LUCIANA PEREIRA

**LIÇÕES DA INDÚSTRIA FOTÔNICA PARA O
DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**

**Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia**

**SÃO PAULO
2008**

LUCIANA PEREIRA

**LIÇÕES DA INDÚSTRIA FOTÔNICA PARA O
DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**

**Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia**

**Área de Concentração:
Engenharia de Produção**

**Orientador:
Prof. Dr. Guilherme Ary Plonski**

**SÃO PAULO
2008**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência do seu orientador.

São Paulo, 17 de junho de 2008.

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

FICHA CATALOGRÁFICA

Pereira, Luciana

**Lições da indústria fotônica para o desenvolvimento tecnológico / L. Pereira. -- São Paulo, 2008.
214 p.**

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Inovação tecnológica 2. Desenvolvimento industrial 3. Fotônica 4. Brasil 5. China 6. EUA 7. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

***Dedicado a Gustavo:
minha luz monocromática coerente***

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram para que hoje eu pudesse escrever esta seção, sempre a minha favorita. Gostaria de começar agradecendo ao prof. Ary Plonski, que aceitou o desafio de me orientar. Hoje entendo e sou muito grata ao prof. Mauro Zilbovicius, que um dia me disse que o ideal seria trabalhar com o prof. Plonski. Ao longo desses quatro anos, recebi dele todo o apoio, suporte, entusiasmo e liberdade para realizar este trabalho de pesquisa. Meu muito obrigada se estende também às suas assistentes: Ida, Elvira e Soninha.

Agradeço também aos empresários que me receberam e me concederam entrevistas contribuindo imensamente para esse trabalho de pesquisa.

No departamento contei sempre com a ajuda, a paciência e a amizade da Lídia e com o carinho do pessoal da secretaria (Olívia, Vanda, Samy, Neuza, dona Olga, Maria e Ana). Assim como da Vera e do Paulo da biblioteca. A bolsa de doutorado do CNPq me deu certa tranquilidade para que pudesse me dedicar à pesquisa integralmente. Enquanto a bolsa de doutorado-sanduiche da CAPES me permitiu realizar um sonho: estudar no MIT. Lá tive a oportunidade de trabalhar com a profa. Alice Amsden e a profa. Smita Srinivas. A elas sou grata por terem me recepcionado e pelo interesse em também querer entender o Brasil.

Agradeço aos companheiros da salinha de pós, velha e nova geração: Susana, Anaval, Simone, Thaise, Neida, Juan, Flávia, Ana Nelo, Claudinha, Tininha, Gabi

Scur, Gabi Cabel, Alexandra, Sergio Muniz, Adriana, Fred e Marília. E também aos amigos que fiz em Ashdown House: Ben Joseph, Tamer, Madhu, Ghassan, Bill, Mithila, Zahra, Séb, Askar e Baris. Em especial a Ben Wood, que me deu abrigo e transporte no inflacionado Vale do Silício, durante a minha participação na Photonics West.

Finalmente, agradeço à minha família e aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado.

*No princípio criou Deus os céus e a terra.
A terra, porém, era sem forma e vazia;
havia trevas sobre a face do abismo, e o
Espírito de Deus pairava por sobre as
águas. Disse Deus: Haja luz; e houve*

Gênesis 1:1

RESUMO

Esta tese analisa como tecnologias emergentes podem ajudar a fortalecer o desenvolvimento industrial. A preocupação é pertinente, pois a produção tecnológica é um importante componente do desenvolvimento econômico.

A partir das observações empíricas da indústria fotônica, nós extraímos algumas lições e propomos um modelo que explica como ocorre a evolução tecno-industrial. Trata-se, pois, de um modelo geral que ajuda a entender os mecanismos que levam ao aumento da participação da produção industrial intensiva em tecnologia e que serve tanto para países em desenvolvimento quanto para os desenvolvidos.

Palavras-chave: inovação tecnológica, desenvolvimento industrial, fotônica, Brasil, China, EUA.

ABSTRACT

This dissertation analyses how emerging technologies can help fostering industrial development. It's an important issue since the high-tech intensive output has become an important element of economic growth.

From the empirical findings and literature discussion, we proposed a model that explains the evolution of high-technology industries. This is a general model that helps to understand the mechanisms to increase the share of production in technology-intensive industries, both in developing and developed countries.

