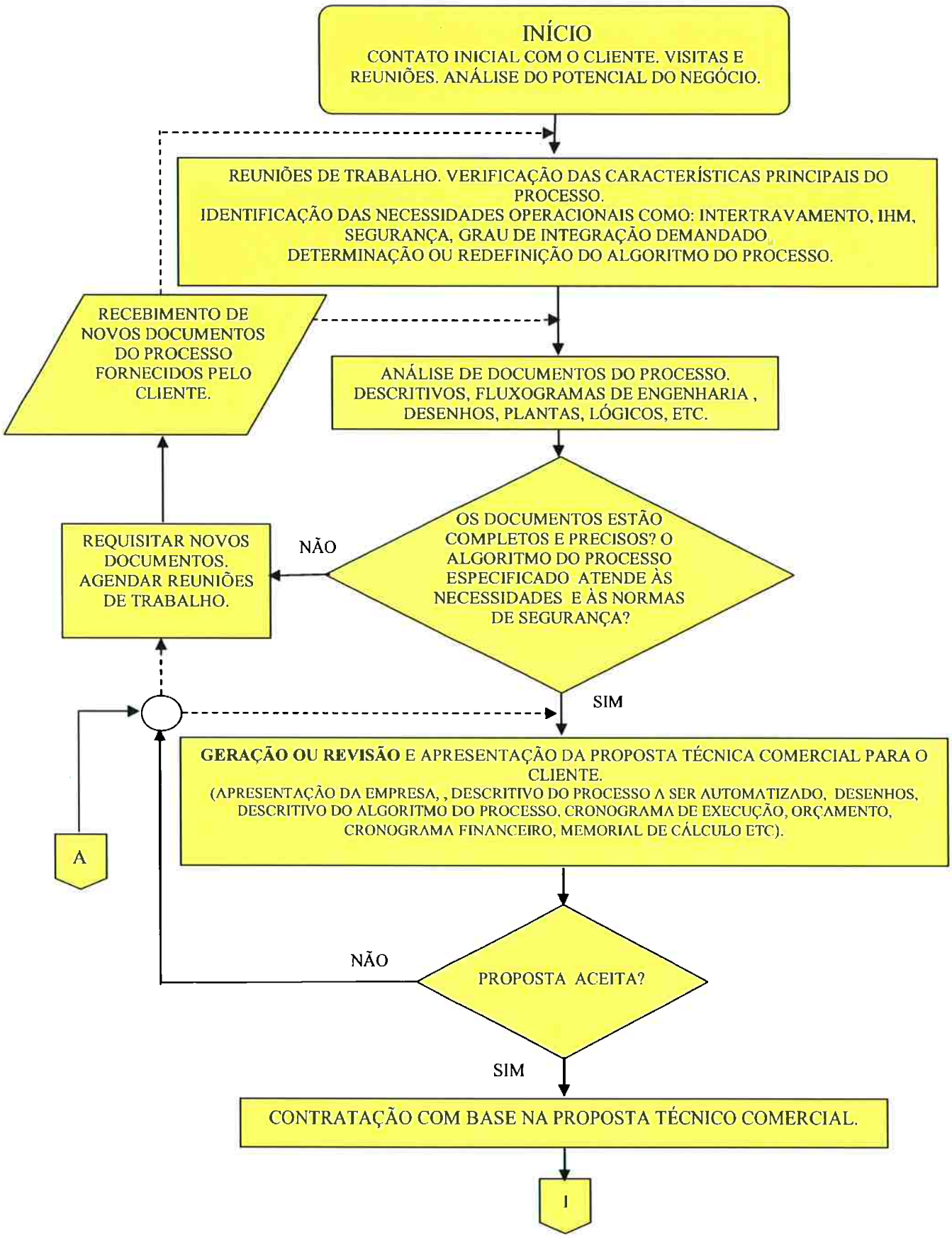


Figura 28 - Parte (a) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação.

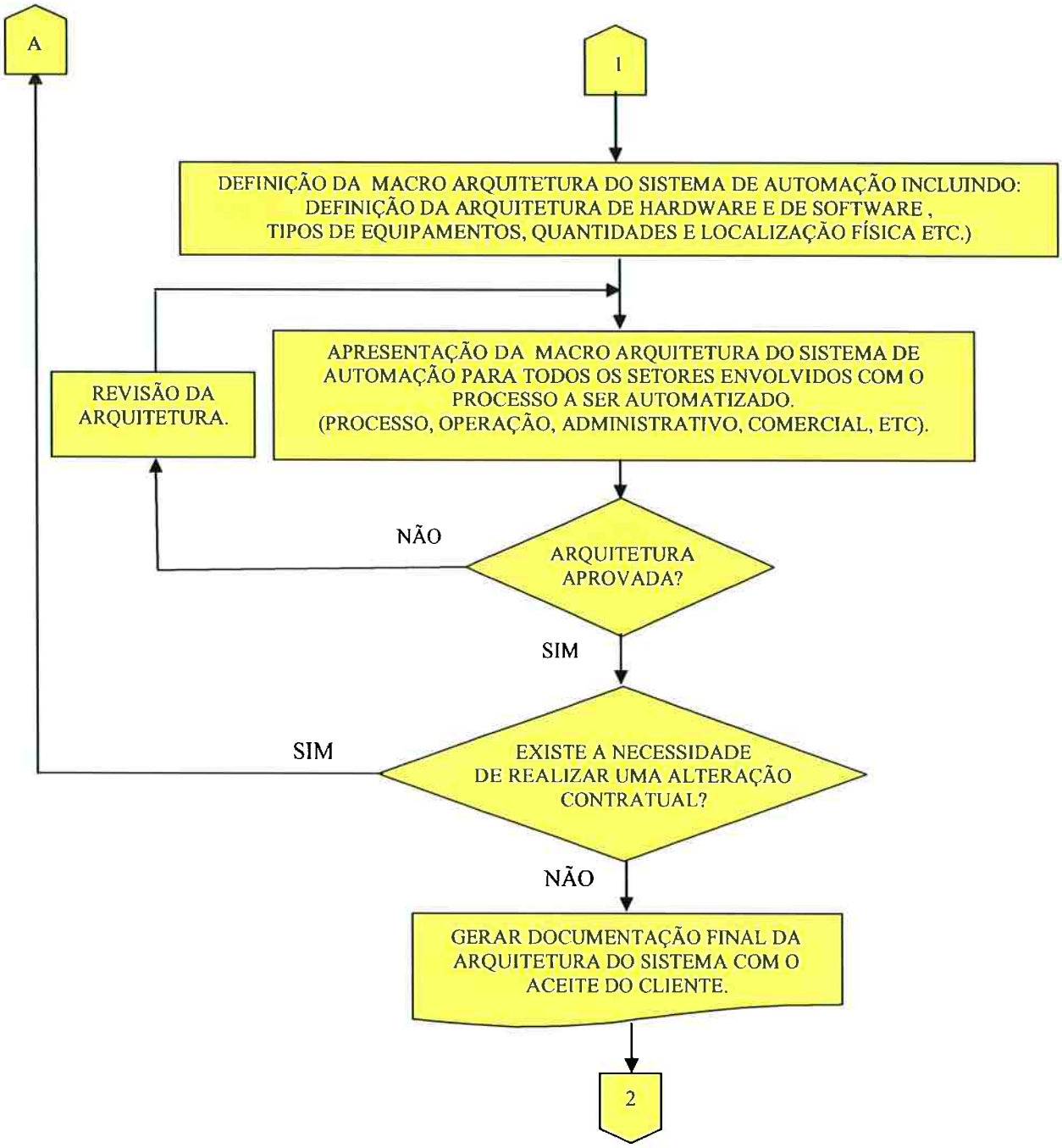


Figura 29 - Parte (b) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação.

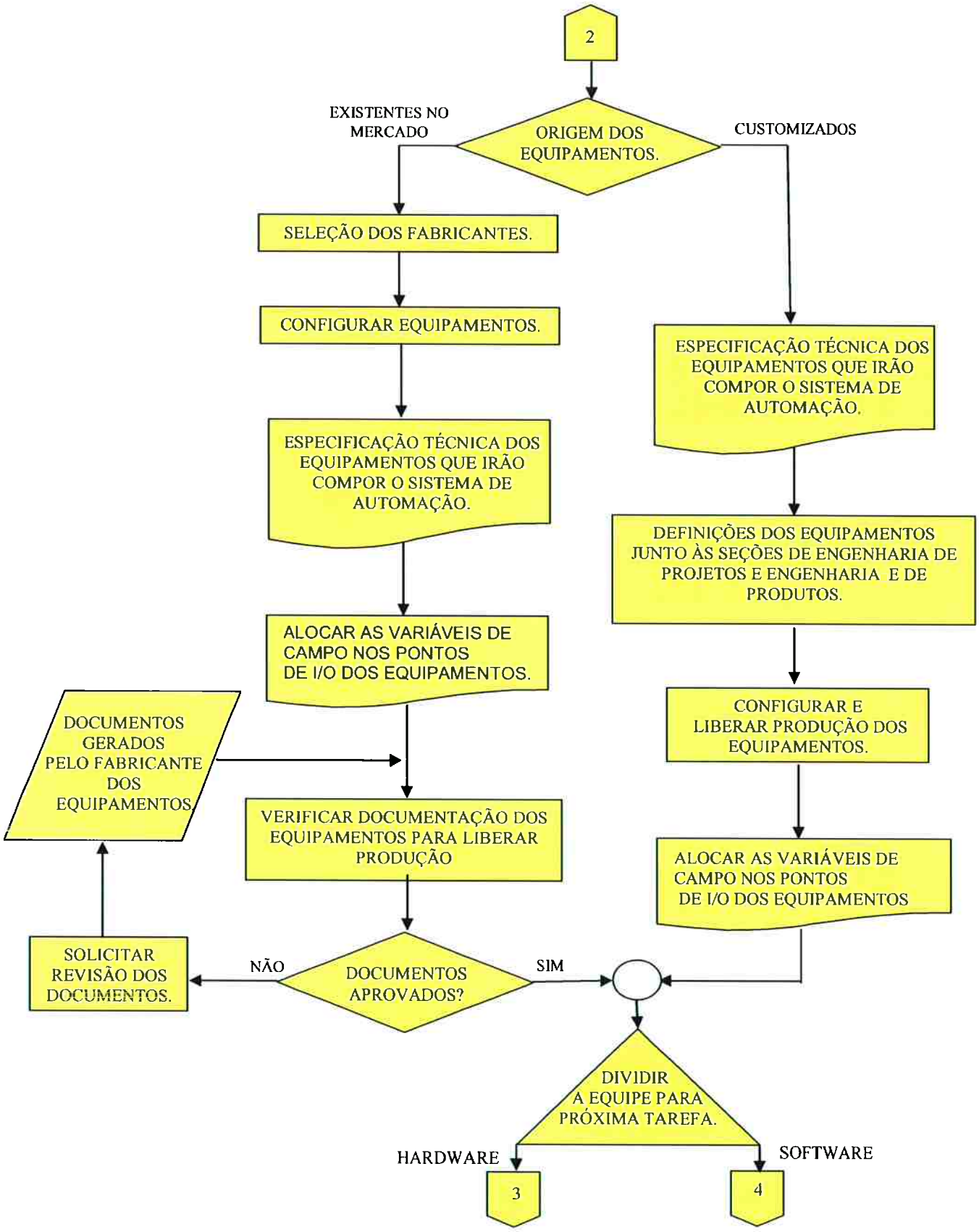


Figura 30 - Parte (c) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação.

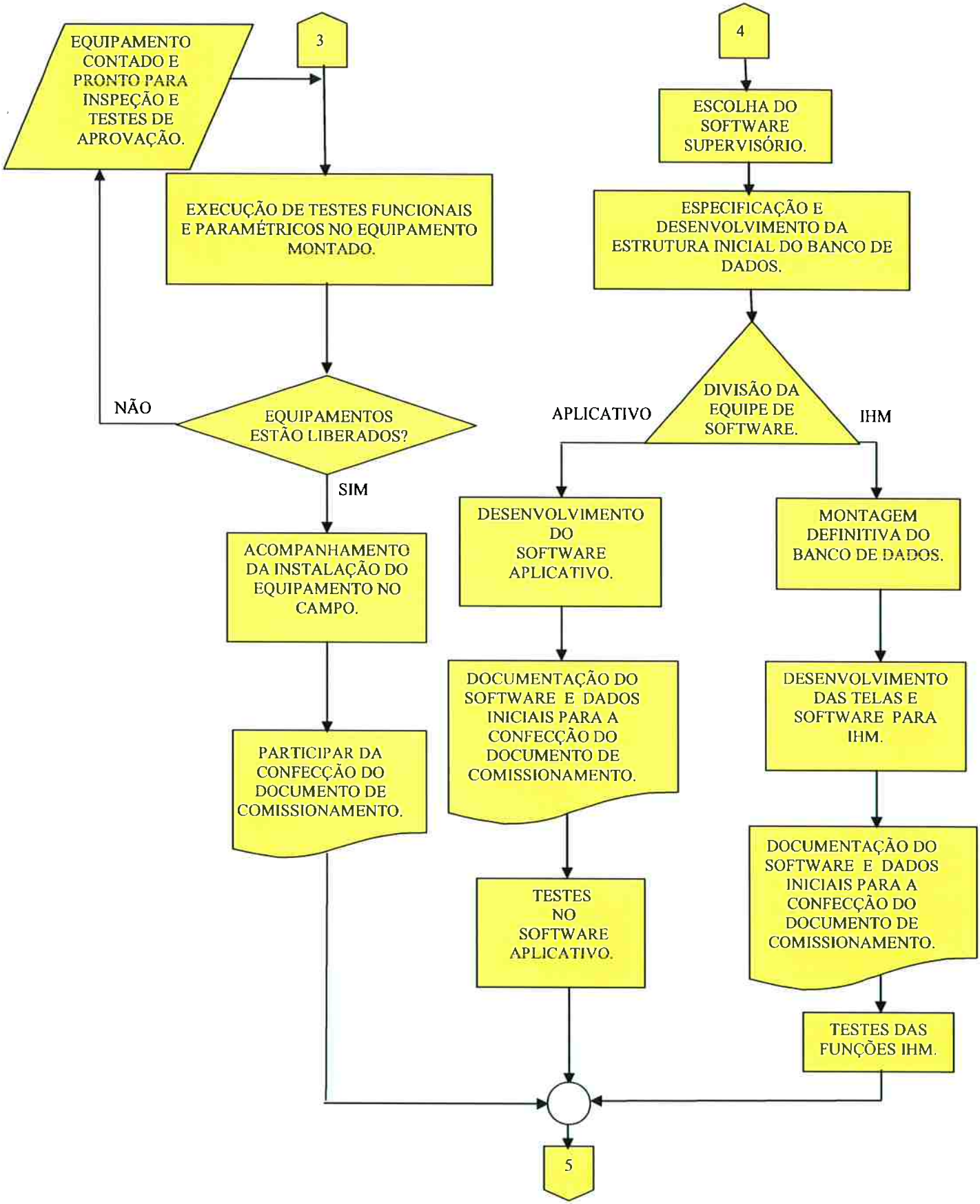


Figura 31 - Parte (d) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação.

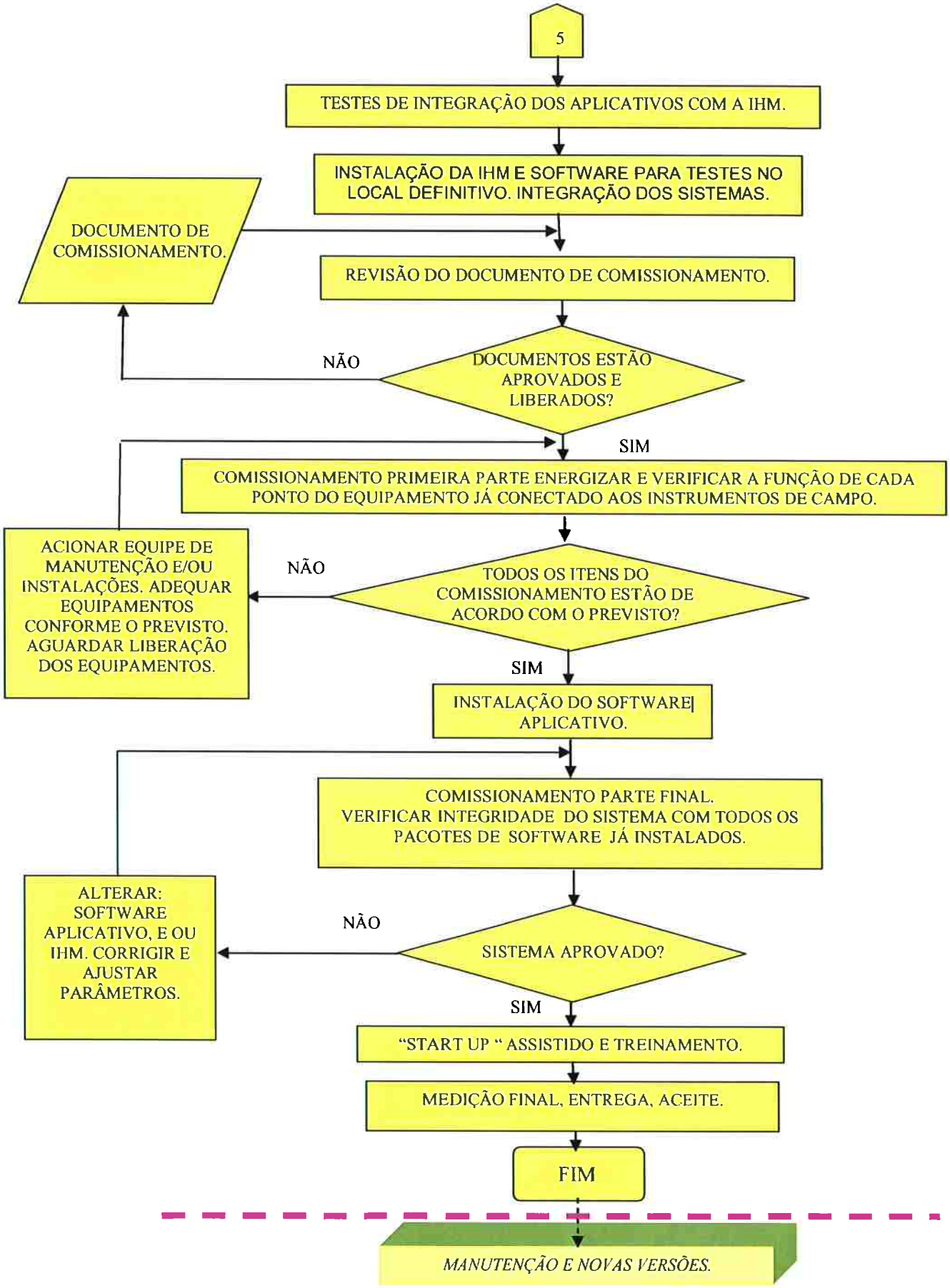


Figura 32 - Parte (e) do fluxograma genérico do processo de gestão de um projeto de automação.

2.7 Competitividade e novos desafios para as empresas de engenharia de automação

A expansão da atividade econômica e as pressões sociais e ambientais têm crescido significativamente nas últimas décadas. O desenvolvimento científico e tecnológico tem proporcionado a produção de produtos e equipamentos de automação mais flexíveis e poderosos em relação à capacidade de programação e operação.

Assim sendo, a engenharia da automação de processos produtivos tem sido, a cada dia que passa, cada vez mais exigida para apresentar soluções técnicas e econômicas de automação de processos produtivos, quase sempre mais complexos.

As empresas de engenharia de automação também enfrentam, entre si mesmas, as concorrências de um mercado globalizado e, portanto, as que não buscarem o constante aprimoramento técnico e também em seus processos de gestão, dificilmente continuarão atuando. Os novos desafios na automação de processos cada vez mais complexos implicam que atividade da engenharia de automação demandará cada vez mais conhecimentos especializados e, ao mesmo tempo, também demandará conhecimentos interdisciplinares.

Portanto, torna-se vital que as empresas de engenharia de automação invistam constantemente na capacitação do seu quadro técnico e na sua cultura empresarial, não somente na engenharia de software ou de hardware de automação, mas também na engenharia de processos, de gestão, de produção para continuarem sendo competitivas dentro de um mercado cada vez mais exigente.

Assim, uma das ações e que certamente pode continuar contribuindo para o aperfeiçoamento das empresas de engenharia de automação e também das universidades é a parceria entre ambas na forma de convênios ou de projetos específicos. A cultura da integração e parceria entre universidades e empresas é uma realidade presente nos países desenvolvidos e também, cada vez mais, está presente em países em desenvolvimento como o Brasil.

3 PESQUISAS E ATIVIDADES RELACIONADAS À AUTOMAÇÃO DESENVOLVIDAS NO PERÍODO DE 1995 A 2008

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma síntese das atividades de pesquisa e de orientação do autor deste trabalho para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de automação, no período de 1995 a 2008.

Em junho de 1995, o autor deste trabalho defendeu a tese de doutoramento intitulada "Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação". Desde então, tem exercido diversas atividades profissionais, incluindo a pesquisa e a orientação de doutoramentos, mestrados e trabalhos de conclusão de cursos. Dentro da macro área Automação, as pesquisas foram concentradas em cinco subáreas:

a - desenvolvimento científico e tecnológico de técnicas de Inteligência Artificial para Automação de Processos;

b - desenvolvimento metodológico e tecnológico para aplicação de técnicas de Simulação de Processos como ferramenta de auxílio de engenharia de automação de processos;

c - estudo e desenvolvimento de Sistemas Automatizados e Metodologias para a Gestão de Recursos Hídricos;

d - estudo e desenvolvimento de Sistemas Automatizados e Metodologias para a Gestão de Energia Elétrica;

e - estudo e desenvolvimento de metodologias e Ferramentas de Auxílio à Engenharia de Automação.

A tabela 5 apresenta um quadro resumido das pesquisas em orientações de doutorados, mestrados e especializações concluídas até dezembro de 2008. A tabela 6 apresenta um quadro resumido das pesquisas em orientações de trabalhos de conclusão de curso até dezembro de 2008.

Tabela 5 – Pesquisas em orientações de Doutorados, Mestrados e Especializações em Automação até dezembro de 2008.

PESQUISAS EM ORIENTAÇÕES DE DOUTORADOS, MESTRADOS E ESPECIALIZAÇÕES EM AUTOMAÇÃO.			
SUB-ÁREA	**TÍTULO**	**TÍTULO**	**AUTOR/ANO**
Inteligência Artificial para Automação de Processos	**Doutorado**	Desenvolvimento De Sistema Especialista Com Operacionalidade de Aprendizado Para Operar em Tempo Real Com Sistemas Industriais Automatizados.	Alexandre Acácio de Andrade (EPUSP-2007)
	Doutorado	Metodologia de Diagnóstico Automático de Falhas de Curto-Circuito em Alimentadores Primários de Sistemas de Distribuição Reticulados tipo *Spot*.	Douglas Alexandre de Andrade Garcia (EPUSP-2006)
	Mestrado	Emprego de Sistemas Especialistas Em Sistemas Supervisórios de Automação Industrial.	Alexandre Acácio de Andrade (EPUSP-2001)
Simulação de Processos	**Mestrado**	Desenvolvimento de Ferramenta de Engenharia Para Aplicação de Simulação em Tempo Real em Plantas Industriais Automatizadas "FASTR".	Claudia Tomie Yukishima (EPUSP-2006)
	Mestrado	Simulação de Processos Empregada como Ferramenta de Utilização da Automação Industrial.	Antonio Orlando Ugulino (EPUSP-1999)
Sistemas Automatizados e Metodologias para a Gestão de Energia Elétrica	**Mestrado**	Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Avaliação Da Confiabilidade de Sistemas de Automação de Usinas Hidroelétricas.	Alexandre Nogueira Machado (EPUSP-2005)
	Mestrado	Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração.	Ricardo Segi Abe (EPUSP-2003)
	Mestrado	Sistemas de Automação Destinados à Gestão Da Energia Elétrica de Consumidores De Classe A.	Osmir Adão (EPUSP-2003)
	Mestrado	Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado A Estudos Sobre Medições de Energia Elétrica.	Douglas Alexandre de Andrade Garcia (EPUSP-2000)
Sistemas Automatizados e Metodologias para a Gestão de Recursos Hídricos	**Mestrado**	Proposta de um Sistema de Gestão Empregando Instrumentação Inteligente e Redes de Campo na Automação do Processo de Tratamento de Água.	Marcelo de Souza (EPUSP-2006)
	MBA Automação	Tópicos sobre Aplicação de Automação para Otimização de Recursos Hídricos de Sistemas de Abastecimento D´ Água.	Ferdinando Pipoli Rossano (PECE-2006)
Metodologias e Ferramentas de Auxílio à Engenharia de Automação	**Mestrado**	Metodologia para Aferição da Ação de Controle Proporcional Integral Derivativa em Controladores Industriais.	Alexandro Barbosa Shirahge (EPUSP-2007)
	Mestrado	Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia Para Auxílio de Engenharia Em Automação Residencial "MAEAR".	Robmilson Simões Gudim (EPUSP-2007)
	Mestrado	Desenvolvimento De Metodologia de Aplicação De Redes De Petri Para Automação De Sistemas industriais Com Controladores Lógicos Programáveis (CLP).	Fabio da Costa Souza (EUSP-2006)

Tabela 6 – Pesquisas em orientações de Trabalhos de Conclusão de Curso em Automação até dezembro de 2008.

