



INOVAÇÃO E DIFUSÃO TECNOLÓGICA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Suzana Borschiver

Ricardo Naveiro

n.11

Brasília 2012



Modelo SENAI de Prospecção

Série Estudos Setoriais

INOVAÇÃO E DIFUSÃO TECNOLÓGICA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente

DIRETORIA DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA – DIRET

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor de Educação e Tecnologia

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI

Conselho Nacional

Robson Braga de Andrade
Presidente

SENAI - Departamento Nacional

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor Geral

Gustavo Leal Sales Filho
Diretora de Operações



*Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria*

INOVAÇÃO E DIFUSÃO TECNOLÓGICA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Suzana Borschiver

Ricardo Naveiro

n.11

Brasília 2012



Modelo SENAI de Prospecção

Série Estudos Setoriais

© 2012. SENAI - Departamento Nacional

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

SENAI/DN

Unidade de Estudos e Prospectivas - UNIEPRO

Ficha catalográfica

B738i

Borschiver, Suzana.

Inovação e difusão tecnológica em automação industrial / Suzana
Borschiver, Ricardo Naveiro. - Brasília: SENAI.DN, 2012.
94p. (Série Estudos Setoriais, n.11)

ISBN 978-85-7519-474-4

1. Inovação 2. Automação Industrial I. Naveiro, Ricardo II. Título III.
Série

CDU: 67

SENAI

Serviço Nacional de
Aprendizagem Industrial
Departamento Nacional

Sede

Setor Bancário Norte
Quadra 1 - Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 - Brasília - DF
Tel.: (0xx61) 3317-9544
Fax: (0xx61) 3317-9550
<http://www.senai.br>

Lista de Figuras

Figura 1 - Cadeia produtiva de automação industrial	33
Figura 2 - Subgrupos de Tecnologias	62

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Mercado mundial de automação	18
Gráfico 2 - Importações de produtos e soluções Fieldbus na América Latina	18
Gráfico 3 - Análise temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	47
Gráfico 4 - Análise temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	47
Gráfico 5 - Análise temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"	48
Gráfico 6 - Análise de países do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	49
Gráfico 7 - Análise de países do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	50
Gráfico 8 - Análise de países do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"	50
Gráfico 9 - Análise de fontes de informação do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	51
Gráfico 10 - Análise de fontes de informação do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	52
Gráfico 11 - Principais fontes de informação "industrial process automation" x "Wireless"	53

Gráfico 12 - Análise da origem dos autores dos artigos do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	55
Gráfico 13 - Análise da origem dos autores dos artigos do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	55
Gráfico 14 - Análise da origem dos autores dos artigos do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"	56
Gráfico 15 - Análise Temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	64
Gráfico 16 - Análise Temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	64
Gráfico 17 - Análise Temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"	65
Gráfico 18 - Análise de Países do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	66
Gráfico 19 - Análise de Países do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	66
Gráfico 20 - Análise de Países do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"	67
Gráfico 21 - Classificação das Empresas depositantes das patentes do cruzamento "industrial process automation x Fieldbus"	69
Gráfico 22 - Classificação das Empresas depositantes das patentes do cruzamento "industrial process automation x Ethernet"	70
Gráfico 23 - Classificação das Empresas depositantes das patentes do cruzamento "industrial process automation x Wireless"	72
Gráfico 24 - Análise de Assuntos do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	73
Gráfico 25 - Análise de Assuntos do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	74
Gráfico 26 - Análise de Assuntos do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"	75

Gráfico 27 - Análise dos Principais Setores do cruzamento “industrial process automation” x “Fieldbus”	77
Gráfico 28 - Análise dos Principais Setores do cruzamento “industrial process automation” x “Ethernet”	78
Gráfico 29 - Análise dos Principais Setores do cruzamento “industrial process automation x Wireless”	79

Lista de Tabelas

Tabela 1- Faturamento da Indústria Eletroeletrônica no Brasil	19
Tabela 2 - Exportações Brasileiras de Produtos Eletroeletrônicos	20
Tabela 3 - Principais estatísticas de produção para a classe 33.30 - valores monetários em reais de 2006	20
Tabela 4 - Principais fabricantes internacionais ligados à automação industrial	22
Tabela 5 - Tipologia de máquinas-ferramenta.	26
Tabela 6 - Distribuição do Faturamento das Empresas de Máquinas-ferramenta no Brasil por Tipo de Equipamento - 2001 a 2006	27
Tabela 7 - Participação das vendas internas no faturamento das empresas de MF no Brasil	27
Tabela 8 - Elos da Cadeia Produtiva	34
Tabela 9 - Metodologia de busca de artigos	46
Tabela 10 - Fontes de informação com menor destaque e com apenas 1 artigo do cruzamento “industrial process automation” x “Fieldbus”	52
Tabela 11 - Fontes de informação com menor destaque e com apenas 1 artigo do cruzamento “industrial process automation” x “Ethernet”	53
Tabela 12 - Fontes de informação com menor destaque e com apenas 1 artigo do cruzamento “industrial process automation” x “Wireless”	54
Tabela 13 - Distribuição dos artigos de cada grupo por assunto	57

Tabela 14 - Divisão de artigos por setor de atuação para a palavra- chave Fieldbus	59
Tabela 15 - Divisão de artigos por setor de atuação para a palavra -chave Ethernet	60
Tabela 16 - Divisão de artigos por setor de atuação para a palavra- chave Wireless	60
Tabela 17 - Metodologia de busca de patentes	63
Tabela 18 - Análise de Depositantes do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"	68
Tabela 19 - Análise de Depositantes do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"	69
Tabela 20 - Análise de Depositantes do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"	71
Tabela 21 - Citações em artigos acadêmicos das tecnologias prospectadas (1998 - 2008)	89
Tabela 22 - Citações em artigos acadêmicos das tecnologias prospectadas (1998 - 2008)	89
Tabela 23 - Citações em artigos acadêmicos das tecnologias prospectadas (1998 - 2008)	90

Sumário

APRESENTAÇÃO

1	INTRODUÇÃO	13
2	CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DA INDÚSTRIA DE AUTOMAÇÃO	15
	2.1 A Dinâmica da Indústria de Equipamentos e Sistemas de Automação	15
	2.2 O Mercado de Automação no Brasil	19
	2.3 Estrutura da Indústria de Automação de Processos	21
	2.4 O Mercado de Máquinas-Ferramentas no Brasil	25
3	CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONAIS	31
	3.1 A Cadeia Produtiva de Automação de Processos	31
	3.2 Cadeia Produtiva da Automação da Manufatura	34
	3.3 Relação Usuário-Fornecedor	36
4	PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS	39
	4.1 Metodologia	39
	4.2 Trajetórias Tecnológicas na Automação de Processos	40
	4.3 Análise de Artigos	46
	4.4 Análise de Patentes	63
	4.5 Conclusões	79
5	TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA	85
	REFERÊNCIAS	93

APRESENTAÇÃO

Dando continuidade a série Estudos Setoriais, temos o prazer de disponibilizar um estudo do setor de Automação Industrial. Os Estudos Setoriais são parte integrante da metodologia de prospecção tecnológica e organizacional do Modelo SENAI de Prospecção.

A série se concentra em apresentar a contextualização dos setores estudados nas dimensões econômica, organizacional e tecnológica. Nessas três dimensões ficam explícitas as principais características do setor ou segmento estudado, o que auxilia as outras atividades do Modelo SENAI de Prospecção.

Este volume da série objetivou apresentar principalmente a indústria brasileira de automação industrial no que concerne ao seu desempenho recente (ex: importações, exportações e principais gargalos), a estrutura da cadeia produtiva - tipos de agentes e seus inter-relacionamentos - e a dinâmica tecnológica - fluxo produtivo e tendências tecnológicas. A publicação traz ainda as perspectivas de crescimento e de investimento do setor.

Pretende-se que este estudo seja um importante instrumento de informação sobre o mercado de trabalho para empresas e entidades representativas de empregadores e de trabalhadores, bem como de tomada de decisão quanto formula de políticas de formação profissional.

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor Geral do SENAI/DN

1 INTRODUÇÃO

Um dos aspectos mais marcantes do setor de automação industrial reside na sua capacidade de transmitir seu dinamismo tecnológico para empresas usuárias, resultando no aumento da produtividade da economia como um todo. A compra de máquinas e equipamentos representa, segundo a PINTEC (IBGE, 2003), fonte de 50% das inovações ocorridas na indústria brasileira, caracterizando o setor de bens de capital como principal agente difusor de tecnologia.

O SENAI, na qualidade de principal instituição formadora de recursos humanos para a indústria brasileira, se defronta com o desafio de monitorar a evolução tecnológica no setor de forma a adequar, tanto quantitativa quanto qualitativamente, seus esforços de capacitação. Tal desafio vem sendo enfrentado há vários anos por meio do desenvolvimento de metodologias e procedimentos de análise conhecidos como “Modelo SENAI de Prospecção Tecnológica”.

Este estudo é parte de um projeto de monitoramento das tendências tecnológicas no setor de automação industrial que é complementado por trabalhos mais específicos que utilizam procedimentos metodológicos interativos, de forma a envolver especialistas acadêmicos das empresas fornecedoras e dos quadros do próprio SENAI nos esforços de prospecção tecnológica e análise de seus impactos sobre a demanda por qualificações. Tais esforços resultaram em um conjunto de recomendações específicas para a instituição formadora.

O estudo está dividido em quatro capítulos. O primeiro apresenta as principais características econômicas da indústria de automação visando apresentar o contexto no qual se difundem as inovações prospectadas. O Capítulo 2 analisa as principais características da cadeia produtiva da indústria de automação, destacando as relações entre diferentes empresas fornecedoras e seus usuários. O terceiro e quarto capítulos apresentam as principais tendências tecnológicas da automação industrial e a prospecção tecnológica realizada para os segmentos de automação de processos e de manufatura, respectivamente.

2 CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DA INDÚSTRIA DE AUTOMAÇÃO

Este capítulo apresenta as principais características econômicas estruturais da indústria de automação visando oferecer o contexto no qual se difundem inovações. Inicialmente são revistos os fatores condicionantes da dinâmica desta indústria, principalmente o crescimento econômico e os padrões de competição em diferentes segmentos. As seções seguintes analisam o mercado e a estrutura da Indústria relacionados a automação de processos e a manufatura.

2.1 A Dinâmica da Indústria de Equipamentos e Sistemas de Automação

A automação industrial é um setor diretamente afetado pelo ritmo de crescimento da economia. Nos períodos de recessão, o setor é o primeiro a sofrer influências, já que as incertezas quanto ao futuro, reduzem novos investimentos que não sejam fundamentais para as operações produtivas. Por outro lado, em fases de crescimento econômico, o setor é fortemente alavancado pelas expectativas dos setores usuários de aumento da demanda e consequente necessidade de expansão da produção. Os investimentos em automação são vistos portanto, como um termômetro das expectativas dos agentes econômicos.

Além do desempenho do PIB, o setor de automação é permanentemente estimulado pelo acirramento do processo competitivo e a necessidade de buscar novas rotas para o desenvolvimento industrial (a exemplo de tecnologias mais limpas) que proporcionam estímulos à inovação. Em países industrializados, a automação é incorporada com o objetivo de melhora da qualidade do produto, aumento da segurança do processo, redução de emissões de gases poluentes e uso eficiente dos recursos. Por outro lado, empresas de países em desenvolvimento são motivadas principalmente pela possibilidade de aumento no volume de produção, apesar de aspectos relacionados à qualidade e ao meio ambiente estarem ganhando importância (JAMSA-JOUNELA, 2007).

Os investimentos em atualização de plantas existentes costumam ser feitos em etapas, tanto para diluição de custos de investimentos quanto para evitar paradas longas no processo produtivo. Na área de automação de processos, o primeiro passo se dá, na maioria das vezes, pela instalação de uma sala de controle para monitorar instrumentos de campo, aproveitando-se ao máximo os recursos existentes. Posteriormente, implanta-se a instrumentação e as malhas digitais de campo. Por fim, podem ser feitas as primeiras incursões em controle avançado, gerenciamento de ativos e até modelos de simulação e treinamento virtual. Trata-se de uma trajetória tecnológica seguida pelas empresas de forma gradual e com perspectivas de longo prazo.

A eletrônica digital vem transformando as estratégias competitivas das empresas de automação no sentido de mudar o foco da produção de equipamentos para a oferta de um mix de sistemas e serviços dos quais os equipamentos são apenas um dos componentes. O aumento da participação dos serviços na composição da oferta de sistemas de automação industrial deriva de dois fatores principais. Primeiro, os projetos de modernização geralmente apresentam necessidades específicas de adaptação dos novos recursos baseados em tecnologias digitais aos sistemas legados, normalmente baseados em tecnologias antigas, como pneumáticas e analógicas. Segundo, o foco em serviços também advém da queda das margens obtidas com a venda de hardware. Outra característica do setor é a crescente terceirização de serviços por parte dos usuários, diante do aumento da sofisticação tecnológica e necessidade de novas capacitações para projetar, implementar e manter os sistemas de automação.

As fábricas estão se tornando altamente reconfiguráveis e flexíveis visando uma adaptação às mudanças tecnológicas e inovações em produtos cada vez mais frequentes. A reconfiguração bem-sucedida de uma linha de produção requer acesso direto aos seus elementos de controle como válvulas, motores, portas lógicas e mecanismos de precisão. A visão típica da fábrica do futuro é de plantas totalmente automatizadas, contando com robôs inteligentes, capazes de atender rapidamente a uma ampla gama de clientes online demandando produtos customizados. O desenvolvimento das tecnologias da informação e da comunicação (TIC) dão suporte a este modelo: muitos sensores, redes sem fio em banda larga, softwares de diagnósticos de alta qualidade e interfaces flexíveis, permitem o controle centralizado de operações dispersas e acesso a mecanismos hierárquicos e automáticos de tomada de decisão e correção de erros (ABINEE, 2009). Da mesma

forma, permitem a integração dos equipamentos de automação da manufatura tornando-os mais flexíveis e sincronizados.

A tendência da indústria manufatureira é reduzir o tamanho das grandes fábricas e torná-las móveis, acompanhando a disponibilidade de recursos produtivos e as necessidades dos clientes. A indústria deixou de ser concentrada em poucos países ditos industrializados para se espalhar em diversas regiões. As empresas fornecedoras de equipamentos e sistemas precisam inovar continuamente para atender de forma global seus clientes sem esquecer das necessidades de customização e serviços avançados. Para tanto, é preciso recorrer à parcerias de forma que agregue valor e novos conhecimentos.

Já na indústria de processos não se observa esta tendência de redução do tamanho das plantas. Ao contrário, a busca por maiores escalas de produção e a consequente redução de custos é uma trajetória clara, apoiada pelo crescimento das fusões e aquisições de empresas e a consequente concentração da indústria global.

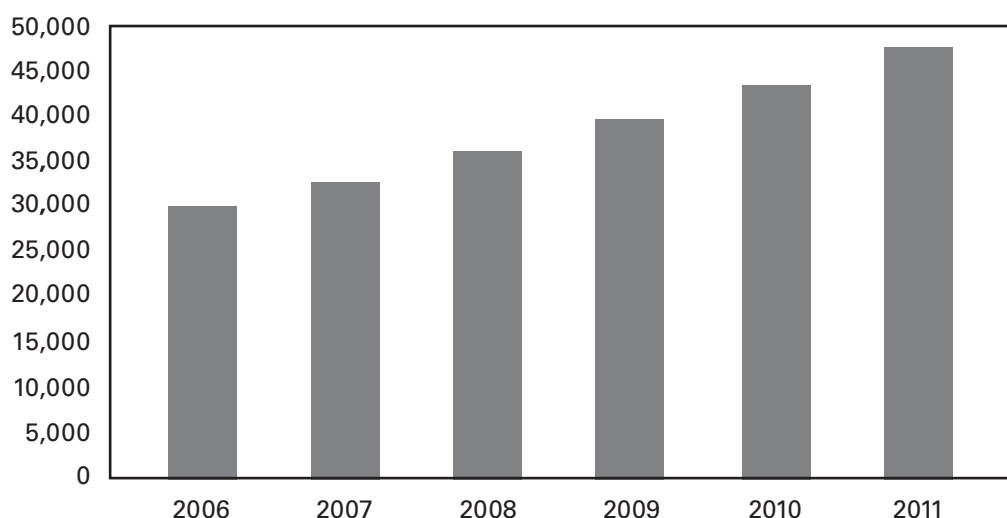
Existem hoje dúzias de empresas internacionais que geralmente fazem parte de grupos da indústria especializados em engenharia e produtos intensivos em tecnologia¹. Estima-se que, em dez anos, o número de grandes empresas especializadas em automação caia para apenas quatro.

A crise mundial iniciada em 2008 vem reduzindo o ritmo dos investimentos em automação. Os usuários tendem a se retrair principalmente em relação aos novos sistemas, o que deve atrasar um pouco a difusão de tecnologias mais avançadas como Wireless. Observa-se também, neste momento, a preferência por soluções mais econômicas e com menores custos de mão de obra.

Apesar do desaquecimento da economia mundial, existe otimismo em relação à demanda por automação, alimentada principalmente por países emergentes e pelos preços ascendentes das commodities industriais. Novos projetos de exploração, produção e refino de petróleo, além de investimentos em mineração vem aquecendo o setor de automação. Estimativas da ARC mostram um quadro otimista até 2011, conforme podemos observar no gráfico

¹ A Siemens é o maior conglomerado mundial em número de empregados (mais de 450 mil funcionários) e atua em diversas áreas da automação.

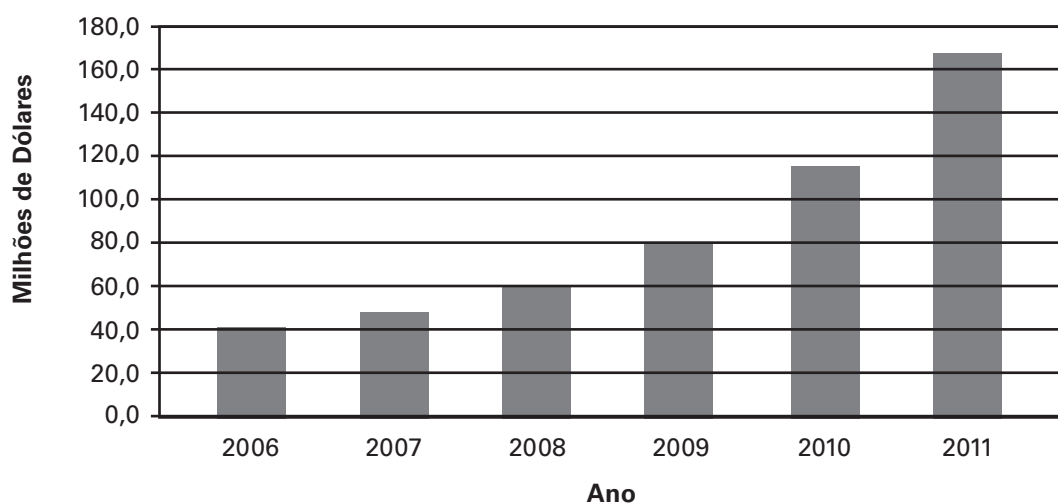
Gráfico 1 - Mercado mundial de automação



Fonte: ARC, 2009

Considerando o mercado latino-americano, a automação de processos vem oferecendo boas oportunidades de crescimento para as empresas fornecedoras. Após um longo período de estagnação e instabilidade econômica, países latino americanos como Peru, Chile e Brasil estão retomando investimentos em automação. Um exemplo de como a demanda latino americana por produtos e soluções em automação tem crescido é o aumento de importação de produtos voltados para comunicação Fieldbus, como mostrado no gráfico 2.

Gráfico 2 - Importações de produtos e soluções Fieldbus na América Latina



Fonte: O'BRIEN, 2008

2.2 O Mercado de Automação no Brasil

O atual ciclo de inversões em infraestrutura de energia e transportes, aliado aos fortes investimentos nos setores da petroquímica, etanol e mineração vem sendo acompanhado de uma visão inovadora que valoriza a automação industrial. Já no segmento da automação da manufatura, existem dúvidas quanto ao futuro dos investimentos diante da queda das exportações e aumento das importações de bens de consumo duráveis e não duráveis.

A Tabela 1 apresenta informações do faturamento dos diferentes segmentos da indústria eletroeletrônica no Brasil no período de 2006 a 2008.