Keywords: Technological innovation; Industrial development, Photonics, Brazil, China, USA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Taxa de crescimento da produção de manufaturados de alta tecnologia.....	18
Figura 2.1 Principais atores e relações entre agentes do Sistema Inovação.....	30
Figura 3.1 O estudo da luz através dos tempos.....	38
Figura 3.2 Parâmetros de caracterização da luz.....	39
Figura 4.1 Cadeia de produção da indústria fotônica.....	51
Figura 4.2 Lente dupla côncava.....	53
Figura 4.3 Filtros refletos coloridos.....	53
Figura 4.4 Janela óptica.....	54
Figura 4.5 Padrão óptico.....	54
Figura 4.6 Prisma de ângulo.....	55
Figura 4.7 Espelho esférico.....	56
Figura 4.8 Grade de difração.....	57
Figura 4.9 Filmes anti-reflexo.....	58
Figura 4.10 Fibra óptica.....	60
Figura 4.11 Laser de diodo.....	67
Figura 4.12 LED de diversas cores.....	70
Figura 4.13 Equipamento de alinhamento fotônico automático de 6 eixos.....	73
Figura 4.14 Encapsulamento fotônico.....	75
Figura 4.15 Integração fotônica.....	76
Figura 4.16 Sistema óptico do espectrômetro SpectraMax M2.....	78
Figura 4.17 Mercado global para produtos e componentes.....	80

Figura 6.1 Regiões Nacionais de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico...	97
Figura 7.1 Esquema de desenvolvimento do setor de telecomunicações.....	113
Figura 7.2 O Plano de transferência tecnológica.....	117
Figura 7.3 Sistema tecnológico de inovação em São Carlos	123
Figura 7.4 Padrão de entrada de empresas em São Carlos.....	126
Figura 7.5 Desenvolvimento de produtos como fator de crescimento.....	128
Figura 8.1 Modelo de evolução tecno-industrial.....	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Capacitações tecnológicas.....	20
Tabela 2.1 Taxonomia Schumpeter Marco I e Schumpeter Marco II.....	33
Tabela 3.1 Participação em artigos publicados em óptica.....	41
Tabela 3.2 Indicadores de patentes com base em aplicações das tecnologias ópticas.....	42
Tabela 3.3 Panorama geográfico da indústria fotônica.....	44
Tabela 4.1 As gerações de desenvolvimento comercial de fibra óptica.....	64
Tabela 5.1 Principal concentração de empresas e emprego em fotônica nos EUA.....	86
Tabela 6.1 Parques tecnológicos na China.....	99
Tabela 6.2 Maiores indicadores econômicos dos parques tecnológicos chineses.....	100
Tabela 8.1 Principais características da evolução da indústria fotônica.....	144

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

1.1 Introdução.....	17
1.3 Escopo e estrutura da tese.....	21

CAPÍTULO 2 – A REALIZAÇÃO EFETIVA DA INOVAÇÃO

2.1 Instituição e organização.....	25
2.2 Modelos de desenvolvimento industrial.....	26
2.3 Sistema de inovação: o ponto de partida.....	28
2.4 Estrutura inovadora da firma.....	30
2.5 Produtos, processos e comercialização.....	33

CAPÍTULO 3 - A FOTÔNICA COMO UM SISTEMA TECNOLÓGICO

3.1 Geografia e tecnologia como dimensão metodológica.....	37
3.2 Sistema tecnológico.....	45
3.3 Coleta de dados.....	46
3.3.1 <i>Dados secundários</i>	47
3.3.2 <i>Observação etnográfica</i>	47
3.3.3 <i>Estudos de caso</i>	48

CAPÍTULO 4 – A CADEIA DE PRODUÇÃO FOTÔNICA

4.1 Introdução.....	50
4.2 A cadeia de produção.....	52
4.2.1 Componentes ópticos básicos.....	52
4.2.1.1 Lentes.....	52
4.2.1.2 Filtros.....	53
4.2.1.3 Janela e padrão óptico.....	53
4.2.1.4 Prismas.....	55
4.2.1.5 Espelhos.....	55
4.2.1.6 Refletores.....	56
4.2.1.7 Filmes-finos (Coatings).....	57
4.2.2 Fibras ópticas.....	60
4.2.3 Lasers.....	64
4.2.4 Detectores e sensores ópticos.....	69
4.2.5 Componentes optoeletrônicos.....	70
4.2.6 Sistemas e dispositivos de imagem.....	71
4.2.7 Testes, medidas e análise.....	71
4.2.8 Miscelânea.....	72
4.3 Fabricação de máquinas e equipamentos.....	72
4.3.1 Integração.....	75
4.3.2 Equipamentos de posicionamento.....	77
4.4 Software.....	77
4.5 Aplicativos.....	78
4.6 Qual é o tamanho desse mercado?	79