PESQUISAS EM ORIENTAÇÕES DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSOS EM AUTOMAÇÃO.		
SUB-ÁREA	**TÍTULO**	**AUTOR/ANO**
Inteligência Artificial para Automação de Processos	Desenvolvimento de um AGV (Veiculo Automaticamente Guiado) Controlado por Rádio Freqüência por meio de um Controlador Lógico Programável.	Ronaldo Reicher (FAAP-2005).
	Sistema de Controle de Tráfego Inteligente.	Rogério Rossetti Paiva (FESP-2005).
	Modelo para Controle de Qualidade Industrial Baseado em Sistemas de Visão.	Marco Antonio Yucra Sempertegui (FESP-2004).
	Tópicos Gerais de Redes Neurais.	Mariana R.C (FAAP-2002).
	Modelo para Controle de Qualidade Industrial Baseado em Sistemas de Visão. 2004.	Marco Antonio Yucra Sempertegui (FESP – 2004)
	Estudo e Aplicações de Piloto Automático em Automóveis. 2004.	Jaime Abrucezzi Junior (FESP -2004)
	Tópicos Gerais de Redes Neurais. 2002.	Mariana R.C., Vanessa C., Juliana S.D (FAAP – 2002)
Sistemas Automatizados e Metodologias para a Gestão de Recursos Hídricos e Gestão de Energia Elétrica	Sistema de Auxílio à Gestão do Consumo de Energia Elétrica Residencial. 2008.	Fernandes D, Barros D, Kishi L. Martineli M.M, Bellon R (PUC-2008)
	Controle Automáticos e Gerenciamento em Ambientes Comerciais.	Andre Garcia Machado, Renato Lima Rodrigues da Silva, Rodrigo Oliveira Pedroso de Melo (PUC-2008)
	Estudo e Análise de Sistemas de Automação para a Gestão de Recursos Hídricos.	André Granziera Mlyake (EPUSP-2007)
	Sensoriamento Inteligente e Rede de Automação em Reservatórios de Água.	Eduardo Alexandre Shimizu Rodrigo Coto Poppi (FAAP-2006).
	Sistema Automatizado de Controle de Nível de Reservatórios Integrados – SCANIRI.	Ferdinando Pipoli Rossano; Oliver Aguiar Martins (FAAP-2004).
	Aplicação da Digitalização em Sistemas de Proteção, Medição, Controle e Supervisão de Subestações. 2002.	Souza,A.J.;Bastos,L.C.;Duarte,R.L.;Pires,V.R. (FESP-2002)
Metodologias e Ferramentas de Auxílio à Engenharia de Automação	Metodologia para aferição da função PID de Controladores Programáveis.	Gabriela Escanferla (FAAP–2006)
	Confiabilidade e métodos estatísticos aplicados na análise da qualidade de produtos eletrônicos.	Cleber Garcia Montenegro (FESP-005)
	Análise da Integração e compatibilidade em equipamentos de diversos fabricantes a rede Foundation Fieldbus.	Wagner Nobres Brandão (FESP-2005)
	Automação Predial Baseada na Tecnologia LonWorks. 2004.	Rodrigo Moraes Pastre (FESP–2004)
	Transdutores Magnéticos e Controle de Velocidade Rodoferroviário.	Yaoka,A.;Araújo,S,C.;Silva,N.;Romdi,E. P.;Brochado,A.P.. (FESP–2003)
	Estudo, Desenvolvimento e aplicação de Metodologia da Função PID de Controladores Lógicos Programáveis.	Alessandro Barbosa Shirahige. (EPUSP-2003)
	Automação em Estufa Utilizando Ferramentas de Sistema de Controles. 2003.	Fujisawa,E.S.;Araújo,P.C.S.;Porto,V.S. (EPUSP–2003)
	Aplicação da Automação e Controles Integrados no Tratamento de Crianças Prematuras. 2002	Barretto,D.;Gonzalo,M.A.D.; Bovi,M.G.. (FESP–2002)
	Automação do Reator de PECVD do Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica.	André Alvarez (EPUSP–1995)
	Implantação de Sistemas Flexíveis de Manufatura.	Marcelo Eduardo R. Gesualdi. (ESPUSP–1997)
	Análise técnica e mercadológica de controle vetorial aplicado em motores de corrente alternada de baixa potência.	Neto,A.V.; Clemente,C.A.; Clayton A.C.,Frederica,L.C. (FESP–2000)
	Implementação e Informatização de um Sistema de Manutenção Hospitalar.	Rubens Martinez (FATEC–1994)

3.2 Resultados de pesquisas relativas ao desenvolvimento científico e tecnológico de técnicas de Inteligência Artificial para Automação de Processos

No período de 1995 a 2008 foram concluídas duas orientações de doutorado, uma de mestrado e cinco trabalhos finais de curso relacionados com a macro área Inteligência Artificial.

Um dos temas desenvolvidos em relação à Inteligência Artificial foi o de aplicação de Sistemas Especialistas operando em tempo real com Sistemas Supervisórios.

A primeira etapa desta linha concentrou-se em desenvolver ciência e tecnologia para permitir o emprego de sistemas especialistas operando em tempo real com sistemas supervisórios.

A segunda etapa concentrou-se em desenvolver ciência e tecnologia para permitir o emprego de sistemas especialistas com capacidade de aprendizado por meio da operação em tempo real com sistemas supervisórios.

3.2.1 Emprego de Sistemas Especialistas em Sistemas Supervisórios de Automação Industrial

Conforme descrito em Andrade (2001), os Sistemas Supervisórios situam-se no nível III da pirâmide da automação e viabilizam: integração dos diversos equipamentos e dispositivos controladores de processos, monitoração de variáveis, comandos remotos, passagem de parâmetros, valores de referência, visualização gráfica da planta industrial, monitoração de alarme etc.

Os Sistemas Supervisórios também são interfaces (IHM) homem-máquina que permitem a entrada dos parâmetros manualmente, além de gerar relatórios e representações pictóricas dos processos. Normalmente, os operadores de Sistemas Supervisórios, além de monitorarem as diversas variáveis controladas do sistema automatizado, também atualizam, conforme as circunstâncias, os valores das variáveis controladoras do processo.

Os operadores humanos tanto tomam decisões de contingência como decisões em operações normais.

Assim sendo, as corretas, rápidas e assertivas atuações e interações dos operadores humanos em processos automatizados são fundamentais para a melhoria da produção e da produtividade do sistema automatizado.

Sistemas especialistas são programas de computador cujo objetivo é elaborar soluções de determinados problemas do mesmo modo correlato que especialistas humanos o fazem. A pesquisa desenvolvida entre 1999 e 2001 mostrou a viabilidade da interligação, em tempo real, de um Sistema Especialista com um Sistema Supervisório, para auxílio ou mesmo automação na tomada de decisões sobre o sistema, diminuindo ou eliminando a dependência do Sistema Supervisório em relação ao operador humano.

A figura 33 ilustra as principais seqüências de atividades desenvolvidas por operadores humanos interagindo com Sistemas Supervisórios.

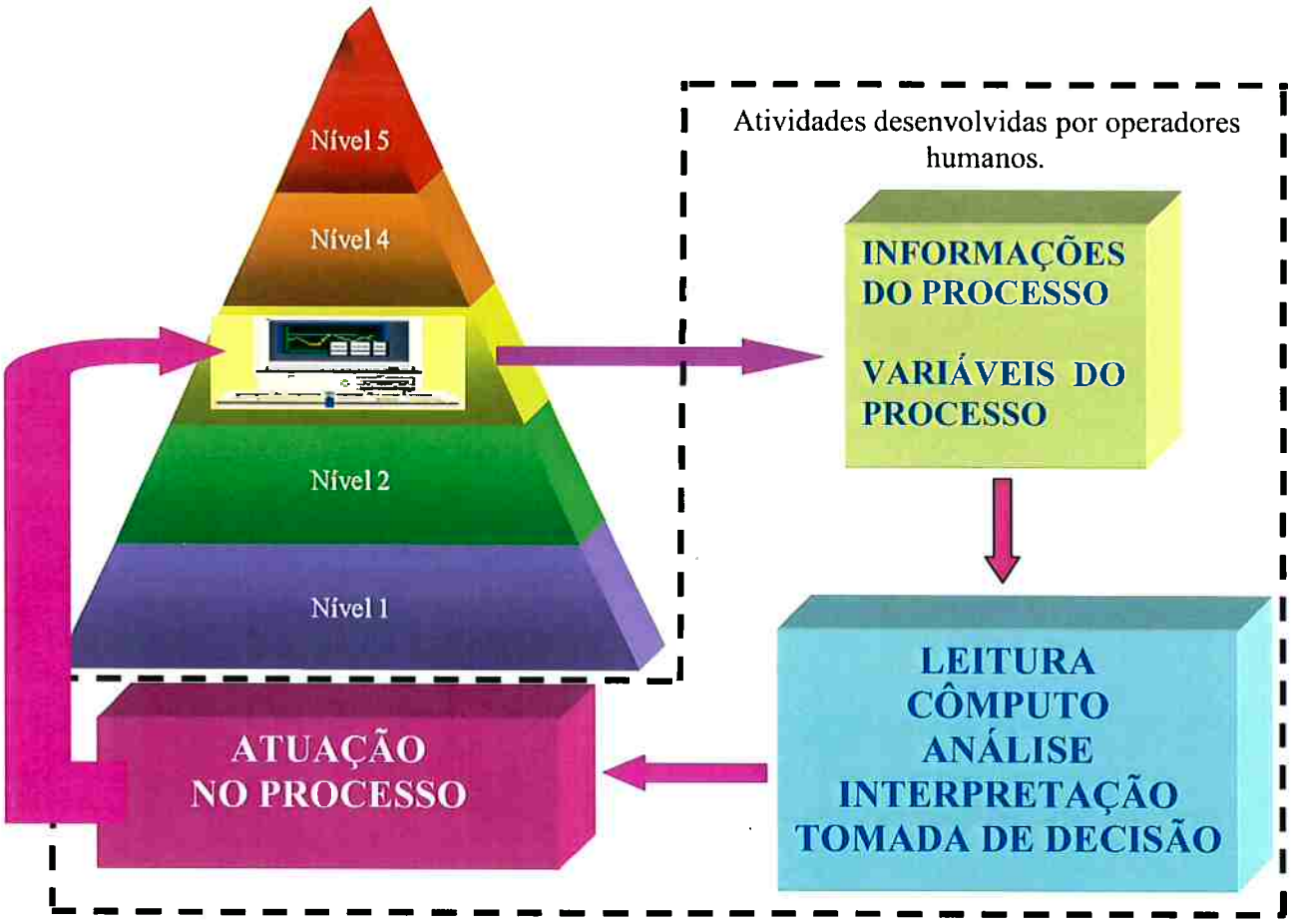


Figura 33 - Principais seqüências de atividades desenvolvidas por operadores humanos interagindo com Sistemas Supervisórios.

Conforme pode ser observado na figura 33, o operador humano executa a leitura das variáveis controladas do processo. Em seguida, executa o cômputo, análise, interpretação de tomada de decisão e atua no processo por meio do sistema supervisório. Todo esse procedimento é caracterizado como um procedimento manual e, assim sendo, está sujeito a todas circunstâncias de desempenho e de qualidade que são intrínsecas aos processos manuais.

A figura 34 ilustra o sistema especialista desenvolvido e intitulado SISES (Sistema de Integração de Sistemas Especialistas e Supervisórios) e como ele interage com o operador humano.

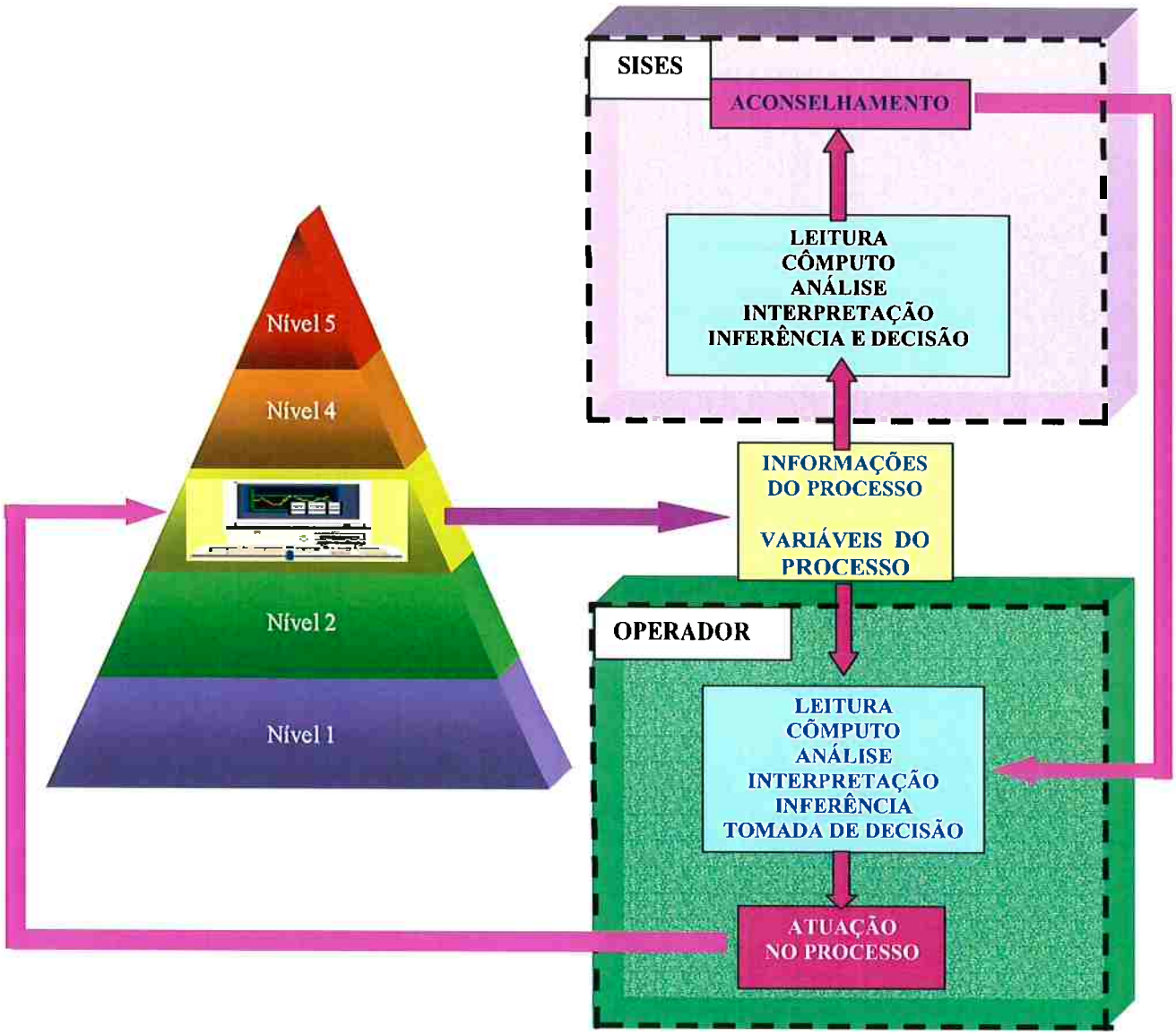


Figura 34 - Ilustrativo do modelo de interação do (SISES) (Sistema de Integração de Sistemas Especialistas e Supervisórios) com o operador humano.

Nos testes de validação o SISES operou aconselhando o operador humano. Entretanto, ele pode ser configurado para atuar diretamente sobre o sistema supervisório.

A continuidade do SISES foi efetuada no trabalho de pesquisa de doutorado de Andrade (2007), intitulada "Desenvolvimento de Sistema Especialista Com Operacionalidade de Aprendizado Para Operar Em Tempo Real Com Sistemas Industriais Automatizados – NESISES".

Uma das motivações para o estudo, pesquisa e desenvolvimento de um Sistema Especialista com capacidade de aprendizado deve-se ao fato de que as

necessidades operacionais de um sistema automatizado não são estáticas. Isto ocorre porque as plantas industriais sofrem alterações ao longo do tempo e também porque os algoritmos dos processos podem ser alterados conforme necessidades de ordem geral. Observe-se também que, ao longo da vida útil de uma planta industrial, ocorrem diversos distúrbios imprevistos. Entretanto, a análise do comportamento da planta industrial durante esses distúrbios também gera conhecimento que pode ser incorporado ao Sistema Especialista. Conforme explicado em Andrade (2007), ocorre a discrepância entre o conhecimento registrado em um S.E. dedicado para a automação industrial e o conhecimento adquirido com a operação do processo pelos operadores humanos. Para que não haja uma grande discrepância entre o conjunto de conhecimentos registrados em um S.E. por meio de regras e por meio da base de conhecimento, fazem-se necessárias, portanto, constantes atualizações após "n" macro-seqüências de eventos transcorridos nas plantas automatizadas. Estas atualizações requerem que a atividade exercida pela engenharia do conhecimento seja efetuada recorrentemente. A figura 35 ilustra a funcionalidade de um sistema especialista ao longo do tempo.

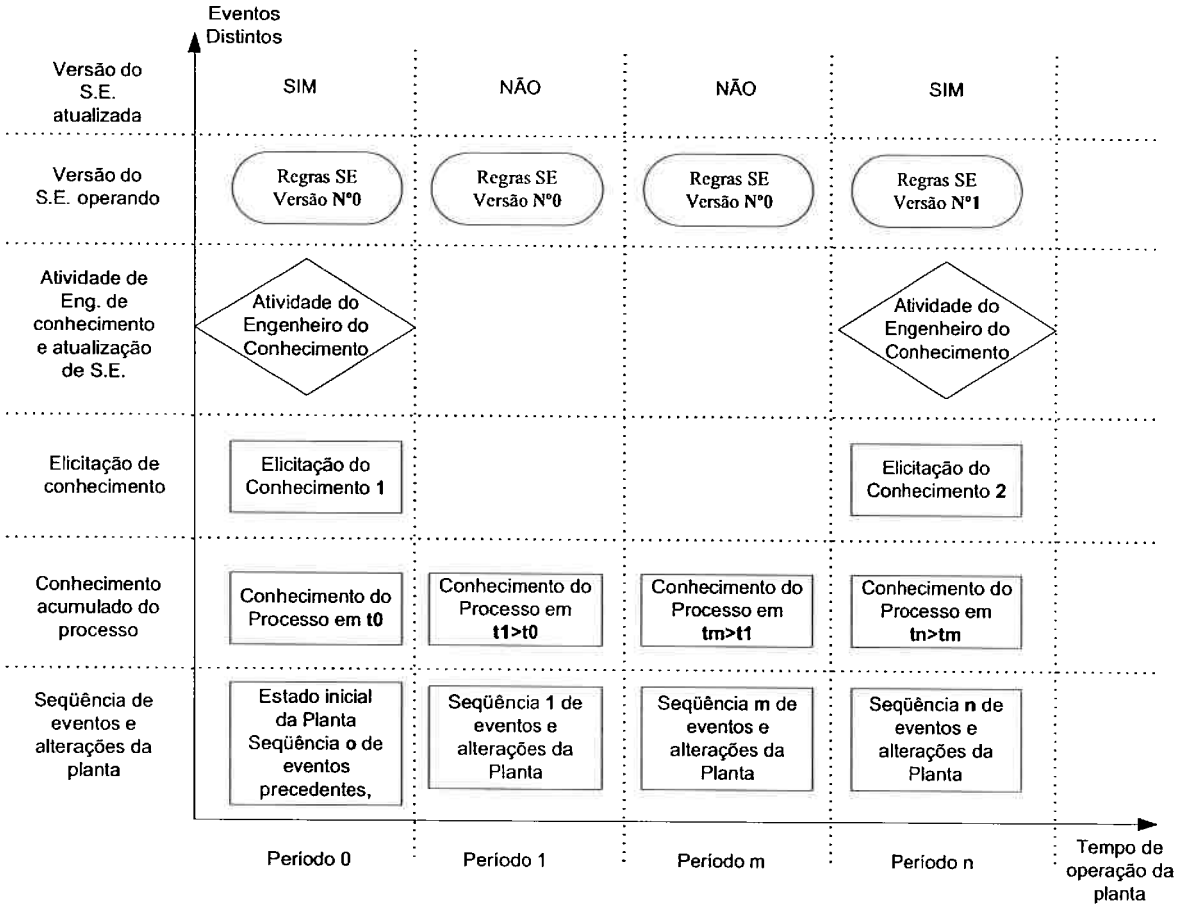


Figura 35 - A funcionalidade de um SE ao longo do tempo. Fonte: Andrade (2007).

O NESISES desenvolvido executa, dinâmica e continuamente, a atividade da engenharia do conhecimento, empregando técnicas da ciência da inteligência artificial voltadas para o aprendizado de máquina. A figura 36 ilustra o modelo macro-funcional do NESISES em função dos eventos que ocorrem na planta ao longo do tempo. Nota-se que a elicitação do conhecimento, após as regras estarem estabelecidas, é feita automaticamente pelo módulo de aprendizado do NESISES, que, por sua vez, altera as regras do S.E, não necessitando da constante intervenção do engenheiro do conhecimento.

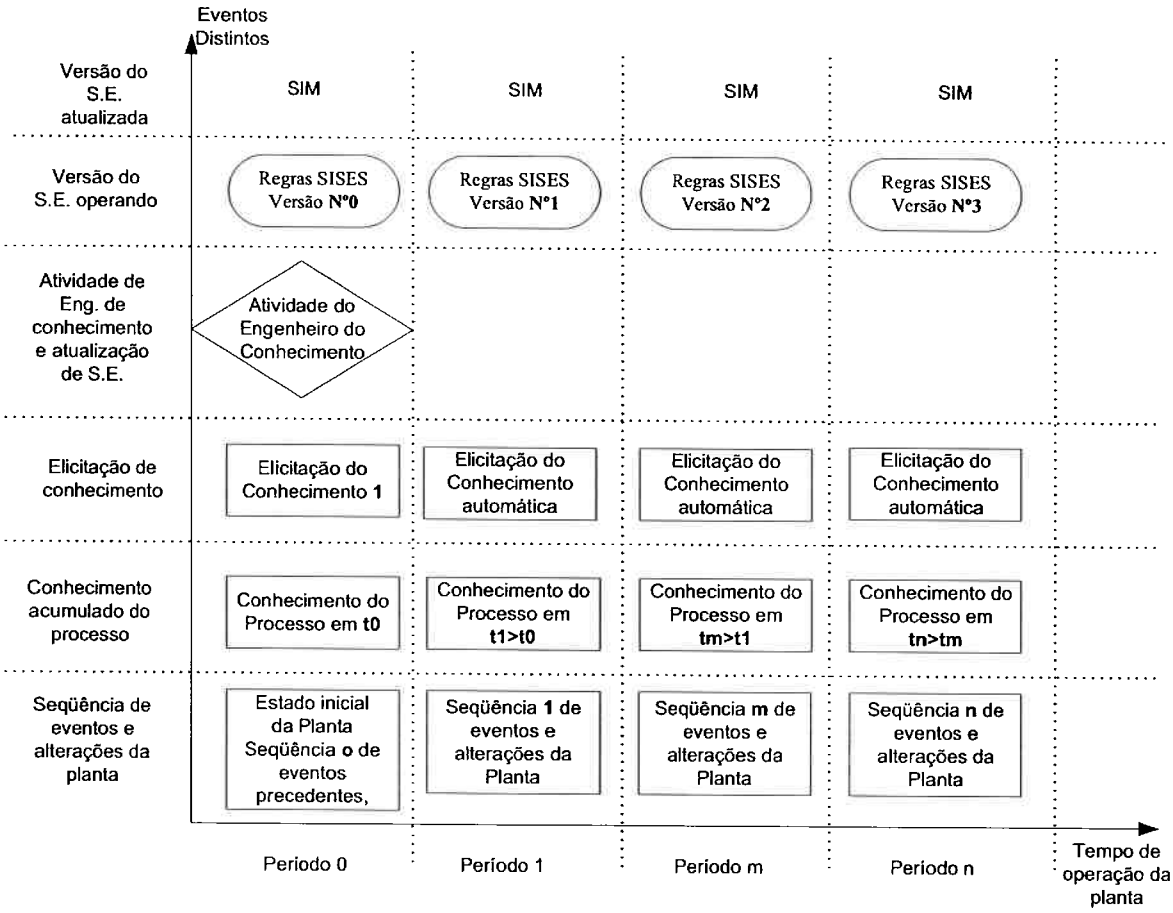


Figura 36 - A funcionalidade do NESISES ao longo do tempo. Fonte: Andrade (2007).