Tabela 1 - Faturamento da Indústria Eletroeletrônica no Brasil

Faturamento total por área(R\$ milhões)	2006	2007	2008	Crescimento2007/2008
Automação Industrial	2.708	3.097	3.446	11%
Componentes Elétricos e Eletrônicos	9.409	10.150	9.500	-6%
Equipamentos Industriais	13.322	15.541	18.369	18%
GTD*	9.169	10.599	11.919	12%
Informática	29.418	31.441	35.278	12%
Material Elétrico de Instalação	6.755	7.646	8.323	9%
Telecomunicações	16.742	17.465	21.546	23%
Utilidades Domésticas Eletroeletrônicas	16.560	15.773	14.710	-7%
Total	104.083	111.711	123.092	10%

*Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica
Fonte: Abinee, 2009.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE, 2009), em 2008, o faturamento total da indústria de automação industrial foi de R\$ 3,4 bilhões, representando apenas 3% da indústria eletroeletrônica como um todo. No entanto, a representatividade do setor de Automação se torna mais perceptível quando se analisa a taxa de crescimento anual que é um pouco superior a média do setor. O setor de automação oferece boas oportunidades de negócios impulsionados pelos investimentos em segmentos específicos como petróleo, açúcar e álcool, mineração, energia elétrica, siderurgia e indústria automobilística.

A mesma observação pode ser feita em relação às exportações, mostradas na Tabela 2, que vem se ampliando apesar da forte valorização do real frente ao dólar.

Tabela 2 - Exportações Brasileiras de Produtos Eletroeletrônicos

Exportação de produtos por setor	2006	2007	2008	Crescimento2007/2008
(US\$ milhões)	2006	2007	2008	Crescimento
2007/2008	9.409	10.150	9.500	-6%
Automação Industrial	239	280	314	12%
Componentes Elétricos e Eletrônicos	2.708	3.151	3.304	5%
Equipamentos Industriais	918	1.013	1.141	13%
GTD	516	657	865	32%
Informática	411	338	313	-7%
Material Elétrico de Instalação	308	289	325	13%
Telecomunicações	3.115	2.491	2.540	2%
Utilidades Domésticas Eletroeletrônicas	1.035	1.081	1.088	1%
Total	9.249	9.300	9.891	6%

Fonte: Abinee, 2009

Segundo o IBGE, existem 191 empresas de automação industrial no Brasil, empregando 5,2 mil pessoas e faturando R\$ 608 milhões em 2004. A Tabela 3, a seguir, apresenta as principais estatísticas de produção para o grupo de Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos de Sistemas Eletrônicos dedicados à Automação Industrial e ao Controle do Processo Produtivo (classe 33.30)

**Tabela 3 - Principais estatísticas de produção para a classe
33.30 - valores monetários em reais de 2006**

Indicadores	1999	2004	CrescimentoAnual
Número de empresas (NE)	132	191	7,7
Pessoal médio ocupado (PO)	3.662	5.242	7,4
Receita líquida de vendas (RLV) (R\$ milhões)	559	608	n.d.
Valor da transformação industrial (VTI) (R\$ milhões)	300	338	n.d.
Receita média (RLV/NE) (R\$ milhões)	4,2	3,2	n.d.
Emprego médio (PO/NE)	17	18	n.d.
Salário médio mensal do pessoal ocupado (Reais)	2.209	1.952	-2,4

Fonte: Pesquisa Industrial Anual do IBGE, vários anos. Apud Prominp (2009)

Apesar da crise econômica, a perspectiva de crescimento do setor ainda é otimista, devido principalmente aos investimentos da Petrobrás. Os investimentos em automação previstos na cadeia do petróleo e gás são estimados em 5% a 6% do total dos investimentos em novos projetos. Também há planos de modernização das plantas antigas, o que aumenta substancialmente os gastos esperados da cadeia com automação industrial. A Petrobras vem executando programas de atualização de controles e modernização de sistemas em todas as suas áreas de atuação para melhoria do desempenho operacional e proteção ao meio ambiente. A demanda deverá crescer nos próximos cinco ou seis anos, motivados por fortes investimentos anunciados para expansão e exploração das reservas de pré-sal.

Também vem sendo realizados novos investimentos em telecomunicações e em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Já o setor de papel e celulose, cuja situação financeira foi afetada pela crise de 2008, não deverá fazer grandes investimentos em automação nos próximos cinco anos. (ABINEE, 2009)

2.3 Estrutura da Indústria de Automação de Processos

A indústria de automação industrial tende a incorporar cada vez mais software e serviços de engenharia e instalação. Estima-se que a participação dos gastos em engenharia no custo total de um sistema aumente de 13,9% em 2000 para 15,5% em 2010 em função das tendências de racionalização e otimização das plantas, acompanhadas pela integração dos sistemas de automação com sistemas de informação (SCHRODER, 2003). Entretanto, um dos principais gargalos hoje existentes para expansão da indústria de automação de processos é a carência de engenheiros e profissionais qualificados de automação de processos diante do aumento da demanda.

Em termos de hardware, os controladores e sistemas estão ficando cada vez mais baratos e padronizados, enquanto que a inteligência do sistema se move para as interfaces com fluxos industriais. A Intechno (SCHRODER, 2003) estima que entre 2000 e 2010, o custo do hardware básico de automação caia de 40% para 35% enquanto deverão crescer os instrumentos de campo tais como sensores, equipamentos de medidas e atuadores integrados. A previsão de crescimento nos componentes de comunicação Fieldbus e Ethernet, por exemplo, é de 8,2% e 17% ao ano, respectivamente.

No Brasil, a estrutura da oferta de equipamentos e sistemas para automação e controle de processos industriais ainda é bastante pulverizada e segmentada. De acordo com a ISA (2009), existem cerca de 1500 empresas, que podem ser divididas, segundo Gutierrez e Pan (2008), em três grupos distintos.

O primeiro é formado por grandes empresas multinacionais que oferecem amplo espectro de produtos e soluções completas de automação, incluindo hardware, software e serviços. As principais empresas líderes mundiais que atuam no mercado brasileiro são ABB, Emerson, GE Fanuc, Honeywell, Invensys, Rockwell, Schneider, Siemens e Yokogawa. Tais empresas geralmente oferecem sistemas fechados, mas a partir do surgimento de protocolos digitais de comunicação abertos, vem sendo observadas práticas de incorporação de equipamentos e software de outros fornecedores.

As multinacionais do ramo raramente desenvolvem ou fabricam dispositivos no Brasil, dedicando-se essencialmente as atividades de vendas e suporte técnico para configuração e integração dos sistemas nas plantas industriais locais. Uma vez que não existe produção local de dispositivos nem de software por parte das grandes fornecedoras internacionais, os projetos são atendidos via importação, gerando poucos empregos localmente. A Tabela 4 apresenta as principais empresas de automação no mundo, mostrando seu faturamento e gastos com P&D, os quais são bastante elevados neste setor.

Tabela 4 - Principais fabricantes internacionais ligados à automação industrial

Empresa	Faturamento em 2007 (US\$ Bilhões)	% do faturamento em automação industrial	Dispêndios em P&D (% do total do faturamento)
ABB	29,2	27	3,9
Emerson	22	45	1,8
GE Fanuc	n.d.	n.d.	n.d.
Honeywell	34,1	36,6	4,2
Invensys	5,1	45,2	2,8
Rockwell	5	100	2,4
Schneider	25,5	28,5	2,4
Siemens	102	22,9	4,9
Yokogawa	5	100	7

Fonte: Gutierrez & Pan, 2008

A seguir são apresentados alguns exemplos de como estas empresas estão investindo para acompanhar a expansão do mercado (FAIRBANKS, 2008):

- A americana Emerson Process Management obteve forte crescimento em 2008, tendo sua filial brasileira ultrapassado o volume de vendas da filial mexicana. Entre seus projetos estão à implementação do sistema SDCD em uma refinaria da Petrobrás e uma planta de polipropileno da Braskem, ambas em Paulínia, São Paulo (BOSCO, 2009).
- A suíça ABB foi reestruturada e reforça sua participação no segmento, especialmente nas refinarias de petróleo. Em 2008, firmou um contrato com a Petrobrás no valor de US\$ 61 milhões para fornecer sistemas de automação e controle de processos em oito refinarias. O contrato também prevê o gerenciamento do projeto e a parte de engenharia. Um exemplo é a implementação de controladores e Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IED) na Refinaria de Duque de Caxias (BOSCO, 2009).
- A empresa alemã Siemens aumentou sua participação no mercado de controle de processos industriais desde que unificou as linhas de SDCD e CLP em 1995. O maior destaque da empresa sempre foi ligado ao gerenciamento de energia nas fábricas. A partir de 2000, a companhia ampliou o leque de segmentos atendidos, oferecendo o controle integrado do processo e dos sistemas de energia, além de apresentar a linha completa de instrumentos de campo.
- A empresa japonesa Yokogawa tem mantido expansão de negócios no Brasil, que crescem em média 20% ao ano. A empresa investe em equipes técnicas para aumentar sua capacidade de atendimento aos clientes no país.

Vale ressaltar que a dinâmica competitiva deste setor é bastante peculiar em cada tipo de sistema de controle, pois existe o predomínio de um ou outro grupo de empresas. Por exemplo, o mercado de SDCDs é liderado pelas empresas Emerson, Yokogawa, Honeywell e ABB, enquanto que o mercado de CLPs é liderado pela Siemens e pela Rockwell (GUTIERREZ; KOO PAN, 2008)

O segundo grupo de empresas que atuam em automação industrial no Brasil é formado por empresas integradoras de sistemas de micro e pequeno porte

que atuam de forma independente ou associada a fabricantes de equipamentos. Tais empresas são geralmente comandadas por ex-funcionários das grandes empresas e atuam em mercados específicos. Caracterizam-se por oferecer soluções de automação para pequenas e médias empresas, um mercado para o qual as multinacionais não têm preço para competir.

Já o terceiro grupo é constituído por pequenas e médias empresas nacionais que oferecem uma gama de equipamentos, softwares e soluções para automação. A concorrência com empresas multinacionais as direciona para nichos particulares, como o das usinas de açúcar e de álcool, pequenas e médias empresas e o mercado de reposição. Muitas empresas nacionais desenvolvem produtos com tecnologia própria, mas poucas oferecem soluções completas aos clientes. O esforço de inovação se reflete em gastos em P&D superiores a 5% do faturamento, enquanto que o percentual da força de trabalho vinculada a atividades de P&D varia entre 10% e 15% do total de pessoal. Os principais produtos oferecidos pelas empresas nacionais são:

- Controladores lógico-programáveis (CLPs), cujo mercado brasileiro foi estimado pela Frost & Sullivan (apud Gutierrez e Pan, 2008) em US\$ 449 milhões em 2006, com a perspectiva de atingir US\$ 926 milhões em 2012;
- Dispositivos de controle;
- Sensores;
- Atuadores de válvulas;
- Inversores de frequência;
- Softwares aplicativos.

As empresas nacionais mais atuantes são a Altus, Atan, Atos, BCM Coester, Ecil, Elipse Software, Novus, Presys, Sense Sensores, Smar, Trisolutions e WEG. A maioria destas empresas está localizada nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

A maioria das empresas nacionais utiliza os benefícios da Lei de Informática (Lei 10.176, de 11.1.2001), que possibilita a redução do Imposto sobre Produtos

Industrializados (IPI) a produtos de ICT que atendam o processo produtivo básico (PPB). Outra fonte de financiamento é a FINEP por meio de editais. A FINEP capta recursos das aplicações obrigatórias em atividades de P&D por parte de empresas concessionárias e permissionárias de distribuição, geração e transmissão de energia elétrica, bem como de concessionárias para exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e/ou gás natural. Tais benefícios não têm sido explorados por empresas multinacionais em função da maior dificuldade de cumprir o PPB.

As empresas fornecedoras de sistemas de automação industrial contam com o apoio do BNDES, para financiar projetos de expansão, modernização ou re-localização; aquisição de novas máquinas e equipamentos nacionais; crédito para aquisição de bens de produção; e capital de risco. As empresas fornecedoras de software podem pleitear recursos do PROSOFT. (GUTIERREZ e PAN, 2008). As empresas nacionais dependem ainda da política de compras governamentais, principalmente da Petrobrás, que privilegia os equipamentos desenvolvidos e fabricados no país.

2.4 O Mercado de Máquinas-Ferramentas no Brasil

As máquinas-ferramenta (MF) constituem o principal segmento da automação da manufatura e é considerada bastante diversificada e heterogênia do ponto de vista tecnológico. Entretanto, é possível encontrar algumas similaridades entre os equipamentos que permitem agrupá-los conforme seu uso principal, sua complexidade tecnológica e relevância econômica. Para analisar a indústria no Brasil, Braga (2008) classifica as máquinas-ferramenta em 8 grupos, conforme mostra a Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Tipologia de máquinas-ferramenta

GRUPOS DE PRODUTOS	DEFINIÇÃO
I. Centros de Usinagem e Máquinas de Estações Múltiplas	São máquinas para trabalhar metais que realizam operações múltiplas de usinagem. Podem ser produzidas sob encomenda ou em série e são operadas por CNC. O avanço destas máquinas em relação às tradicionais é a possibilidade de realizar mais de uma função com maior flexibilidade.
II. Tornos	Máquinas para usinagem de metais por meio de operações de torneamento para confecção ou acabamento de peças. Existe uma grande diversidade de tornos, de diferentes tamanhos e complexidade tecnológica, desde tornos convencionais de menor porte para pequenas oficinas até grandes tornos a comando numérico para utilização industrial.
III. Outras Máquinas-ferramenta (MF) para usinagem (com eliminação de metal)	São máquinas específicas a certas operações, como fresadoras furadeiras, serras, dentre outras. Há também grande diversidade tecnológica nesta categoria. Muitas destas máquinas podem operar com comando numérico e há também grande produção convencional.
IV. Prensas	São máquinas-ferramenta para conformação de metais. A máquina produz deformação no metal, através de compressão, de modo a imprimir formas específicas. Difere-se das máquinas das categorias anteriores pelo processamento do metal, sem eliminação de material (produção de cavaco). São consideradas, nesta categoria, dois grandes grupos: as Prensas Hidráulicas (de maior conteúdo tecnológico) e Mecânicas. As prensas são tratadas, pela tipologia, de forma desagregada em função de sua relevância na produção nacional.
V. Outras Máquinas-ferramenta para conformação (sem eliminação de metal)	Estas máquinas, assim como as Prensas, realizam operações de conformação de metais, sem eliminação de material, que resultem em mudanças nas suas dimensões. O tipo de esforço mecânico aplicado, porém, se difere da prensagem. Estão neste grupo, máquinas laminadoras, de trefilar, bancas para extrusão, dentre outras.
VI. MF de Usinagem não-convencional	Máquinas de alta tecnologia para corte do metal que utilizam métodos diferentes da ferramentaria tradicional, incluindo máquinas-ferramenta a laser, a eletro-erosão, a ultra-som e as que operam por processos eletroquímicos.
VII. Partes, Peças, Acessórios e outros componentes para MF	Peças e acessórios específicos para a operação de máquinas-ferramenta, como porta-ferramentas, porta-pinças e dispositivos divisores para máquinas-ferramenta. Geralmente o diferencial da máquina está em certos componentes específicos como, por exemplo, ferramentas diferenciadas ou componentes eletrônicos.

Fonte: Braga, 2008.

A Tabela 6 mostra a distribuição do faturamento das empresas de MF no Brasil nos anos 2001 e 2006, segundo a tipologia acima. É possível perceber que a produção nacional está concentrada em “centros de usinagem”, “máquinas de estações múltiplas” e “prensas”. Já o segmento de MF de usinagem não-convencional considerado pela OCDE como de alta tecnologia tem pequena relevância no cenário nacional, sendo o mercado atendido via importação.

Tabela 6 - Distribuição do Faturamento das Empresas de Máquinas-Ferramenta no Brasil por Tipo de Equipamento - 2001 a 2006

Grupos de Produtos	2001	2006	Média 2001- 2006
Centros de usinagem e máquinas de estações múltiplas	26,5%	21,2%	25,4%
Tornos	19,5%	16,1%	19,2%
Outras MF para usinagem	10,6%	19,4%	9,9%
Prensas	26%	22,3%	25%
Outras MF para conformação	4,2%	5,9%	6%
MF de usinagem não convencional	n.d	3,1%	1%
Partes e peças de MFs.	13,1%	11,9%	12,4%
TOTAL	100%	100%	100%

Fonte: Braga, 2008

A Tabela 7 mostra que a disposição para exportar é maior no segmento de “prensas” onde mais de 50% da produção se destina ao mercado externo. Já a produção nacional dos demais tipos de máquinas ferramentas é voltada principalmente para o atendimento da demanda interna.

Tabela 7 - Participação das vendas internas no faturamento das empresas de MF no Brasil

Grupos de Produtos	2001	2006	Acumulado 2001-2006
Centros de usinagem e máquinas de estações múltiplas	77,2%	80%	77,9%
Tornos	76,3%	84,4%	84,4%
Outras MF para usinagem	88,1%	94,2%	82,1%
Prensas	43,5%	47,8%	54,7%
Outras MF para conformação	69,9%	82%	83,1%
MF de usinagem não convencional	n.d.	97,1%	94,4%
Partes e peças de MFs.	59,5%	71,4%	68,8%
TOTAL	66,8%	75,9%	74%

Fonte: Braga, 2008

A produção de máquinas ferramenta representava em 2005 cerca de 4% do total produzido pela indústria nacional de máquinas e equipamentos. Neste ano 51,5% no consumo total de máquinas-ferramenta no Brasil foi atendido pela produção local. Segundo a ABIMAQ existem 277 empresas de máquinas ferramentas no país, das quais 96% de pequeno ou médio porte.

Segundo Vermulm (apud Braga) as Máquinas-Ferramenta (MF) com tecnologia tradicional são produzidas por empresas nacionais de pequeno e médio porte, com estrutura familiar e níveis diferenciados de atualização tecnológica. A empresa brasileira com maior participação no mercado é a indústria Romi, que detinha 41% do mercado nacional MF em 2006. Já os produtos mais avançados tecnologicamente são produzidos por empresas multinacionais líderes do mercado mundial, dentre as quais se destacam a Prensas Schuller, a B.Grob do Brasil e a IndexTraub, todas de procedência alemã.

De maneira geral, as exportações são realizadas por empresas estrangeiras para países como os EUA e Alemanha, dentro do conceito de complementação produtiva intra-empresa. As empresas nacionais enfrentam elevadas barreiras à entrada no mercado internacional, em função dos altos custos, menor diferenciação de produtos e desenvolvimento tecnológico.

No período 2001-2006, 54% do consumo nacional de MF foi atendido por importações. Observa-se que o valor das máquinas importadas é superior ao das máquinas exportadas somente para retificadoras e máquinas para a fabricação de engrenagem. Para máquinas de usinagem, a maior parte das importações consiste em máquinas convencionais.

Os Centros de Usinagem e Máquinas de Estações Múltiplas são máquinas de maior valor agregado que, geralmente combinam diferentes operações e operam por comando numérico computadorizado. Dentre as empresas exportadoras se destacam as estrangeiras que produzem bens de capital sob encomenda para os EUA e a Europa. Vale destacar o papel da Romi nas exportações de equipamentos convencionais, voltadas para mercados de menor intensidade tecnológica como a América Latina e a África.

Quanto aos tornos, são produzidos no Brasil tanto os de tipo mais simples quanto os mais sofisticados que usam comando numérico (CNC). A maioria das exportações de tornos (82% no período de 2001-2006) são para os EUA e Europa que, demandam tornos CNC., já os menos sofisticados, tem maior demanda na América Latina.

Dentre as empresas nacionais, a Romi é a líder no segmento, produz tornos com comando numérico, assim como tornos convencionais. Apesar de atingir o mercado da Europa e EUA com tornos de maior tecnologia, o principal cliente da

Romi é a América Latina. Por outro lado, cerca de 34% do consumo de tornos no Brasil é suprido por importações, principalmente de tornos CNC (84% no período de 2001-2006) de maior complexidade tecnológica adquiridos no Japão. Já a China, exporta para o Brasil tornos de baixo valor agregado. No período de 2001-2006 a importação de tornos chineses cresceu exponencialmente se tornando um grande problema para a indústria nacional, principalmente àquelas que produzem tornos convencionais.

Com relação aos segmentos de mercado compostos por “outras MF para usinagem e conformação”, podemos afirmar que são de menor relevância para os produtores brasileiros. A produção é voltada para o mercado local que complementa sua demanda por sistemas mais complexos via importações.

As prensas constituem o principal segmento ocupado pela indústria nacional, já que não apenas supre a demanda nacional como também é altamente exportadora. A produção brasileira de prensas é bastante sofisticada, incluindo prensas hidráulicas exportadas especialmente para Europa e EUA. Neste segmento destaca-se a empresa alemã Prensas Schuller. Existem também produtores nacionais e estrangeiros que fabricam prensas menos sofisticadas e de menor valor agregado voltadas para o mercado externo, quase que exclusivamente para a América Latina.