CAPÍTULO 5 - A FOTÔNICA MADE IN ESTADOS UNIDOS

5.1 Estrutura e desenvolvimento da indústria nos EUA.....	81
5.2 Padrões de entrada, crescimento e saída.....	82
5.3 A geografia da produção nos EUA.....	85
5.4 A principais tendências observadas.....	88

CAPÍTULO 6 - FOTÔNICA: NEGÓCIO DA CHINA

6.1 A China em busca da independência tecnológica.....	91
6.2 Industrialização comunista de mercado.....	92
6.3 Estratégia de desenvolvimento industrial e tecnológico.....	93
6.3.1 <i>Regiões Nacionais de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico.....</i>	97
6.3.2 <i>A experiência dos parques tecnológicos em fotônica.....</i>	98
6.4 A indústria fotônica chinesa.....	101
6.4.1 <i>Investimentos na fabricação de componentes ativos.....</i>	101
6.4.2 <i>Componentes ópticos para telecom.....</i>	104
6.4.2.1 <i>Componentes para aplicações de curta-distância.....</i>	105
6.4.2.2 <i>Componentes para aplicações de longa-distância.....</i>	106

CAPÍTULO 7 – FOTÔNICA VERDE-AMARELA

7.1 <i>Visão geral.....</i>	108
7.2 A experiência de Campinas.....	109
7.2.1 <i>Antecedentes.....</i>	109
7.3 O desenvolvimento das comunicações ópticas em Campinas.....	112
7.3.1 <i>O papel da Universidade.....</i>	113
7.3.2 <i>Um Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações.....</i>	114
7.3.3 <i>O modelo de transferência tecnológica.....</i>	115
7.3.4 <i>A indústria de equipamentos de telecomunicações.....</i>	117
7.4 O caso da fibra óptica.....	118
7.5 O impacto da desregulamentação dos serviços de telecom sobre o desenvolvimento tecnológico.....	120
7.6 A experiência de São Carlos.....	121
7.6.1 <i>Antecedentes.....</i>	111
7.7 Uma história de sucesso estimulando novas empresas.....	125

7.8 Fonte de conhecimento tecnológico em fotônica e inovação em produtos e processos.....	127
7.8.1 <i>O desenvolvimento de produtos ópticos</i>	128
7.8.1.1 <i>Assimilação</i>	129
7.8.1.2 <i>Incorporação</i>	129
7.8.1.3 <i>Produção</i>	131
7.8.1.4 <i>Comercialização</i>	132
7.9 <i>Análise e implicações</i>	133

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

8.1 O que a indústria fotônica nos ensinou?.....	136
8.1 Um modelo de desenvolvimento tecno-industrial.....	145
8.3 Contribuições, limitações e trabalhos futuros.....	149

REFERÊNCIAS	151
--------------------------	-----

ANEXO A - PERFIL DAS EMPRESAS ENTREVISTADAS NOS EUA...	157
---	-----

ANEXO B - PERFIL DAS EMPRESAS ENTREVISTADAS NO BRASIL..	175
--	-----

ANEXO C - QUESTIONÁRIO APLICADO NOS EUA	204
--	-----

ANEXO D - ARTIGO SUBMETIDO À TECHNOVATION	211
--	-----

CAPÍTULO 1

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

1.1 Introdução

O objetivo dessa tese é entender como tecnologias emergentes, ou seja, tecnologias cujas aplicações mercadológicas começam a ser exploradas, podem ser utilizadas para promover o desenvolvimento industrial. Para isso, analisamos a trajetória de empresas que utilizam tecnologias óptica e/ou fotônica. A óptica pode ser definida de uma forma simplificada como a ciência que estuda o comportamento e a propriedade da luz enquanto a fotônica pode ser entendida, de modo genérico, como a geração, manipulação e aplicação da luz.