A figura 37 ilustra a Macro Arquitetura de software do NESISES. O NESISES é composto do SISES mais o módulo denominado "Módulo Cognitivo Meta SISES". Na primeira versão do NESISES, a atuação do Módulo Cognitivo Meta SISES é feita, exclusivamente, na base de conhecimento.

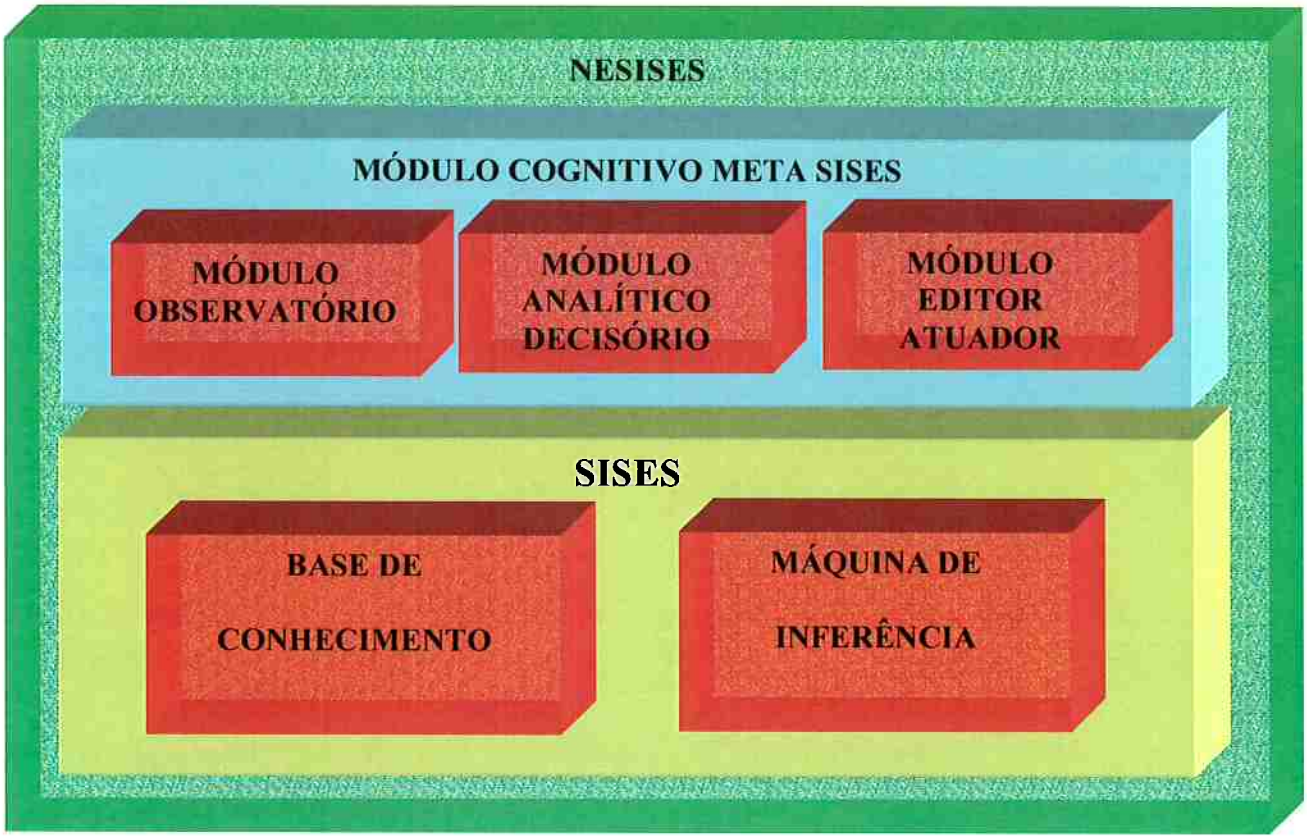


Figura 37 - Macro arquitetura do NESISES.

A operacionalidade e o fluxo de informações e de atuações do NESISES são ilustrados na figura 38. Observe-se que a planta alimenta o SISES de dados "on line" por meio do MISS (Módulo de Interface Sistema Supervisório); o MISS, por sua vez, fornece os dados necessários para as "tags" (termo utilizado na automação que corresponde ao nome dado aos endereços no CLP) do SISES e também para o módulo observatório. O módulo observatório verifica as saídas do SISES que podem estar afetando a planta e, também, comunica-se com o módulo analítico. O módulo analítico, por sua vez, comunica-se com o módulo decisório que tem a incumbência de decidir sobre a alteração ou não de algum parâmetro de regra da base de conhecimento, sendo essa alteração de atuação automática. O decisório é o módulo que possui a função e a responsabilidade de alternar regras existentes ou mesmo incluir novas regras. Esse módulo aparece com um detalhe em vermelho na figura 38 porque é uma das propostas de continuidade do trabalho de pesquisa de Sistemas Especialistas com capacidade de aprendizado.

No NESISES, a função de tomada de decisão nesta atual etapa é efetuada manualmente.

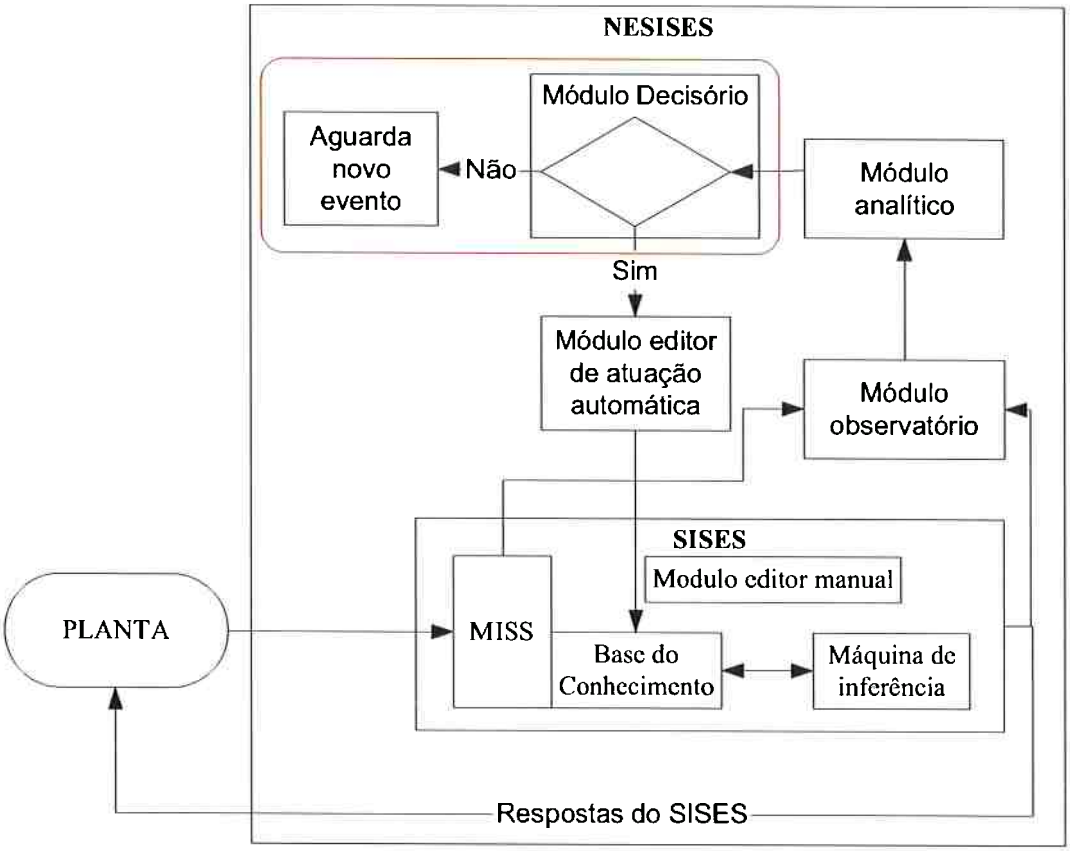


Figura 38 - Ilustrativo da operacionalidade dos módulos do NESISES. Fonte: Andrade (2007).

O trabalho de desenvolvimento do SISES e do NESISES teve o apoio do convênio EPUSP Rockwell Automation. Tanto o SISES como o NESISES foram testados exaustivamente por simulação e também em campo, com resultados satisfatórios. Os trabalhos geraram publicações nacionais e internacionais e abrem um grande leque de possibilidades de continuidade de pesquisas em integração de sistemas especialistas com capacidade de aprendizado, para operarem em tempo real com sistemas supervisórios. Algumas delas são:

- Implementação do módulo decisório do NESISES baseado em novas pesquisas sobre inteligência artificial;
- Pesquisa em novas técnicas de I.A. para melhorar a abrangência e assertividade do NESISES. Particularmente algoritmos de mineração de dados mais eficientes que o Tertius;

- Pesquisa em novas técnicas de I.A. para desenvolver metodologias e ferramentas de construção do NESISES e S.E.;
- A inclusão do fator tempo nas heurísticas de forma a melhor ponderar uma eventual ação do NESISES;
- Melhoria da interface com o usuário tornando a operação ainda mais amigável;
- Integração do NESISES com softwares de gestão da produção como ERPs "Enterprise Resource Planning", que são sistemas de informações voltados para a contabilidade, identificação e planejamento dos recursos necessários para uma empresa receber, fazer, remeter e se responsabilizar pelos pedidos dos clientes.

3.2.2 Emprego de Redes Neurais para Diagnóstico Automático de Falhas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

Conforme descrito em Garcia (2006), foi desenvolvida uma metodologia de localização automática de falhas nos circuitos de média tensão de um sistema de distribuição reticulado, baseada no uso de inteligência artificial por meio de algoritmos de RNA (Redes Neurais Artificiais), com o objetivo de reduzir o tempo de localização do ponto de falha, frente às respostas obtidas por métodos tradicionais.

As falhas nestes tipos de sistemas são de difícil localização, uma vez que os mesmos, geralmente, são subterrâneos, e, portanto, demandam grandes recursos e tempo de reparo. A metodologia visa a otimização dos tempos de reparo, porque facilita a localização de uma falha, que é um problema para as equipes de manutenção de sistemas subterrâneos. Os benefícios desta metodologia são ainda maiores em locais onde a idade do parque instalado de sistemas de distribuição reticulados leva a uma taxa de falhas naturalmente mais elevada. Tal metodologia pode ser aplicada em sistemas de supervisão tipo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) em que são avaliadas as informações recebidas de uma rede de relés digitais que monitoram um sistema reticulado.

A análise da localização do ponto de falha por um algoritmo baseado em RNA acontece pouco tempo após a ocorrência da falha, por estarem todos os relés interligados ao sistema supervisório, achando-se limitada à finalização da transmissão dos dados da falha. Este processo automatiza a localização da falha,

pois permite uma comunicação imediata com o departamento de engenharia de manutenção ao término do procedimento de análise. A figura 39 ilustra uma aplicação em tempo real, proposta como continuidade do trabalho de pesquisa de Garcia (2006), em que sinais trifásicos de tensão e corrente serão coletados de situações de curto-circuito ocorridas no sistema reticulado, e servirão de parâmetros de entrada para as RNAs previamente treinadas (RNATr). Neste caso, então, estes dados elétricos serão coletados e transmitidos em tempo real por relés digitais instalados nos equipamentos de proteção de potência reversa.

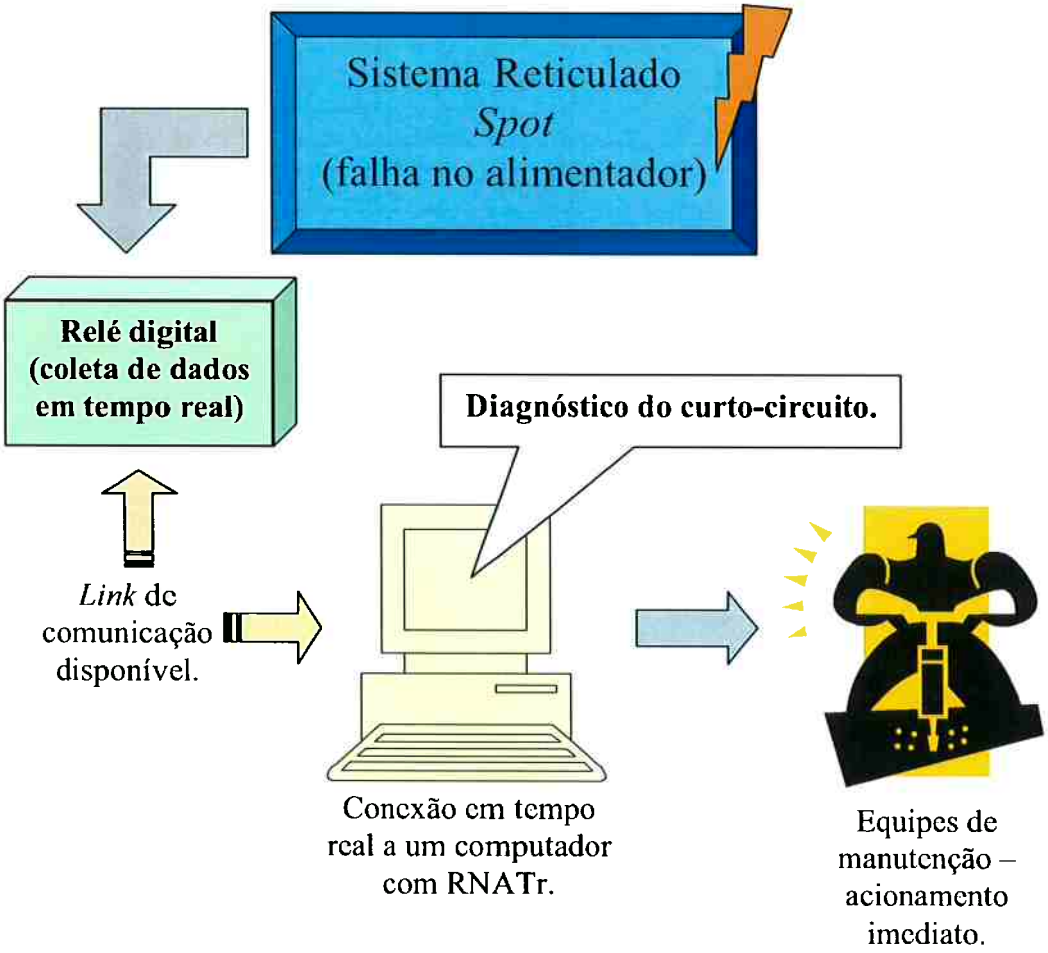


Figura 39 - Diagrama esquemático da aplicação da metodologia de diagnóstico automático de curtos-circuitos em alimentadores primários de redes de distribuição reticuladas tipo spot. Fonte: Garcia (2006).

3.3 Resultados das pesquisas relativas ao desenvolvimento científico e tecnológico de técnicas de Simulação de Processos como ferramenta de auxílio de engenharia de automação de processos

A pesquisa de métodos e ferramentas de simulação como ferramenta de auxílio à engenharia de automação foi iniciada pelo autor desta tese de livre-docência ainda no seu doutoramento. Deste então, o autor participou de diversas orientações, co-orientações e estudos envolvendo o emprego de simulação para determinar índices de performance de sistemas a eventos discretos.

As duas pesquisas mais significativas durante esse período foram desenvolvidas com a dissertação de mestrado "Simulação de Processos Empregada como Ferramenta de Utilização da Automação Industrial" elaborada por Antonio Orlando Ugulino (EPUSP-1999), e a dissertação de mestrado "Desenvolvimento de Ferramenta de Engenharia Para Aplicação de Simulação em Tempo Real em Plantas Industriais Automatizadas FASTR de autoria de .Claudia Tomie Yukishima (EPUSP-2006). A figura número 40 ilustra as etapas da metodologia proposta.

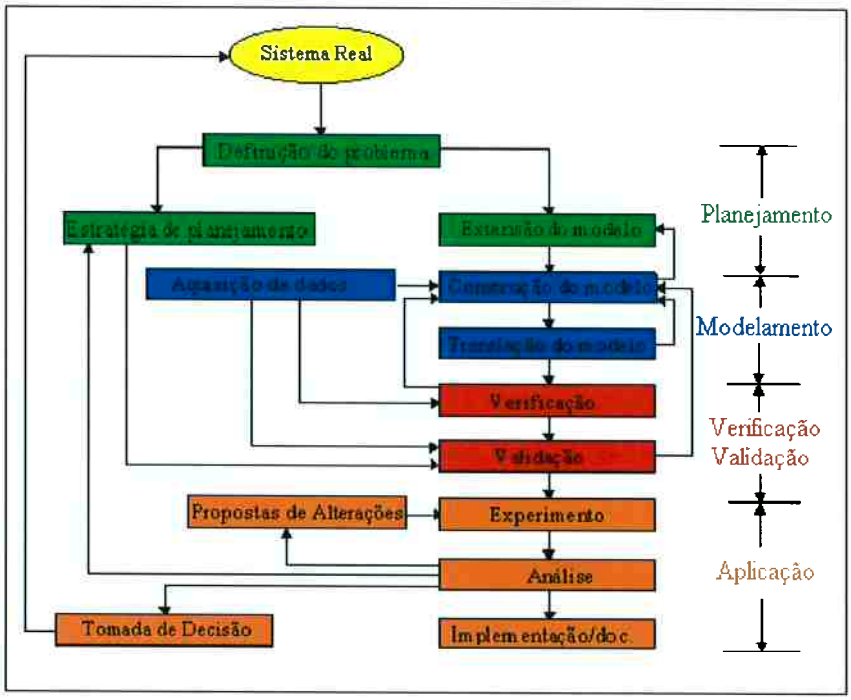


Figura 40 - Etapas de procedimento da metodologia de simulação desenvolvida. Fonte: Ugulino (1999).

Na dissertação de mestrado "Desenvolvimento de Ferramenta de Engenharia Para Aplicação de Simulação em Tempo Real em Plantas Industriais Automatizadas

FASTR são apresentados os resultados das pesquisas e dos desenvolvimentos em simulação em tempo real. A motivação desta pesquisa ocorreu porque, embora existam diversos aplicativos de simulação, como Arena, SLAM, Promodel etc., todos eles, até o presente momento do desenvolvimento da própria pesquisa, eram empregados como sistemas para prever e, conseqüentemente, analisar, não em tempo real, o desempenho de plantas e de sistemas. Ou seja, as simulações eram efetuadas de maneira *"off-line"*, onde, primeiramente, é efetuado um modelo no ambiente de simulação escolhido do sistema ou planta industrial, e a partir dos dados coletados manualmente são obtidas as respostas do sistema para diversas entradas de dados, utilizando-se a simulação.

Neste trabalho foi gerada uma interface de alimentação automática para dados de entrada dos simuladores a partir dos dados provenientes do sistema físico, possibilitando a simulação em tempo real *"on-line"*. A obtenção dos dados para simulação em tempo real é feita a partir da base de dados do próprio sistema de supervisão da planta e o disparo da simulação é efetuado ciclicamente em uma base de tempo determinada. A ferramenta de engenharia desenvolvida neste trabalho foi denominada FASTR, Ferramenta de engenharia para Aplicação de Simulação em Tempo Real. A figura 41 ilustra a seqüência de operações de uma simulação denominada "off-line". A figura 42 mostra a seqüência de operações de uma simulação em tempo real e a figura 43 ilustra uma arquitetura de hardware genérica para operar a simulação em tempo real com a ferramenta FASTR.

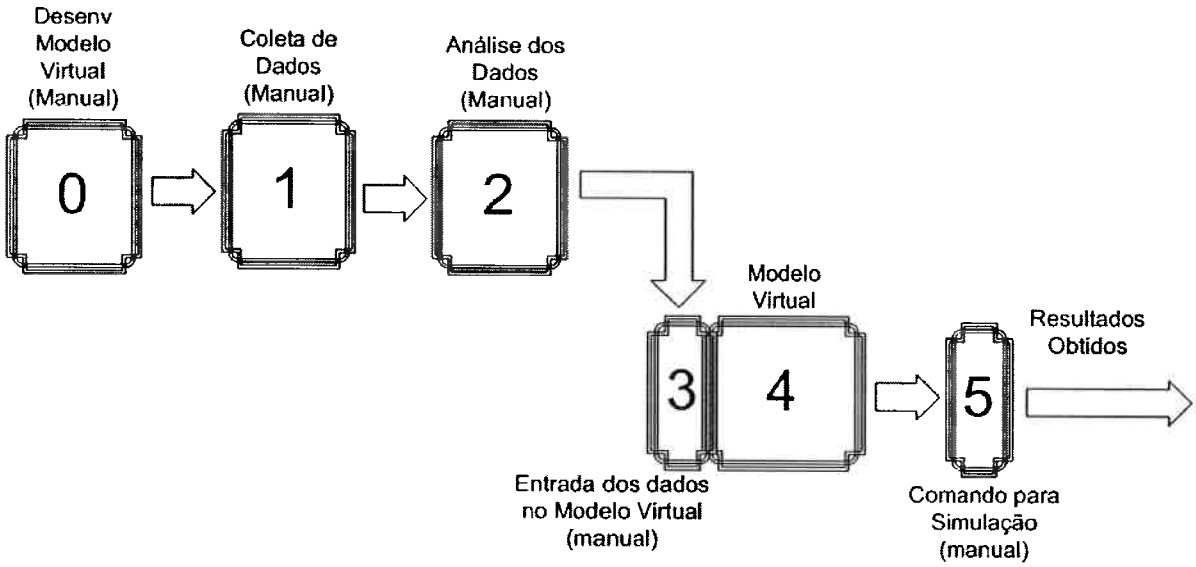


Figura 41 - Seqüência em macro-blocos da operação da Simulação "Off-line". Fonte: Yukishima (2006).

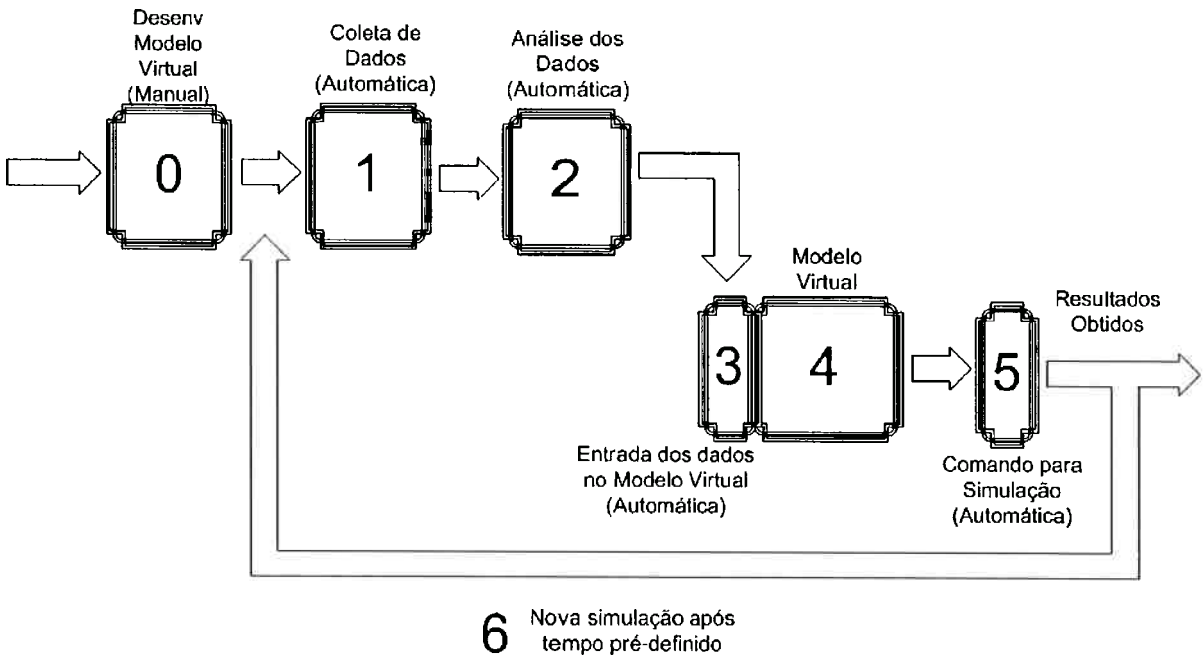


Figura 42 - Seqüência em macro blocos de operação da Simulação em Tempo Real. Fonte: Yukishima (2006).