Já o segmento MF de Usinagem não-convencional é um nicho de maior tecnologia por isso é pouco atendido pela produção nacional. Quase 90% do consumo nacional deste tipo de máquina-ferramenta no período de 2001-2006 foi resultado de importações. A indústria nacional não tem tecnologia e escala de produção suficiente para atender esse tipo de segmento.

No caso de partes, acessórios e outros componentes para MF, os dados de importação e exportação apontam para um claro padrão de especialização em produtos de baixa tecnologia. Isso é mostrado pelo preço médio das exportações muito inferior às importações (US\$ 10,4/kg contra US\$ 26,7/kg). Estima-se que aproximadamente 67% da demanda nacional seja atendida via importações. As empresas locais são tipicamente nacionais de médio porte voltadas para atividades mecânicas tradicionais.

Por fim, com relação a robôs, estima-se que a demanda brasileira seja de 100 robôs / ano, considerando que aumentos significativos neste número ocorrem somente quando se instalam novas unidades industriais no país. Estima-se que

haja 8 mil robôs instalados no país, 60% dos quais empregados em processos de soldagem.

3 CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONAIS

O setor de automação industrial se caracteriza por volumes relativamente pequenos de produção e uma grande variedade de aplicações e tipicamente utiliza tecnologias desenvolvidas em outros mercados. As características idiossincráticas dos clientes tornam o projeto e implementação de soluções de automação uma atividade cada vez mais intensiva em serviços e, por isso, envolvem interação entre fornecedores de equipamentos e firmas de engenharia especializadas nos diferentes ramos operacionais. Este capítulo apresenta as principais características da cadeia produtiva da indústria de automação, destacando as relações de encadeamento entre empresas diferentes fornecedores e seus usuários.

3.1 A Cadeia Produtiva de Automação de Processos

Devido a crescente diversidade dos sistemas de automação, os fornecedores tendem a customizar equipamentos e sistemas para necessidades específicas, tornando a inovação mais orientada para aplicações do que propriamente para a geração de novas tecnologias. A cadeia produtiva reúne empresas fornecedoras de máquinas, equipamentos e componentes, fabricantes de componentes, empresas de software e empresas de serviços de projeto e implantação de automação.

Neste contexto, a cadeia produtiva do setor é relativamente curta: por um lado há grandes empresas oferecendo pacotes fechados nos quais são incorporados determinados dispositivos fornecidos por terceiros. Por outro, há os integradores de sistemas e fornecedores independentes de hardware e software que mantêm uma maior relação tecnológica e comercial entre si. As atividades de assistência técnica e treinamento ficam a cargo dos fornecedores de hardware e software, ou seja, existe uma relação direta entre o elo final e os fornecedores. As firmas de engenharia que integram e instalam os sistemas constituem uma ponte para esta relação.

As tendências de integração de sistemas apontam a necessidade de aproximar as atividades de P&D da fabricação, em função de ciclos de vida cada vez mais curtos. O principal foco das atividades é a solução, o que tem levado a

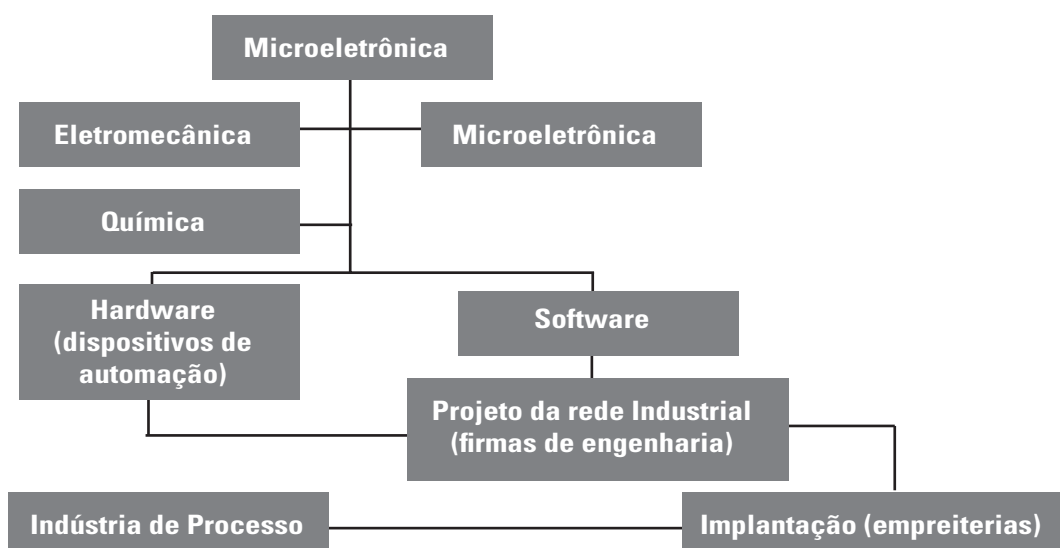
uma maior participação do cliente no desenvolvimento de aplicações específicas ao seu contexto. Em geral, as empresas que atuam no Brasil tendem a importar plataformas prontas (principalmente da China e das matrizes das empresas que operam no país) e concentrar seus esforços na configuração e adaptação do sistema as necessidades dos usuários.

Uma característica importante do setor é a dificuldade de padronização, pois dificilmente se encontram duas plantas industriais iguais. Os sistemas legados (já existentes) requerem adaptações para compatibilizar novos equipamentos, aplicativos e infraestrutura de comunicação com os existentes. Em consequência, as atividades relativas à automação de processos industriais demandam recursos humanos altamente qualificados.

A importância da automação de processos cresceu muito nos últimos anos, principalmente nas indústrias químicas, de óleo & gás e biotecnologia. Sistemas inovadores de instrumentação foram introduzidos, garantindo segurança e confiabilidade dos processos e fornecendo uma base para estratégias avançadas de gerenciamento. Controles de processos garantem que os equipamentos da planta operem continuamente, garantindo o melhor aproveitamento da capacidade instalada, maior rendimento, melhor qualidade e economia de energia (BENSON, 1997).

A automação industrial incorpora conhecimentos de diferentes áreas, como mecânica, eletrônica, elétrica, física, química e informática. Tecnologias emergentes como nanotecnologia; sistemas de montagem em nanoescala; MEMS (micro-electro-mechanical-sytems); sensores nanométricos de baixo custo que podem medir praticamente tudo. Redes de máquinas (M2M) interligadas por Internet devem ganhar espaço em futuro próximo. Ao incorporar novas tecnologias, a cadeia produtiva da automação industrial abre caminho para incorporação de novos agentes produtivos.

A Figura 1 apresenta um esquema da cadeia produtiva de automação industrial. Alguns padrões dominantes deste setor são: ciclo de vida curto dos produtos; progressiva segmentação para soluções específicas e importância da marca que é associada à confiabilidade. Esta última característica configura-se como uma importante barreira à entrada de novos concorrentes, fortalecendo os produtores já atuantes no mercado.

Figura 1 - Cadeia produtiva de automação industrial

Fonte: Elaboração própria.

É possível identificar basicamente duas modalidades de contratos em automação industrial: o formato tradicional e o chamado Main Automation Contractor (MAC) ou Contrato Global de Automação (CGA) (BOSCO, 2009). No primeiro, empresas diferentes ficam responsáveis pelo fornecimento dos instrumentos, dos sistemas de controle e da configuração do sistema, sendo que esta etapa pode ficar a cargo da equipe da própria contratante caso haja expertise para tal. No segundo caso, a empresa responsável pela solução em automação responde pela gestão e fornecimento de hardware, licenças de software do sistema de controle e de segurança de processo e instrumentação de campo. Além disso, fica responsável pela interface do sistema de controle da planta com os fornecedores de equipamentos e unidades que tenham soluções de automação separadas, e por prestar assistência técnica em todas as fases da obra. Ou seja, um único fabricante responde pelas diferentes etapas da cadeia produtiva até a implantação do sistema no processo industrial.

A relação entre os diferentes elos da cadeia, desde o produtor dos dispositivos até o usuário final é bastante estreita. Todas as atividades de assistência técnica e treinamento ficam a cargo do fornecedor do dispositivo, ou seja, existe uma relação direta entre o elo final e os fornecedores de hardware, que passam pelos elos de projeto e construção. No caso dos fornecedores de software, em caso de desenvolvimento sob encomenda, a relação também se dá de maneira direta, sendo a firma de engenharia uma ponte para esta relação.

Existe uma tendência de adaptar produtos de uso geral aos requisitos de automação das diversas plantas industriais, numa tentativa de conciliar o universal com o específico. Empresas menores têm conseguido sucesso em nichos do mercado internacional, integrando produtos de terceiros através do fornecimento de soluções de automação de processos.

Os equipamentos de automação podem ser utilizados de forma autônoma ou interligados em sistemas. Para as atividades de integração, o hardware é considerado commodity e a diferenciação acontece no software e na sistemática de integração. O conceito de Computer Integrated Manufacturing (CIM) prevê a integração dos sistemas de automação e de informática com o uso de redes de comunicação de dados com protocolos padronizados.

No que diz respeito aos dispositivos e protocolos de comunicação, há uma tendência de padronização, o que leva a redução dos custos de implantação de sistemas de automação e aumento da competitividade entre os fabricantes. Há de se ressaltar também que a convergência tecnológica, gerada a partir da utilização da eletrônica digital, vem permitindo uma integração entre os sistemas de controle de processos e as ferramentas de gestão corporativa.

3.2 Cadeia Produtiva da Automação da Manufatura

Tabela 8 - Elos da Cadeia Produtiva

Elo da cadeia produtiva	Participantes de cada elo
Máquinas e equipamentos	Máquinas-ferramenta a comando numérico
	Robôs industriais
	Controladores Lógico Programáveis
Componentes de hardware	Motores de passo, servomotores, motores DC, motores lineares, placas controladoras
	Atuadores hidráulicos, pneumáticos e elétricos
	Fusos de esferas e guias,
	Sistemas de troca de ferramentas e troca de peças
	Unidade CNC
	Sensores e transdutores

Componentes de software	Protocolos de comunicação
	Sistemas de supervisão e diagnóstico
	Sistemas de controle e gerenciamento da manufatura
Serviços em automação	Planejamento e implantação
	Capacitação e treinamento
	Apoio técnico gerencial
	Manutenção de equipamentos e software
Clientes	Indústria automotiva, indústria de máquinas e equipamentos, indústria aeronáutica, indústria de material elétrico e eletrônico.
Instituições de ensino e pesquisa	Rede de instituições de ensino e pesquisa com capacitação em automação da manufatura.
Sociedades normalizadoras, associações de fabricantes	Associações da indústria de robôs, associação dos fabricantes de máquinas-ferramenta, associações de classe dos fabricantes de máquinas e equipamentos.

Fonte: elaboração própria

A Tabela 8 mostra que cadeia produtiva da indústria de automação da manufatura que reúne empresas fornecedoras de máquinas, equipamentos e componentes, fabricantes de componentes, empresas de software e empresas de serviços de projeto e implantação de automação.

Os fornecedores de máquinas e equipamentos são, na sua grande maioria, empresas estrangeiras com filial para produção local ou simplesmente representação comercial para vendas, treinamento e assistência técnica. Os fornecedores de componentes de hardware respondem pelas partes internas das máquinas e equipamentos fabricados e montados no país. São fabricantes de sensores, transdutores, receptores, atuadores, etc. os quais compõem as redes industriais e os equipamentos de automação, tais como MFCN, robôs, etc. Os fornecedores de software respondem pelos programas utilizados nas três camadas de automação: supervisão, intermediária e chão de fábrica. Os fornecedores de serviços em automação da manufatura compreendem as empresas que prestam serviços de projeto de sistemas de automação, empresas e instituições de treinamento e capacitação e empresas de manutenção de componentes de hardware e software.

Os principais clientes de automação da manufatura são os setores automotivo, aeronáutico, eletro-eletrônico, máquinas e equipamentos, e material elétrico. Os laboratórios de instituições de ensino e pesquisa voltados para a concepção e projeto de novos dispositivos fazem parte da cadeia produtiva da indústria de automação da manufatura. Algumas universidades e instituições de ensino que trabalham nesse tema formaram redes de pesquisa,

as quais dispõem de pessoal altamente qualificado para o projeto de sistemas de automação da manufatura. Uma relação não exaustiva de instituições encontra-se no Anexo A.

As associações de classe cumprem um papel importante nessa indústria, uma vez que são elas que promovem a padronização de componentes do sistema. Essas entidades cumprem um papel regulador no mercado de automação antecipando-se ao processo de normalização técnica promovida pelas associações de normas técnicas. Uma relação dessas entidades encontra-se no Anexo B.

3.3 Relação Usuário-Fornecedor

As relações entre usuários e fornecedores de sistemas de automação são muito importantes para o sucesso da difusão de novas tecnologias, pois as soluções de automação precisam ser personalizadas. A implantação de um sistema de automação é parte de uma estratégia de produção de uma empresa e possui objetivos bem definidos em termos de melhoria de produtividade e redução de custos.

Como não há fábricas exatamente iguais, mesmo que sejam unidades de uma mesma empresa, o nível de automação a ser adotado em uma instalação industrial responde a critérios técnicos, econômicos e sociais específicos. Produtos com maiores requisitos de qualidade e precisão justificam o uso de dispositivos avançados de automação. Por outro lado, existem produtos cuja fabricação só é viável utilizando processos produtivos automatizados de larga escala.

As relações dos usuários com os fornecedores variam muito dependendo do setor industrial e dos volumes produzidos. Mas dentro de um mesmo setor encontram-se soluções de automação muito parecidas, que podem ser reproduzidas pelos fornecedores de equipamentos e sistemas. No caso da indústria automobilística, por exemplo, é comum que diferentes empresas utilizem a mesma tecnologia de soldagem para a montagem da carroceria utilizando robôs em gaiolas de montagem do monobloco do veículo. Os robôs industriais, por exemplo, podem ter a estrutura comum, mas as garras e os

sensores são feitos sob medida para a aplicação desejada. Robôs de montagem utilizam sensores diferentes de robôs de carga e descarga. As MFCN por sua vez não são produtos de prateleira, cada uma delas sendo projetada para atender a demanda específica do cliente. As MFCN são projetadas em módulos independentes, os quais são associados conforme as necessidades do cliente. Os dispositivos de entrada e saída das MFCN também são sob medida para cada aplicação, dessa forma, pallets e linhas transfer são projetadas para atender a determinadas famílias de produtos.

O padrão dominante na indústria de manufatura é o da implantação incremental da automação, processo no qual convivem equipamentos automáticos com equipamentos convencionais, assim como equipamentos de automação de diferentes gerações. Já na automação de processos, existem maiores requisitos de compatibilidade entre diferentes equipamentos de controle e supervisão.

4 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

Este capítulo apresenta as principais tendências e/ou rotas tecnológicas dominantes em automação de processos industriais, visando sinalizar o SENAI sobre as principais tecnologias que estão emergindo e se consolidando no cenário internacional. Com base em diferentes metodologias, procuramos identificar o estado da arte da pesquisa e as principais trajetórias de inovação no setor. Inicialmente apresentaremos as metodologias utilizadas, passando a seguir a analisar os principais artigos acadêmicos publicados sobre tecnologias específicas identificadas como críticas para o setor. A terceira seção analisa as patentes concedidas no USPTO como indicadores de inovações.

4.1 Metodologia

A metodologia de prospecção tecnológica adotada nesse estudo foi organizada a partir de dois indicadores de tendências no estado da arte do setor: O primeiro é análise do conteúdo de artigos publicados nos principais jornais acadêmicos sobre automação industrial que indicam a direção assumida pela pesquisa avançada no setor. O segundo se refere a patentes obtidas, que constituem um indicador de tendências na inovação em empresas e centros de pesquisa. A análise de artigos e patentes foi realizada na base de dados SCIRUS, que é uma ferramenta de procura especializada em ciência (disponível em: <<http://www.scirus.com>>).

Inicialmente efetuamos uma pesquisa na literatura e uma busca preliminar de artigos e patentes, visando identificar possíveis tecnologias relevantes para o estudo. Norteados pelo artigo "Future Trends in Process Automation", de Sirkka-Liisa Jamsa-Jounela, da Helsinki University of Technology, Laboratory of Process Control and Automation de 2007, as palavras-chave específicas escolhidas para a pesquisa foram os grupos de tecnologias: "Fieldbus", "Ethernet" e "Wireless", que, posteriormente, foram individualmente cruzadas com a expressão "Industrial process automation".

Em relação ao intervalo temporal, utilizaram-se os limites que a base de dados oferece, ou seja, de 1900 a 2009, porém, os resultados encontrados tanto para artigos quanto para patentes, se localizaram no intervalo de 1995 a 2009. Em relação às áreas relacionadas, com o intuito de filtrar os documentos que possivelmente fugiriam do assunto, restringimos em: Chemistry and Chemical Engineering; Computer Science; Economics, Business and Management; Engineering, Energy and Technology; e Material Science. Para os artigos, foi dada ênfase na fonte da Science Direct (disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>).

Todos os artigos e patentes identificados foram organizados e analisados de acordo com o assunto predominante. Por exemplo, pesquisamos a palavra “Equipamentos”, quando o foco do material é algum tipo de dispositivo equipamento, como sensores e controladores; “Sistemas”, quando se trata de algum método ou sistema específico de controle ou transmissão de dados. Os grupos de análise podem ser conferidos a seguir, tanto para artigos quanto para patentes.

4.2 Trajetórias Tecnológicas na Automação de Processos

Contando como principal fonte de tecnologia as relações comerciais com fornecedores especializados de componentes e sistemas, as empresas de automação procuram inovar combinando uma gama variada de recursos de hardware e software. As inovações são geralmente dirigidas para a aplicação de recursos tecnológicos existentes, sem uma maior preocupação em desenvolver produtos em si. As empresas de automação industrial utilizam os conhecimentos de fornecedores especializados para especificar sistemas adaptados às necessidades de seus clientes. Seu processo de inovação reside principalmente no desenvolvimento de novas técnicas de implementação de funcionalidades de forma a aperfeiçoar a produção industrial e a operação dos equipamentos.

As atividades de P&D das empresas de automação industrial estão muito relacionadas às estratégias operacionais de seus usuários. As tecnologias a serviço da automação oferecem uma ampla variedade de alternativas para a

implementação de formas mais eficazes de resolução de problemas, de acordo com as características idiossincráticas de cada usuário.

As tecnologias incorporadas nos sistemas de automação vem evoluindo em trajetórias complementares que buscam, essencialmente, (i) ampliar a capacidade computacional dos dispositivos de processamento embarcados, (ii) desenvolver novas formas de comunicação industrial, (iii) buscar novas formas de gerenciamento de informações da produção por meio de sistemas especializados.

No campo da produção de equipamentos de automação, observa-se uma trajetória tecnológica orientada para desenvolver sistemas e dispositivos simples e baratos que possam ser produzidos em larga escala, de forma a oferecer benefícios ao usuário final.

A seguir veremos como a indústria de automação vem procurando atender as principais demandas do processo de produção.

Segurança e confiabilidade em sistemas críticos

Um sistema de automação é considerado crítico quando está intimamente ligado ao risco de vida humana, a desastres ambientais e perdas econômicas. Para isso, sistemas de automação precisam avaliar até mesmo situações que seriam consideradas impossíveis de acontecer. A segurança e confiabilidade decorrem não apenas do sistema, mas também da qualificação do profissional que responde pela área específica. Em sistemas críticos, é essencial a busca por falhas que podem ocorrer e identificar soluções no momento da ocorrência da emergência.

Sistemas operando em tempo real precisam apresentar redundância para todas as tarefas que o sistema irá desempenhar, a fim de prevenir as consequências oriundas de uma falha no cumprimento dos limites de tempo especificados. A natureza do elemento (objeto ou sistema) a ser controlado pode ser classificada como Soft Real Time e Hard Real Time (CABRAL, 1999). Soft Real Time são os sistemas em cuja falha no cumprimento dos limites de tempo não acarreta em danos e/ou prejuízos significativos, tais como: sistemas que envolvem compartilhamento de voz e de imagem, transações bancárias on-line, dentre outros. Os sistemas ditos Hard Real Time (Tempo Real Crítico),

por sua vez, são aqueles cujas consequências de uma falha no cumprimento dos limites de tempo podem ser catastróficas, ou melhor, o custo de tais falhas é de uma ordem de grandeza superior à da própria utilidade do sistema, tais como: controle de processos industriais, controladores de voo, dentre outros. É importante ressaltar que apesar da velocidade de execução frequentemente ajudar na construção de um eficiente Sistema de Tempo Real Crítico, este tipo de sistema não deve necessariamente ser associado à velocidade (tempos de resposta reduzidos).