O processo de industrialização brasileira nos capacitou em produção e execução de projetos, conforme apresentado na tabela 1.1, fazendo com que o país conseguisse passar em pouco tempo de uma economia essencialmente agrícola e rural para uma economia industrial e urbana. Apesar do tamanho e dinamismo do seu parque industrial, o Brasil vem enfrentando grandes dificuldades em relação à sua capacidade de inovar. De acordo com uma pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (De NEGRI e SALERNO, 2005), numa amostra de

72 mil empresas estudadas, apenas 1.199, ou seja, menos de 2% delas utilizam a inovação e a diferenciação de produtos como estratégia competitiva.

Ao mesmo tempo, os indicadores mostram que o mercado global para produtos tecnológicos vem crescendo a taxas acima dos demais bens manufaturados. Ao mesmo tempo, as atividades econômicas em indústrias intensivas em capital estão se tornando, a cada dia mais, um elemento importante para explicar o crescimento econômico e o desempenho comercial tanto em economias mais avançadas como das emergentes.

Fonte: UNIDO, 2004

Alguns países, tais como, Coreia do Sul e Taiwan, estão respondendo positivamente a esse desafio (AMSDEN, 1989, 2003). Além deles, há também algumas experiências pontuais ocorrendo na Índia, na Irlanda, e Israel (SRINIVAS, 2004; SOTORAUTA; SRINIVAS, 2006; BREZNITZ, 2004, 2005) e também no Brasil.

Apesar das dificuldades, é possível encontrar nichos tecnológicos nos quais o Brasil vem utilizando a base de conhecimento desenvolvida internamente para resolver a complexa relação entre ciência-tecnologia-inovação industrial.

Nesse contexto, o objetivo da presente pesquisa é analisar uma experiência brasileira que engloba o desenvolvimento científico e tecnológico e a sua transformação em produtos e processos. Embora o conceito de inovação não se restrinja à tecnologia, este trabalho enfatiza esse aspecto, pois o aprendizado tecnológico é bastante complexo e a sua aquisição é mais difícil e demorada por estar atrelado aos avanços do conhecimento obtidos através das pesquisas científicas.

Para entender o funcionamento desse processo, vamos apresentar e discutir o surgimento das empresas que utilizam fotônica como tecnologia principal. A fotônica foi escolhida por ser uma tecnologia estratégica, com aplicações em diversos mercados e produtos tecnológicos e por estar atrelada a uma sólida base científica. A partir dos fatos apresentados, esta pesquisa espera responder às seguintes perguntas:

1. Qual é a gênese, o desenvolvimento e a estrutura da indústria fotônica?
2. Como se deu a capacitação em óptica e fotônica e como a difusão industrial vem acontecendo?
3. O que podemos aprender a partir dessa experiência?

Tabela 1.1 Capacitações tecnológicas

Produção

Gerência da produção: supervisionar as instalações produtivas

Engenharia de produção: levantar informações necessárias para otimizar as operações das instalações produtivas, incluindo:

1. Controle de matérias-prima: escolher e classificar insumos, procurar melhorar os insumos
 2. Programação da produção: coordenar o processo produtivo entre produtos e instalações
 3. Controle da qualidade: monitorar a conformidade padrão dos produtos e melhorá-los continuamente
 4. Resolução de problemas ocorridos no decorrer das operações.
 5. Adaptação de produtos e processos: para atender eventuais mudanças e aumentar a produtividade
 6. Assistência e manutenção técnica de acordo com a programação e quando necessário
-

Execução de Projetos

Treinamento de recursos humanos: oferecer qualificação e treinamento de todos os tipos.

Estudos de viabilidade: identificar possíveis projetos e verificar alternativas

Execução do projeto: instalar ou expandir plantas, incluindo:

1. insumGerência de projeto: organizar e supervisionar as atividades relacionadas à execução do projeto.
 2. Projeto de engenharia: levantar informações necessárias para fazer as operações tecnológicas, principalmente os ajustes de funcionamento, inclusive:
 - a) Estudos detalhados (para fazer escolhas entre as alternativas de projeto)
 - b) Engenharia básica (para estabelecer a tecnologia principal em termos de fluxo do processo, balanço entre energia e material, especificações dos equipamentos e layout da planta)
 - c) Engenharia detalhados (para estabelecer as tecnologias de apoio) e planos de engenharia, de construção e de instalação de equipamentos
 3. Cadeia de suprimentos (escolher, coordenar e supervisionar fornecedores).
 4. Incorporação de capital físico (para terminar a preparação do local, a construção da planta, manufatura de máquinas e equipamentos)
 5. Início das operações.
-