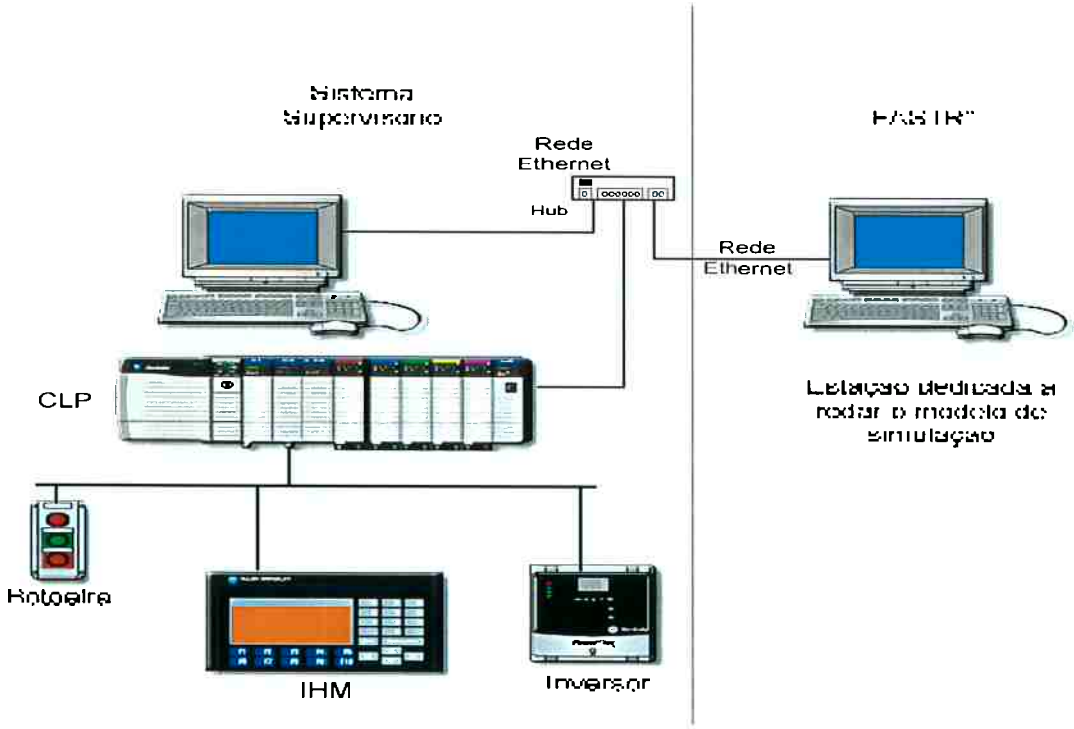


Figura 43 - Arquitetura de Hardware genérica para operar a simulação em tempo real com a ferramenta FASTR . Fonte: Yukishima (2006).

3.4 Resultados das pesquisas relativas ao desenvolvimento científico e tecnológico de Sistemas Automatizados e de Metodologias para a Gestão de Energia Elétrica

As pesquisas realizadas entre 1995 e 2008 para o desenvolvimento científico e tecnológico de Sistemas Automatizados e de Metodologias para a Gestão de Energia Elétrica geraram diversos trabalhos de conclusão de curso e orientações de mestrado. As quatro orientações de mestrado efetuadas em ordem cronológica foram: "Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado A Estudos Sobre Medições de Energia Elétrica" (Garcia, 2000), "Desenvolvimento e Aplicação de metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração" (Abe, 2003), "Sistemas de Automação Destinados à gestão Da Energia Elétrica de Consumidores De Classe A" (Adão, 2003), "Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Avaliação Da Confiabilidade de Sistemas de Automação de Usinas Hidroelétricas" (Machado, 2005). As quatro orientações mencionadas fazem parte de uma linha de pesquisa dedicada ao emprego da automação como meio de otimizar o emprego e a gestão da energia elétrica.

Primeiramente, objetivou-se fornecer uma alternativa para o controle da demanda de energia elétrica de consumidores residenciais, por meio do desenvolvimento de medidor eletrônico de energia elétrica de custo competitivo, com o intuito de comprovar a viabilidade de sua aplicabilidade no mercado nacional (Garcia, 2000). O medidor desenvolvido emprega sensores de baixo custo e de baixa precisão e possui uma arquitetura de hardware simples. Entretanto, a operação do medidor está fundamentada no desenvolvimento de uma metodologia de calibração por software, intitulada MACAF – Método Adaptativo de Correção de Amplitude e Fase. Esta metodologia permitiu ao protótipo ser classificado como um instrumento de medição classe 0,5%.

A orientação da pesquisa de mestrado que resultou na dissertação "Desenvolvimento e Aplicação de metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração" (Abe, 2003) teve, como principal objetivo, o desenvolvimento de uma Metodologia para Avaliação de Plantas de Cogeração, intitulada MAPC. A mesma é uma ferramenta de engenharia para o auxílio nas tomadas de decisões sobre a implementação de plantas de cogeração, baseadas na utilização de gás

natural como fonte energética. A MAPC é constituída de quatro etapas: definição dos objetivos e coleta de dados, critérios de avaliação técnica, análise econômica e financeira da planta de cogeração e implantação. A principal justificativa para esse trabalho é que, devido à crescente demanda de energia e também às atuais incertezas políticas e econômicas internacionais relacionadas com o setor energético, as tomadas de decisões de projeto ou de adequação das plantas consumidoras de energia elétrica com sistemas de cogeração devem ser cada vez mais baseadas em fundamentos técnicos e econômicos abrangentes, assertivos e integrados.

A pesquisa de mestrado intitulada "Sistemas de Automação Destinados à gestão Da Energia Elétrica de Consumidores De Classe A" (Adão, 2003) apresenta uma proposta de um sistema automatizado de controle e gestão da energia elétrica denominado SAGE - Sistema Automatizado de Gestão de Energia. A principal característica do SAGE em relação à maioria dos sistemas comerciais existentes é que o mesmo pode ser implementado e implantado de forma modular, podendo empregar e integrar equipamentos de diversos fabricantes. Um SAGE é composto de duas partes: uma implementada em hardware e outra implementada em software denominada ASAGE - Algoritmo do Sistema Automatizado de Gestão de Energia.

A motivação para este trabalho de pesquisa foi que diversas plantas industriais possuem um alto nível de automação nos seus processos. Entretanto, não é comum encontrar uma integração entre a automação da gestão da energia elétrica com processos automatizados. O SAGE permite que edifícios comerciais ou mesmo plantas industriais passem a contar com um sistema eficiente de gestão de energia elétrica, sem que haja a necessidade de realizar grandes investimentos em hardware, uma vez que o mesmo pode ser incorporado aos sistemas de automação existentes.

A orientação da pesquisa de mestrado intitulada "Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Avaliação Da Confiabilidade de Sistemas de Automação de Usinas Hidroelétricas" (Machado, 2005) teve como objetivo propor uma metodologia para avaliação do projeto de Sistemas de Automação para Usinas Hidrelétricas, visando a disponibilidade e a confiabilidade da usina, nos seus três componentes básicos e fatores que os influenciam. A motivação para o tema da pesquisa foi que a automação das plantas de geração de energia tem-se tornado, cada vez mais, uma

realidade. Concomitantemente, há uma crescente exigência de melhoria na qualidade de energia fornecida ao sistema elétrico brasileiro interligado. Devido à necessidade de redução dos custos operativos e também à existência de grandes distâncias entre os centros de consumo e as usinas geradoras de eletricidade, a teleoperação e a "desassistência" operativa estão sendo empregadas, cada vez mais, como modos de operação de usinas. Assim sendo, a determinação e a especificação dos níveis de confiabilidade das usinas geradoras de eletricidade adquirem, de forma crescente, importância no projeto dos sistemas de automação das mesmas. A Metodologia de Avaliação da Confiabilidade de Sistemas de Automação é intitulada MACSA. Embora a mesma tenha sido desenvolvida para ser uma ferramenta de engenharia para a avaliação de confiabilidade de sistemas de automação de usinas hidroelétricas, a MACSA pode ser empregada na análise de confiabilidade de sistemas de automação em geral. A MACSA é composta de cinco macro etapas, sendo uma recursiva, conforme ilustrado na figura 44.

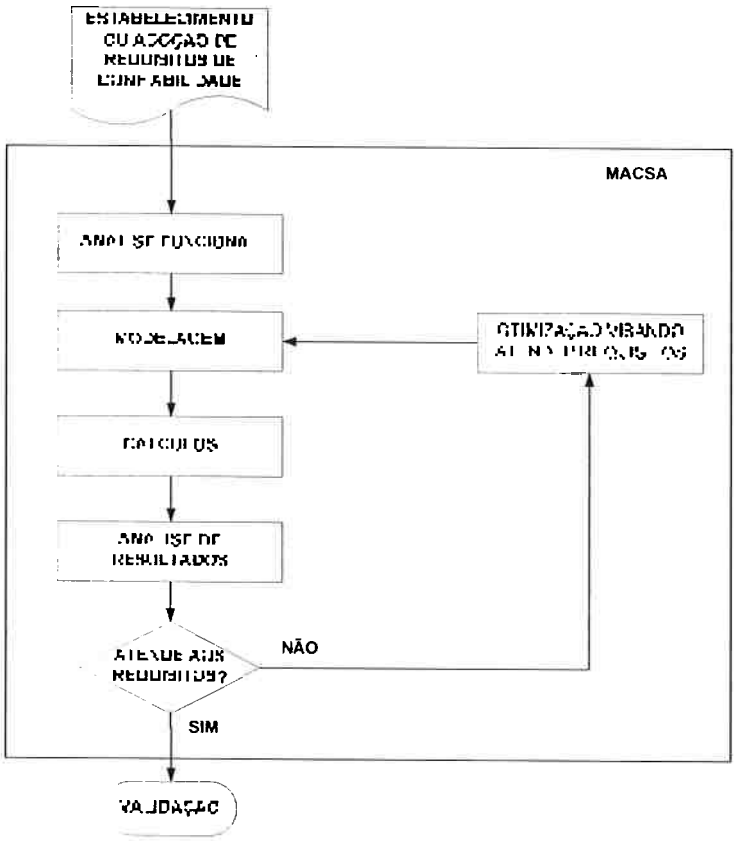


Figura 44 - Ilustrativo das Macro Etapas da MACSA. Fonte: Machado (2005).

3.5 Resultados das pesquisas relativas ao desenvolvimento científico e tecnológico de Sistemas Automatizados e Metodologias para a Gestão de Recursos Hídricos

Um dos maiores desafios que a humanidade terá que enfrentar no século XXI é o que envolve a captação, emprego, gestão e tratamento da água. Os sinais de que a humanidade está exaurindo esse vital recurso natural e, conseqüentemente, essa variável de sustentabilidade, estão mais que evidentes. A engenharia de automação pode ser uma poderosa ferramenta de auxílio diante deste enorme desafio. Este tema tem sido abordado com mais freqüência nas escolas básicas e fundamentais e, portanto, é natural que cada vez mais graduandos e pós-graduandos jovens se interessem pela questão da água como tema de suas pesquisas. Entre 2002 e 2006, o autor desta tese de livre-docência orientou quatro trabalhos de conclusão de curso em três instituições distintas: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado e Faculdade de Engenharia São Paulo. Também foi orientador de um trabalho de conclusão de curso no MBA em Automação do PECE – (Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP) como continuidade de um dos trabalhos de conclusão de curso desenvolvidos na Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado. Os trabalhos estão, assim como os demais, referendados nas tabelas 5 e 6 desta tese.

A orientação de mestrado concluída nesta área de pesquisa gerou uma dissertação intitulada "Proposta de um Sistema de Gestão Empregando Instrumentação Inteligente e Redes de Campo na Automação do Processo de Tratamento de Água" (Souza, 2006). Este trabalho de pesquisa apresenta uma nova proposta sistêmica de gestão de sistemas de tratamento de água com base nos atuais desenvolvimentos científicos e tecnológicos da instrumentação inteligente e das redes de campo. A principal motivação para este trabalho foi a necessidade do desenvolvimento de controles mais eficientes para lidar com a atual complexidade dos processos de tratamento de água, associada à necessidade da otimização dos recursos necessários para a implantação dos respectivos sistemas de automação. Convém ressaltar que a maioria das empresas de saneamento no Brasil opera suas estações de tratamento de água com automação parcial ou, até mesmo, de forma manual, dificultando a gestão eficiente e rigorosa. A figura 45 representa a proposta

de arquitetura de hardware genérica utilizando instrumentos inteligentes e redes de campo em uma Estação de Tratamento de Água.

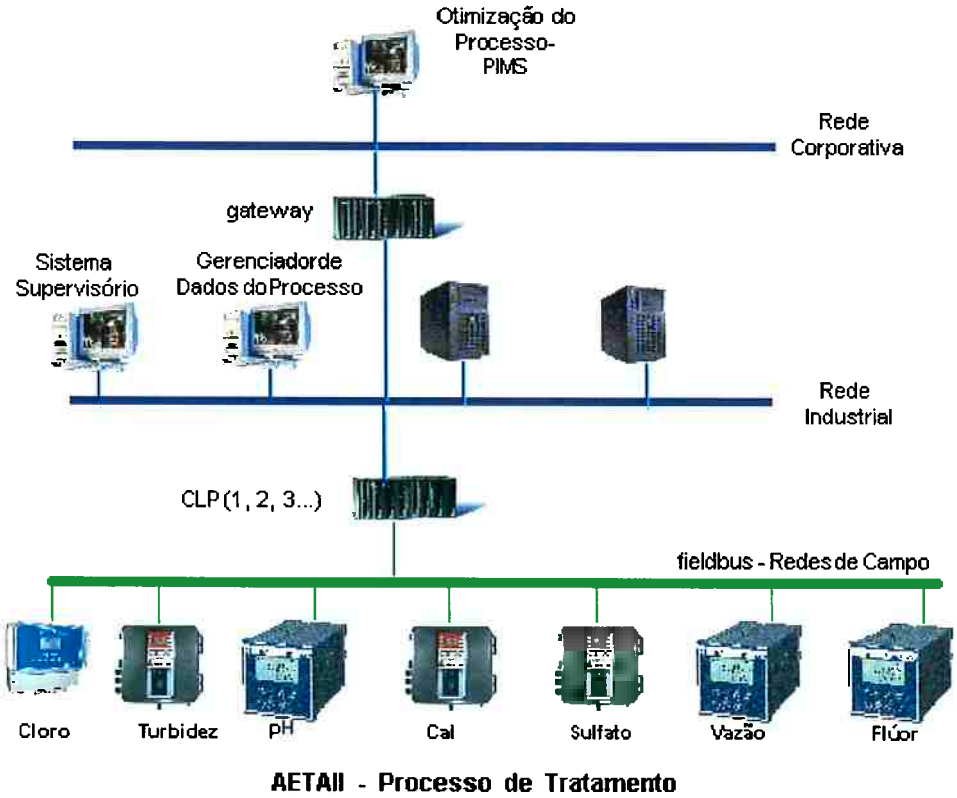


Figura 45 - Ilustrativo da Proposta de Arquitetura de Hardware Genérica Utilizando Instrumentação Inteligente e Redes de Campo. Fonte: Souza (2006).

Conforme definido em Souza (2006), a arquitetura ilustrada na figura 45 é formada por instrumentos interligados a um barramento de campo. O algoritmo proposto para a operação da Estação de Tratamento de Água Genérica com Instrumentação Inteligente está ilustrado na figura 46. As variáveis de controle de cada etapa do processo de tratamento de água são monitoradas de forma automática, por meio de instrumentação inteligente. Assim, a correção do algoritmo de controle em cada etapa do processo também é automática, conforme os valores de referências "set-points", estabelecidos para cada variável de controle.

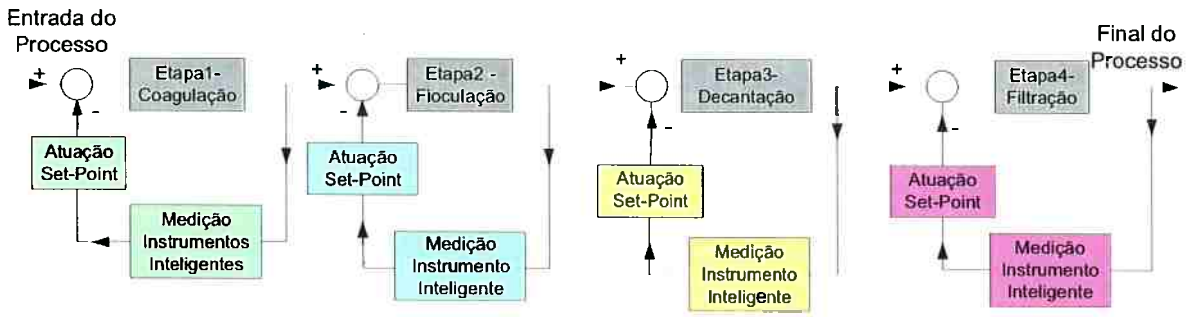


Figura 46 - Ilustrativo da Proposta de Controle das Variáveis de Controle de cada Etapa do Processo Estação Automatizada de Tratamento de Água. Fonte: Souza (2006).

A figura 47 ilustra a macro rotina proposta de execução de uma Estação de Tratamento de Água Automatizada.

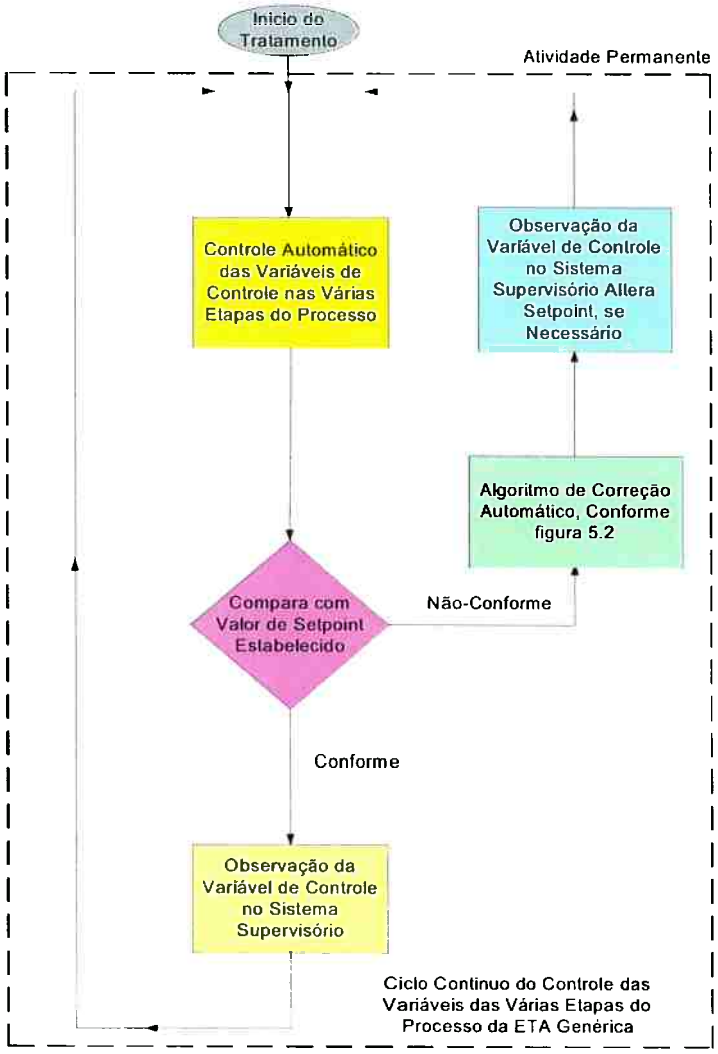


Figura 47 - Ilustrativo da macro rotina de Execução nas Etapas da Estação Automatizada de Tratamento de Água – Fonte: Souza, (2006).

A figura 48 ilustra a proposta da macro arquitetura de uma Estação Automatizada de Tratamento de Água.

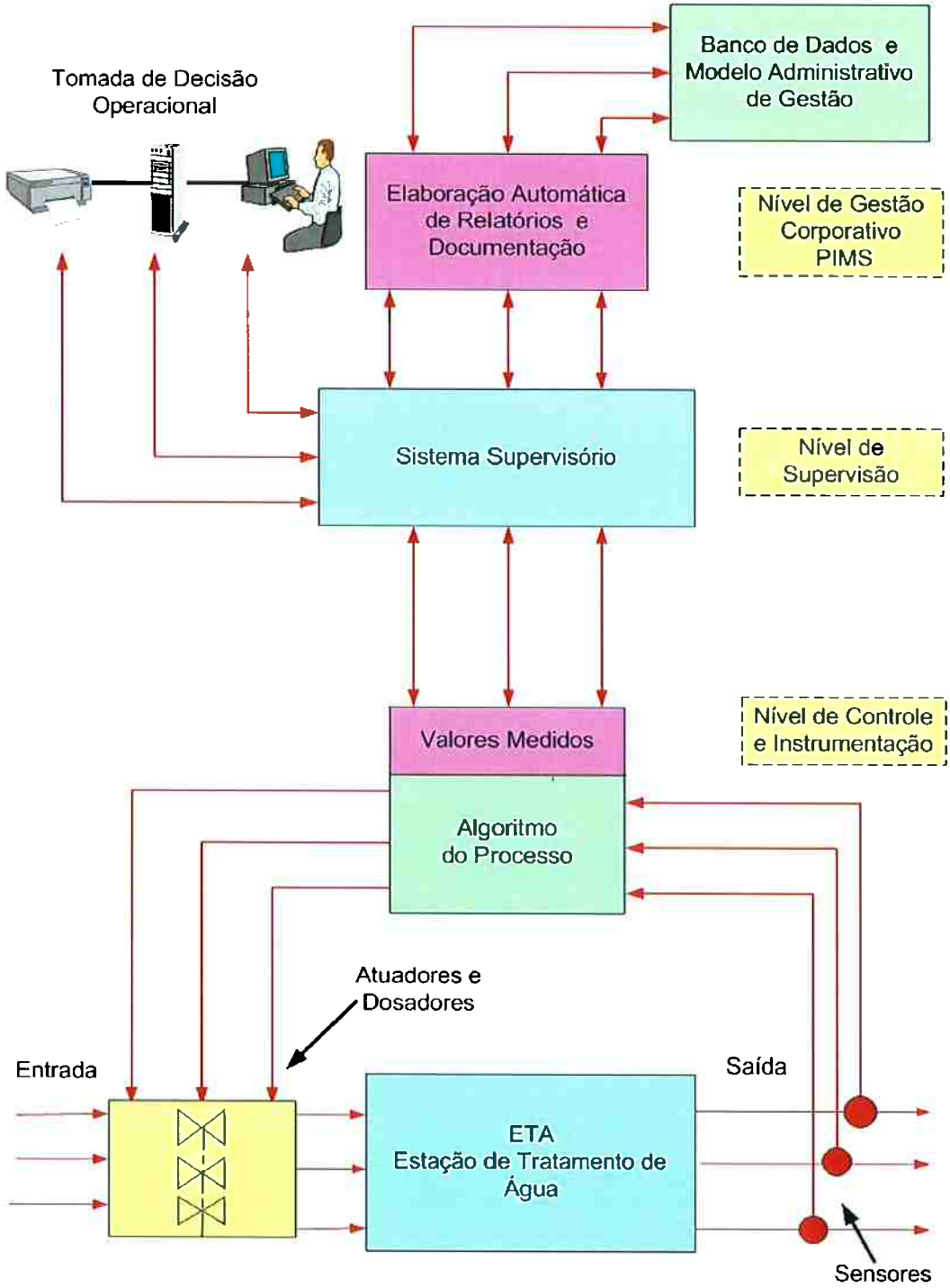


Figura 48 - Ilustrativo da Arquitetura de Hardware do Modelo de Gestão da Estação Automatizada de Tratamento de Água. Fonte: Souza (2006).