A ordem de grandeza do tempo de resposta necessário para o sistema está diretamente relacionada com o tipo de equipamento, processo ou sistema a ser controlado. Além do escalonamento de tarefas, outro campo de interesse, a fim de se garantir a confiabilidade de um Sistema de Tempo Real Crítico, é a tolerância a falhas. Uma alta confiabilidade somente pode ser atingida com um alto grau de tolerância a falhas. O sistema deve ser capaz de tolerar determinados tipos de falhas e ainda concluir uma operação com sucesso. Isto pode ser atingido usando redundância de hardware e/ou software, escalonamento tolerante a falhas e estratégias de recuperação.

Sistemas de Informações para otimizar a interface Homem-Máquina

A busca pela melhoria da relação homem-máquina constitui um das principais vetores da inovação em automação, diante da necessidade de facilitar as operações e realizar tarefas com rapidez e confiabilidade. Neste sentido, a melhoria do sistema de informações, obtida por meio de estudos de otimização, constitui um ponto de destaque entre os desafios da automação. Na maioria das instalações industriais existe alguma incompatibilidade entre diferentes sub sistemas e a falta de interfaces confiáveis causa transtornos para os usuários, além de outros tipos de consequências como perdas industriais, ecológicas e até de vidas humanas. As pesquisas na área buscam otimizar as interfaces de forma a facilitar as operações e aumentar a utilidade dos equipamentos de automação.

Variáveis críticas

Um dos grandes desafios da automação consiste em determinar com precisão quais são as variáveis que devem ser manipuladas e em que magnitude, de forma que as variáveis controladas se mantenham nos valores

desejados. Os cálculos efetuados com esse objetivo são incorporados aos algoritmos executados pelos controladores para emissão das ordens enviadas aos atuadores. O procedimento mais adotado para esses cálculos, e também o mais tradicional, é o denominado controle PID (Proporcional - Integral - Derivativo), que se baseia nos desvios já ocorridos. Contudo, a pesquisa nesse campo é intensa e outros procedimentos vem sendo testados e implementados, como sistemas especialistas e os baseados em lógica fuzzy, que incorporam a experiência humana nos modelos de determinação das respostas de controle.

Aumento do desempenho de componentes críticos

Na medida em que um sistema de automação precisa atuar de forma interativa, coordenada e integrada, o desempenho de cada componente é crítico para a eficiência do conjunto, o que, por sua vez, pode afetar o desempenho de toda a planta. Entre os vários fatores que podem afetar o desempenho do sistema de controle automático, podem ser destacados:

- A qualidade dos dispositivos sensores, controladores e atuadores, pois deles dependem diretamente a precisão e a velocidade de resposta do sistema;
- As estratégias de controle adotadas, inseridas nos algoritmos executados pelo controlador, as quais determinam as ações a serem executadas;
- As velocidades de processamento e de resposta do controlador;
- A qualidade da rede de comunicação de dados intrassistema.

As novas redes, denominadas redes de campo, ou redes industriais (Fieldbuses), trouxeram vários benefícios para a automação, tais como a redução de custos de instalação da rede. Técnicas como a multiplexação fazem com que a mesma infraestrutura seja capaz de (i) transportar uma quantidade de dados centenas de vezes superior; (ii) permitir o acesso remoto a dispositivos para configuração; (iii) diagnosticar e detectar precocemente falhas, fornecendo elementos para manutenção preditiva; (iv) distribuir tarefas de controle a dispositivos de campo sob supervisão central; e (v) trocar informações entre dispositivos como sensores, controladores e atuadores, todos conectados ao mesmo barramento de controle, em tempo real. (PEREIRA, 2001). Tais redes

incorporam elementos de comunicação mais poderosos e requerem operadores e equipes de manutenção com maior qualificação.

As redes industriais distinguem-se das redes de comunicação corporativas por precisarem atender a requisitos mais rigorosos de resistência mecânica, por operarem em ambientes agressivos, corrosivos, em temperaturas elevadas, e por necessitarem de maior imunidade a interferências eletromagnéticas.

Concepção e projeto de dispositivos

É a etapa com maior conteúdo de trabalho criativo, que requer a participação de equipe multidisciplinar constituída por pessoal especializado das áreas de ciências dos materiais, ciências da computação, engenharia mecânica, eletrônica e elétrica. Suas atividades incluem:

- Elaboração de normas e protocolos de automação;
- Desenvolvimento de software produto;
- Elaboração de estratégias de automação e controle. As estratégias são determinadas por atuação conjunta da engenharia de controle e da engenharia de processo, que conhecem as variáveis relevantes e suas relações de causa e efeito;
- Especificação e dimensionamento dos sistemas de instrumentação;
- Projeto de detalhamento do sistema de automação;
- Desenvolvimento e implantação de novas técnicas de controle avançado. Envolve a utilização de sistemas especialistas, programação de MPC (controlador preditivo multivariável) etc;
- Fabricação de dispositivos de automação;
- Desenvolvimento da aplicação de software;
- Projeto da rede industrial. Projeto da rede de comunicação de dados entre os instrumentos de campo e os equipamentos de controle e supervisão, com definição da forma de transmissão de dados, de protocolos de

comunicação e dimensionamento e especificação do cabeamento e dos dispositivos e/ou equipamentos de transmissão e recepção;

- Implantação e operação do sistema de automação. Envolve seleção, aquisição, instalação, adaptação, ajuste, configuração e teste dos instrumentos, dispositivos, equipamentos e software que constituem a plataforma de automação, bem como da rede de comunicação de campo, e a sua integração.

Redes Fieldbus

A aplicação das redes Fieldbus representou um grande passo tecnológico na automação industrial trazendo, dentre outros avanços, uma grande redução de custos com cabeamento. Entretanto, essa eliminação ainda não foi integral, pois os problemas gerados pelos cabos ainda permanecem, tais como ruído, má instalação, espaço na planta para que os cabos sejam encaminhados até a sala de controle, altos custos, dentre outros. Além desses problemas, existem aplicações específicas em que não é possível encaminhar cabos até os instrumentos, a exemplo das plataformas de petróleo, onde existem instrumentos e válvulas operando na região dos poços de petróleo.

Da última década até os dias atuais, os sistemas de automação de processos das plataformas de petróleo e gás do Brasil incorporaram muitas novas tecnologias. Uma das mais importantes foram os sistemas de controle de processo baseados na tecnologia Foundation Fieldbus - FF. As exigências, cada vez maiores, de dados precisos de produção de segurança obrigam as unidades offshore de prospecção de petróleo e gás a seguir normas cada vez mais rígidas. Nesse cenário, a busca por novas tecnologias que possam agregar confiabilidade, eficiência, otimização, redução de custo e menor tempo de manutenção, é um caminho sempre seguido por esse segmento de mercado.

O menor tempo para implantação, a grande flexibilidade, o grande número de fornecedores para a tecnologia, a possibilidade de controle distribuído no campo e a rapidez para diagnóstico e resolução de problema são algumas características que podem fazer da FF um padrão para os sistemas de controle de plataforma no Brasil.

4.3 Análise de Artigos

Seguindo a metodologia anteriormente descrita, no tocante a artigos, foram encontrados 56 para tecnologia “Fieldbus”, 183 para tecnologia “Ethernet” e 344 para tecnologia “Wireless”. Após análise preliminar, excluindo-se os artigos irrelevantes, os repetidos ou aqueles sem informações (apenas o título), foram analisados respectivamente 42, 72 e 80 para cada palavra-chave, cruzando ainda com o termo “industrial process automation”. A Tabela 9 mostra esses resultados.

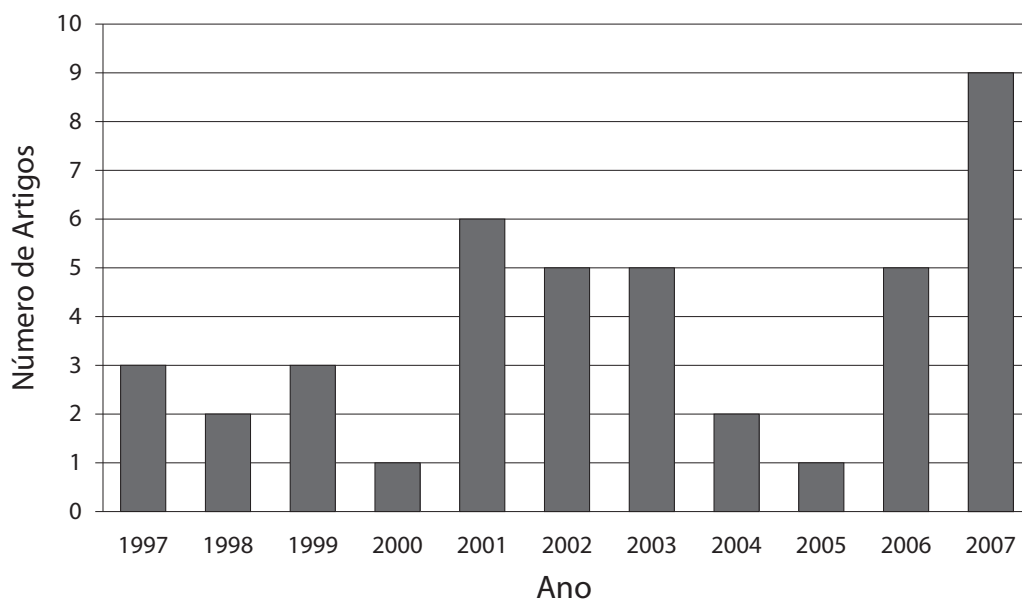
Tabela 9 - Metodologia de busca de artigos

Cruzamentos de palavras-chave utilizadas na busca	Nº de Artigos Encontrados	Nº de Artigos relevantes
“industrial process automation” x “Fieldbus”	56	42
“industrial process automation” x “Ethernet”	183	72
“industrial process automation” x “Wireless”	344	80
TOTAL	583	195

Fonte: Elaboração própria com base em <<http://www.scirus.com>>.

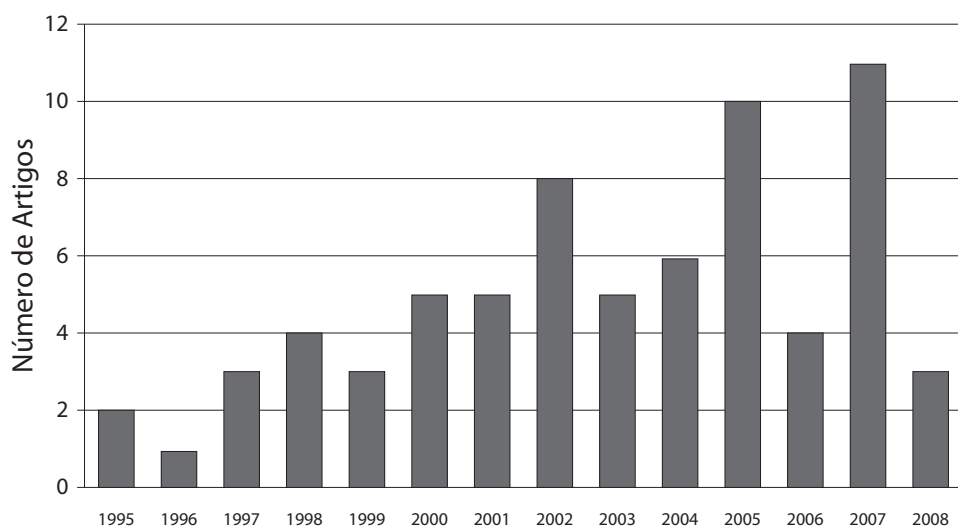
Análise Temporal

Por meio dos resultados obtidos, foi realizada uma análise da distribuição dos artigos ao longo do tempo visando mostrar a evolução e o estado da arte das tecnologias. Observamos que a tecnologia “Fieldbus” apresenta seu primeiro pico em número de publicações em 2001 e, após um leve decréscimo nos anos posteriores, voltou a crescer em 2007, atingindo níveis ainda maiores. Esse comportamento pode ser observado no gráfico 3.

Gráfico 3 - Análise temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"

Fonte: Elaboração própria

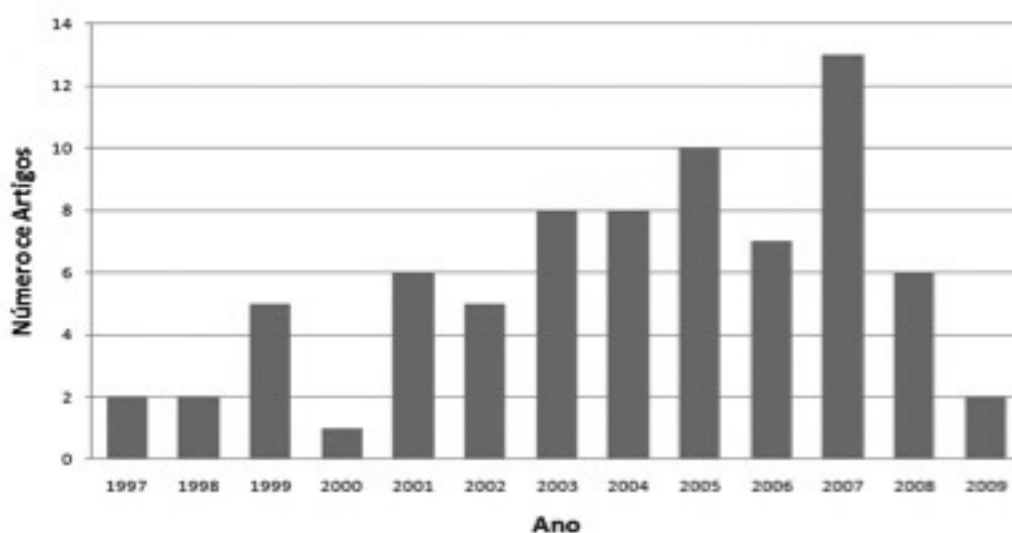
Observando-se o gráfico 4, nota-se que para a tecnologia "Ethernet", a quantidade de publicações mostrou um comportamento cíclico desde o primeiro ano, 1995, tendo os ápices em 2002, 2005 e 2007.

Gráfico 4 - Análise temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"

Fonte: Elaboração própria

Para a tecnologia “Wireless”, no gráfico 5, percebe-se que o comportamento é menos oscilatório, intercalando, anualmente, entre quedas e aumentos na quantidade de publicações, tendo o máximo sido atingido em 2007, tal qual o ocorrido para “Fieldbus”:

Gráfico 5 - Análise temporal do cruzamento “industrial process automation” x “Wireless”

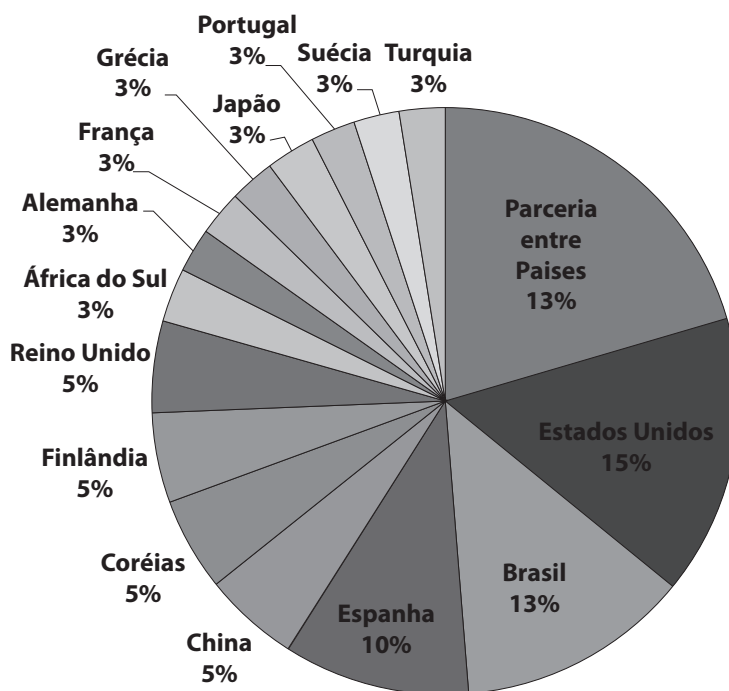


Fonte: Elaboração própria

Distribuição dos artigos por país

Com relação à distribuição do número de artigos por país do autor, tem-se que, para “Fieldbus” e “Ethernet”, a parceria entre pesquisadores de países diferentes obteve maior destaque. Em “Wireless”, o maior número de publicações advém dos Estados Unidos, que também merece menção nas outras duas tecnologias, onde obteve o 2o lugar no ranking. Para o Brasil, o maior número de artigos publicados foi em “Fieldbus”, onde aparece logo abaixo dos Estados Unidos; nas demais tecnologias, há uma grande lacuna entre o número de publicações brasileiras e a quantidade das nações que estão nas primeiras posições do ranking, como pode ser observado nos Gráficos 6 e 7 a seguir.

Gráfico 6 - Análise de países do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"

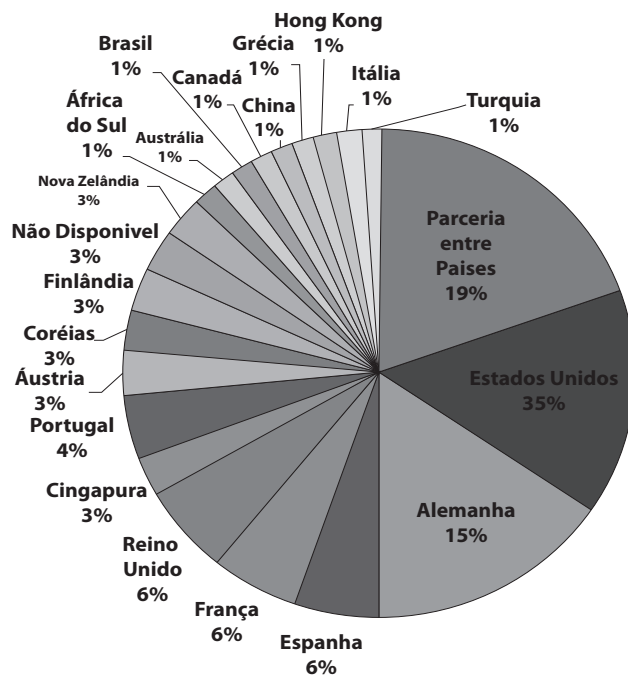


Parceria entre países: Alemanha/Hong Kong; Alemanha/Espanha/Holanda; Austrália/França/Alemanha/Canadá/Reino Unido/Espanha; Canadá/EUA; Finlândia/Reino Unido/Bélgica; Grécia/Reino Unido; México/Reino Unido/Espanha; Portugal/França.

Fonte: Elaboração própria

Parceria entre países: Alemanha/França; China/Hong Kong; Coreia/Itália; Coreia do Sul/Canadá; Eslovênia/Alemanha/Israel/Reino Unido; França/Dinamarca; Hong Kong/EUA/China; Japão/EUA; Nova Zelândia/Reino Unido; Portugal/França; Portugal/Suécia/Itália; Reino Unido/EUA; Reino Unido/Alemanha/Espanha; Tunísia/França.

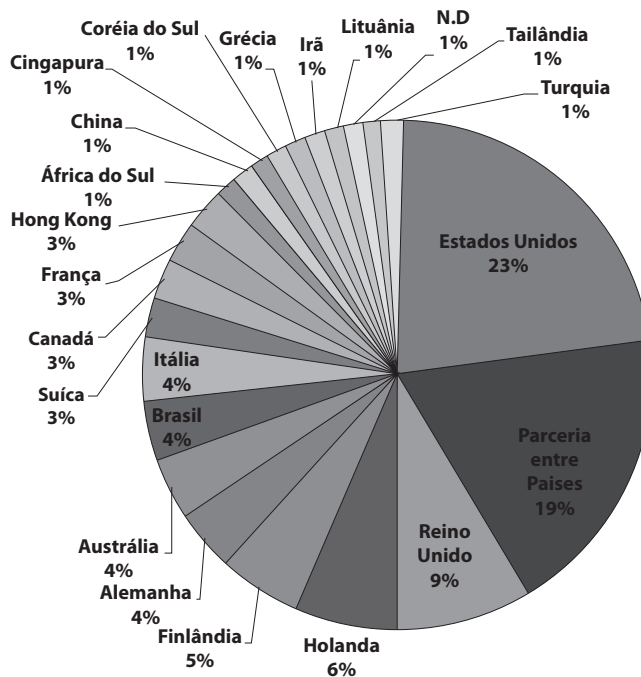
Gráfico 7 - Análise de países do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"



parceria entre países: Alemanha/França; China/Hong Kong; Coreia/Itália; Coreia do Sul/Canadá; Eslovênia/Alemanha/Israel/Reino Unido; França/Dinamarca; Hong Kong/EUA/China; Japão/EUA; Nova Zelândia/Reino Unido; Portugal/França; Portugal/Suécia/Itália; Reino Unido/EUA; Reino Unido/Alemanha/Espanha; Tunísia/França.