Inovação

As competências necessárias para criar novos produtos ou processos. Os tipos de habilidades de acordo com a novidade tecnológica:

1. Ciência pura a busca pelo conhecimento intrínseco
 2. Pesquisa básica: a busca por tecnologias radicais
 3. Pesquisa aplicada: a busca por produtos diferenciados
 4. Pesquisa exploratória: a busca por refinamento em produtos diferenciados
 5. Desenvolvimento avançado: a busca pela otimização da manufatura do refinamento dos produtos diferenciados.
-

Fonte: Amsden, 2001

Conforme observado nos EUA, Reino Unido e Alemanha por Hendry et al (2000), no Japão por Hatakenaka (2004) e no Canadá por Ouimet (2004), essa indústria possui como característica principal o fato de ser composta pela aglomeração geográfica das empresas, cuja origem está ligada direta ou indiretamente a algum centro de pesquisa em Óptica. Os EUA, a Alemanha, o Reino Unido e o Japão são os maiores fabricantes de produtos que utilizam fotônica sendo aos líderes nesse setor.

Graças a algumas semelhanças, como a proximidade aos centros de pesquisa e a forma de se organizar da empresas, o estudo desse conjunto de empresas se apresenta como uma oportunidade rara de comparar processos inovadores em uma indústria de alta tecnologia, com idade e tamanho muito próximos, mas localizadas em países com estruturas econômicas, industriais e culturais diferentes.

1.2 Escopo e estrutura da tese

O foco desta pesquisa é a indústria fotônica. Dado que o assunto é amplo, o estudo foi limitado à análise de um grupo específico de empresas, cuja origem está associada ao desenvolvimento científico em óptica no Brasil. Portanto, era essencial que a aquisição da tecnologia tivesse ocorrido a partir de interações realizadas no país. Portanto, foram excluídas da análise as empresas multinacionais porque esta foi uma forma de assegurar que as competências tecnológicas tivessem sido desenvolvidas na empresa analisada e não fora do país.

A escolha da abordagem tecnológica está de acordo com o trabalho desenvolvido por Carlsson (2002), que contempla esse aspecto mais específico do sistema de

inovação. Logo, o estudo de empresas que tenham em comum uma determinada tecnologia ao invés do foco genérico nas chamadas empresas de base tecnológica auxilia no processo de comparação das atividades inovadoras entre firmas. Além disso, tecnologias diferentes possuem trajetórias diversas, ou seja, o caminho percorrido pela fotônica não é o mesmo da biotecnologia, por exemplo. Portanto, o padrão de inovação entre indústrias diferentes será, naturalmente, diferente.

Apesar de utilizarmos no decorrer desse trabalho o termo indústria e/ou setor de fotônica, a mesma ainda não é reconhecida por nenhuma entidade de classificação industrial como uma indústria. Desse modo, os vários tipos de componentes e aplicativos derivados dessa tecnologia estão classificados em setores diversos. Assim, o parâmetro de escolha das empresas estudadas teve como ponto de partida a classificação industrial utilizada pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE). A International Standard Industrial Classification (ISIC), cujos setores 32 (manufatura de rádio, televisão e equipamentos/ aparatos de comunicação) e 33 (manufatura de equipamentos médicos, precisão e instrumentos ópticos) são classificados como de alta tecnologia, estão entre os mais próximos das tecnologias ópticas.

Porém, nem todas as empresas classificadas nos setores 32 e 33 fizeram parte do estudo. Por exemplo, empresas que operam em setores tradicionais, como manufatura de televisão ou microscopia óptica não foram selecionadas, pois trata-se de mercados muito competitivos, com grandes barreiras à entrada, muito embora a fotônica seja uma tecnologia importante para esses setores.

Foram catalogadas 33 empresas que cumprem os requisitos da pesquisa, todas localizadas no Estado de São Paulo, 8 em Campinas e 25 em São Carlos. Além dessas, foram encontradas empresas com características similares em Pernambuco, uma região fora do eixo tradicional do desenvolvimento econômico

e, principalmente, tecnológico. No entanto, a análise das empresas pernambucanas ficou fora do escopo deste estudo por escolhas metodológicas.