3.6 Resultados das pesquisas relativas ao desenvolvimento científico de Metodologias e Ferramentas de Auxílio à Engenharia de Automação

Cada vez mais a Engenharia de Automação tem que tomar decisões de projeto e de implementação sobre sistemas e processos cada vez mais complexos. Assim sendo, um dos campos de pesquisa que necessita de constante desenvolvimento é a área focada no desenvolvimento de Metodologias e Ferramentas de Auxílio à Engenharia de Automação. Até o presente momento, o autor desta tese de livre-docência orientou diversos trabalhos de conclusão de curso e também três mestrados focados no desenvolvimento de Metodologias e Ferramentas de Auxílio à Engenharia de Automação. As orientações de mestrado efetuadas em ordem cronológica são: "Desenvolvimento De Metodologia de Aplicação De Redes De Petri Para Automação De Sistemas Industriais Com Controladores Lógicos Programáveis (CLP)" (Souza, 2006), "Metodologia para Aferição da Ação de Controle Proporcional Integral Derivativa em Controladores Industriais" (Shirahge, 2007) e "Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia Para Auxílio de Engenharia Em Automação Residencial MAEAR (Gudim, 2007).

As duas primeiras são metodologias e ferramentas de engenharia desenvolvidas com o intuito de nortear e orientar projetos de automação que empregam Controladores Lógicos Programáveis.

Como os sistemas de automação têm aumentado sua complexidade, também tem aumentado a dificuldade de modelá-los e de estimar, com precisão, a sua funcionalidade, segurança, robustez, integridade, operacionalidade e os índices de desempenho. Os sistemas de automação industrial empregam largamente Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), e os mesmos são, preponderantemente, programados por meio da linguagem de programação Ladder, definidas pela norma IEC 61131-3. A linguagem de programação Ladder é flexível e prática de ser empregada, mas apresenta limitações quanto à: detecção de erros no algoritmo de controle do sistema de automação, modularização, simulação etc. O trabalho de pesquisa intitulado "Desenvolvimento De Metodologia de Aplicação De Redes De Petri Para Automação De Sistemas Industriais Com Controladores Lógicos Programáveis (CLP)" (Souza, 2006) apresenta o desenvolvimento e os testes da metodologia denominada MARPASI - Metodologia de Aplicação das Redes de Petri em Automação de Sistemas Industriais. A MARPASI possibilita analisar um

sistema de automação por meio das Redes de Petri e na geração da linguagem de programação Ladder. Portanto, o emprego da MARPASI contribui para a otimização do processo de engenharia de automação e na programação mais eficiente de CLPs dos diversos intertravamentos e correlações de eventos determinados pelo algoritmo do processo.

Outra dificuldade constatada na programação de Controladores Lógicos Programáveis é o ajuste preciso dos parâmetros da função Proporcional Integral Diferencial, quando os mesmos são também empregados em malhas de controle de variáveis contínuas como: posição, velocidade, temperatura, pressão etc.

Na dissertação de mestrado intitulada "Metodologia para Aferição da Ação de Controle Proporcional Integral Derivativa em Controladores Industriais" (Shirahge, 2007) são apresentados o desenvolvimento e os testes da metodologia MAFPID que têm, como principal objetivo, permitir, sem grandes investimentos, que a engenharia de automação possa aferir os parâmetros Proporcional, Derivativo e Integral de CLPs.

Um dos setores econômicos que tem apresentado um grande crescimento na última década é o setor de edificações inteligentes. Um dos sub-ramos desta atividade é o setor de Automação Residencial. Entretanto, mesmo com um número significativo de sites existentes e também com o aumento de empresas especializadas, verifica-se ainda, no Brasil, a preponderância conceitual, para grande parte da população, de que sistemas de Automação Residencial são exclusivamente dedicados para edificações de alto padrão econômico (Gudim, 2007). Algumas das razões para disseminação deste conceito são: a desinformação do consumidor em relação a preços, benefícios e configurações possíveis, a falta de ferramentas de engenharia que auxiliem no projeto e na análise técnica econômica, a falta de uma maior integração entre as grandes empresas produtoras de tecnologia de Automação Residencial e os profissionais, a falta de uma maior integração entre os profissionais de Automação Residencial e os consumidores envolvidos no processo de construção de uma edificação.

Tradicionalmente, na grande maioria, os processos de projetos de edificações residenciais com algum nível de automação têm sido realizados seguindo métodos empíricos, ou seja, de acordo com as experiências dos profissionais e integradores de sistemas envolvidos.

O trabalho de mestrado intitulado "Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia Para Auxílio de Engenharia Em Automação Residencial MAEAR (Gudim, 2007) tem dois objetivos principais: auxiliar na ruptura do paradigma de que automação residencial é, exclusivamente, artigo de luxo e apresentar o desenvolvimento de uma metodologia de análise técnica para servir como ferramenta de engenharia na definição e especificação de projetos de automação residencial. A figura 49 ilustra em formato de fluxograma a metodologia MAEAR .

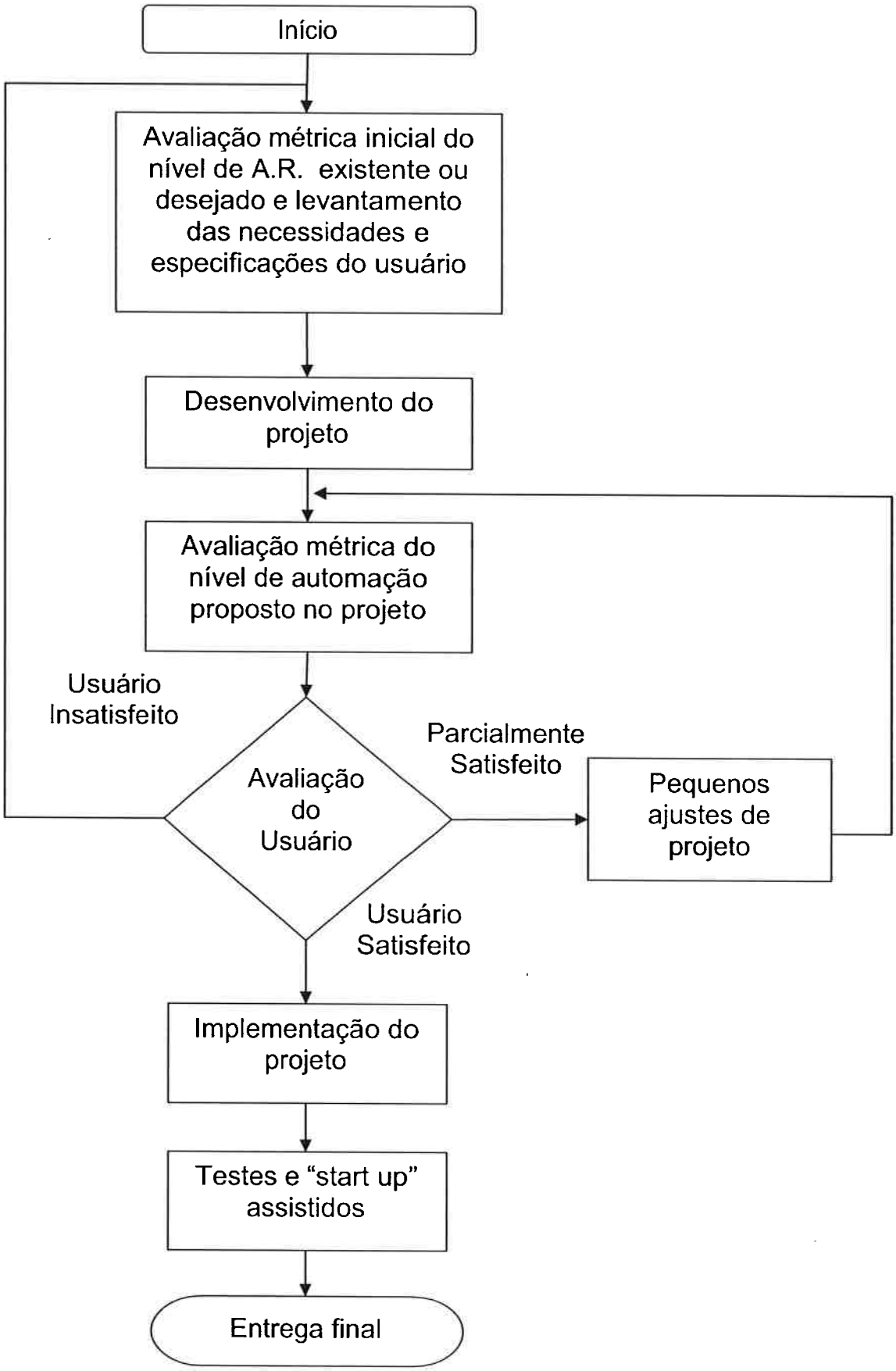


Figura 49 - Fluxograma da Metodologia para Auxílio da Engenharia em Automação Residencial MAEAR. Fonte: Gudim (2007).

Observe-se que a MAEAR não difere, significativamente, de algumas das propostas de metodologias para a gestão de projetos de automação. Entretanto, a MAEAR apresenta uma etapa caracteristicamente específica e, até o presente momento, inexistente como prática científica e mercadológica - é a etapa "Avaliação métrica inicial do nível de Automação Residencial existente ou desejado e levantamento das necessidades e especificações do usuário". Assim sendo, a MAEAR permite que haja uma melhor identificação das demandas imaginárias e das reais necessidades dos clientes e usuários de Automação Residencial.

4 AUTOMAÇÃO, O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A INCLUSÃO SOCIAL.

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta as proposições e as justificativas técnicas e sociais da necessidade do desenvolvimento e da implementação de uma nova organização técnica, econômica e social, tão proporcionalmente significativa e evolutiva quanto foi a reorganização intitulada historicamente Primeira Revolução Industrial, iniciada por volta de 1764 com as inovações tecnológicas e econômicas deflagradas por James Watt e Adam Smith.

4.2 A necessidade urgente de mudanças na economia e nos processos produtivos

Na última década, praticamente todos os dias, os principais jornais do mundo publicaram notícias correlacionadas com as alterações do clima e do desempenho econômico e social dos países. Embora sabendo-se que sempre pode haver especulações pela imprensa sensacionalista, é fato que muitas das notícias sobre o tema do aquecimento global foram produzidas como resultados de pesquisas efetuadas por instituições e centros de pesquisas respeitáveis. A título de exemplificação são transcritas, parcialmente, seis notícias publicadas, incluindo três imagens no ano de 2007 e 2008.

a- BIZZOTTO - ONU prevê secas e falta de água para mais de um bilhão. (2007). Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/bbc/ult272u61801.shtml,> Acesso em 06/04/2007.

Depois de uma semana de reuniões em Bruxelas, os mais de 400 cientistas que participaram da segunda parte de um relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) concluíram que mais de 1 bilhão de pessoas poderão sofrer com a falta de água em um futuro próximo e que as populações mais pobres do mundo serão as mais afetadas pelo aquecimento global. A principal causa será o derretimento precoce da camada de gelo de grandes cadeias de montanhas, como o Himalaia e os Andes, causado pelo aumento da temperatura na Terra. [...] O relatório também prevê que, se a temperatura global subir mais de 1,5° C em relação aos índices de 1990, os ecossistemas regionais mudarão a ponto de levar à extinção de cerca de um terço das espécies de animais e plantas do planeta. [...] A segunda parte do relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês) analisa as implicações do aumento de temperatura da Terra em diversas áreas, como economia, ecossistema e saúde humana.[...] O documento é resultado de uma semana de debates entre 400 especialistas sobre 28 mil dados científicos copilados sobre todo o planeta.

b- CANÔNICO - Aquecimento pode custar 20% do PIB global até 2050. (2006). Disponível em <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=42013> Acesso em 09/12/2008.

Conclusão é do maior relatório já feito sobre o impacto econômico do efeito estufa. Dossiê encomendado pelo premiê britânico, Tony Blair, diz que evitar destruição de florestas é maneira barata de cortar emissões de CO2. Segundo o 'Relatório Ster', comandado por Nicholas Stern, ex-economista-chefe do Banco Mundial, os gastos para estabilizar a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera seriam equivalentes a 1% do PIB (Produto Interno Bruto) mundial até 2050.
A falta de ação e a manutenção dos atuais padrões de emissão, no entanto, poderiam reduzir o consumo global em aproximadamente 5% do PIB mundial, chegando a até 20% de redução, no pior cenário.

c- UOL Notícias - População idosa será maior que a de crianças pela primeira vez na história em 2050. (2007). Disponível em <http://noticias.uol.com.br/ultnot/efe/2007/04/11/ult1766u21157.jhtm.> Acesso em 09/12/2008.

> *As pessoas com mais de 60 anos representarão 32% da população mundial em 2050 e superarão pela primeira vez na história o número de crianças, afirmou hoje a ONU. Este aviso foi dado hoje pela Divisão de População do departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, que apresentou informações comparativas sobre as conseqüências econômicas e sociais do envelhecimento da população.'Minha mensagem é que o envelhecimento da população é algo que deve ser abordado. Há uma mudança dramática que atingirá tanto o mundo em desenvolvimento como o desenvolvido', disse Somnath Chatterji, coordenadora do estudo Global sobre o Envelhecimento e a Saúde Adulta da Organização Mundial da Saúde (OMS).*

d- UOL Notícias- Ondas fortes atingiram o vilarejo de Walcott, perto de Great Yarmouth, no Reino Unido. Disponível em <http://noticias.uol.com.br/album/071109_album.jhtm.> Acesso em 11/12/2008.

Figura 50 - Fotografia do vilarejo de Walcott, perto de Great Yarmouth, no Reino Unido alagado. (Phil Noble/Reuters., 2007). Disponível em <http://noticias.uol.com.br/album/071109_album.jhtm.> Acesso em 11/12/2008.

e- O GLOBO - Mar em Veneza atinge maior nível em 22 anos e inunda cidade. (2008) Disponível em <http://oglobo.globo.com/mundo/mat/2008/12/01/mar_em_veneza_atinge_maior_nivel_em_22_anos_inunda_cidade-586782414.asp.> Acesso em 11/12/2008.

Grande parte de Veneza amanheceu inundada nesta segunda-feira, quando chuvas e ventos fortes fizeram o mar na cidade italiana atingir seu maior nível em 22 anos. Os serviços de transporte por água foram suspensos. O prefeito, Massimo Cacciari, pediu que as pessoas fiquem em casa e que aqueles que estão a caminho de Veneza viajem apenas em casos imprescindíveis...

Figura 51 - Fotografia da Praça de São Marco inundada. Ao fundo, a catedral e o Palácio dos Doges. (AFP FHOTO/ANDRÉA PATTARO, 2008) Disponível em <http://www.uai.com.br/UAI/html/sessao_1/2008/12/01/em_noticia_interna,id_sessao=1&id_noticia=90356/em_noticia_inter> Acesso em 11/12/2008.

f– BBC Brasil.com - Aumento do nível do mar pode ser o dobro do previsto, diz estudo.(2007). Disponível em <http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/12/071217_nivelmaraumentafn.shtml.> Acesso em 12/07/2008.

Uma nova pesquisa internacional alerta que o nível dos oceanos pode subir duas vezes mais do que o previsto pelos cientistas do Painel Intergovernamental para Mudança Climática (IPCC). O IPCC indica que haverá, no máximo, um aumento no nível do mar de 81 centímetros neste século. Mas a pesquisa do Centro Nacional de Oceanografia da Grã-Bretanha junto com centros de pesquisas em Tübingen – na Alemanha –, Cambridge e Nova York, publicada na revista Nature Geoscience, afirma que o número verdadeiro pode chegar a mais do que o dobro do proposto pelo IPCC, ou 163 centímetros.

Figura 52 - Fotografia de geleira em processo de derretimento na Groenlândia (2007). Disponível em <http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/12/071217_nivelmaraumentafn.shtml.> Acesso em 12/07/2008.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) "The Intergovernmental Panel" foi fundado em 1988, conjuntamente pela World Meteorological Organization (WMO) e pelo United Nations Environment Programme (UNEP). É um órgão composto, atualmente, por delegações de 130 governos com o intuito de gerar avaliações e análises regulares sobre as alterações climáticas, suas causas e conseqüências. Conforme publicado em seu próprio site (disponível em

http://www.ipcc.ch/about/index.htm. Acesso em 22 de outubro de 2008), o IPCC não realiza ou conduz pesquisas científicas relacionadas ao clima. Entretanto, avalia uma base abrangente e objetiva da recente literatura científica, técnica e socioeconômica produzida no mundo, com relevância para a compreensão do risco de alterações climáticas induzidas por seres humanos, dos impactos observados e projetados por suas ações e as opções de adaptação e mitigação.

Conforme publicado e disponível (em http://noticias.terra.com.br/ciencia/interna/0,,OI2072927-EI8278,00.html. Acesso em 20 de outubro de 2008), desde o primeiro relatório, seus trabalhos são efetuados por três grupos e publicados em quatro etapas. O primeiro grupo é responsável pelo primeiro capítulo, que reúne evidências científicas de que a mudança climática se deve à ação do homem; o segundo trata das conseqüências das mudanças climáticas para o meio ambiente e para a saúde humana; o terceiro estuda maneiras de combater a mudança climática e prover alternativas de adaptação das populações; e o quarto capítulo sintetiza as conclusões dos anteriores.

O primeiro Relatório de Avaliação do IPCC foi publicado em 1990. O Segundo Relatório de Avaliação IPCC de 1995 forneceu a entrada-chave das negociações do Protocolo de Quioto em 1997. O protocolo de Quioto constitui-se no protocolo de um tratado internacional, discutido e negociado em Quioto no Japão, em 1997, que estabeleceu compromissos entre diversas nações para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa. O Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC foi publicado em 2001.

Em junho de 2008, o IPCC publicou o IPCC Technical Paper VI Climate Change And Water. O mesmo trata de diversos tópicos. Um deles é sobre os impactos que a elevação do nível dos mares poderá causar sobre as áreas costeiras e sobre a disponibilidade de água doce. Este documento também apresenta as questões relacionadas à vulnerabilidade das populações e das suas respectivas atividades econômicas em relação às alterações climáticas e aos seus impactos na disponibilidade de água.

As constatações em relação às alterações climáticas, as previsões e possíveis conseqüências são preocupantes. Algumas das principais são:

- O aquecimento global observado nas várias últimas décadas está relacionado com as modificações no ciclo hidrológico ocorridas como: aumento de conteúdo de vapor de água atmosférico, modificação nos sistemas meteorológicos de precipitação, aumento da intensidade de precipitações extremas, neve reduzida, modificações em solo etc;
- As simulações do clima para século XXI projetam significativas alterações da flora e da disponibilidade de água doce nas áreas tropicais e subtropicais do planeta;
- É projetada uma diminuição da distribuição de água fornecida pelas geleiras e pelas coberturas de neve no século XXI;
- O aumento esperado da temperatura da água e o aumento de inundações e secas irão afetar a qualidade da água disponível e potencializarão os efeitos nocivos da poluição;
- As modificações em quantidade e na qualidade da água devido às alterações climáticas irão afetar a disponibilidade alimentar, a estabilidade, o acesso e a utilização da água;
- As alterações climáticas afetarão as funções e as operações da infra-estrutura relativa à água como: represas, usinas hidrelétricas, diques de proteção, sistemas de drenagem, sistemas de irrigação etc;
- Os impactos políticos, sociais e econômicos na agricultura e na indústria serão significativos.
-

A figura 53 apresenta quatro fotografias tiradas em quatro diferentes datas do século XX do glacial Chacaltaya, na Bolívia. Estas fotografias permitem a constatação inequívoca da diminuição da cobertura de gelo e neve ocorrida ao longo de quase 70 anos no século XX.

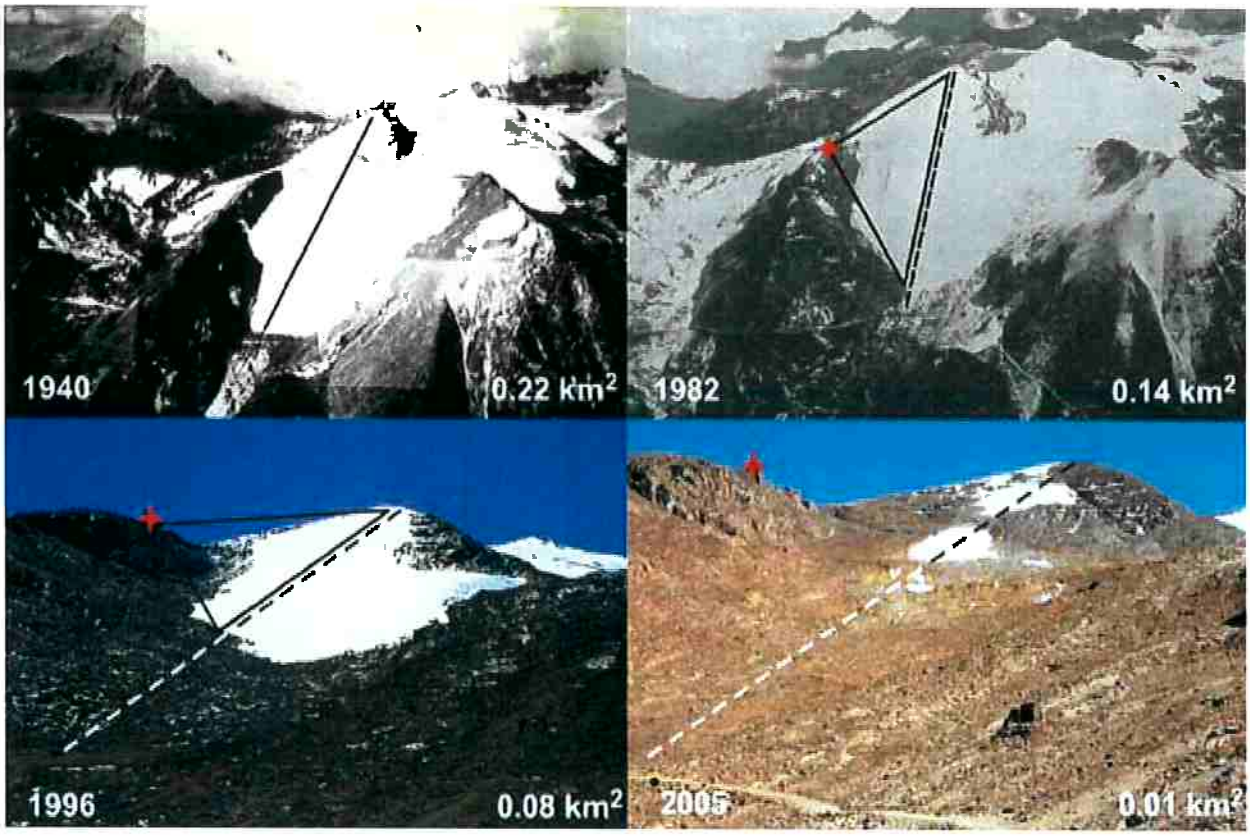


Figura 53 - Fotografias do glacial Chacaltaya na Bolívia. Fonte: Climate Change And Water. Technical Paper of Intergovernamental Panel on Climate Change - IPCC (2008).

Observe-se que já é um consenso científico e também político-mundial que a atividade humana é a principal responsável pelas alterações climáticas que estão atualmente em curso no planeta Terra. O que algumas nações ou mesmo institutos ainda discordam é, principalmente, sobre a magnitude e a velocidade das mesmas. Entretanto, mesmo apostando na ocorrência de transformações dentro de um cenário otimista, os impactos das alterações climáticas na sociedade humana serão enormes.

Uma vez que o clima, a água doce disponível, os sistemas biofísicos e socioeconômicos são interligados em uma complexa escala global, todas as nações são co-responsáveis e interdependentes pelas ações e impactos provocados por suas atividades econômicas.

Assim sendo, não resta dúvida de que as ações compensadoras e corretivas nos processos produtivos devem ser pesquisadas, desenvolvidas e implementadas o mais breve possível.

Outro significativo desafio que a sociedade global deve enfrentar é o subdesenvolvimento, ou mesmo, as condições miseráveis em que vive a maior parte da população mundial. Estima-se que 4 bilhões de habitantes do planeta Terra tenham uma renda anual inferior a dois mil dólares. E estima-se, também, que aproximadamente a metade desses 4 bilhões de seres humanos viva abaixo da linha da pobreza. Caso a economia mundial não consiga apresentar e implantar uma solução duradoura para esse problema, as tensões sociais poderão corroer o tecido social nos países em que isso ocorre e se espalhar mundialmente, de forma drástica.