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 8 - Análise de países do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"



Parceria entre países: Alemanha/Canadá; Alemanha/Espanha/Holanda; Coreia/EUA; Dinamarca/França; Dinamarca/Suécia; Eslovênia/Alemanha; EUA/Reino Unido/Canadá; Holanda/Reino Unido/Grecia/Áustria; Hong Kong/China/EUA; Hong Kong/Alemanha; Japão/Suíça/EUA/Itália; México/EUA/Reino Unido/Brasil; Reino Unido/Alemanha.

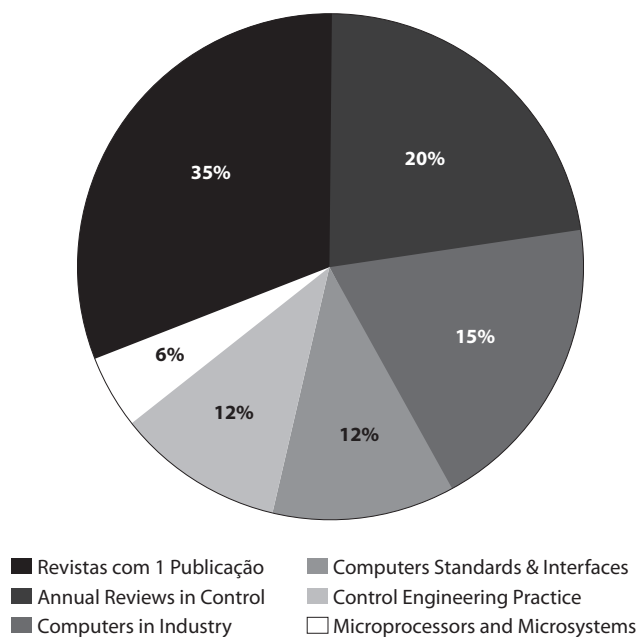
Fonte: Elaboração própria

Distribuição dos artigos por fonte de informação

Quando se está delineando o estado-da-arte de uma tecnologia, um fator relevante a ser estudado é onde as informações estão sendo divulgadas, ou seja, quais são os periódicos, congressos, conferências, e teses que abordam o tema com mais relevância.

Neste sentido, para “Fieldbus” e “Wireless” observa-se que os principais periódicos são “Annual Reviews in Control”, seguido da “Computers in Industry”. Os mesmos periódicos merecem destaque para “Ethernet”, todavia com posicionamento invertido, “Computers in Industry”, seguido de “Annual Reviews in Control”. Nos gráficos 9, 10 e 11 a seguir, podem-se observar outras fontes de informação que merecem destaque. As Tabelas 10 e 11 e 12 apresentam as revistas com menor destaque nos cruzamentos feitos.

Gráfico 9 - Análise de fontes de informação do cruzamento industrial process automation” x “Fieldbus”



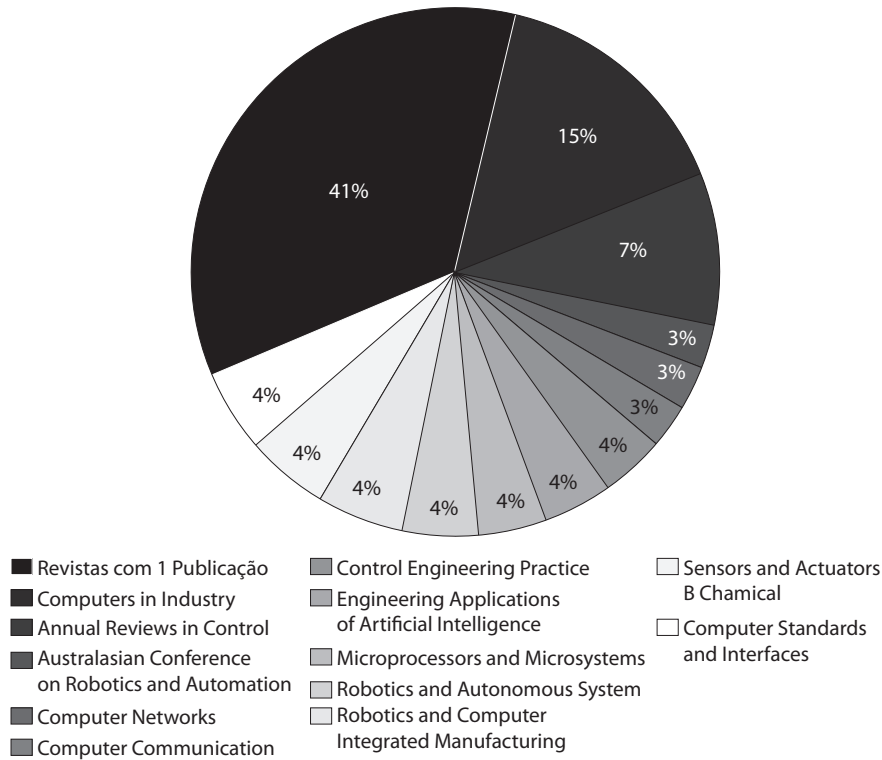
Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 - Fontes de informação com menor destaque e com apenas 1 artigo do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"

Revista
Computer Communication
Computer Methods and Programs in Biomedicine
Energy e Building
Engineering Applications of Artificial Intelligence
Internacionl Journal of Production Economics
ISA Transactions
Journal of Network and Computer Application
Journal of Systems and Software
Measurement
Performace Evaluation
Reliability Engineering & System Safety
World Pumps

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 10 - Análise de fontes de informação do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"



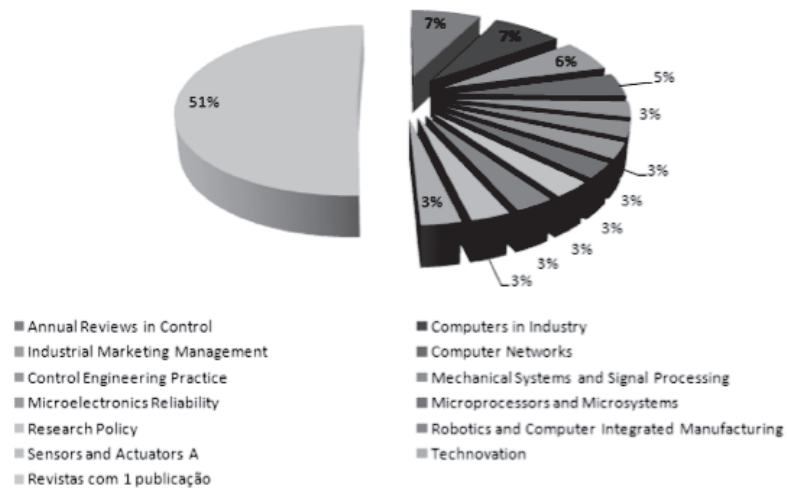
Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 - Fontes de informação com menor destaque e com apenas 1 artigo do cruzamento “industrial process automation” x “Ethernet”

Revistas	
Applied Soft Computing	Journal of Systems Architecture
Computer integrated manufacturing system	Materials Science and Engineering: C
Dissertação de doutorado University of Salzburg	Measurement
Expert Systems with Applications	Mechanism and Machine Theory
future Generation Computer Systems	Mechatronics
IEEE Communicatons magazine	Parallel Computing
IEEE Internacional Conference on Robotics and Automaton	Research Policy
Information & Management	Robotics and Computer- Integrated Manufacturing
ISA Transactions	Sensors and Actuators A Physical
Journal of Network and Computer Applications	Technovation
Journal of Parallel and Distributed Computing	The 5th IEEE International Advanced Motion Control Workshop

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 11 - Principais fontes de informação “industrial process automation” x “Wireless”



Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 - Fontes de informação com menor destaque e com apenas 1 artigo do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"

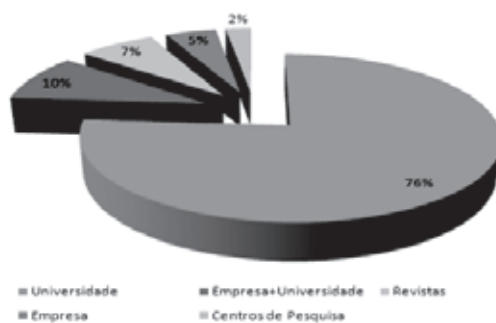
Revistas	
Annal of the CIRP	Internacional Journal of Accounting Information System
Automatica	Internacional Journal of Information Management
Automation in Contruction	Internacional Journal of Machine Tools & Manufacture
CIRP Annals	Journal of Management Information Systems
Computer Applications	Journal of Non-Crystalline Solids
Computer Communications	Journal of Safety Research
Computer Languages, System & Structures	Measurement Science and Technology
Computer Standart & Interfaces	Mechatronics
Decison Support Systems	Robotics and Autonomous Systems
DRUID Conference on National Innovation System	Smart Materials Bulletin
EGOS Colloquium	Systems & Cantrol Letters
Engineering Applications of Atificial Intelligence	Thechnological Forecasting and Social Change
European Journal of Operation Research	The 25th International Symposium on Automation and Robotics in construction
European Management Journal	Twenty-Second International Conference on Information Systems
Expert Systems with Applications	World Development
Futures	Information Sciences
Information & Management	Int. J. Production Economics

Fonte: Elaboração própria

Distribuição dos artigos por origem do autor

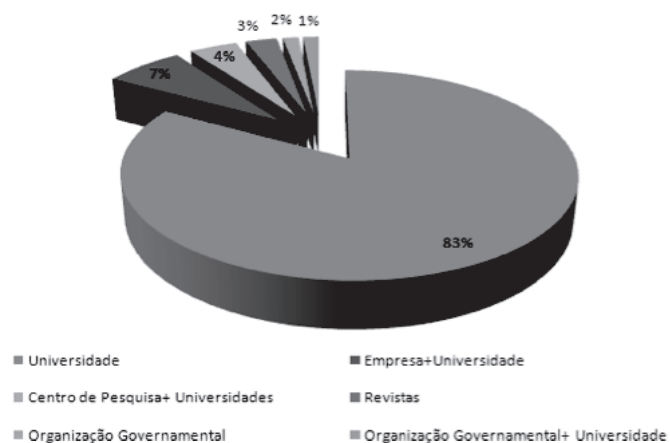
Além das fontes de publicações, é importante delinear onde estão as fontes de conhecimento, ou seja, universidades, empresas, centro de pesquisas ou associações entre estas partes. Para todas as tecnologias, o conhecimento advém, em grande parte, das universidades. Para "Fieldbus" são 76%, para "Ethernet" 83% e para "Wireless" 75%. Para "Fieldbus" e "Ethernet", o segundo destaque são parcerias entre empresas e universidades e, para "Wireless", as pesquisas são oriundas das empresas. Este comportamento pode ser observado nos gráficos 12, 13 e 14 a seguir.

Gráfico 12 - Análise da origem dos autores dos artigos do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 13 - Análise da origem dos autores dos artigos do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 14 - Análise da origem dos autores dos artigos do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"



Fonte: Elaboração própria

Objetivo dos artigos

Quanto aos objetivos dos artigos, encontramos destaque para "Diagnóstico de falhas", "Descrição de sistemas e estabelecimento de novas arquiteturas", "Otimização", "Interoperabilidade de redes", "Estabelecimento de redes híbridas", "Aumento de escala de sistemas", "Teste de algoritmos", "Simulação de modelos matemáticos", "Redução de custos de redes" e "Estabelecimento do estado-da-arte da automação industrial".

Distribuição dos artigos por assunto

Visando aprofundar a análise, todos os artigos de cada grupo (Fieldbus, Ethernet e Wireless) foram classificados de acordo com o assunto predominante: "Sistema", quando o foco principal do artigo é o aprimoramento, o teste, a descrição ou diagnóstico de falhas de sistemas, ou redes de automação; "Software" quando o foco principal do artigo é o desenvolvimento ou estudo de softwares de automação; "Equipamento", quando o foco principal do artigo é a utilização, o aprimoramento, o teste ou o diagnóstico de falhas de sensores e/ou outros equipamentos de automação; "Algoritmo" quando o foco principal do artigo é um algoritmo alternativo ao tradicional binário; "Aplicação" quando o

foco principal do artigo é a aplicação específica de um sistema ou equipamento em automação; “Análise de tendências” quando o foco principal do artigo é delinear o panorama atual da automação industrial e, portanto, tange todos os demais assuntos; “Simulação” quando o foco principal do artigo é a simulação de modelos matemáticos que descrevem determinado sistema ou algoritmo. A Tabela 13 sintetiza a classificação dos artigos para cada grupo de tecnologias estudadas.

Tabela 13 - Distribuição dos artigos de cada grupo por assunto

Assunto	Fieldbus	Ethernet	Wireless
Sistema	70,7%	61,8%	44,0%
Análise de Tendências	9,8%	7,4%	24,0%
Equipamento	7,3%	8,8%	12,0%
Software	0,0%	5,9%	8,0%
Algoritmo	4,9%	4,4%	2,7%
Aplicação	2,4%	5,9%	6,7%
Sistema/Equipamento	4,9%	1,5%	0,0%
Simulação	0,0%	4,3%	2,6%

Fonte: Elaboração própria

Observa-se na Tabela 13 que, para todas as tecnologias, o destaque na classificação de assuntos é para “Sistema”. Em segundo lugar tem-se, para “Ethernet”, o estudo de “Equipamento” e, para “Fieldbus” e “Wireless”, a “Análise de Tendências”. Na categoria “Equipamento”, pode-se destacar, na tecnologia “Fieldbus”, aqueles para registro de imagens médicas. No caso de “Ethernet”, temos a concepção de “narizes eletrônicos” compostos de sistemas multissensores para detecção de gases poluentes e estudo de sensores de gás, de maneira geral. Já para “Wireless”, tem-se o estudo de sensores, protótipos e fibra ótica.

Na categoria “Software”, em “Ethernet” tem-se os seguintes estudos: desenvolvimento de sistemas de software, seguido de testes destes por simulação para componentes “object-oriented”; design e desenvolvimento de interface para sistemas “real-time” distribuídos; pontos críticos do sistema “DataMining Grid” (flexibilidade, extensibilidade, escala, eficiência, simplicidade conceitual e facilidade de uso); estudo evolutivo de métodos computacionais em engenharia de software de teste; e mudança de plataforma que podem afetar o

comportamento do software determinístico e portátil do sistema “real-time”. Já em “Wireless”, destaca-se a descrição de um software de tomada de decisão.

Na categoria “Algoritmo”, pode-se destacar tanto em “Fieldbus” quanto em “Ethernet”, aquele que se baseia na lógica fuzzy que se trata de uma lógica multivalores derivada da teoria “fuzzy set”. Por fim, para tecnologia “Fieldbus”, na categoria “Aplicação”, aparece o monitoramento de corrosão geral ou localizada em tubulações e vasos.

Setores de atuação

Ao se analisar todo o conteúdo dos 195 artigos, encontrou-se uma diversidade de setores de atuação que foram analisados e organizados de acordo com sua maior relevância. Foi possível detalhar, para todas as tecnologias estudadas (Fieldbus, Ethernet e Wireless), os principais setores de atuação de seus respectivos artigos. Pode-se observar que nas três tecnologias estudadas, a maior parte dos artigos analisados apontou para “Aplicações industriais em geral”, não sendo específico para um segmento industrial propriamente dito.

Além disso, cabe destacar que apareceram, ao longo das pesquisas, diferentes setores de atuação para as tecnologias estudadas, que não se enquadram no escopo do presente trabalho, como por exemplo, setores “Comércio e Financeiro”, “Construção Civil”, e “Aplicações Militares”. Quando o estudo foi feito para o cruzamento “Industrial process automation x Fieldbus”, observa-se um ranking em relação aos setores de automação, de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 - Divisão de artigos por setor de atuação para a palavra-chave Fieldbus

Setor	Números de artigos
Aplicações Industriais em Geral	40,0%
Indústria Química e Petroquímica	15,0%
Sistemas mecatrônicos e Robóticas	10,0%
Medicina	5,0%
Comunicação	5,0%
Manufatura	5,0%
Metalurgica	5,0%
Aplicações Militares	5,0%
Indústria de Energia	5,0%
Indústria Biotecnológica	5,0%

Fonte: Elaboração própria

O maior número de artigos foi para “Aplicações industriais em geral”, onde os principais assuntos são “Arquitetura de controles metamórficos para sistemas de fábrica” e “Sistemas de controle”. Em segundo lugar temos a “Indústria Química e Petroquímica” que teve o total de 15%. Dentre os principais assuntos tratados neste setor estão “As futuras tendências na automação de processos”, “Arquitetura de hardwares de sistemas operacionais” e “Controle de plantas químicas e petroquímicas”.

Em terceiro lugar estão os “Sistemas Mecatrônicos e Robótica” onde os artigos citam a apresentação da estrutura de comunicação necessária para desenhar e implementar a arquitetura de robôs e apresentação de um layout de estrutura padrão, estruturados através do modelo de sistema de operação multiuso, de forma a desenvolver um bom entendimento e mecanismo genérico. Já quando o estudo foi feito para o cruzamento “Industrial process automation x Ethernet”, observa-se a seguinte divisão, de acordo com a Tabela 15.

Tabela 15 - Divisão de artigos por setor de atuação para a palavra-chave Ethernet

Setor	Número de artigos
Sistemas mecatrônicos e Robótica	36,4%
Aplicações Industriais em Geral	30,3%
Sistemas de automação	9,1%
Indústria biotecnológica	6,1%
Indústria química e petroquímica	3%
Instrumentação	3%
Indústrias aéreas	3%
Indústria eletrônica	3%
Comunicação	3%
Aplicações militares	3%

Fonte: elaboração própria

Quando a palavra-chave é Ethernet, observa-se que grande parte dos artigos focou em “Sistemas Mecatrônicos e Robótica”. No entanto, muitos ainda apresentaram características genéricas e foram alocados em “Aplicações industriais em geral”. Essa generalização se deve ao fato de Ethernet ser uma arquitetura de interconexão de computadores em rede de alta velocidade, que define tipos de cabos, conectores, sinais elétricos, ópticos e protocolos de comunicação que são conceitos fundamentais nesses setores. Em terceiro lugar observa-se “Sistemas de Automação”, onde os principais assuntos são a construção de sistemas no complexo de automação baseado na simulação de componentes básicos e diagnósticos de falhas no sistema de controle. Quando o estudo foi feito para o cruzamento “Industrial process automation x Wireless”, observa-se a seguinte divisão, de acordo com a Tabela 16.

Tabela 16 - Divisão de artigos por setor de atuação para a palavra-chave Wireless

Setor	Número de artigos
Aplicações Industriais em Geral	47,4%
Comércio e Financeiro	12,3%
Sistemas de Automação	5,3%
Indústria Automotiva	5,3%
Nanotecnologia	5,3%
Sistemas Mecatrônicos e Robóticos	3,5%
Indústria Eletrônica	3,5%
Comunicação	3,5%

Construção Civil	3,5%
Indústria de Energia	3,5%
Indústria Química e Petroquímica	1,8%
Sistemas de Telecomunicação	1,8%
Sistemas Mecânicos	1,8%
Aplicações Militares	1,8%

Fonte: elaboração própria

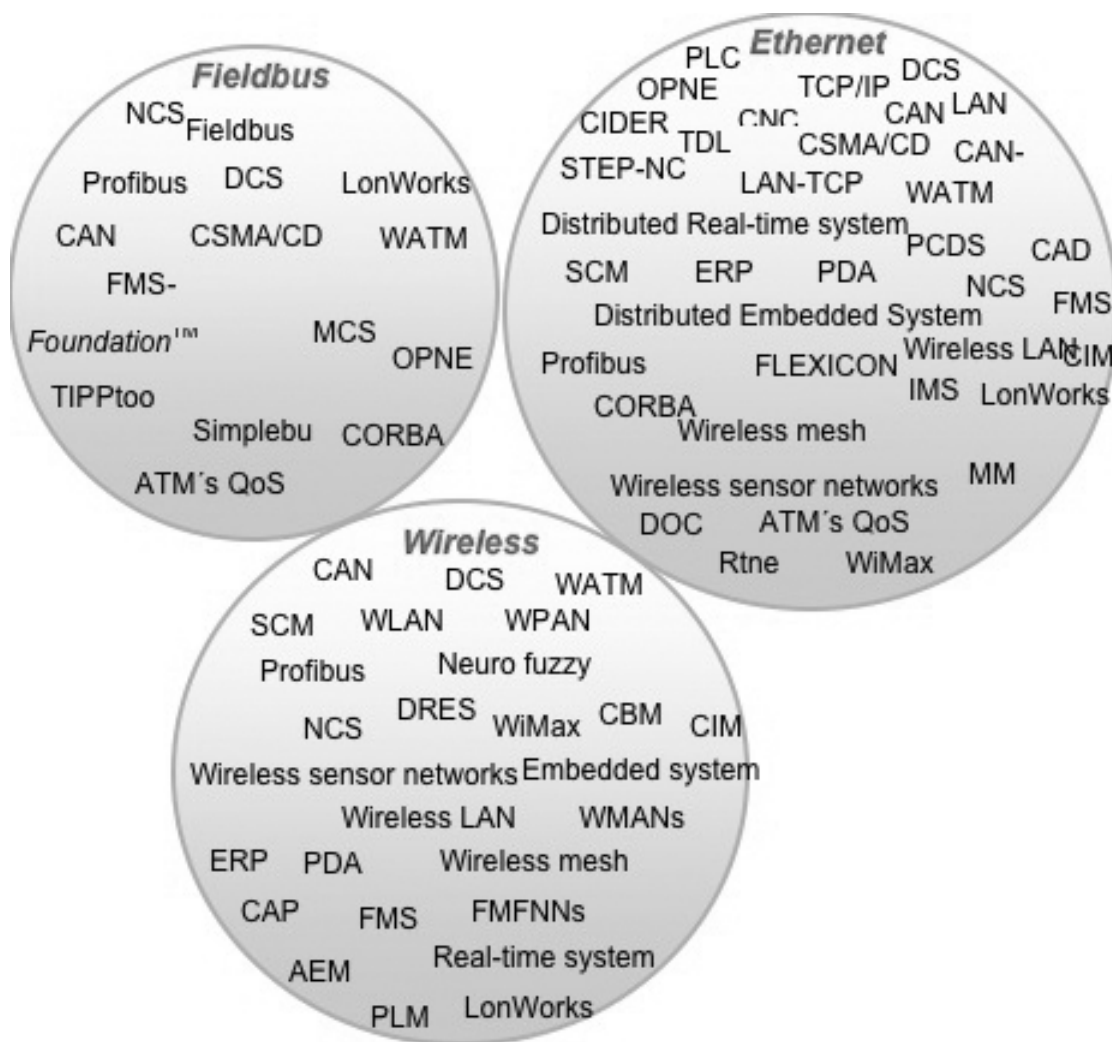
Para a análise do cruzamento “Industrial process automation xWireless”, é possível observar que o maior número de artigos foi para “Aplicações Industriais em Geral”, corroborando com o fato que as redes locais sem fio constituem-se como uma alternativa às redes convencionais com fio, fornecendo as mesmas funcionalidades, mas de forma flexível de fácil configuração e com boa conectividade. Dessa forma, se encaixam bem na maioria dos setores.