Além disso, uma pesquisa realizada durante 15 meses no MIT facilitou o estudo do sistema de inovação e de empresas com características semelhantes nos Estados Unidos. Além de ser uma instituição líder em pesquisa, o MIT¹ também é reconhecido pela contribuição ao desenvolvimento industrial norte-americano. Soma-se a isso o fato da supervisora do estágio, professora Alice Amsden, ser uma reconhecida pesquisadora em desenvolvimento econômico e especialista em países de industrialização tardia.

Finalmente, seguindo este capítulo introdutório, apresentamos o resultado da pesquisa, que foi dividido da seguinte maneira. No segundo capítulo discutimos as principais correntes da literatura que norteiam o trabalho. A idéia é estabelecer um ponto de ligação entre as teorias de desenvolvimento presentes na literatura econômica e na literatura organizacional, procurando mostrar como elas dependem uma da outra e os benefícios em não se escolher uma linha em detrimento da outra resultam numa compreensão integral dos fenômenos observados, ao invés das suas partes.

No terceiro capítulo, tratamos de justificar e detalhar os métodos e as ferramentas utilizados para a coleta e análise dos dados. No quarto capítulo apresentamos a cadeia produtiva da fotônica. No quinto capítulo, discutimos a estrutura da indústria fotônica nos Estados Unidos, enquanto no sexto capítulo damos um panorama da fotônica na China, pois durante as entrevistas feitas com as empresas brasileiras percebemos que as mesmas vêm perdendo competitividade para empresas chinesas.

¹No ranking das 10 melhores universidades do mundo, o *Massachusetts Institute of Technology* ocupa a segunda posição, perdendo apenas para a vizinha Harvard. Pesados investimentos em pesquisa já renderam ao MIT diversos prêmios, sendo que apenas nos últimos cinco anos 14 cientistas ligados ao instituto receberam o prêmio Nobel. Além disso, o rendimento somado de todas as empresas fundadas pelo MIT e seus ex-alunos equivale à 24ª economia mais forte do mundo.

No sétimo capítulo apresentamos o caso brasileiro, discutindo a experiência de Campinas, com a produção de componentes para comunicações ópticas, e de São Carlos, com uma estratégia voltada para aplicativos. Finalmente, no oitavo capítulo discutimos as principais lições aprendidas e as implicações e limitações do trabalho.

CAPÍTULO 2

A REALIZAÇÃO EFETIVA DA INOVAÇÃO

2.1 Instituição e organização

Há duas tradições na literatura sobre inovação. Uma delas é a abordagem da teoria econômica que, por questões conceituais e metodológicas, é ampla e agregada, pois os modelos econômicos precisam ser generalizados. Por isso, nesse contexto, as firmas são tomadas como elementos atomizados, uma “caixa-preta”, o que resulta na perda de precisão em relação ao comportamento de cada uma delas e do seu impacto sobre a economia. Por outro lado, a abordagem organizacional delimita o objeto de análise ao que acontece dentro da firma, suas estratégias competitivas, isolando as variáveis externas ou o contexto institucional na qual ela está inserida.

Neste trabalho, houve o esforço de não se optar nem pela abordagem econômica nem pela organizacional, mas sim em analisar o comportamento de ambas, de

modo a investigar o impacto que uma pode causar na outra. Schumpeter (1942), por exemplo, ao explicar a dinâmica capitalista, já havia deixado bem claro que ela “decorre dos novos bens de consumo, dos novos métodos de produção ou transporte, dos novos mercados, das novas formas de organização industrial que a empresa capitalista cria.” Ao mesmo tempo, para que a dinâmica capitalista ocorra, é preciso que as empresas cresçam e se desenvolvam o que, a *la* Penrose (1959), depende das suas habilidades gerenciais.

O resultado é que a abordagem institucional e a organizacional são complementares. Portanto, argumentamos neste capítulo que a questão do desenvolvimento econômico está atrelada às variáveis externas, ou seja, a estrutura do sistema econômico e suas instituições, e internas, ou como as empresas se organizam e são influenciadas pelo ambiente com o objetivo de inovar. Um aprofundamento dessa questão pode ser obtido em Coriat e Weisntein (2002).