Portanto, o atual modelo econômico globalizado apresenta sérios problemas de sustentabilidade, pois o mesmo depende do aumento de renda da maior parte da população mundial para continuar se expandindo e, ao mesmo tempo, não existem recursos naturais que sustentem com sobra de fôlego o crescimento econômico demandado para aumentar a renda global.

4.3 Dados relevantes relativos à necessidade de investimentos em infra-estrutura, geração de energia e os decorrentes impactos no meio ambiente

Um ser humano adulto necessita, em média, de 2 mil kcal por dia para se manter vivo. Na antiga Mesopotâmia o ser humano primitivo de 5.000 a.C. consumia um pouco mais que 2 mil kcal por dia. Segundo Goldemberg e Villanueva (2003), as fases do ser humano podem ser classificadas em seis etapas: o homem primitivo (um milhão A.C. Leste da África) que ainda não dominava o fogo, o homem caçador que dominava o fogo (um milhão A.C., Europa), o homem agrícola primitivo (5.000 A.C., Mesopotâmia), o homem agrícola avançado (1.400 D.C., Noroeste da Europa), o homem industrial (durante a Primeira e Segunda Revolução Industrial, Europa Ocidental e Estados Unidos) e o homem tecnológico (Estados Unidos após 1970). A figura 54 ilustra, de forma aproximativa, as diversas fases da humanidade e o seu respectivo consumo médio de energia.

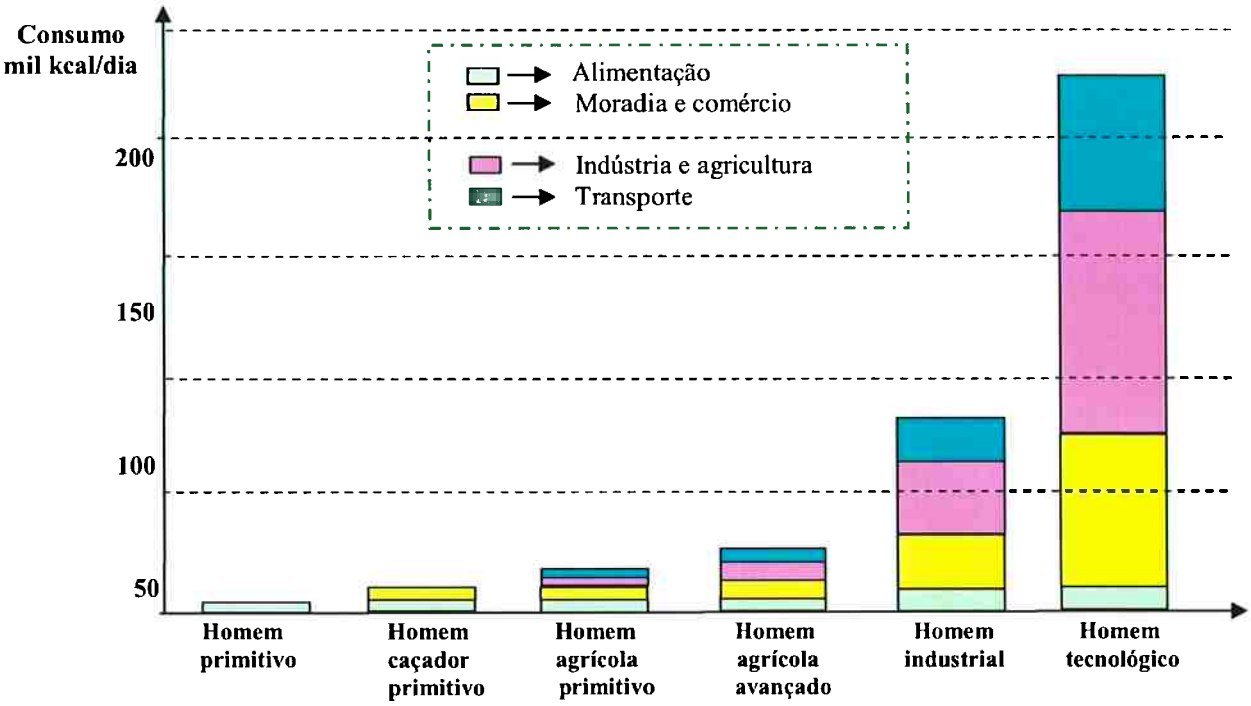


Figura 54 - Consumo per capita de kcal por dia nas diversas fases do desenvolvimento humano. Fonte: Goldemberg, Villanueva (2003).

Constata-se que, à medida que as sociedades se desenvolvem, há uma maior necessidade de energia e de recursos naturais demandados por cada ser humano. Conforme ilustrado na figura 54, percebe-se que o homem definido como homem tecnológico consome mais de cem vezes a quantidade de energia consumida pelo homem primitivo. Pode-se até afirmar, em um sentido poético, que a verdadeira fome do homem é a insaciável fome de energia.

Diversos pesquisadores, médicos, psicólogos e até cientistas e filósofos comportamentais têm desenvolvido teorias para tentar explicar os fundamentos das ações humanas em relação à sua comunidade e em relação ao meio ambiente.

Uma possível explicação para a expansão da necessidade de energia pela raça humana pode ser fundamentada nos trabalhos do psicólogo americano Abraham Maslow. Ele trabalhou no Instituto Tecnológico de Massachusetts – MIT - "Massachusetts Institute of Tecnology" e fundou o centro de pesquisa National Laboratories for Group Dynamics. Maslow é, também, o propositor da teoria da Hierarquia de Necessidades de Maslow, na qual as necessidades humanas são tipificadas em cinco níveis hierárquicos de busca e de auto-realização das mesmas. As necessidades da pirâmide hierárquica de Maslow são:

a - Necessidades fisiológicas: são as necessidades básicas do ser humano como beber, comer, dormir etc;

b – Necessidades de segurança: são as necessidades relacionadas à auto-preservação física e também da preservação psicológica;

c – Necessidades sociais: são as necessidades de associação do ser humano. São as necessidades de pertencer a uma comunidade, a uma tribo, a um clube etc;

d – Necessidades de auto-estima: ser reconhecido por si próprio e pelo meio como um ser de valor. São as necessidades de obter o respeito e o status. Elas passam por duas vertentes, o reconhecimento das nossas capacidades pessoais e o reconhecimento dos outros face à capacidade de adequação às funções que o indivíduo desempenha;

e – Necessidades de auto-realização: são as necessidades de atingir o máximo da potencialidade humana. São aquelas em que o indivíduo procura tornar-se aquilo que ele pode ser: "What humans can be, they must be: they must be true to their own nature!". São as necessidades relativas à missão do indivíduo no planeta.

A figura 55 apresenta a Pirâmide da Hierarquia das Necessidades de Maslow.

Figura 55 - Pirâmide da Hierarquia das Necessidades de Maslow.

Nesta forma de modelar o comportamento humano, as pessoas são motivadas nos seus esforços a satisfazer, primeiramente, as necessidades básicas e, uma vez obtendo sucesso, passam a buscar as necessidades dos níveis hierárquicos mais elevados. Assim sendo, o fator de motivação está sempre na próxima necessidade não atendida ou não realizada na hierarquia das necessidades.

A teoria de Maslow foi empregada, originalmente, para tentar descrever e modelar as relações humanas do homem atual com o trabalho e com a sociedade. Entretanto, a mesma pode ser expandida para explicar, ainda que parcialmente, o incremento exponencial do consumo médio de energia do ser humano e, até mesmo, das diversas sociedades e da humanidade como um todo, ao longo da sua jornada no planeta Terra.

O homem primitivo, assim como as sociedades primitivas, aspiram, primeiramente, satisfazer as necessidades fisiológicas e de segurança. Com o desenvolvimento contínuo social e tecnológico e, conseqüentemente, com o aprimoramento dos processos produtivos, tanto o ser humano médio, assim como as sociedades, vivenciam de forma contínua, um processo de ampliação, busca, realização e novas ampliações das suas necessidades. Enquanto indivíduos buscam, cada um ao seu modo, atingir um determinado estágio da pirâmide hierárquica das necessidades, pode-se concluir que as sociedades, como um todo, também o fazem. O planeta está repleto de obras e a história humana também repleta de feitos que registram as sagas das mais diversas sociedades. Pode-se extrair diversas lições da história e uma delas é que, até o presente momento da humanidade, quanto maior foi o desenvolvimento de uma sociedade maior foi o seu consumo de energia .

Conforme afirmado no item 2.2.7 deste trabalho, e também segundo Goldemberg e Villanueva (2003) e Saidel (2006), existem relações diretas entre o IDH - Índice de Desenvolvimento Humano - de um país e o consumo per capita de energia, com o tipo preponderante de fonte de energia e também com a eficiência com que a mesma é empregada. Em 1998, o consumo médio mundial por indivíduo era da ordem de 1,79 TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo - ou seja, 18 mil kcal. Entretanto, apenas cerca de 6% da população mundial que vivia então nos EUA consumia, praticamente, 35% da totalidade mundial. Em 1998, o consumo anual per capita dos países industrializados, com 25% da população mundial, foi de 5,20 TEP, enquanto que nos países em desenvolvimento, com 75% da população mundial, foi da ordem de apenas 0,85 TEP.

Em 1998, o consumo total de energia pela humanidade foi da ordem de $10{,}56 \times 10^6$ TEP. Uma década depois, o índice cresceu, oscilando, aproximadamente, entre 2% a 5% ao ano. Porém, o crescimento do consumo de energia foi proporcionalmente maior nos países em desenvolvimento. Países muito populosos como a China e a Índia, que mantiveram taxas de crescimento econômico da ordem de 10% ao ano, neste período tiveram um forte impacto no aumento do consumo mundial. A percepção do agravamento do problema ambiental torna-se maior quando observa-se que, em países como a China, a matriz energética é, preponderantemente, baseada na queima do carvão e demais materiais com baixa eficiência energética e forte impacto nas variáveis de sustentabilidade, definidas no capítulo 1 desta tese de livre-docência.

Os países desenvolvidos, em comparação com os países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, possuem uma infra-estrutura razoavelmente eficiente para atender às demandas da sua população. Entretanto, nos demais países, as deficiências da infra-estrutura são gritantes.

Por exemplo, o déficit habitacional no Brasil é de, aproximadamente, 6 milhões de unidades. Suponha-se que a sociedade brasileira resolva alocar recursos financeiros para que, em um prazo de 4 anos, sejam construídas 6 milhões de residências populares. Um dos primeiros impactos a ser verificado será o aumento da demanda por cimento. O aumento da produção de cimento traz, imediatamente, um impacto na emissão de CO2, pois, para aproximadamente cada tonelada de cimento produzido (conforme o nível tecnológico da fábrica de cimento), são emitidos na atmosfera de 400 a 700 quilos de CO2. A questão da emissão de CO2 devido à produção de cimento é tão significativa que as principais empresas mundiais produtoras de cimento estão se auto-impondo metas de redução em torno de 20% para o ano de 2012 na emissão de CO2, tendo como base o ano de 1990. Entretanto, convém lembrar que, em termos absolutos, a emissão de CO2 e também em escala global devido à produção de cimento será maior porque a produção terá crescido mais do que 20%.

Outro grande impacto será no consumo de energia elétrica. Suponha-se que em cada uma das novas unidades habitacionais populares construídas seja instalado um chuveiro elétrico com uma potência de apenas 3 KW e que o mesmo terá uma taxa de utilização média de uma hora por dia. Neste cenário, o consumo diário

brasileiro dará um salto de 18 GWh por dia e de 6.570 GWh por ano. Observe-se que, segundo as informações divulgadas no site da usina Hidroelétrica Itaipu Binacional (disponível em http://www.itaipu.gov.br/index.php?q=node/157&foto=geracao.jpg. Acesso em 18/01/2008), em 2000 a usina atingiu a produção histórica de 93.428 GWh, recorde mundial de geração de energia hidrelétrica. Observe-se também, que nesta simulação de alteração do cenário habitacional brasileiro, não foram mencionados e mensurados o incremento da demanda dos demais materiais de construção, bem como também a necessidade da construção de rodovias, escolas, postos de saúde, delegacias etc.

Figura 56 - Fotografia da usina Itaipu Binacional. Disponível <http://www.ambienteemfoco.com.br/?p=817> Acesso em 18/01/2008.

Todo investimento em infra-estrutura é um processo produtivo que, por sua vez, naturalmente incentiva e viabiliza a execução de outros processos produtivos. Assim sendo, à medida que mais investimentos são efetuados na infra-estrutura, maior se torna a demanda de energia e dos demais recursos naturais. Conseqüentemente, o desenvolvimento humano impacta todas as variáveis de sustentabilidade definidas no capítulo 1 desta tese de livre-docência.

Em países como a China, cuja base de produção de energia elétrica é o carvão e que possui uma população beirando um bilhão e quinhentos milhões de seres humanos, os impactos do desenvolvimento econômico nas variáveis de sustentabilidade e, conseqüentemente, no meio ambiente, são ainda maiores. A população da Índia ultrapassa a cifra do um bilhão de seres humanos e também é outro país cuja renda per capita é baixa e apresenta, portanto, também um nível baixo de consumo energético per capita.

Tanto a China como a Índia retratam uma significativa parcela da população mundial e ambos países estão vivendo, há mais de uma década, um forte crescimento econômico. Evidentemente que a maioria dos paises não desenvolvidos tentará intensificar, nas décadas seguintes, os seus esforços no sentido de também atingir um patamar econômico mais próximo dos países desenvolvidos.

Portanto, pode-se estimar a magnitude do impacto ambiental que ocorrerá, caso haja a elevação do nível de vida da população mundial e toda a construção e implementação da infra-estrutura necessária para tal nos países em desenvolvimento e nos países subdesenvolvidos.

Obviamente que, mantidos os atuais modelos de sistemas com seus respectivos estágios tecnológicos, não existem condições de sustentabilidade para manter o desenvolvimento global da humanidade.

Outro fator impactante oriundo do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico é o uso descontrolado e malfeito de uma das mais importantes variáveis de sustentabilidade, a água. Segundo Postel, Daily e Ehrlich (1996) e diversas outras publicações científicas, o volume de água do planeta Terra é imenso, aproximadamente 28×10^{20} litros. Entretanto, algo em torno de 97,5% de toda a água está presente nos oceanos e mares e, portanto, apenas 2,5% de toda água existente no planeta não é salgada. Como praticamente a totalidade da água doce encontra-se nas geleiras e somente algo em torno de 0,007% da água não salgada é encontrada nos rios, lagos e na atmosfera, a parcela disponível deste fundamental recurso é significativamente menor. O Brasil detém 11,6% da água doce superficial do mundo. Entretanto, os 70% de água disponíveis no Brasil para uso estão localizados na Região Amazônica e os 30% restantes distribuem-se desigualmente pelo País, para atender a 93% da população.

O aumento populacional, a ocupação irregular do solo, o desmatamento, a expansão do agronegócio, a poluição e o lixo agravarão ainda mais a escassez do mais precioso elemento para a vida na Terra.

Conforme afirmado no item 4.2 desta tese, caso os atuais níveis de pobreza e de falta de escolaridade de boa parte da população mundial não sejam alterados, os problemas relativos a doenças, distúrbios sociais, criminalidade, e até mesmo, em parte, os problemas relativos ao terrorismo poderão minar os projetos de continuidade dos países desenvolvidos.

Diante deste cenário, conclui-se que a humanidade vive um "trade-off" em relação ao desenvolvimento e à preservação do meio ambiente. Deve-se entender o termo "trade-off" como o antagonismo ou conflito estrutural entre dois critérios de desempenho ou dois índices de performance de um sistema ou mesmo de um produto ou serviço, em que a melhoria de um índice de desempenho implica na degradação do outro.

4.4 Fundamentos da macro arquitetura para uma nova era do processo econômico e produtivo da humanidade denominada Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa

Segundo Silveira (2000), os valores que sustentam o paradigma do modelo de desenvolvimento ainda preponderante na sociedade atual dão exagerada ênfase ao crescimento econômico, o que implica na exploração descontrolada dos recursos naturais e no consumo desenfreado.

Basicamente, duas das principais características do atual estágio do desenvolvimento humano são: o desenvolvimento econômico aumenta o impacto ambiental e a automação dos processos elimina muitos postos de trabalho de baixa qualificação e cria alguns poucos postos de trabalho de alta qualificação.

Entretanto, conforme está ilustrado na figura 5 desta tese de livre-docência, a humanidade vive mais um momento de transformação. Pode-se afirmar que as transformações sociais e tecnológicas são inevitáveis. Entretanto, os caminhos e os destinos das transformações são decorrentes da somatória das conjunturas macro ambientais e do relativo livre arbítrio político de pequenas e grandes sociedades.

Conforme também afirmado no item 2.3, a nova era do desenvolvimento humano que a humanidade está iniciando ainda não possui uma denominação acadêmica

específica. O início desta nova era está ocorrendo, principalmente, devido às forças dos mais poderosos agentes propulsores de transformações conhecidos até então: pressões sociais e pressões ambientais. Entretanto, existe a necessidade de um razoável nível de consenso e uma intenção pró-ativa da maioria dos agentes para que os setores da economia se reorganizem, visando obter lucro dentro de um novo conceito definido como lucro cooperativo.

A arquitetura produtiva e econômica desta nova etapa ainda não está determinada. Cabe à própria humanidade, conforme afirmado no parágrafo anterior, interagir com todas as macro conjunturas e, dentro do factível, implementar as suas decisões. Naturalmente que, dentro de todas as sociedades, existe uma enorme diversidade de opiniões sobre como estruturar a economia das mesmas. É natural que haja embates ideológicos entre tendências mais ou menos progressistas ou mesmo mais ou menos eco-socialmente responsáveis. Diversas forças, sociais, intelectuais e políticas estão intensificando as suas ações no sentido de estruturar e promover as mudanças necessárias que garantam, ou pelo menos aumentem a probabilidade da humanidade não corromper, de modo praticamente irreversível, a sustentabilidade da sua própria continuidade. Mas também existem diversas reações por parte de muitos governos e também empresas de manter o atual "modus operandun" nos seus mais variados processos produtivos e ações políticas. Todos os dias, governos e empresas efetuam tomadas de decisões que se materializam em ações e que, por sua vez, conseqüentemente, implicam ou na continuidade do "modus operandun" ou mesmo em micro ou macro transformações da economia e dos sistemas produtivos. Entretanto, caso o novo paradigma produtivo que a humanidade está desenvolvendo não concilie o "trade-off" desenvolvimento e preservação do meio ambiente e também o "trade-off" automação e inclusão social, o futuro da própria humanidade estará seriamente comprometido.

Esta tese de livre-docência apresenta a proposta dos fundamentos da macro arquitetura de uma possível nova era do processo econômico e produtivo humano designada com a denominação de Era da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa.

Conforme ilustrado na figura 5, os grandes saltos dados pela humanidade ao longo da história ocorreram quando houve uma significativa evolução científica e tecnológica materializada em inovações de processos, associadas a uma significativa evolução ou inovação da sua ciência de organização social, econômica e comportamental.

O paradigma proposto desta nova etapa baseia-se nos fundamentos do conceito de desenvolvimento sustentável, em que desenvolvimento é definido como o desenvolvimento capaz de suprir às necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações.
Para que tal estágio seja obtido é necessário, novamente, que haja a ocorrência de duas grandes transformações: uma em relação à organização social e econômica e a outra em relação ao desenvolvimento tecnológico.

4.4.1 Macro transformações relativas à organização social e econômica da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa

As macro transformações econômicas e produtivas ocorrem de tempos em tempos na humanidade e, na maioria das vezes, os resultados finais não são, necessariamente, 100% planejados. Entretanto, para que as macro transformações ocorram em um determinado sentido idealizado, é necessário que haja uma vontade política consciente e planejada, determinando uma estratégia ou linha de tomada de decisão para a maioria das instituições e forças que compõem as sociedades.
As sociedades, instituições ou mesmo empresas têm vivido em um ambiente econômico que se tornou, ao longo dos dois últimos séculos, cada vez mais competitivo, e, conforme preconizou Adam Smith em 1776, com a "mão invisível do mercado", este ambiente tem contribuído para que as mesmas tenham aprimorado os seus produtos e serviços.
Atualmente, existem diversos indicadores para medir o sucesso das empresas como lucratividade, produção, produtividade, retorno de capital etc. Evidentemente, o sucesso financeiro é um dos quesitos fundamentais para a sobrevivência de qualquer organização ou país. Portanto, o resultado econômico é um importantíssimo indicador da eficácia organizacional, porque permite a quantificação razoavelmente precisa dos investimentos e dos benefícios decorrentes dos eventos que impactam a organização. Durante a era da Primeira Revolução Industrial até, praticamente os dias atuais, o critério desempenho financeiro foi base preponderante para a tomada de decisões das organizações. Assim sendo, para continuar sobrevivendo em um mercado cada vez mais competitivo, toda organização, constantemente, deve monitorar e analisar os seus custos e retornos financeiros. As principais questões básicas a respeito dos custos são:

- As receitas são maiores que os custos das operações?
- Qual é o custo unitário do produto ou serviço?
- Qual é o custo fixo?
- Quanto o preço unitário será alterado se a produção for aumentada?
- Algumas funções da empresa estão incorrendo em custos excessivos?
- Onde estão os desperdícios? Como eliminá-los?
- Como redirecionar os esforços de marketing, produção e logística para tornar a empresa mais lucrativa?
- Como os custos totais mudarão, caso sejam expandidas as operações?
- Como os custos serão afetados no caso de terceirizar algumas operações?
- Quanto será a redução do custo unitário, caso haja investimento na planta produtiva e nos recursos humanos?
- Quanto custa o tempo parado dos recursos produtivos da empresa?
- Quanto custa cada componente direto e indireto dos insumos produtivos?
- Qual é o custo tributário e qual é o custo financeiro da organização?
- Como transformar custos fixos em custos variáveis sem perder o controle central das operações?
- Como obter ganhos e economia de escala?
- Como reduzir os custos relativos à gestão e operação da cadeia de suprimentos?

Observe-se que, para uma organização ter sustentabilidade financeira, as receitas devem ser suficientes para arcar com todos os custos operacionais e também permitir novos investimentos em infra-estrutura e tecnologia de produto e de processo. Entretanto, embora as medidas financeiras sejam importantíssimas, as mesmas são incompletas porque não retratam a totalidade competitiva presente e futura da organização. Existem diversas dimensões de desempenho para avaliar uma organização ou sociedade. A figura 57 ilustra um exemplo genérico de um ponto de operação de uma organização em relação a diversas dimensões de desempenho.

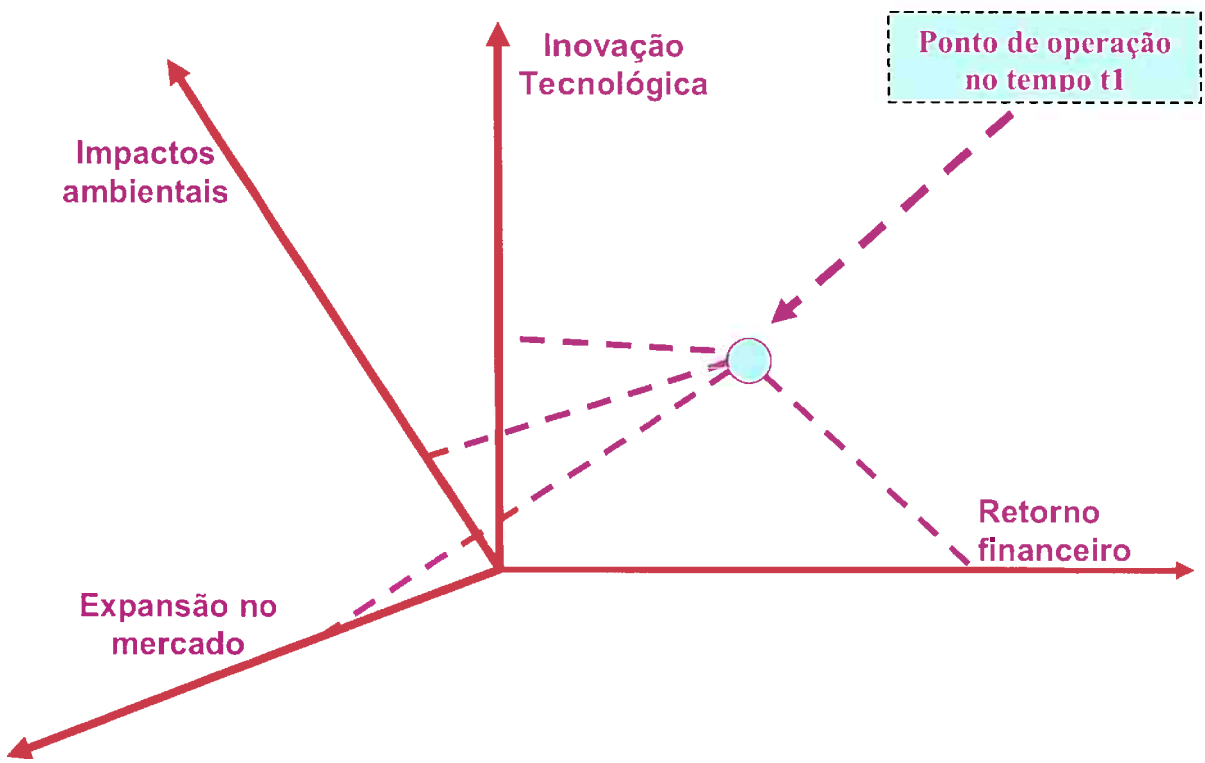


Figura 57 - Exemplo genérico de um ponto de operação de uma organização em relação a diversas dimensões de indicadores de desempenho.

Dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, uma organização deve ser avaliada em diversas dimensões, e o paradigma "*o ótimo é inimigo do bom*" é plenamente aderente à filosofia coorporativa gerencial de uma nova economia. Se para continuar a melhorar, apenas um dos indicadores (em detrimento dos demais), uma seqüência de decisões e ações devem ser tomadas, essas decisões e ações devem ser repensadas, para que também objetivem aprimorar o desempenho médio dos demais indicadores. As decisões e ações devem, preferencialmente, concentrar os esforços para melhorar os indicadores que apresentam os piores resultados. Assim sendo, ao longo de diferentes períodos de tempo, o ponto de operação deve sofrer alterações controladas com o objetivo da melhoria global em todas as dimensões de indicadores de desempenho e não somente buscar maximizar apenas alguns poucos deles. A figura 58 ilustra um exemplo genérico de um ponto de operação de uma organização em relação a diversas dimensões de desempenho, ao longo de dois momentos distintos.

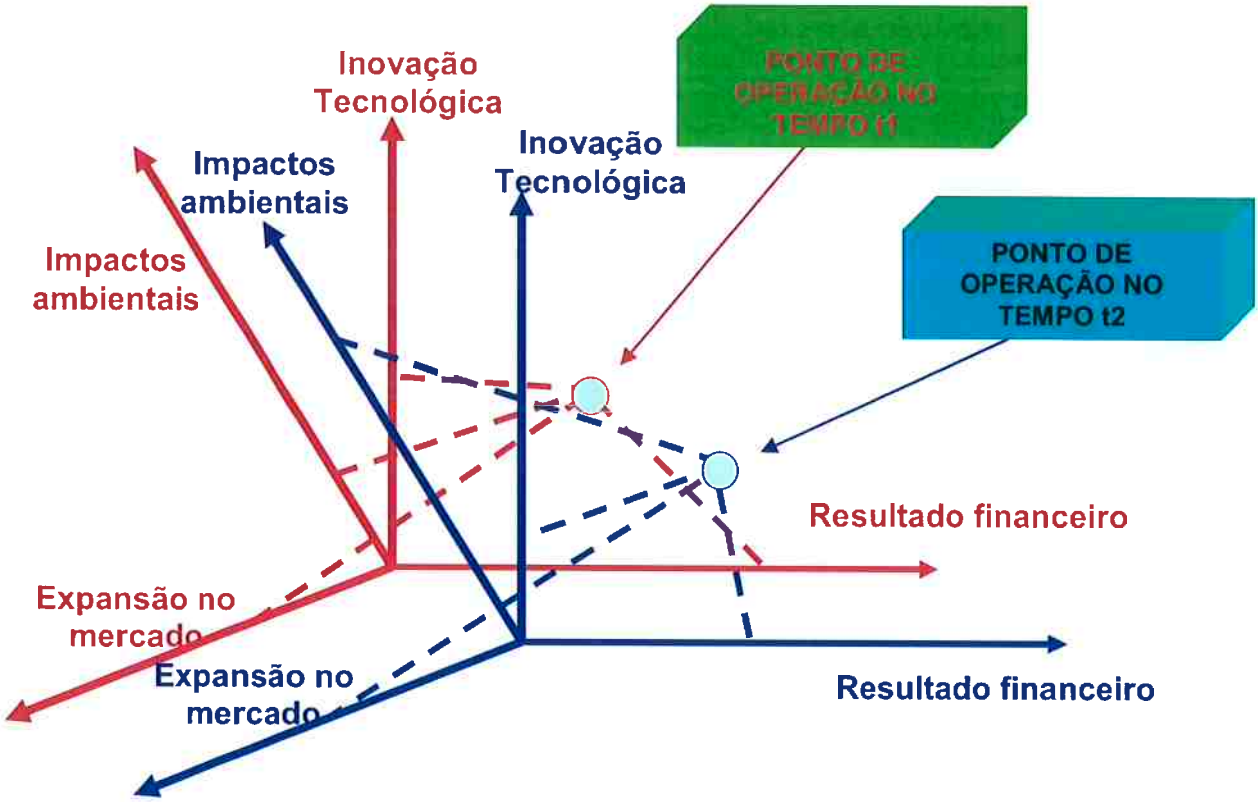


Figura 58 - Exemplo genérico de um ponto de operação ao longo de dois momentos distintos de uma organização, em relação a diversas dimensões de indicadores de desempenho.

Em uma Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa as organizações buscam o lucro, mas também buscam atingir sucesso em outros indicativos que são essenciais para o desenvolvimento sustentável e, portanto, são vitais para a própria sobrevivência da mesma a médio e longo prazos.

Conforme ilustrado na figura 1, toda organização executa um ou diversos processos produtivos e é dependente das três macro variáveis de entrada físicas, das três macro variáveis de entrada estratégicas e também das variáveis de sustentabilidade. O IDH de toda a comunidade no entorno da organização, assim como o IDH do país, implica, diretamente, na qualidade dos recursos humanos de que a mesma pode dispor. Assim sendo, todos os fatores ambientais e sociais como poluição, infra-estrutura, transporte, qualidade dos serviços públicos, escolaridade, qualidade da escolaridade, nível de "stress" etc interferem na competitividade, na produtividade, na qualidade e na disponibilidade dos recursos humanos. Conseqüentemente,

interferem na competitividade presente e futura dos seus produtos e serviços dentro do mercado.

Muitas organizações nacionais e internacionais têm reescrito as suas missões e pode-se constatar que várias já atuam de maneira socialmente responsável, financiando escolas para comunidade ou mesmo executando ou financiando projetos que, de forma direta ou indireta, visem a inclusão social. Muitas empresas também estão começando a adotar, nas suas metodologias de avaliação de desempenho de seus executivos, não somente critérios tradicionais contábeis e mercadológicos, mas também critérios que, de alguma forma, mensurem o nível de satisfação dos seus funcionários, e também o nível de impacto ambiental de suas ações.

No modelo operacional proposto - a Ecoeconomia -, as organizações realizam seus negócios e operações com parceiros e não mais com fornecedores e clientes. É um modelo conceitual em que todos dependem de todos na grande cadeia de fornecimento que é a economia humana. A Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa inclui uma sistemática operacional que, mesmo sem abandonar os fundamentos da economia de mercado de Adam Smith (em que as organizações visam o lucro e o mais competitivo vence), adota a perspectiva do lucro sustentável ou o lucro cooperativo e, portanto, dentro de limites do bom senso, vale o paradigma de que o "negócio somente é bom se for bom para todos". Neste modelo, fornecedores e clientes não mais lutam para obter as maiores vantagens comerciais possíveis em função da diminuição das vantagens do outro, mas sim trabalham em conjunto, no sentido de otimizar os processos produtivos, as cadeias de suprimentos e a qualidade de seus produtos e serviços, incluindo os impactos ambientais globais que as suas operações combinadas produzem.

Os princípios de buscar modelar matematicamente situações econômicas, nas quais competidores ou parceiros, operando de forma cooperativa ou não, podem maximizar os seus ganhos, não são, necessariamente novos e foram alguns deles introduzidos pelo matemático americano e Prêmio Nobel de economia John Nash, nas publicações intituladas: "Equilibrium points in n-person games" (1950) e "Two-Person Cooperative Games" (1953).

Este ramo da matemática conhecido como Teoria dos Jogos ganhou notoriedade principalmente depois da publicação, em 1944, dos trabalhos de John Von Neumann e Oskar Morgenstern, "The Theory of Games and Economic Behavior".

Evidentemente que os modelos e práticas econômicas empregados pelos países e organizações ainda têm muito que evoluir no sentido de atingir uma plena cooperação entre todos os envolvidos. Entretanto, como a necessidade é um importante vetor de mudanças, a premente exigência da humanidade em encontrar um caminho economicamente viável e sustentável pode ser um forte fator indutor das transformações para uma economia solidária, acenando para uma nova etapa da evolução humana.

A automação de processos é uma das ferramentas vitais para viabilizar esta nova etapa do desenvolvimento humano. Tradicionalmente, a automação de processos é vista como uma ferramenta de substituição do elemento humano na execução dos processos produtivos e, portanto, é avaliada como ciência e tecnologia que levam ao aumento dos índices de desemprego.

A automação pode minimizar, significativamente, os custos das operações, ser empregada na otimização dos processos produtivos e também melhorar a qualidade dos produtos e serviços prestados. Portanto, parte dos benefícios econômicos obtidos com ela pode ser reinvestida na geração de novos processos produtivos que, por sua vez, demandem recursos humanos em jornadas de trabalho reduzidas.

A automação também pode livrar a humanidade, ainda que parcialmente, de trabalhos enfadonhos, perigosos ou mesmo causadores das doenças do trabalho. Portanto, a automação pode, igualmente, contribuir para a minimização dos custos da securidade social e também dos custos demandados com a medicina corretiva, pois a automação, se empregada corretamente, contribui para a prevenção de acidentes e para a minimização dos índices das doenças do trabalho.

As economias com os custos de saúde obtidas pela sociedade podem, caso haja vontade política, ser investidas na própria sociedade na forma de políticas públicas ou mesmo privadas como: programas permanentes de capacitação de recursos humanos, melhoria das escolas, custeio e incentivo de atividades culturais etc.

Em resumo, nesta proposta de modelo econômico cooperativo, as organizações passam a ter como meta o seu desenvolvimento sustentável, que, por sua vez, depende do desenvolvimento sustentável geral do país e do mundo. Assim sendo, os fatores humanos e os fatores ambientais passam a ser tão importantes quanto os fatores econômicos.

Este sistema econômico é possível? A resposta é sim. Porém, como qualquer outro sistema, a implementação não é efetuada do dia para a noite, e também depende da

vontade política da sociedade. De acordo com o que foi sucintamente relatado no capítulo 1, a humanidade já se organizou política e economicamente das mais diversas maneiras, compondo diferentes nações. Portanto, várias transformações já ocorreram e continuarão acontecendo de forma gradual ou mesmo dramática, conforme as necessidades conjunturais associarem-se à evolução das idéias e costumes.

Não é um destino irreversível que a humanidade se reorganize política e socialmente em um modelo similar ao modelo proposto e denominado Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa. Porém, é fato que ela, de tempos em tempos, sempre estará se reorganizando. Portanto, dentro de um relativo livre-arbítrio, é possível implementar qualquer sistema factível. A ciência e a tecnologia da automação são ferramentas fundamentais de viabilização do modelo proposto, caso a sociedade assim decida.

4.4.2 Macro transformações tecnológicas da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa.

Conforme demonstrado neste trabalho, os impactos ambientais produzidos pelos seres humanos atingiram, atualmente, uma escala tectônica que está comprometendo a própria sobrevivência da humanidade. O aumento populacional e o desenvolvimento econômico pressionam o crescimento da demanda de recursos naturais também para uma escala não suportável pelo ecossistema planetário, o que compromete, significativamente, as condições das variáveis de sustentabilidade.

Assim sendo, é urgente que a área científica e tecnológica desenvolva e possibilite a implementação de seis ações básicas: combate ao desperdício por meio da educação, combate ao desperdício por meio da melhor gestão da infra-estrutura, desenvolvimento de processos produtivos mais eficientes, desenvolvimento de processos produtivos que produzam menos lixo, incluindo o emprego do lixo e sucata como matérias-primas e também na matriz energética e desenvolvimento de novas fontes de energia e de energia limpa.

4.4.2.1 Combate ao desperdício por meio da educação e da conscientização da população e alteração de hábitos de consumo em escala global

A educação formal e informal de uma sociedade é um processo dinâmico do qual participam diversos atores; entre eles, as instituições de ensino e de pesquisa são essenciais, porém, não são únicas. Os meios de comunicação possuem uma participação significativa no processo de formação cultural de uma população. Evidentemente que nem sempre a influência de parte dos meios de comunicação de massa é positiva; entretanto, é inegável que ela se torna proporcionalmente mais significativa quanto menor for o nível de escolaridade de uma população. Portanto, a infra-estrutura dos meios de comunicação não deve ser desconsiderada no processo de aprimoramento cultural, mas sim deve ser, dentro do possível, melhor aproveitada. A internet, as novas ferramentas tecnológicas de educação a distância e a tecnologia denominada convergência digital, associadas a uma vontade política, podem permitir a criação, a integração e a formação de parcerias entre diversas instituições de ensino e pesquisa com setores governamentais e demais meios de comunicação de massa, dentro de uma grande rede de educação a distância, com o objetivo de contribuir para a formação de uma cultura do não desperdício. Observe-se que essa mesma grande rede de educação a distância pode ser, também, empregada como um ator auxiliar no processo de capacitação, formação e reciclagem da educação formal e profissional.

4.4.2.2 Combate ao desperdício por meio de investimentos e melhoria da gestão dos sistemas logísticos e de infra-estrutura

Os países desenvolvidos possuem uma razoável infra-estrutura, enquanto os países em desenvolvimento, assim como os países subdesenvolvidos, ainda são carentes neste quesito. Entretanto, uma melhor gestão de qualquer infra-estrutura existente, seja ela suficiente ou não, pode melhorar, significativamente, os índices do desperdício de energia e de bens transportados, tratados, armazenados ou produzidos por elas. O desenvolvimento da ciência e da tecnologia da automação focado na gestão e otimização dos recursos de infra-estrutura é uma das peças-chave neste macro objetivo. Sistemas de controle de semáforos inteligentes e

integrados, por si só, não resolvem os problemas de congestionamento das grandes cidades, mas contribuem muito para a melhoria do fluxo de veículos automotivos. A automação dos sistemas de supervisão e de controle da infra-estrutura ferroviária pode permitir uma utilização mais segura com menos acidentes, e também uma utilização mais eficiente da mesma. A automação do agro-negócio, do controle e armazenamento da produção é uma poderosa ferramenta para aumentar a produção, a produtividade e também minimizar os desperdícios. É claro que deve, também, existir uma política nacional de investimentos na ampliação da infra-estrutura de transporte coletivo, tanto quanto na infra-estrutura de transporte de cargas. Mas seja com a infra-estrutura existente ou mesmo com a ampliação da mesma, a automação é uma ferramenta fundamental para a sua melhor gestão, uma vez que o sistema produtivo de um país é, na realidade, uma grande cadeia de suprimentos integrada à cadeia de suprimentos internacional da economia globalizada.

A água é a matéria-prima direta de, praticamente, todos os processos produtivos e constitui uma das principais variáveis de sustentabilidade. Atualmente, existe um grande desperdício de recursos hídricos, tanto no Brasil como em muitos países, devido a diversos problemas operacionais dos sistemas de captação, tratamento e distribuição. Deve-se lembrar, também, que a água é o principal vetor de transmissão das doenças infecciosas e que investimentos na melhoria de sistemas de abastecimento de água geram uma grande redução das taxas desse tipo de doenças. Assim sendo, diversas pesquisas e esforços estão sendo efetuados por instituições de pesquisa e por empresas, no sentido de desenvolver sistemas e tecnologias de automação para a captação, tratamento e distribuição de água, de forma mais eficiente.

O emprego da energia em instituições públicas e privadas pode ser melhorado, significativamente, por meio de sistemas de controle e monitoração automáticos, o que permite diminuir, razoavelmente, a necessidade da expansão de toda a infra-estrutura de geração, distribuição e transmissão de energia elétrica ou mesmo de outras fontes como gás natural etc.

Em resumo, os sistemas de gestão baseados na tecnologia de informação integrados a sistemas de automação podem melhorar, em muito, a eficiência e a performance global de toda a infra-estrutura de um país.

4.4.2.3 Desenvolvimento de processos produtivos mais eficientes em relação às variáveis físicas de entrada e às variáveis de sustentabilidade

A eficiência dos processos produtivos depende, diretamente, do nível da variável estratégica tecnologia, empregada na elaboração dos mesmos. Máquinas como motores elétricos, reatores, turbinas, etc. obsoletas ou mal controladas fazem com que os processos produtivos apresentem baixos níveis de rendimento energético, baixos índices de aproveitamento das matérias-primas e também tornem-se mais poluidores. Conforme definido no item 2.2 e ilustrado na figura 1, qualquer processo produtivo demanda, além de energia, as demais variáveis de entrada e também as variáveis de sustentabilidade. Assim sendo, a melhoria em todos os aspectos dos processos produtivos é uma necessidade urgente da humanidade. Processos mais eficientes do ponto de vista energético geram menos impactos nas variáveis de sustentabilidade e também são mais econômicos do ponto de vista financeiro. Novamente, a ciência e a tecnologia da automação podem contribuir, de forma efetiva, para a melhoria da performance dos mais variados tipos de processos produtivos. O controle automático das variáveis controladas e das variáveis de controle, ilustradas na figura 11, permite um menor dispêndio de todas as variáveis de entrada e também menor emissão de toda ordem de poluentes, incluindo os gases causadores do efeito estufa. O desenvolvimento de máquinas mais eficientes também é uma necessidade para que os processos produtivos possam demandar menos das variáveis de sustentabilidade.

4.4.2.4 Desenvolvimento de processos que produzam a menor quantidade possível de lixo e sucata, reciclagem e coogeração

Como os processos produtivos produzem lixo e sucata, os problemas ambientais crescem diretamente proporcionais ao crescimento da atividade econômica. A automação de processos bem efetuada minimiza as falhas de processo e, conseqüentemente, mitifica a produção de lixo ou sucata. Uma vez que a automação permite o aumento da garantia da qualidade do processo, a mesma pode contribuir para romper com o ciclo negativo de que o aumento da produção de produtos e serviços implica no aumento da produção de lixo e sucata.

Outro benefício possível de se obter com a automatização e melhoria dos processos da indústria de reciclagem é o aumento da capacidade de transformação de lixo e sucata em matérias-primas para outros processos ou, mesmo, em produtos acabados. A automação pode, também, auxiliar a logística da coleta, separação, destinação e eventual reaproveitamento do lixo industrial, doméstico e hospitalar e, desta forma, contribuir, significativamente, para o enfrentamento deste grande desafio da atual geração, bem como das gerações futuras. A maioria dos aterros sanitários das grandes metrópoles está saturada, e, como infelizmente a produção per capita de lixo vem crescendo significativamente, é urgente que a humanidade dê um salto efetivo de qualidade nos processos de gestão, destinação, tratamento e reaproveitamento do lixo. O lixo pode, também, ser empregado como matriz energética. Uma das indústrias que mais vem empregando o lixo como parte da matriz energética em seus fornos é a indústria de cimento. Observe-se que os avanços tecnológicos com os biodigestores e também com sistemas de aproveitamentos do gás metano, oriundo dos aterros sanitários, não resolverão por completo a problemática da necessidade de energia, mas, certamente, contribuirão para o esforço coletivo do desenvolvimento sustentável.

4.4.2.5 Aumento significativo de novas fontes de energia limpa e de energia de fontes renováveis na matriz energética mundial

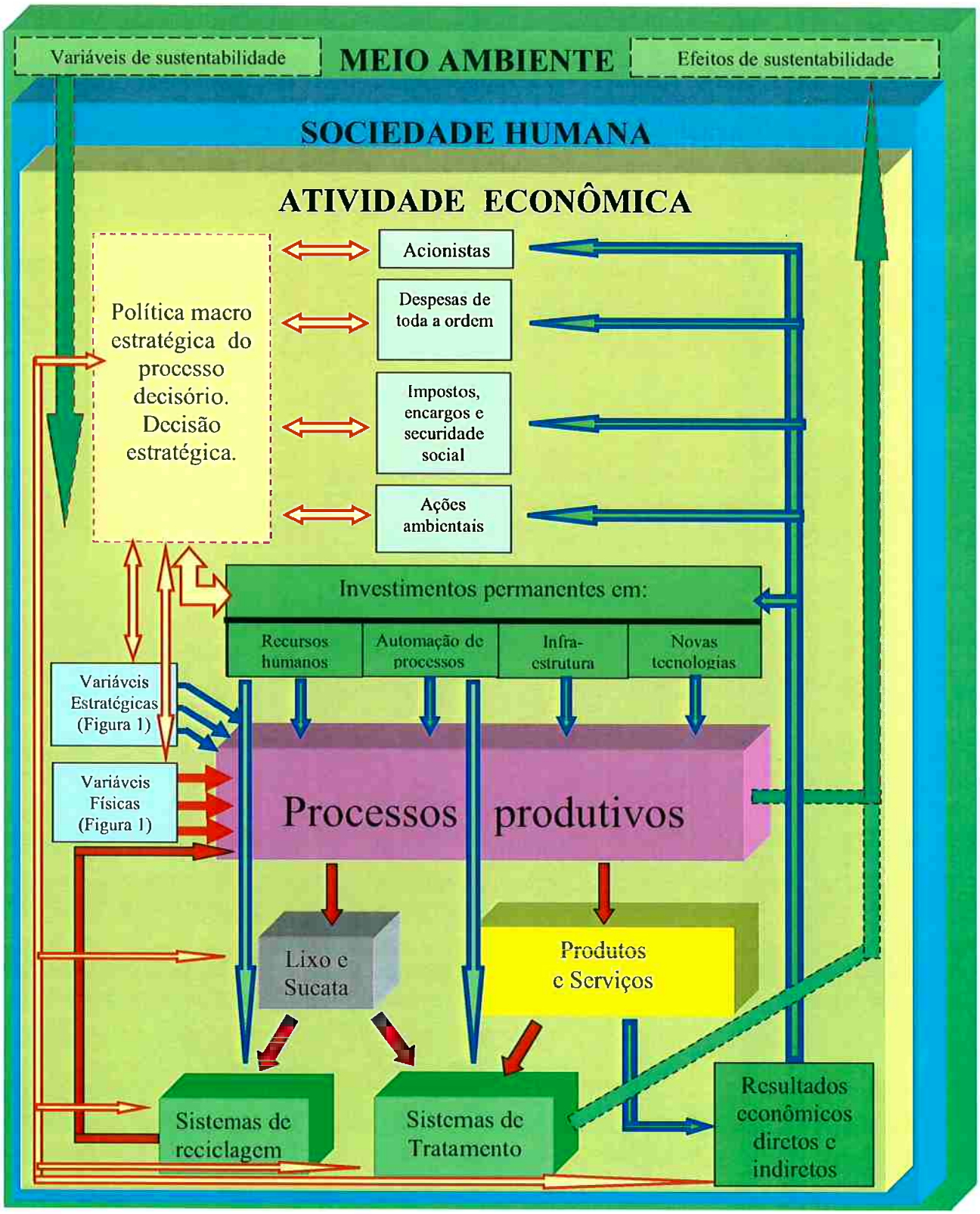
Este é outro quesito fundamental para que a humanidade possa atender às suas necessidades sem comprometer a continuidade das suas próprias condições de sobrevivência. O desenvolvimento científico e tecnológico de aproveitamento de novas fontes de energia, priorizando, principalmente, as fontes de energia classificadas como limpas, é vital. A automação de processos relacionados à produção, transmissão e distribuição de energia é uma parte integrante e indissociável do emprego de novas fontes de energia. Diversas publicações científicas e notícias nos principais jornais mundiais atestam que os investimentos globais no desenvolvimento de fontes de energia limpa no ano de 2007 superaram a cifra dos US$ 140 bilhões e que os mesmos são ainda maiores em 2008. Alemanha e China são os países que, até o presente momento, mais têm investido neste setor.