Além disso, é possível observar que a maior diversidade de setores específicos foi obtida através da palavra-chave Wireless. “Comércio e Financeiro” foi o que obteve maior frequência com 12,3% dos artigos.

Subgrupos de tecnologias

Alguns dos artigos analisados continham subgrupos de tecnologias, isto é, derivações das tecnologias estudadas. Estas derivações tanto podem ter sido desenvolvidas pelo próprio autor, como podem ser citações de subgrupos de domínio público. A Figura 2 mostra a alocação destes subgrupos nas tecnologias estudadas que, conforme citado anteriormente, serão detalhados no Anexo D deste estudo.

Figura 2 - Subgrupos de Tecnologias



Fonte: Elaboração própria

4.4 Análise de Patentes

Com relação à análise das patentes, as buscas realizadas encontraram 388 patentes, sendo que, retirando as repetidas e as que não eram pertinentes, ficou-se com um total de 305 patentes. A Tabela 17 apresenta os resultados das buscas para cada cruzamento.

Tabela 17 - Metodologia de busca de patentes

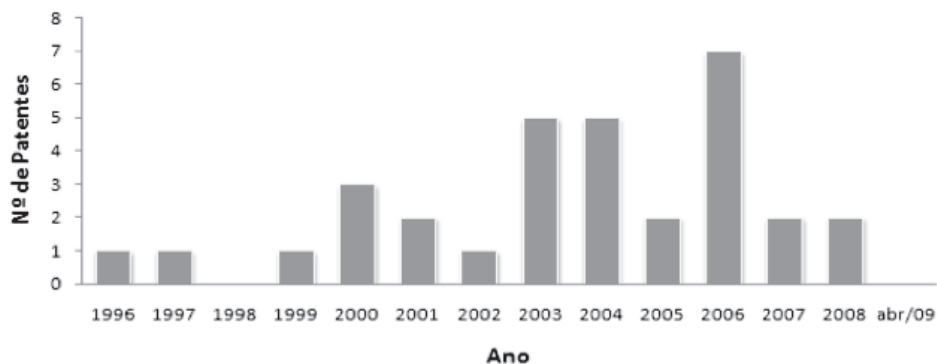
Cruzamentos de palavras-chave utilizadas na busca	Nº de Patentes encontradas	Nº de Patentes relevantes
"industrial process automation" x "Fieldbus"	42	32
"industrial process automation" x "Ethernet"	126	104
"industrial process automation" x "Wireless"	220	169
TOTAL	388	305

Fonte: Elaboração própria

Análise Temporal

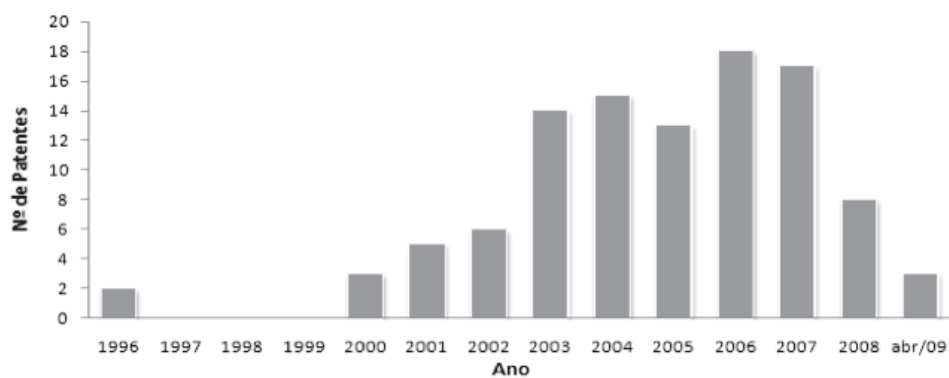
Por meio dos resultados obtidos pela busca, foi realizada uma análise da distribuição temporal das patentes de forma a mostrar a evolução das tecnologias. Lembrando que a busca foi feita em todos os limites que a base de dados oferece, ou seja, de 1900 a 2009, porém, os resultados encontrados tanto para artigos quanto para patentes, se localizaram no intervalo de 1995 a 2009. Os gráficos 15, 16 e 17 a seguir, mostram os resultados para cada um dos três cruzamentos: Fieldbus, Ethernet e Wireless.

Gráfico 15 - Análise Temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"



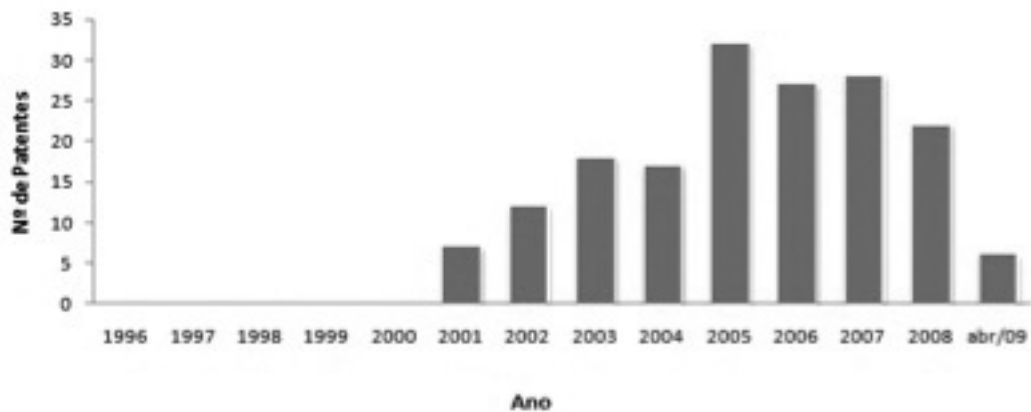
Fonte: Elaboração própria

Gráfico 16 - Análise Temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 17 - Análise Temporal do cruzamento "industrial process automation" x "Wireless"



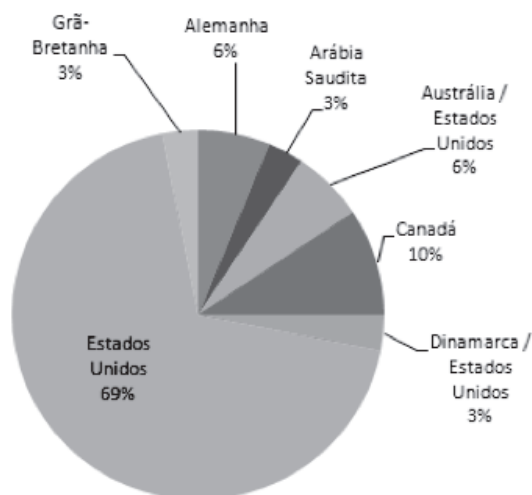
Fonte: Elaboração própria

Com os resultados anteriores, pode-se destacar que no primeiro cruzamento, "industrial process automation x Fieldbus", o ano que obteve destaque foi o de 2006, com o maior número de depósitos de patentes, seguido de um relativo declínio nos anos seguintes. No segundo grupo de patentes, relativo ao cruzamento "industrial process automation" com "Ethernet", o ano de 2006 é também o que apresenta maior destaque. Pode-se perceber que o período com o maior número de patentes vai de 2003 até 2007. Finalmente, na análise do último cruzamento com a palavra-chave "Wireless", é possível perceber que o surgimento de depósitos de patentes ocorre no ano de 2001, mostrando ser a tecnologia mais recente de todas e, o ápice recai sobre o ano de 2005, com mais de 30 patentes.

Países depositantes de patentes

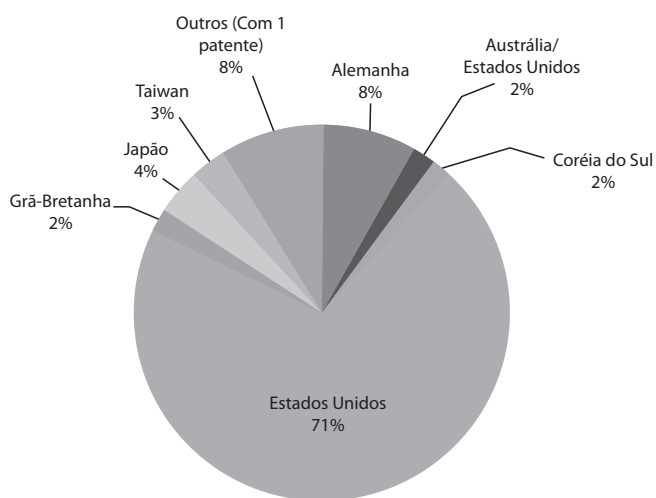
A análise dos países depositantes das patentes é importante, visto que com ela pode-se perceber a origem das tecnologias e inovações. No caso dos três grupos, os Estados Unidos se destaca com mais de 50% das patentes em cada caso. Os gráficos 18, 19 e 20 a seguir, mostram os resultados para cada um dos três cruzamentos: Fieldbus, Ethernet e Wireless.

Gráfico 18 - Análise de Países do cruzamento "industrial process automation" x "Fieldbus"



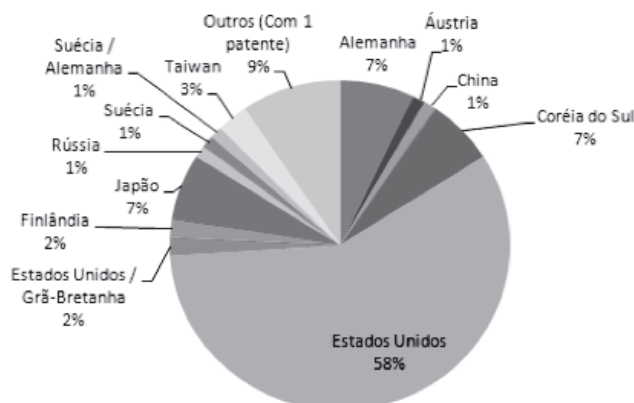
Fonte: Elaboração própria

Gráfico 19 - Análise de Países do cruzamento "industrial process automation" x "Ethernet"



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 20 - Análise de Países do cruzamento “industrial process automation” x “Wireless”



Fonte: Elaboração própria

Outros pontos a se destacar são algumas parcerias entre países, principalmente dos Estados Unidos com Grã-Bretanha, Austrália e Dinamarca. Pode-se perceber também que no primeiro grupo de patentes há um número de sete países envolvidos nos depósitos das mesmas, no segundo grupo, um número um pouco maior e, no terceiro grupo, há 16 países depositantes das patentes do cruzamento “industrial process automation” x “Wireless”. Isso mostra uma expansão do interesse mundial em inovações a respeito de controle de processos industriais.

Principais Empresas Depositantes das Patentes

A partir das informações das patentes selecionadas, foram listados os depositantes de cada grupo, como se pode observar nas Tabelas 18, 19 e 20. A empresa que se destacou no primeiro grupo de patentes oriundas do cruzamento de “industrial process automation” com “Fieldbus” foi a “Rosemount Inc”, uma empresa especializada em desenvolver instrumentos de medição de variáveis de processo, tais como: pressão, temperatura, vazão, nível e controles de intertravamentos de segurança (são lógicas de segurança implementadas fisicamente ou através de linguagem de programação que garantem a segurança em aplicações de risco). A “National Instruments Corporation”, empresa que comercializa softwares gráficos e hardwares que auxiliam a otimização de

diversos sistemas, inclusive automação de processos, ficou em segundo lugar em depósitos de patentes neste grupo.

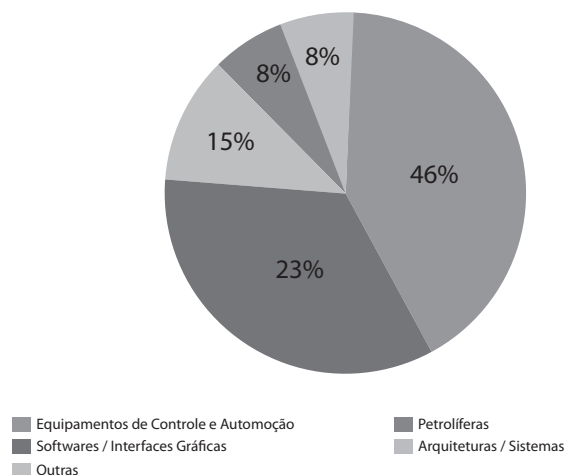
**Tabela 18 - Análise de Depositantes do cruzamento
“industrial process automation” x “Fieldbus”**

Depositantes	Nº de Patentes	País de Origem	Atividades
Rosemount Inc	8	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
National Instruments Corporation	5	Estados Unidos	Softwares / Interfaces Gráficas
Rockwell Automation Tech Inc	3	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Husky Injection Molding	3	Canadá	Equipamentos de Controle e Automação
Tridium Inc	2	Estados Unidos	Softwares / Interfaces Gráficas
Saudi Arabian Oil Co	1	Arábia Saudita	Petrolífera
Phoenix Contact GmbH & Co.	1	Alemanha	Equipamentos de Controle e Automação
Ncapsa Ltd	1	Reino Unido	Softwares / Interfaces Gráficas
Micro Motion Inc	1	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Invensys Sys Inc	1	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Fieldbus Foundation	1	Estados Unidos	Arquiteturas / Sistemas
Cooley Godward, LLP	1	Estados Unidos	Outros
ABB Patent GmbH	1	Alemanha	Outros
Próprio Inventor	3	-	-

Fonte: Elaboração própria

Após uma análise das atividades das empresas depositantes deste primeiro grupo, verificamos (Gráfico 21) que a maioria delas (46%) se dedica ao desenvolvimento e comercialização dos seguintes equipamentos de controle e automação de processos: válvulas, sensores, controladores, transmissores, entre outros. Em seguida, com 23%, destacam-se as empresas desenvolvedoras de softwares e interfaces gráficas, responsáveis pela otimização e gerenciamento dos controles de processos.

Gráfico 21 - Classificação das Empresas depositantes das patentes do cruzamento “industrial process automation x Fieldbus”



Fonte: Elaboração própria

No segundo grupo de patentes, o maior número foi daquelas depositadas por pessoas físicas não vinculadas a nenhuma empresa ou instituição. Em segundo lugar aparece a “Rockwell AutomationTech Inc”, empresa de tecnologia que fornece equipamentos de controle e automação industrial, consultoria para soluções de problemas e softwares para otimização de sistemas, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Análise de Depositantes do cruzamento “industrial process automation” x “Ethernet”

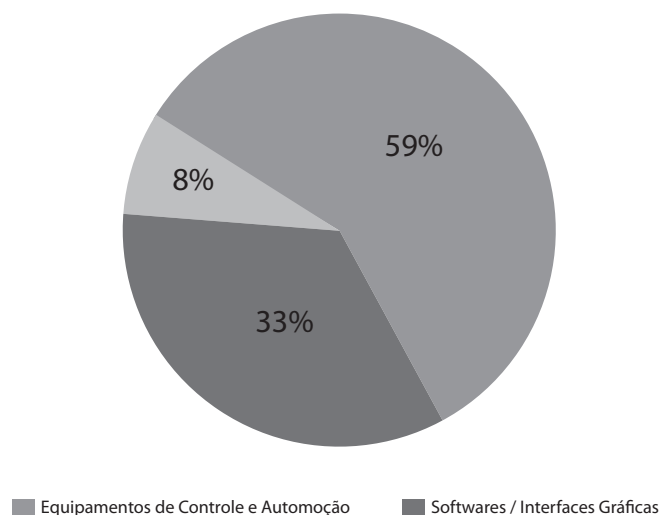
Depositantes	Nº de Patentes	País de Origem	Atividades
Rockwell Automation Tech Inc	9	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Siemens	8	Alemanha	Equipamentos de Controle e Automação
Microsoft Corporation	7	Estados Unidos	Softwares / Interfaces Gráficas
Rosemount Inc	6	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
National Instruments Corporation	5	Estados Unidos	Softwares / Interfaces Gráficas

Applied Systems Intelligence, Inc	2	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Chipcon AS	2	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
LG Electronics Inc	2	Coréia do Sul	Outros
Schneider Automation Inc	2	França	Equipamentos de Controle e Automação
Sun Microsystems Inc	2	Estados Unidos	Softwares / Interfaces Gráficas
Tridium, Inc	2	Estados Unidos	Softwares / Interfaces Gráficas
VIA Technologies, Inc	2	Taiwan	Equipamentos de Controle e Automação
Empresas com 1 depósito somente	27	-	-
Próprio Inventor	27	-	-

Fonte: Elaboração própria

De acordo com o gráfico 22, que mostra a classificação da atividade das empresas deste segundo grupo, a maioria delas, com 59%, também é referente a Equipamentos de Controle e Automação e em segundo, com 33%, estão às desenvolvedoras de softwares e interfaces gráficas.

Gráfico 22 - Classificação das Empresas depositantes das patentes do cruzamento "industrial process automation x Ethernet"



Fonte: Elaboração própria

No último grupo, de acordo com a Tabela 20, o resultado anterior se repete, tendo o maior número de patentes depositadas por inventores pessoa física. A “Rockwell Automation Tech Inc” aparece também em segundo lugar e a “Siemens” em terceiro. Pode-se destacar a presença de empresas especializadas em equipamentos e sistemas de controle de processos, tais como “Rockwell Automation Tech Inc”; “Rosemount Inc” e “National Instruments Corporation”; bem como o surgimento do interesse em controle de processos de empresas como a “Microsoft Corporation” e a “LG Electronics”; líderes em desenvolvimento de tecnologias para eletroeletrônicos e eletrodomésticos de consumo.