2.2 Modelos de desenvolvimento industrial

Muita pesquisa já foi feita procurando explicar o processo de industrialização de países como Brasil, China, Índia, Coréia do Sul e Taiwan. Uma estratégia escolhida para estimular o desenvolvimento industrial é explicada pelo modelo de substituição de importações, que estipulava a fabricação interna de produtos antes importados (TAVARES, 1964; FISHLOW, 1972).

No caso da experiência brasileira, a política de substituição de importações resultou na criação de uma infra-estrutura industrial integrada. Porém, o modelo era limitado pela sua própria lógica: ao voltar-se para o mercado interno e sem difundir a produtividade com a mesma intensidade e velocidade no setor

exportador, geralmente centrado em poucos produtos primários, tornava o estrangulamento externo um problema a ser recorrentemente enfrentado, tornando-se barreira ao crescimento industrial acelerado. À medida que a substituição às importações avançava, ficava cada vez mais difícil substituir novas importações, pois crescia a demanda por capital, qualificação da mão-de-obra e o nível tecnológico necessários aos novos investimentos (TAVARES, 1972).

Além disso, uma das críticas ao modelo é que ele resultou em excesso de capacidade produtiva, sem que esta fosse acompanhada pela demanda, pois não houve redistribuição de renda entre as diversas camadas da população, nem em regiões e nem entre os demais setores produtivos (TAVARES, 1978). Quando o modelo se esgotou, o país entrou em crise.

Isto nos leva ao outro modelo de industrialização que é aquele voltado às exportações e foi seguido por vários países asiáticos. Este modelo tem como base as teorias de Gerschenkron (1962) e enfatiza o papel do Estado em criar indústrias exportadoras e que adquiram capacitação através da transferência e imitação de tecnologias mais maduras. O objetivo nesse modelo é criar grandes conglomerados industriais que possam competir com as empresas multinacionais (AMSDEN, 1989, 2001, 2003; EVANS, 1971, 1995; HOBDA, 1995).

O que nenhum desses modelos mostra é como os países que, de certa forma já estão em desvantagem perante aos mais desenvolvidos por terem se industrializado tardiamente, podem fazer em termos de desenvolvimento tecnológico autônomo. No entanto, dado que há o consenso de que o progresso tecnológico está no cerne do desenvolvimento econômico, ao estabelecer os parâmetros técnicos para que ele ocorra (PEREZ, 2001). Sendo assim, a questão aqui é justamente entender como os países em desenvolvimento podem tomar ações mais pró-ativas em direção ao desenvolvimento tecnológico e às suas aplicações industriais visando o desenvolvimento econômico.

Portanto, há várias razões para procurar entender como a inovação e o aprendizado podem ocorrer nessas economias, dado que as empresas localizadas nessas regiões estão sujeitas à competidores que concorrem através de tecnologia de um lado e com custos por outro.

2.3 Sistema de inovação: o ponto de partida

O conceito de Sistema de Inovação (SI) é um dos pilares da teoria evolucionária que dá sustentação à idéia de que as relações entre instituições e organizações são responsáveis pelo desenvolvimento tecnológico dos países. Um Sistema de Inovação indica a existência de uma trajetória nacional cuja base é determinada pelo contexto social e pelo comportamento de diversos agentes tais como firmas, governo, universidades, setores financeiros (LUNDVALL, 1988).

Os diversos tipos de interações (ver figura 2.1), sejam eles públicos ou privados, entre as diferentes instituições de ciência e tecnologia (C&T), de educação e de difusão da inovação e da tecnologia formam o sistema nacional de inovação. As interações são elementos importantes para entender o comportamento micro e macroeconômico da inovação. Além disso, também é essencial compreender a evolução da C&T e de como ela ocorre em diferentes países (FREEMAN; SOETE, 1997)

Por sua vez, a OCDE (1999) sugere que o SI requer instituições e organizações que cumpram as funções de:

- Formulação de políticas de inovação tecnológica
- Implementação da pesquisa e do desenvolvimento

- Financiamento da P&D
- Investimentos em recursos humanos para a P&D
- Difusão tecnológica
- Promoção do empreendedorismo tecnológico

No entanto, Lundvall (1992) ressalta que um Sistema de Inovação deve ser flexível em relação aos subsistemas que serão incluídos e quais processos devem ser estudados, isto é, os elementos e instituições escolhidos para análise do sistema devem considerar não apenas aspectos teóricos, mas também o contexto histórico.