4.4.3 Modelo operacional da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa

Em todas as cinco ações propostas para viabilizar as macro transformações tecnológicas da era produtiva denominada Era da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa, a ciência e a tecnologia da automação, assim como o permanente desenvolvimento científico objetivando o desenvolvimento sustentável, estão presentes. A figura 59 ilustra a proposta do modelo operacional da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa.

Conforme pode-se observar na figura 59, os processos produtivos da era denominada Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa também geram lixo e sucata e demandam as mesmas seis variáveis de entrada definidas na figura 1 bem como as variáveis de sustentabilidade. Conseqüentemente, os mesmos também causam impactos no meio ambiente. Entretanto, a demanda pelas seis variáveis de entrada, assim como o volume produzido de lixo e sucata, tende a ser proporcionalmente menor por processo produtivo. Isto deverá ocorrer porque a sociedade como um todo, dentro deste modelo econômico, está comprometida com o desenvolvimento sustentável.

O consumo per capita de energia do ser humano tende, também, a ser menor com o passar do tempo porque, nesta proposta de modelo econômico, também o investimento no desenvolvimento de processos, máquinas e equipamentos energeticamente mais eficientes assim como o investimento em educação e conscientização são permanentes. Assim sendo, o incremento da atividade econômica, ao invés de amplificar os seus impactos negativos nas variáveis de sustentabilidade, passa a contribuir para a diminuição dos efeitos negativos no meio ambiente.



Legenda:

- **Fluxo de produtos, serviços, matérias-primas, lixo e sucata.**
- **Variáveis de entrada físicas.**
- **Variáveis de entrada estratégicas.**
- **Fluxo de capital.**
- **Fluxo de informações e fluxo de decisões.**

Figura 59 - Modelo operacional da Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa

A base deste modelo proposto é fundamentada nos mesmos dois pilares que, até o presente momento da história da humanidade, têm sido os promotores das grandes transformações no modelo econômico e produtivo. São eles: um novo modelo conceitual de gerir e de organizar a economia e um significativo salto no desenvolvimento científico e tecnológico. Na figura 59 o primeiro aparece representado no quadro "Política macro estratégica do processo decisório".

No contexto desta tese de livre-docência, política macro estratégica do processo decisório refere-se a um padrão global de decisões e de ações que posicionam a organização e a sociedade em seu meio ambiente e têm por objetivo fazê-la atingir seus objetivos de longo prazo; o principal deles é o próprio desenvolvimento sustentável.

A componente deste modelo denominada "Política macro estratégica do processo decisório" tem um papel fundamental. Isto se deve ao fato de ser ela que estabelece um padrão de tomada de decisão que funciona, também, como um elemento conciliador dos eventuais interesses momentaneamente conflitantes entre os diversos setores da sociedade. Isto não significa afirmar que a componente "Política macro estratégica do processo decisório" deva realizar as funções do sistema judiciário nos mais diversos tipos de conflitos oriundos dos relacionamentos humanos, políticos ou econômicos. Não é esta a função proposta, mesmo porque a tal componente não é uma instituição formal e sim, um modelo conceitual, cultural e econômico, assim como diversos outros modelos econômicos já existentes como o que é denominado Neoliberal.

No modelo proposto e denominado Ecoeconomia Tecnológica e Cooperativa os resultados econômicos obtidos na comercialização dos produtos e serviços são, assim como no modelo econômico atual, distribuídos para os mais diversos setores da sociedade. Entretanto, a principal diferença é que a "Política macro estratégica do processo decisório" tem, como função, nortear as ações e investimentos a fim de que todos os componentes da sociedade recebam os benefícios e, simultaneamente, haja um permanente investimento em pesquisa para a melhoria da eficiência de todos os processos produtivos. Não há como existir, efetivamente, nenhum modelo econômico sustentável se, ao mesmo tempo, o ser humano não estiver sendo contemplado.

Assim sendo, nesta proposta de modelo, os resultados econômicos obtidos pela comercialização dos produtos e dos serviços têm diversos destinos e objetivos

específicos, que, quando atingidos e combinados de forma integrada, garantem o permanente desenvolvimento sustentável da sociedade humana. O objetivo da erradicação da miséria econômica, assim como o da erradicação da miséria cultural, deve pertencer a toda política que pretenda contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Observe-se que, conforme indicado na figura 59, o fluxo de informações e de decisões permeia toda a cadeia produtiva, de forma integrada com o objetivo de que todos os setores sejam contemplados e melhorados permanentemente.

Assim sendo, o lixo e sucata tornam-se matérias-primas e também componentes da matriz energética de diversos outros processos. Os permanentes investimentos em recursos humanos podem, realmente, efetivar o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e de energia limpa, uma vez que, no final das contas, são os seres humanos quem desenvolvem a ciência e a tecnologia.

Muitas empresas e instituições já estão significativamente afinadas ou caminhando em direção a um modelo gerencial similar ao proposto nesta tese. A cada dia que passa, mais e mais empresas incluem o termo desenvolvimento sustentável na definição de suas missões. Alguns autores definem o início desta nova era como "A Era do Capital Social e Humano", em que Capital Humano é definido como sendo o potencial produtivo do conhecimento e das ações de um indivíduo. Diversas empresas já perceberam que somente a existência de funcionários com conhecimentos, habilidades, motivações e condições pode conduzir a organização e promover a obtenção de vantagens competitivas nos mercados do século XXI.

A somatória de todas as organizações e de todos os setores da sociedade compõe o Capital Social de uma nação. Capital Social é definido como sendo o potencial produtivo resultante de relacionamentos fortes, da boa vontade, da confiança e do esforço cooperativo entre os diversos setores sociais. Assim sendo, quando funcionários, colaboradores e "stakeholders" de uma organização são envolvidos em relacionamentos sinergéticos, social e ambientalmente responsáveis, a vantagem competitiva e o desenvolvimento sustentável são atingidos para o benefício de todos, incluindo as empresas por eles representadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema central desta tese de livre-docência - a aplicação da ciência e da tecnologia da automação como ferramentas de viabilização do desenvolvimento sustentável e da inclusão social - é analisado neste trabalho por meio da apresentação de subtemas, correspondentes a diferentes capítulos.

O primeiro passo para realização desta análise é o estabelecimento das relações entre as ações humanas, os processos produtivos e o meio ambiente, dentro de uma perspectiva histórica que fundamente o campo conceitual para analisar as questões da automação e seus impactos. Discutidos os principais tópicos desta teoria, criam-se as condições para fundamentar a proposta de como a ciência e a tecnologia da automação podem e devem ser empregadas para a promoção do desenvolvimento sustentável e da inclusão social. Esta fundamentação, além dos aspectos teóricos discutidos, é embasada pela atuação educacional e profissional de seu autor, explicitada, também, no corpo do trabalho.

A proposta apresentada pode se constituir em uma contribuição na definição de um novo caminho a ser seguido. Contudo, observe-se que nenhum cientista, pesquisador ou futurólogo pode prever, com exatidão, que caminhos a humanidade trilhará no futuro. Atualmente, a humanidade vive um momento complicado e difícil. As pressões sociais oriundas das enormes desigualdades de renda e de escolaridade associadas aos atuais e crescentes níveis de consumo são os maiores perigos para ela própria. O início do século XXI está sendo marcado por uma sucessão de crises globais de natureza econômica e política. As dificuldades relativas à produção de alimentos, energia e abastecimento de água crescem a cada dia. Entretanto, com base na análise histórica, é certo concluir que nenhum sistema de organização social e política permanece inalterado para sempre. Assim sendo, uma das maiores certezas da humanidade permanece sempre a mesma – ela vive e sempre viverá períodos de incertezas causados pelas permanentes mudanças.

Há muito tempo que a ciência definiu, conceitualmente, dois infinitos: o infinitamente grande que é o cosmo e o infinitamente pequeno que é o universo subatômico. Coube ao jesuíta, filósofo e paleontólogo francês Pierre Teihard de Chardin definir um terceiro tipo de infinito, o infinitamente complexo, que é a vida.

A vida no planeta Terra, e também provavelmente no restante do universo, possui uma pujança imensurável. A humanidade, que compõe uma ínfima parcela da vida, possui uma semelhança genética entre o próprio DNA e o DNA da espécie dos chipanzés de, aproximadamente, 98%. Portanto, pode-se concluir que as diferenças dos DNAs das diversas raças e etnias humanas são quase que insignificantes. Entretanto, em sua curta existência no planeta a humanidade construiu uma diversidade cultural quase que também infinita.

Essa gigantesca diversidade cultural pode ser tanto um poderoso instrumento evolucionário de continuidade da humanidade, como também um perigoso instrumento de desagregação, guerras e misérias. Tudo depende de como a sociedade humana está trabalhando com as diferenças. Os fatos históricos antigos e recentes falam por si só, e pode-se constatar quantos avanços já foram propiciados devido às diferentes contribuições culturais das mais diversas nações e, ao mesmo tempo, quanto sofrimento e miséria também não foram gerados devido às incompreensões, intransigências e preconceitos religiosos, culturais e políticos. Uma das leituras que se pode realizar da história é que toda sociedade condenada à miserabilidade, durante um período de mais de duas gerações, tem uma grande probabilidade de tornar-se vítima de sistemas políticos oficiais ou oficiosos que, no fundo, são sistemas totalitários ou tiranias: de esquerda, de direita, religiosa ou do crime.

No século XX, a ciência da engenharia caracterizou-se, preponderantemente, pelo desenvolvimento e pela implementação de produtos e serviços baseados nas leis físicas descobertas nos séculos XVIII e XIX.

No século XXI, a ciência da engenharia será caracterizada pelo desenvolvimento e pela implementação de produtos e serviços das leis bioquímicas e biofísicas descobertas no século XX. A nanotecnologia, bioengenharia e os biochipes, polímeros inteligentes, próteses robóticas, dispositivos de interface entre órgãos humanos como músculos, nervos e até mesmo o cérebro estão sendo desenvolvidos e estudados nos mais diversos centros de pesquisa. É certo afirmar que, em um universo de tempo menor que 20 anos, os mesmos estarão à disposição da sociedade em geral. Os desenvolvimentos da ciência da engenharia genética associados aos desenvolvimentos científicos e tecnológicos mencionados e os avanços da medicina possibilitarão uma ampliação significativa da expectativa de vida humana e também da sua qualidade de vida.

Constata-se que a humanidade chegou a um estágio de conhecimento científico tal que, diferentemente das outras espécies viventes no planeta, começa a interferir voluntariamente, tanto no próprio processo evolucionário como no das demais espécies vivas.

Assim sendo, ampliam-se os desafios a serem enfrentados pela própria humanidade na definição de princípios éticos e na definição de normas e de legislações norteadoras e normalizadoras das atividades de pesquisa e das atividades econômicas e políticas.

Com o aumento da longevidade humana, a pressão nos sistemas previdenciários públicos ou privados dos países aumentará. E também intensificar-se-á a necessidade de encontrar soluções para efetivar a ocupação e o aproveitamento de uma nova mão-de-obra, que, mesmo envelhecida para os padrões atuais, terá, neste novo cenário, capacidade ampla de contribuir com a sua grande experiência adquirida e de também operar como força de trabalho produtiva.

Portanto, torna-se cada vez maior a necessidade de que as atividades científicas e tecnológicas sejam multidisciplinares, para que as mesmas sejam sintonizadas às necessidades das atividades econômicas e das atividades políticas em benefício da própria humanidade.

Conforme afirmado na "Introdução" desta tese de livre-docência, o que impele o ser humano a refletir sobre si mesmo e sobre o universo não é consenso entre cientistas, filósofos e teólogos. Porém, esta habilidade de tentar modelar e controlar o universo no qual vive permitiu-lhe desenvolver diversas ciências que, constantemente, criam e aperfeiçoam métodos, processos e ferramentas.

A ciência e a tecnologia da automação têm alterado, significativamente, a sistemática produtiva da humanidade. Elas podem e deverão ser fortes aliadas na viabilização de uma nova era produtiva, denominada nesta tese de livre-docência de "Ecoeconomia Tecnológica Cooperativa", que, em linhas gerais, visa tanto o desenvolvimento sustentável da economia quanto a inclusão social.

O nome da nova era econômica e tecnológica que a humanidade está iniciando não é, necessariamente, o mais importante. Embora ainda boa parte da humanidade esteja empregando, nos seus respectivos processos produtivos e nos sistemas políticos e econômicos, práticas que são ainda muito agressivas ao meio ambiente e à própria humanidade, diversos indícios de uma mudança positiva e pró-ativa em direção ao modelo proposto nesta tese de livre-docência estão ocorrendo.

Alguns exemplos são: governos de diversos países estão investindo somas cada vez maiores na pesquisa de novas fontes de energia, no tratamento do lixo e na proteção dos mananciais; novas legislações mais rígidas têm surgido ou estão em processo de votação sobre a responsabilização das empresas sobre o uso final dos seus produtos e serviços; algumas das empresas produtoras de cimento do mundo assumiram um compromisso de diminuir, até 2012, 20% da emissão de CO2 por tonelada de cimento produzido, em relação aos níveis do ano de 1990; nos Estados Unidos da América as diretorias de diversos fundos de pensão informam que, em breve, não mais investirão em empresas notoriamente poluidoras; as pressões ou mesmo rejeições por parte do mercado sobre empresas que não sejam caracterizadas como socialmente responsáveis e também ambientalmente responsáveis estão aumentando dia-a-dia.

As universidades, os centros de pesquisas, as escolas e a imprensa têm tido um papel importantíssimo na divulgação, conscientização e na geração de vetores de mudanças de comportamento social e individual. Espera-se, portanto, que haja uma forte probabilidade de que as novas gerações tenham uma nova consciência e atuação diante das questões sociais e ambientais.

Como os avanços científicos e sociais sempre trazem a gênese de novos avanços científicos e sociais, acredita-se que a humanidade, embora esteja atualmente repleta de desafios aparentemente intransponíveis, poderá encontrar soluções de continuidade para o seu próprio desenvolvimento. E estas soluções, para que sejam sustentáveis, certamente deverão mitigar os impactos ambientais e também possibilitar que toda a humanidade se beneficie. As mesmas deverão democratizar o usufruto dos benefícios, obtidos por meio dos avanços científicos e tecnológicos, ultrapassando fronteiras e diferenças culturais. Embora esta última afirmativa possa parecer uma utopia, é certo que, em um modelo de sociedade ambientalmente responsável e mais fraterno que o atual, as bases de continuidade do desenvolvimento da humanidade estarão mais sólidas e, portanto, com maiores probabilidades de garantir a sua sobrevivência.

6 REFERÊNCIAS

ABE, R. S. **Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração**. 2002, 142p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

ADÃO, O. **Sistemas de Automação Destinados à Gestão Da Energia Elétrica de Consumidores De Classe A.** 2003, 173p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

ALMEIDA, F. **Os Desafios da Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ANDRADE, A. A **Desenvolvimento De Sistema Especialista Com Operacionalidade de Aprendizado Para Operar em Tempo Real Com Sistemas Industriais Automatizados.** 2007, 138p Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

ANDRADE, A. A **Emprego de Sistemas Especialistas Em Sistemas Supervisórios de Automação Industrial.** 2001, 154p Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

ANDRADE, A. A.; PEREIRA, S. L. ; DIAS, E. M. ; FONTANA, C. F. **Development and Application of an Expert System With Real Time Learning Operability for Automated Industrial and Portuary Systems**. In: 12th WSEAS International Conference on SYSTEMS, 2008, Heraklion. Anais 12th WSEAS International Conference on SYSTEMS. Heraklion : WSEAS Press, 2008.

ÅSTRÖM, K. J.; WITTENMARK, B. **Computer-Controlled Systems – Theory and Design**. EUA, Prentice Hall, 1997.

BARRACLOUGH, G. **The Times Atlas of World History**. Londres: Times Books, 1993.

BATES, B.C.; Z.W. KUNDZEWICZ. S. WU; J.P. PALUTIKOF, Eds., 2008. **Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

BEGA, E. A. (Org.) **Instrumentação Industrial.** Rio de Janeiro: Interciência, 2003

CASSANDRAS, C.G.; **Discrete Event Systems: Modeling and Performance Analysis**.EUA: Irwin, 1993.

CASSEDY, E.S.; GROSSMAN, P.Z.. **Introduction to Energy: Resources, Technology, and Society**. N.Y. Cambridge University Press 1990..

CHASE, R.B.; AQUILANO, N.J.; JACOBS, F.R. **Operations Management for Competitive Advantage.** 9 ed. EUA: McGraw-Hill, 2001.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C.A. **Administração de Produção e Operações - Manufatura e Serviços: Uma abordagem estratégica**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Modernos**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

FERREIRA, A. B de H. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa** 2 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira 1986.

FOROUZAN, B.A.; **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 4 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

GARCIA, D. A. A. **Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado A Estudos Sobre Medições de Energia Elétrica**. 2000, 128p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

GARCIA, D. A. A. **Metodologia de Diagnóstico Automático de Falhas de Curto-Circuito em Alimentadores Primários de Sistemas de Distribuição Reticulados tipo *Spot***. 2006, 177p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

GIBSON, J. L.; IVANCEVICH, J. M.; DONNELY, JR., J. H.; KONOPASKE, R. **Organizações: Comportamento, Estrutura e Processos**. 12 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. 2 ed. São Paulo: Edusp, 2003

GROSZMANN, R. V. **Gestão de Projetos de Automação com apoio de ferramentas de Gestão de Projetos, de Conhecimento e Indicadores de Desempenho**. 2005, 176p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

GUDIM R. S. **Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia Para Auxílio de Engenharia Em Automação Residencial "MAEAR"**. 2007, 131p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

HENDERSON, H. **Além da globalização**. São Paulo: Cultrix, 2003.

HORDESKI, M.F. New **Technologies For Energy Efficiency.** Georgia: The Fairmont Press 2003.

IEC. 1131-3. International Electrotechnical Commission. **Programmable Controllers. Part 3: Programming Languages.** 1993. Especificações. CEVIEC 1131-3.

JAMES, K.; CAMPBELL, S. L.; GODLOVE, C. E. **Água e Energia – Aproveitando as oportunidades de eficientização de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais.** Washington: Alliance, 2002.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hill, 2008.

LEWIS, R. W. **Programming industrial control systems using IEC 1131-3**. London: The Institution of Electrical Engineers, 1998.

MACHADO, A. N. **Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Avaliação Da Confiabilidade de Sistemas de Automação de Usinas Hidroelétricas.** 2005, 165p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MARTELL, H. M. **O mundo Antigo**. São Paulo: Melhoramentos, 1997.

MICHEL, G. **Programmable Logic Controllers - Architecture and Application.** England: John Wiley & Sons, 1990.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial.** Rio de Janeiro: LTC 2007.

NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

O'BRIEN, J. A.; MARAKAS, G. M. **Administração de Sistemas de Informação: Uma Introdução**. 13.a ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

OGATA, K.; **Engenharia de Controle Moderno**. 4 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2003.

PEREIRA, S. L. ; SOUZA, M. ; DIAS, E. M.; FONTANA, C. F. . **Automation and Management Using Intelligent Instrumentation and Field Networks in the Water Treatment Process Automation**. In: 7th WSEAS International Conference on Applied Computer & Applied Computational Science (ACACOS´08, 2008, Hangzhou. Anais do 7th WSEAS Internationa Conference on ACACOS´08, 2008. p. 585-591.

PINHO, D. B.; DE VASCONCELLOS, M. A. S. (Orgs.) **Manual de Economia**. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 1999.

PRESSMAN, R. S.; **Engenharia de Software**. 6 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

REID, R. D.; SANDERS, N.R. **Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

REIS, L. B.; **Geração de Energia Elétrica. Tecnologia, Inserção Ambiental, Planejamento, Operação e Análise de Viabilidade**. São Paulo: Editora Manole, 2003.

REIS, L.B.; SILVEIRA, S. (Orgs.) **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Edusp, 2000.

RITZMAN, L.P.; KRAJEWSKI, L.J. **Administração da Produção e Operações.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2004.

ROSSANO, F. P. **Tópicos sobre Aplicação de Automação para Otimização de Recursos Hídricos de Sistemas de Abastecimento D´ Água.** 2006, 49p Dissertação (MBA) PECE.- EPUSP. São Paulo, 2006.

SAIDEL, M. A. **A Gestão de Energia Elétrica na USP: O Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia Elétrica**. 2005, 160p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

SHIRAHGE, A. B. **Metodologia para Aferição da Ação de Controle Proporcional Integral Derivativa em Controladores Industriais.** 2007, 103p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, F. C. **Desenvolvimento De Metodologia de Aplicação De Redes De Petri Para Automação De Sistemas industriais Com Controladores Lógicos Programáveis (CLP).** 2006, 146p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SOUZA, J. **Max Weber – A Gênese do Capitalismo Moderno**. São Paulo: Ática, 2006.

SOUZA, M. **Proposta de um Sistema de Gestão Empregando Instrumentação Inteligente e Redes de Campo na Automação do Processo de Tratamento de Água.** 2006, 161p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SOUZA, M.; PEREIRA, S. L. ; FONTANA, C. F.; DIAS. E. M. **Information Technology as a Management Tool in Automation Processes of Sanitation Facilities. In: Communications & Information Technology** 2008 - NAUN Conferences, 2008, Atenas. Anais NAUN Conferences, 2008. p. 201-206.

SOUZA, M.; PEREIRA, S. L.; FONTANA, C. F.; DIAS, E. M. **Integrated Management and Optimization of the Sanitation Cycle Using Intelligent Automation Systems and Communication Networks**. WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS and CONTROL, v. 3, p. 321-331, 2008.

STEINER, R. **Economia Viva – O mundo como organismo econômico único.** 3 ed. São Paulo: Antroposófica, 2006.

TANENBAUM, A. S. **Computer Networks.** 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

UGULINO, A. O, **Simulação de Processos Empregada como Ferramenta de Utilização da Automação Industrial.** 1999, 188p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

WEBB, J; GRESHOC, K. **Industrial Control Electronics.** Maxwell Macmillan International Editions, 1992..

YUKISHIMA, C. T. **Desenvolvimento de Ferramenta de Engenharia Para Aplicação de Simulação em Tempo Real em Plantas Industriais Automatizadas "FASTR".** 2006, 187p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SITES CONSULTADOS

<http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/12/071217_nivelmaraumentafn.shtml.> Acesso em 12/07/2008.

<http://www1.folha.uol.com.br/folha/bbc/ult272u61801.shtml,> Acesso em 06/04/2007.

<http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=42013> Acesso em 09/12/2008.

<http://noticias.uol.com.br/ultnot/efe/2007/04/11/ult1766u21157.jhtm.> Acesso em 09/12/2008.

<http://noticias.uol.com.br/album/071109_album.jhtm.> Acesso em 11/12/2008.

<http://oglobo.globo.com/mundo/mat/2008/12/01/mar_em_veneza_atinge_maior_nivel_em_22_anos_inunda_cidade-586782414.asp.> Acesso em 11/12/2008.

<http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/eng/> Acesso em 07 de junho de 2007.

<http://www.whrc.org/> Acesso em 07 de junho de 2007.

<http://search.mywebsearch.com/mywebsearch/GGmain.jhtml?searchfor=%3Chttp%3A%2F%2Fwww-lgge.ujf-> Acesso em 20 de setembro de 2007.

<http://www.google.com.br/search?hl=PTBR&q=fotos+da+primeira+revolu%C3%A7%C3%A3o+industrial&btnG=Pesquisa+Google&meta> Acesso em 21 de novembro de 2008.

<http://faustocefetsp.vilabol.uol.com.br/revindustrial2.html> Acesso em 21 de novembro de 2008.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ford_Model_T> Acesso em 06 de junho de 2007.

<http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/> Acesso em 07 de junho de 2007.

<http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,1389294,00.html> Acesso em 5 de julho de 2007.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:479px-Atomic_blast.jpg> Acesso em 9 de julho de 2007.

<http://www.ambienteemfoco.com.br/?p=817> Acesso em 18/01/2008.

<http://noticias.terra.com.br/ciencia/interna/0,,OI2072927-EI8278,00.html.> Acesso em 20 de outubro de 2008.

<http://www.ipcc.ch/about/index.htm> .Acesso em 22 de outubro de 2008.

<http://www.camara-e.net/interna.asp?tipo=1&valor=3505 > Acesso em 5 de junho de 2007.

<http://www.imasters.com.br/artigo/4388/ecommerce/comercio_eletronico_brasil_crescimento_proximo_dos_80/ > Acesso em 5 de junho de 2007.