**Tabela 20 - Análise de Depositantes do cruzamento
“industrial process automation” x “Wireless”**

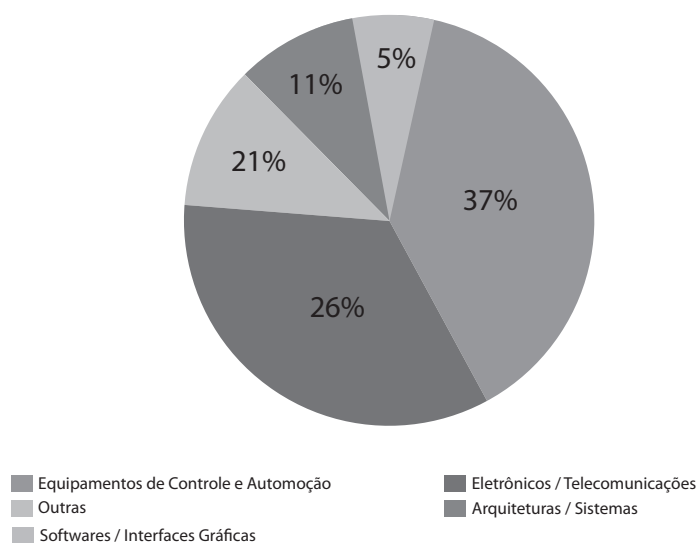
Depositantes	Nº de Patentes	País de Origem	Atividades
Rockwell Automation Tech Inc	14	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Siemens	11	Alemanha	Equipamentos de Controle e Automação
Atomate Corp	7	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Microsoft Corporation	5	Estados Unidos	Softwares / Interfaces Gráficas
Amerasia Internat Technology I	4	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Abb Ab	3	Suécia	Equipamentos de Controle e Automação
Abb Patent GmbH	3	Alemanha	Outros
Entek IRD Intern Corp	3	Estados Unidos	Outros
Matsushita Electric Ind Co Ltd	3	Japão	Eletroeletrônicos / Telecomunicações
Abb Research Ltd	2	Suíça	Outros
Canon Kabushiki Kaisha	2	Japão	Eletroeletrônicos / Telecomunicações
Chipcon AS	2	Estados Unidos	Equipamentos de Controle e Automação
Lg Electronics Inc	2	Coréia do Sul	Eletroeletrônicos / Telecomunicações
Metso Automation Networks Oy	2	Finlândia	Equipamentos de Controle e Automação
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha	2	Japão	Outros

Samsung Electronics Co, Ltd.	2	Coréia do Sul	Eletrônicos / Telecomunicações
Sk Telecom Co Ltd	2	Coréia do Sul	Eletrônicos / Telecomunicações
Sun Microsystems Inc	2	Estados Unidos	Arquiteturas / Sistemas
Taiwan S Manufacturing Co Ltd	2	Taiwan	Arquiteturas / Sistemas
Empresas com 1 depósito somente	51	-	-
Próprio Inventor	45	-	-

Fonte: Elaboração própria

Quanto à classificação das empresas em relação as suas atividades, o maior destaque permanece para aquelas especializadas em equipamentos de controle e automação, com 37%, seguidas pelo grupo de empresas de eletrônicos e telecomunicações, com 26%, conforme o Gráfico 23.

Gráfico 23 - Classificação das Empresas depositantes das patentes do cruzamento "industrial process automation x Wireless"



Fonte: Elaboração própria

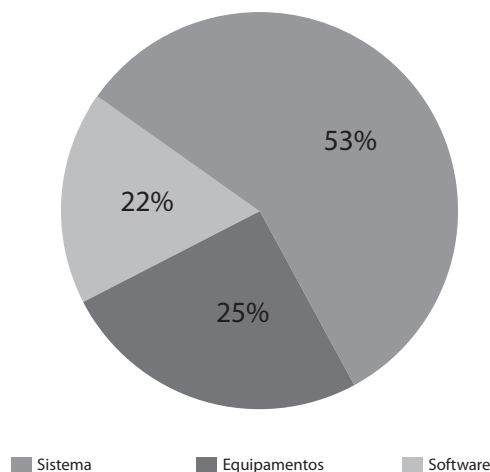
Após uma análise geral das informações dos depositantes para os três grupos de tecnologias (Fieldbus, Ethernet e Wireless), pode-se destacar a presença da empresa "Rockwell AutomationTech Inc". Já as empresas "Siemens" e "Microsoft Corporation" aparecem em destaque nos grupos "Ethernet" e

“Wireless”, não aparecendo em “Fieldbus”. Outro dado que merece ser citado é o fato de que, nos três grupos, uma grande parte das patentes de cada um deles foi depositada pelos próprios inventores, sem vínculos, a princípio, com qualquer empresa.

Classificação e Análise das Patentes

As patentes analisadas foram divididas em categorias denominadas “Sistema”, “Software” e “Equipamento”, ou seja, a mesma classificação utilizada no item “Análise de Artigos”. Patentes que tratam de desenvolvimento, inovação ou estudo de algum equipamento foram alocadas na categoria “Equipamento”. A categoria “Sistema” englobou patentes cujo objetivo é registrar metodologias, ações ou sistemas propriamente ditos para automação de processos. Já a categoria “Software” foi criada exclusivamente para as patentes que tratam de desenvolvimento e/ou análise de softwares. A Figura 26 sintetiza o resultado obtido para a classificação das patentes em cada categoria no cruzamento das palavras “industrial process automation” x “Fieldbus”.

Gráfico 24 - Análise de Assuntos do cruzamento “industrial process automation” x “Fieldbus”

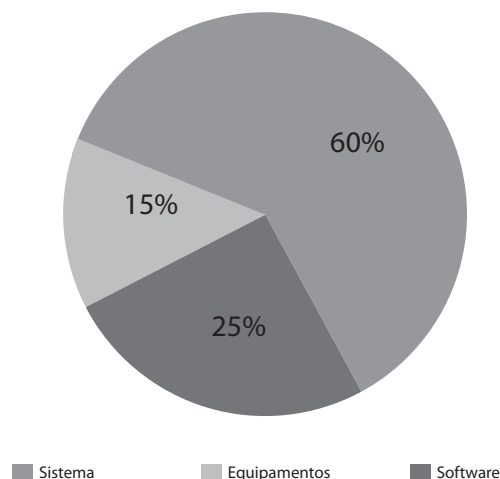


Fonte: Elaboração própria

Para o cruzamento “industrial process automation” x “Fieldbus”, observa-se que a maioria (53%) das patentes trata de assuntos relacionados à “Sistema”. Esse domínio se dá justamente porque a palavra Fieldbus está diretamente relacionada com sistemas inter-operáveis, ou seja, sistemas desenvolvidos

para que equipamentos trabalhem com troca de dados contínua. Dentro da classificação de sistemas, foi possível observar várias patentes tratando de sistemas de controle, comunicação e transmissão de dados, reafirmando esta relação. Além disso, foram identificadas tecnologias como “Foundation Fieldbus TM”, “PLC (Programmable Logic Controller)” e “DC Link”. A outra metade das patentes analisadas neste cruzamento dividiu-se entre “Equipamento” (25%) e “Software” (22%). Na categoria “Equipamento” as tecnologias mais citadas foram “Conversor A/D (analogic to digital)” e “Transmissores de Pressão específicos”. No gráfico 25 é possível observar os resultados obtidos com o cruzamento das palavras “industrial process automation” x “Ethernet”.

Gráfico 25 - Análise de Assuntos do cruzamento “industrial process automation” x “Ethernet”

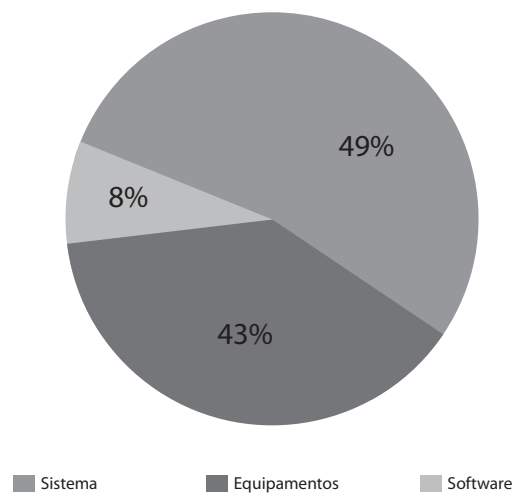


Fonte: Elaboração própria

Com relação às patentes encontradas no cruzamento “industrial process automation” x “Ethernet” a categoria “Sistema” se mantém em primeiro lugar com 60%. Uma das tecnologias mais citadas foi EtherCAT, que será explicada no Anexo D sobre tecnologias. Já no segundo lugar, com 25%, ficaram as patentes sobre “Software”. Nas patentes analisadas para essa categoria destacaram-se softwares de atualização de aplicativos de sistemas programados para evitar que falhas ou perda de informações ocorram no processo de atualização do sistema; softwares de interface gráfica para visualização dos bens em um sistema de gestão de ativos e outros que visam exclusivamente à melhoria da qualidade de controle do sistema em questão citado na patente. Já a categoria

“Equipamento” obteve apenas 15% das citações, a maioria dessas patentes tratou de métodos de transmissão de dados através de dispositivos de controle e se basearam no TCP (Transmission Control Protocol). O gráfico 26 sintetiza a classificação das patentes para cada categoria no cruzamento das palavras “industrial process automation” x “Wireless”.

Gráfico 26 - Análise de Assuntos do cruzamento “industrial process automation” x “Wireless”



Fonte: Elaboração própria

Conforme mostrado no gráfico 26, no resultado obtido pelo cruzamento das palavras “industrial process automation” x “Wireless”, 49% das patentes trataram de sistemas. Foram registrados patentes que propunham sistemas para diversos fins, no entanto a maioria delas fazia referência à melhoria, controle ou ajuste de algum processo específico. Observou-se desde patentes mais específicas como a que fez menção a sistemas de controle remoto de inflamabilidade em células combustíveis até outras mais abrangentes como a que propunha um sistema para o monitoramento de qualquer produto no processo de exportação.

Após “Sistema”, a categoria que mais se destacou, com 43% das citações, foi “Equipamento”. Os mais citados foram sensores, chips ou placas para aplicações em tecnologias de controle remoto de processos. Na maioria dos casos, a patente foi utilizada para registrar alguma melhora na fabricação de equipamentos já existentes. Pouco se observou sobre registros de tecnologias

totalmente novas. O restante das patentes analisadas registrou assuntos referentes à categoria “Software”, correspondendo a 8% delas. Qualquer patente que registrou o desenvolvimento de programas de computadores para automação processos, análises de softwares ou geração de cenário para simulação dos mesmos estão inseridos nesta categoria.

Objetivos das Inovações

A análise das patentes revelou que o estudo da automação em processos industriais resulta em tecnologias aplicáveis para diversos fins. No entanto, a maioria delas converge para objetivos similares. No cruzamento com a palavra Fieldbus foi observado que 100% das tecnologias têm como objetivo a melhoria da qualidade do processo industrial. Todos os sistemas, equipamentos ou softwares descritos nas patentes tinham a finalidade de melhorar a qualidade do processo em questão ou de processos genéricos. Na maior parte delas essa otimização refere-se à maior facilidade de controle resultando em um processo operado com mais segurança. Além disso, a diminuição dos gastos com energia e uma maior agilidade na obtenção de respostas também foram objetivos citados.

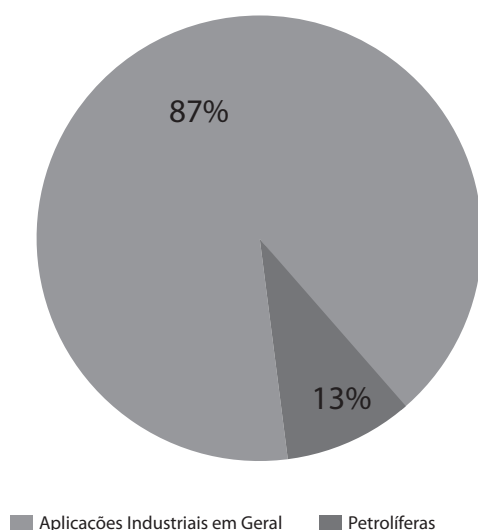
Da mesma forma, quando o foco é Ethernet, o desenvolvimento de novas tecnologias visa a melhoria da qualidade do processo. Neste caso, além das patentes sobre a otimização de processos visando o maior controle e consequente segurança, também foram observadas muitas que tratavam da simplificação na transferência, recolhimento e tratamento de dados através de circuitos integrados por Ethernet.

No cruzamento com a palavra Wireless foi encontrada uma diversidade maior de objetivos. Muitas dessas patentes registram o projeto e modelagem de nanoestruturas e dispositivos diversos, como por exemplo, dispositivos pneumáticos para controle de fluidos industriais, dispositivos de segurança, e de armazenagem de dados. Além disso, sistemas para controle remoto de processos e a implementação de conjuntos de programas utilizados para introdução da informática na integração de módulos industriais, também foram observados.

Principais Setores

As patentes também foram analisadas quanto aos principais setores envolvidos e/ou beneficiados com as pesquisas. O gráfico 27 mostra uma distribuição percentual dos resultados obtidos para o cruzamento das palavras “industrial process automation x Fieldbus”.

**Gráfico 27 - Análise dos Principais Setores do cruzamento
“industrial process automation” x “Fieldbus”**

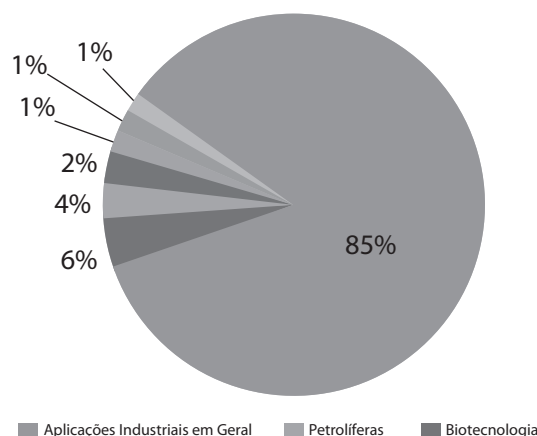


Fonte: Elaboração própria

Quando a palavra chave é Fieldbus, fica claro que, a maior parte dos equipamentos, softwares, análises ou sistemas registrados em patentes poderiam ser utilizados na automação de, praticamente, qualquer indústria. Isso se deve ao fato dessas serem tecnologias que geram respostas genéricas em qualquer processo automatizado.

Neste cenário é importante destacar que o número de patentes específicas para o setor petrolífero é significativo. Neste setor ainda são muito utilizadas redes Fieldbus para transferência de dados, por ser considerada uma tecnologia mais confiável. O gráfico 28 ilustra os resultados obtidos para o cruzamento “industrial process automation x Ethernet”.

**Gráfico 28 - Análise dos Principais Setores do cruzamento
"industrial process automation" x "Ethernet"**

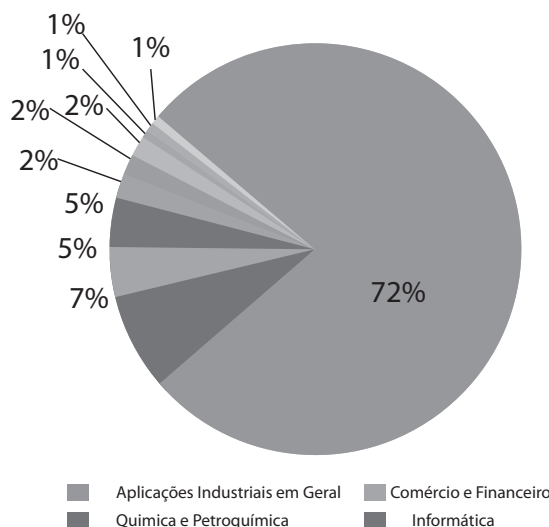


Fonte: Elaboração própria

Já quando a palavra chave é Ethernet, 85% das patentes registradas apresentam tecnologias nas indústrias automatizadas em geral, podendo ser utilizada na maioria dos processos automatizados. Essa característica também se apresenta marcante aqui porque Ethernet trata, justamente, da interconexão para redes locais, baseada no envio de pacotes, um conceito básico na automação de processos. No entanto neste cruzamento foi observada uma variedade maior de patentes voltadas para setores específicos.

O setor de biotecnologia, por exemplo, apareceu em segundo lugar com 6% das citações. As patentes foram registradas principalmente o uso de sistemas automatizados para controlar as condições de cultivo de bactérias e outros microrganismos. Outros setores menos citados foram petrolífero, com 4%, computação/informática com 2% e financeiro, telecomunicações e meio ambiente empatados com 1%. O gráfico 29 mostra uma distribuição percentual dos resultados obtidos para o cruzamento das palavras "industrial process automation x Wireless".

**Gráfico 29 - Análise dos Principais Setores do cruzamento
“industrial process automation x Wireless”**



Fonte: Elaboração própria

O cruzamento das palavras “industrial process automation x Wireless”, “Aplicações industriais em geral” responde por 72% das patentes analisadas. Os equipamentos, softwares e sistemas registrados podem ser utilizados na automação de, praticamente, qualquer indústria. Ainda sim, foram observadas algumas patentes nas quais as tecnologias registradas atenderiam apenas setores específicos. Por ser um setor em plena atividade, financiador de muitas pesquisas e gerador de novas tecnologias, o setor de química e petroquímica foi o que mais obteve patentes, com 7%, sendo seguido pelo setor comercial e financeiro e pelo setor de informática, ambos com 5%.

4.5 Conclusões

A automação de processos busca, cada vez mais, abranger não apenas a automação no chão de fábrica, mas também integrá-la com a automação do negócio como um todo. Cresce a importância de sistemas de gerenciamento de produção, de materiais, de vendas e da cadeia de suprimentos.

O presente trabalho teve como foco as mudanças tecnológicas da camada supervisora, ou seja, buscou-se entender as trajetórias específicas da indústria

de processos. As demais camadas de automação não foram exploradas, apesar de aparecerem nas buscas realizadas em patentes e artigos científicos, porque elas têm características comuns a aplicações em outras indústrias e setores e econômicos, os quais não eram alvos desse estudo.

Observa-se em novos projetos de automação industrial a coexistência de diferentes tecnologias na arquitetura dos sistemas. Não existe uma única tecnologia que seja aplicada em todos os equipamentos. Isto ocorre em função de diversos motivos. O principal deles é que cada protocolo possui suas vantagens e desvantagens, e relações custo-benefício que levam a aplicações variadas para cada padrão. Outro motivo é o aprisionamento aos padrões tecnológicos de empresas específicas que detêm a tecnologia de automação de equipamentos críticos. Como os sistemas legados operam com os mesmos protocolos há vários anos, eles dificilmente serão substituídos por padrões mais atuais, a não ser quando ocorrem investimentos em novas plantas. Por outro lado, os sistemas instrumentados de segurança, responsáveis pelas ações mais críticas da planta, exigem alta velocidade no tráfego de dados e confiabilidade das lógicas de intertravamento. Tais tarefas são processadas em CLPs específicos que demandam exigências de integridade que em muitos casos não são encontrados em tecnologias mais recentes.

Todas essas peculiaridades acarretam dificuldades para difusão de novas tecnologias em aplicações industriais existentes. Cada tecnologia nova leva certo tempo para ser utilizada industrialmente, em função da necessidade de promover diversas adaptações até que alcancem um patamar satisfatório de confiabilidade. Novas tecnologias precisam apresentar muitas vantagens operacionais, principalmente em termos da qualidade das informações processadas, para compensar a substituição de sistemas convencionais.

No âmbito comercial, mediante as análises feitas junto a empresas de automação, podemos ratificar estas expectativas e levantar algumas conclusões acerca das tendências do mercado nacional.

A primeira é que há uma ampla preferência por parte fabricantes nacionais por sistemas de automação que utilizam as redes Fieldbus, principalmente nas tecnologias Fieldbus Foundation e Profibus. Entendemos que tal tendência reflete a demanda no mercado nacional, visto que a maior parte da produção dessas empresas é destinada a suprir demanda interna.

Entretanto, esses sistemas estão em processo de transformação, graças ao desenvolvimento das redes sem fio. Os negócios envolvendo as redes sem fio despontam como os de maior perspectiva de crescimento, apesar da crise econômica mundial agravada em outubro de 2008. Até 2010, segundo a ARC Advisory Group, o segmento deverá apresentar taxas superiores a 32% de incremento e deverá atingir uma receita de US\$ 1,18 bilhão. Em 2005, segundo o BNDES, esses valores foram de apenas US\$ 325 milhões (LOBO, 2009).

No quesito “Redes sem fio na automação industrial”, constata-se que no Brasil, fisicamente, as redes industriais ainda são construídas com cabos metálicos - par trançado e cabo coaxial - e fibras ópticas. O uso da rede Wireless, ainda não é frequente, apesar de já existirem algumas implementações no país.

Apesar de suas diversas limitações, inclusive de confiabilidade da rede, a grande vantagem da inexistência de cabos se sobrepõe em muitos casos a falta de confiabilidade, em virtude das limitações físicas. No momento, essas redes sem fio estão sendo amplamente aplicadas nos sistemas que não requerem respostas em tempo real, como manutenção de equipamentos e monitoramento de redes de distribuição de água, energia e combustíveis. Também é muito aplicada onde é inviável transmitir informação via cabos, como áreas de extensões muito longas, monitoramento de instrumentos isolados e de locais onde não é possível trafegar cabos, como nos casos de instrumentos localizados em poços de petróleo. Essa grande vantagem, a ausência de limitações físicas, tem feito com que os estudos da tecnologia cresçam rapidamente e sejam foco de muitas inovações.

Assim, espera-se que as redes Wireless, nos próximos anos, comecem a ser inseridas em maior escala no ambiente industrial, não apenas nas aplicações onde existem impedimentos para a existência de cabos, mas também como inovações, substituindo as atuais redes com fio aplicadas ao monitoramento e controle de variáveis de processo.

A tendência à padronização de elementos e de protocolos de comunicação vem reduzindo os custos associados à implantação dos sistemas de controle, naturalmente quando se comparam sistemas com especificações idênticas, porém produzidos em épocas diferentes. A convergência tecnológica, originada na utilização da eletrônica digital vem aproximando os sistemas de controle da TI (tecnologia da informação) e de seus paradigmas, no sentido da interligação

desses sistemas com os sistemas de gestão integrada das empresas e o acesso a informações e relatórios de controle pela Internet e terminais portáteis. Os dispositivos de controle vem se apropriando das mais modernas conquistas da eletrônica, por meio da utilização de componentes com maior velocidade e capacidade de processamento, o que se reflete imediatamente na miniaturização dos dispositivos e no aumento da sua funcionalidade, sensibilidade e precisão, assim como na diminuição do seu tempo de resposta. Têm sido intensos os investimentos em desenvolvimento de software, tanto no embarcado em dispositivos de controle e que aumentam a facilidade e flexibilidade do seu uso, quanto de produtos voltados à otimização de sistemas e controle avançados de processo.

Quanto à análise das principais empresas nacionais relacionadas ao ramo da automação, pode-se avaliar que a maioria delas ainda se encontra distante das expectativas de mercado e apresentam soluções e produtos isolados. A principal causa das empresas líderes internacionais estarem em um patamar superior às empresas nacionais é o diferencial do fornecimento de soluções completas. À medida que as especificações de projeto exigem que as empresas fornecedoras da automação se responsabilizem pela instalação dos equipamentos e instrumentos, pelo fornecimento dos softwares, pela colocação dos mesmos em operação e pela manutenção dos sistemas, as empresas que não possuem soluções integradas não conseguem obter a mesma lucratividade.

De acordo com as diferenças entre os competidores acima mostrados, são as empresas multinacionais dominantes que normalmente fornecem os principais pacotes de automação, ou seja, são elas as responsáveis pela totalidade do fornecimento da solução de automação das grandes plantas industriais. Isso é verdadeiro tanto para os novos projetos quanto para os projetos já existentes de modernização de unidades completas. Nesse caso, a participação de qualquer outro fornecedor na qualidade de subcontratado, é eventual e ocorre caso haja uma exigência do cliente, ou pelo uso de um produto em particular, ou pela redução de custo em um dado dispositivo. Isso porque nem sempre o fornecedor do pacote dispõe, entre seus produtos, de dispositivos que atendam à totalidade dos requisitos especificados, inclusive a relação custo/benefício.

No que diz respeito à difusão tecnológica, é possível afirmar que a falta de mão de obra qualificada torna-se uma barreira para o aumento na utilização das

novas tecnologias de automação industrial. É fundamental que o aprendizado a cerca dessas novas tecnologias, do projeto à instalação e operação dos sistemas esteja presente nos cursos de formação dos profissionais que irão trabalhar em áreas direta ou indiretamente envolvidas na automação de processos industriais. O projeto e a manutenção desses sistemas requerem uma grande demanda de mão de obra especializada, o que torna necessária uma nova abordagem no ensino dos cursos responsáveis pela formação desses profissionais, de forma a desenvolver as habilidades necessárias e prover os conhecimentos práticos que estas novas tecnologias demandam.

As tecnologias encontradas na prospecção em artigos e patentes foram classificadas em cinco grupos. Através da análise de artigos e patentes, foi possível construir as tabelas 20 a 24 (Anexo C), onde é possível perceber com mais clareza as tecnologias em destaque de cada grupo:

- **Instrumentação:** dentro de um ambiente automatizado, além dos computadores, existem sensores, atuadores, controladores e servidores. Todos estes se encontram neste grupo.
- **Protocolo:** neste grupo se encontram as tecnologias utilizadas para comunicação dentro de redes. Protocolo é a linguagem com que os equipamentos e computadores vão se comunicar dentro de uma determinada rede.
- **Rede:** as tecnologias classificadas como rede, são as que permitem a conexão de equipamentos e computadores de forma física. Através de uma rede, é possível dar e receber ordens, monitorar equipamento e variáveis entre outras operações. Toda a informação que circula dentro de uma rede é através de protocolos.
- **Software:** aplicativos de computador e linguagens de programação estão neste grupo. As linguagens de programação permitem a criação de aplicativos e estes, por sua vez, a arquitetura e configuração e controle de uma rede;
- **Sistema:** neste grupo estão as tecnologias que controlam todo um ambiente automatizado. Estão neste grupo as estratégias de controle, sistema de automação, etc. Essas tecnologias estão no nível acima

das outras descritas anteriormente, funcionando como um elemento integrador de todo o ambiente automatizado.

Em linhas gerais, entende-se que as tecnologias coexistem ao longo dos anos. Pode-se observar que várias indústrias ainda utilizam atualmente, instrumentação tipicamente convencional, sinalizando que o advento das tecnologias sem fio não traz a eliminação completa das demais tecnologias. Ao longo de muitos anos ainda teremos a coexistência de redes como Foundation Fieldbus, Profibus, Hart, Wireless, dentre tantas outras, participando dos sistemas de automação industrial.

5 TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA AUTOMAÇÃO DA MANUFATURA

As tecnologias de automação podem ser divididas em dois grupos: as tecnologias de automação da manufatura propriamente ditas e as tecnologias inovadoras de manufatura que irão exigir soluções de automação. Um exemplo destas últimas são as aplicações que exigem processos de medição e controle na escala nanométrica, o que vai demandar equipamentos sensíveis a esta escala de produção.

Os dispositivos de automação fazem uso crescente de redes industriais de comunicação para interligação de equipamentos em vários níveis. Nas indústrias de manufatura observa-se uma tendência de adoção dos protocolos Ethernet em redes com cabo e a utilização de redes sem fio. A utilização do protocolo HTTP para a comunicação de dados entre as máquinas e o usuário também vem crescendo na indústria manufatureira.

Outra tendência é a convergência tecnológica, fenômeno que ocorre em diferentes domínios de aplicações industriais. Na indústria de manufatura encontram-se exemplos de convergência entre aplicações da área médica e a prototipagem rápida, na qual as tecnologias de imagem atuais são integradas a equipamentos de manufatura rápida para a fabricação de implantes ortopédicos, assim como na produção de filmes cerâmicos de pequena espessura.

Tomando por base a pontuação obtida na consulta a base de artigos Scopus, as tecnologias mais destacadas são (i) “manufatura aditiva”; (ii) “ERP (Enterprise Resource Planning ou Sistema Integrado de Gestão Empresarial); (iii) MES (manufacturing execution systems); e (iv) tecnologias HSM (usinagem em alta velocidade).

A tecnologia de manufatura aditiva, também conhecida como prototipagem rápida, vem sendo utilizada não apenas para a fabricação de protótipos, mas também para peças funcionais, sobretudo quando se trata de materiais de alta dureza, como é o caso do titânio. Dessa forma, é comum se observar a produção de peças por manufatura aditiva nessas condições e para pequenos lotes de produção.

A prototipagem rápida possui vantagens relevantes quando comparada a outros processos que se utilizam do princípio de adição, como soldagem, brasagem e colagem, pois permite notória automatização. A técnica dispensa a existência de moldes e ferramentas e demanda pouca intervenção humana. A prototipagem rápida permite, assim, a fabricação de peças físicas de posse de informações obtidas de um modelo geométrico tridimensional, podendo fabricar peças em materiais metálicos de alta dureza.

O ERP é uma tecnologia de gestão que está integrada com a camada de transformação (chão de fábrica) através das redes industriais de comunicação. Ela vem sendo empregada no planejamento e gerenciamento das operações e da logística dos empreendimentos industriais.

Os MES (manufacturing execution systems) apareceram com uma boa pontuação na base SCOPUS, representando a camada intermediária situada entre o chão de fábrica e os sistemas corporativos onde rodam os ERP. Os MES são sistemas centrados na aquisição de dados, no controle da ocupação da mão de obra, no controle de qualidade e na programação de curto prazo e ficam situados entre a camada de planejamento de recursos de manufatura e a fabricação dos produtos.

As tecnologias HSM (usinagem em alta velocidade) são máquinas similares as de usinagem convencional, diferenciando-se, sobretudo, na ordem de grandeza dos parâmetros de corte, na rigidez e sistema construtivo das máquinas-ferramenta empregadas, na geometria e materiais das ferramentas e no sistema de controle da máquina-ferramenta. Tais características têm por objetivo proporcionar uma usinagem com alta taxa de remoção de material e gerar superfícies com ótima qualidade superficial. A alta eficiência proporcionada pelas altas velocidades de corte, aliada à alta rigidez destas máquinas, possibilita também a usinagem de materiais endurecidos, o que torna desnecessárias as operações de eletroerosão, retificação e/ou polimento.

As altíssimas velocidades das máquinas HSM exigem uma alta eficiência de programação de trajetória da ferramenta e da eficácia da transmissão de dados entre o comando numérico e o sistema de acionamento das máquinas. Isto obriga uma evolução não apenas na programação CN, mas também no “hardware” envolvido (sensores, unidade central de processamento, etc.). O

desempenho do CNC é fundamental para poder trabalhar em altas velocidades de usinagem.

As tecnologias de metrologia ótica e montagem robotizada aparecem logo em seguida, representando duas vertentes importantes na manufatura. A metrologia ótica utiliza a fotometria e a radiometria, assim como o laser para medir peças e produtos com precisão sem necessidade do contato físico de sensores de tato. Várias aplicações são citadas na indústria automobilística e aeronáutica.

A montagem e a soldagem robotizada, respondem pela maioria das aplicações da robótica na indústria de manufatura. Os processos de montagem são responsáveis por cerca de 60% dos custos de mão de obra de grande parte dos produtos, respondendo pela maior parcela do custo total de fabricação. Os ciclos de trabalho de montagem são geralmente curtos, o que acarreta muitas operações repetidas e lesões nos operadores por esforços repetidos. O trabalho foi realizado através de consultas a bibliografias existentes sobre os seguintes temas: “tendências tecnológicas na indústria de manufatura”, “diagnósticos do setor metal-mecânico”, “tendências tecnológicas da automação da manufatura”, “tecnologias emergentes em fabricação mecânica” e “perfil dos setores usuários de equipamentos de automação”. Foram consultados exemplares do periódico “Máquinas & Metais” e a base de dados Scopus, acessíveis através do Portal Periódicos Capes. A análise dos dados foi realizada com o programa Excel e empregou ferramentas simples de estatística disponibilizadas pelo software para gerar os gráficos ilustrativos.

Foram consultados 2.080 artigos acadêmicos compreendendo o período de 1998 a 2008 utilizando-se como palavras-chave algumas tecnologias que vem aparecendo nas Feiras da Indústria e sendo citadas nas revistas especializadas. As seguintes tecnologias foram prospectadas:

- Robotic assembly
- Robotic welding
- Robotic cell
- Robotic vision

- Self-assembly
- Nano manufacturing
- Green manufacturing
- High speed machining
- Additive manufacturing
- Manufacturing execution systems
- Enterprise resource planning
- Laser assisted machining
- Optical metrology

Os resultados observados mostram que a tecnologia mais citada é “additive manufacturing” com 686 artigos, tecnologia também conhecida como prototipagem rápida. O termo manufatura aditiva é mais abrangente, uma vez que essa tecnologia vem sendo utilizada para a fabricação de peças em geral não sendo exclusiva para a fabricação de protótipos. A tecnologia de gestão conhecida como ERP - enterprise resource planning vem logo em seguida com 653 artigos.

Em seguida, aparece o MES - Manufacturing Execution Systems com 235 citações e a tecnologia HSM/HSC - High Speed Cutting com 102 citações. As tecnologias Green Manufacturing e Nano Manufacturing, apesar de apresentarem uma pontuação absoluta média relativamente baixa, indicam um crescimento consistente no número de citações recentes. As Tabelas 21, 22 e 23, a seguir, mostram o resultado absoluto da prospecção realizada em periódicos da base SCOPUS.

Tabela 21 - Citações em artigos acadêmicos das tecnologias prospectadas (1998 - 2008)

	Self-Assembly	Robotic Assembly	Robotic Welding	Robotic Cell	Robotic Vision	Nano Manufacturing
1998	0	6	6	2	2	0
1999	3	10	3	6	4	2
2000	0	8	2	1	3	0
2001	1	11	5	2	4	1
2002	1	6	5	1	11	1
2003	0	5	6	0	5	1
2004	2	9	3	5	5	5
2005	5	13	3	7	10	5
2006	3	8	10	1	11	3
2007	3	9	9	2	14	2
2008	11	6	7	6	9	6
Total	29	91	59	33	78	23

Fonte: elaboração própria

Tabela 22 - Citações em artigos acadêmicos das tecnologias prospectadas (1998 - 2008)

	Enterprise Resource Planning	HSC e/ou HSM	Additive Manufacturing	Green Manufacturing	Manufacturing Integration	Manufacturing Execution Systems
1998	43	6	45	2	2	22
1999	77	2	70	3	7	33
2000	87	3	46	3	1	31
2001	88	9	57	2	1	29
2002	69	4	56	3	4	13
2003	43	7	63	2	4	19
2004	51	10	64	4	4	13
2005	57	10	78	12	6	10
2006	47	12	82	6	2	29
2007	52	18	64	11	8	18
2008	39	21	61	14	4	18
Total	653	102	686	48	43	235

Fonte: elaboração própria

Tabela 23 - Citações em artigos acadêmicos das tecnologias prospectadas (1998 - 2008)

	Laser assisted machining	Optical metrology
1998	2	4
1999	2	7
2000	3	6
2001	1	16
2002	1	5
2003	1	14
2004	1	17
2005	2	17
2006	6	14
2007	4	23
2008	5	13
Total	29	136

Fonte: elaboração própria

O perfil da indústria de manufatura está em processo de mudança, com a participação crescente de pequenas e médias empresas como usuárias de equipamentos de alta tecnologia. Os números absolutos ainda são pequenos uma vez que as PMEs compraram em média 1,6 máquinas-ferramenta novas em 2007, mas sua importância relativa aumenta pelo universo de empresas estabelecidas.

As empresas com até 50 funcionários adquiriram em 2005 cerca de 500 máquinas-ferramenta com controle numérico, enquanto as empresas acima de 500 funcionários adquiriram cerca de 300 máquinas. Isso representa uma grande pulverização de máquinas pelas empresas, porém com uma grande concentração no estado de São Paulo (capital e interior) que concentra 60% das MFCN, enquanto os estados da região sul respondem por 24% das MFCN em operação no país.

Os dados referentes à MFCNs nos permitem inferir que outros equipamentos de automação estão sendo adquiridos por essas empresas compradoras de MFCN. Os principais setores compradores de MFCN são os de usinagem para terceiros, o automotivo e de ferramentas.

A presença de equipamentos novos nas empresas é outro ponto importante, sobretudo quando esses equipamentos incorporam uma nova

tecnologia de processo para a empresa. Nas empresas com até 50 funcionários, os equipamentos com menos de quatro anos de idade representam quase 60% do parque de máquinas dessas empresas. No segmento de empresas de serviços de corte e conformação a tendência apontada por 77% das empresas é comprar máquinas com controle numérico.

A presença de equipamentos novos em empresas de pequeno porte indica a necessidade de oferta de formação profissional para esse segmento. Empresas pequenas não têm estrutura própria de treinamento dependendo diretamente das instituições do sistema SENAI e dos fabricantes para qualificar seu pessoal.

As tecnologias de automação da manufatura são complexas, exigindo não apenas a formação no ofício de operador de máquinas, mas também conhecimentos periféricos em informática e eletrônica, o que aumenta a qualificação demandada dos operadores. No setor de conformação e corte, por exemplo, ocorre uma modernização acelerada do parque industrial rumo ao CNC, alterando o perfil tradicional da mão de obra deste segmento.

Os relatos de empresas industriais entrevistadas mostram uma subutilização generalizada dos recursos tecnológicos disponíveis principalmente da flexibilidade proporcionada pelos equipamentos programáveis para realizar novas tarefas. Nos casos de robôs, por exemplo, é comum especializá-lo para determinado produto ou função, sem tirar proveito da sua flexibilidade. Tal subutilização dos equipamentos pode estar associada à qualificação dos operadores.

As abordagens mais utilizadas na qualificação profissional são o aprendizado tecnológico vinculado ao ato de fazer (learning by doing) e a engenharia reversa, quando se adaptam máquinas e equipamentos para a produção local. O esforço tecnológico dos fornecedores de insumos para a indústria de bens de capital também é fundamental para as empresas fabricantes de equipamentos de automação da manufatura.

As qualificações necessárias para operar os novos equipamentos de automação têm em comum o conhecimento integrado das tecnologias de informação e comunicação aliado ao conhecimento técnico do processo. Isso

é muito claro no caso da soldagem robotizada onde é difícil encontrar pessoal qualificado em soldagem e capaz de programar robôs.

As redes industriais, sensores e protocolos de comunicação exigem dos operadores conhecimentos específicos de tecnologia de informática, de sistemas de controle, de métodos de integração de componentes no chão de fábrica, eletrônica industrial, etc., o que obriga as empresas a aumentarem o leque de especialistas no seu quadro funcional.

Os resultados da prospecção tecnológica confirmaram algumas tecnologias já identificadas anteriormente, com uma forte participação das tecnologias de manufatura aditiva e de tecnologias de gestão integrada do empreendimento, incluindo-se a gestão da cadeia produtiva de fornecedores e representantes.

A presença de equipamentos ligados em rede existente na grande maioria dessas indústrias também apontou para a questão da qualificação dos funcionários em implantar e executar a manutenção das redes industriais em funcionamento.

Em síntese, a maior qualificação dos engenheiros e operadores de sistemas de automação industrial pode ser considerada uma oportunidade para aumentar substancialmente a produtividade e a flexibilidade da indústria manufatureira. Tal qualificação pode ser melhorada por meio de novos conteúdos didáticos e práticas educacionais associadas as novas tecnologias. Por outro lado, requer também um esforço de aprendizagem e experimentação no chão de fábrica de forma a aumentar a utilização da capacidade dos equipamentos instalados. Isso implica em combinar os processos de aprender-usando, aprender-fazendo e aprender-interagindo com fornecedores de equipamentos e sistemas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E
A Indústria elétrica e eletrônica em 2020: uma estratégia
 São Paulo, 2009.

_____. **Site**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br>>

ARC ADVISORY GROUP. **Site**. Disponível em: <<http://www.arcadvisory.com>>
 Acesso em: jun. 2009.

BENSON, R. Process Control: The Future. **Computing
 Journal**, v. 8, ed. 4, 1997.

BOSCO, F. Dr. SDCD. **Revista Petro & Química**, nº313,

BRAGA J. P. C. H. **Os padrões de comércio e inovação em
 máquinas-ferramenta**. (Dissertação de Mestrado)-Univ
 de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

CABRAL, T. A. Tolerância a falhas em sistemas de te
 WORKSHOP INTERNO DO LASIB, 3., Salvador, 1999. A
 1999.

FAIRBANKS, M. Sistemas avançam para unificar com
 energia. **Revista Química Nova**, n. 478, 2008.

GUTIERREZ, R. M.; PAN, S. S. **Complexo eletrônico:
 industrial**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

ISA. **Site**. Disponível em: <www.isa.org>. Acesso em: 07/06/2009.

JAMSA-JOUNELA, S. L. **Future trends in process auto**

PEREIRA, J. R. G. **Misturas finitas de densidades com aplicações estatísticas de padrões.** (Tese de doutorado)-Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

SCHRODER, N. Process Automation Markets In 2010. **Report Intechno Consulting,** 2003.

SENAI/DN

Unidade de Estudos e Prospectivas - UNIEPRO

Luiz Antonio Cruz Caruso
Gerente-Executivo

Marcello José Pio
Coordenação Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO - DIRCOM

Carlos Alberto Barreiros
Diretor de Comunicação

Gerência Executiva de Publicidade e Propaganda – GEXPP

Carla Cristine Gonçalves de Souza
Gerente Executiva

Walner Pessoa
Produção Editorial

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC
Área de Administração, Documentação e Informação – ADINF

Marcos Tadeu
Gerente Executivo

Gerência de Documentação e Informação – GEDIN

Fabíola de Luca Coimbra Bomtempo
Gerente de Documentação e Informação

Renata Lima
Normalização

Flávia Chaves Alves, DSc
Andrezza Lemos Rangel da Silva
Genecy Rezende Neto
Juliana Ferreira de Freitas
Patrícia Silva Guimarães
Syssa de Carvalho Felix Pereira
Felipe Esteves Cortes Sálvio
Renato Caldas de Almeida
Equipe Técnica

Suzana Borschiver
Ricardo Naveiro
Elaboração

Paulo Bastos Tigre
Organizador

Lílian Almeida
Revisão Gramatical

Núcleo Branding & Design
Editoração



*Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria*