Além do aspecto nacional, a literatura contempla outras dimensões de análise do sistema de inovação que pode ser específico a uma região (MASKELL; MALMBERG, 1999), um setor (MALERBA; 2002) ou uma tecnologia (CARLSON; STANKIEWICZ, 1991).

Uma das maiores vantagens do conceito de sistema de inovação é que ele se apresenta como um instrumento de análise das especificidades do processo de inovação de um determinado país, região ou setor, pois ele pode ser ampliado ou diminuído de acordo com o tipo de detalhamento que se deseja fazer. Portanto, a identificação das fontes e das barreiras à inovação são elementos cruciais que devem ser analisados para que a formulação de políticas de desenvolvimento e investimento do sistema de inovação funcione.

Figura 2.1 Principais atores e relações do Sistema de Inovação

Fonte: OCDE (1999)

2.4 Estrutura inovadora da firma

Um dos principais impactos que um sistema de inovação pode ter é sobre as capacitações e o comportamento das firmas. Do ponto-de-vista organizacional, o

foco da teoria evolucionária da firma é o processo dinâmico pelo qual o padrão de comportamento das firmas e os resultados no mercado são determinados em conjunto ao longo do tempo (NELSON; WINTER, 1982).

A mudança tecnológica é vista como uma mudança vagarosa das rotinas ao longo do tempo das trajetórias naturais. Portanto, a trajetória da firma origina-se do conjunto de capacitações adquiridas ao longo de sua história, que também é uma característica do progresso técnico. Assim, trata-se de um processo cumulativo, construído ao longo do tempo, através da capacitação da empresa. As decisões que a firma tomou no passado em relação ao seu desenvolvimento tecnológico definem um conjunto específico de conhecimentos que a empresa detém no presente, sendo que o comportamento de hoje definirá as suas possibilidades futuras.

Desse modo, a firma vive um processo evolutivo que resulta de suas próprias decisões, correspondendo ao que se poderia chamar de evolução natural, e de estímulos ou pressões geradas no ambiente externo a ela. Resulta disso o fato de que, mesmo que a firma almeje alcançar patamares tecnológicos superiores, ela pode não ter condições de fazê-lo, na medida em que sua trajetória passada limita e condiciona suas opções no presente. A capacitação tecnológica obtida pela empresa ao longo de sua trajetória lhe concede uma característica específica, que a torna diferente das demais empresas.

A relação entre o conhecimento e o ambiente tecnológico e a taxa de inovação e a estrutura inovadora acontecem dentro de setores. A natureza do aprendizado tecnológico e organizacional e a sua interação com o processo de seleção de mercado definem um regime específico da evolução industrial. Assim, há algumas características da aprendizagem e da acumulação do conhecimento que é de certo modo constante e afeta de sobremaneira a taxa e a estrutura da atividade inovadora (MALERBA, ORSENIGO 1997).

Um tipo de estrutura inovadora, denominado Schumpeter Marco I, é caracterizado pela “criação destrutiva” possibilitada pela utilização uma nova tecnologia, normalmente realizada por empresas pequenas e novas. Neste caso, quase não existem barreiras à entrada e o padrão de organização é representado por um número razoável de pequenas empresas operando num ambiente instável.

A realidade a qual Nelson e Winter se referem é o das empresas há tempos estabelecidas. Segundo Malerba e Orsenigo (1996), a forma de inovação encontrada nas empresas com essas características é chamada de Schumpeter Marco II, ou seja, o padrão de inovação é caracterizado pela “acumulação criativa” e, por isso mesmo, constituindo uma barreira à entrada de novas empresas. A questão aqui é que a firma, com o passar do tempo, acumula um estoque de conhecimento em áreas tecnológicas específicas, criando competências em P&D, produção e distribuição, além dos recursos financeiros. Tais características são obstáculos suficientes para que uma empresa nova se arrisque a tentar disputar este mercado.

A tabela 2.1 apresenta de forma resumida as principais diferenças entre as estruturas inovadoras do tipo Schumpeter Marco I e Marco II.

A forma de organização da firma, conforme demonstrada pela taxonomia Schumpeter Marco I e II, também está associado ao tipo de produto desenvolvido. Teoricamente, as empresas do tipo Schumpeter Marco I estariam mais propensas ao risco de realizar inovações que rompem e tornam obsoleta algum padrão estabelecido, a denominada inovação radical.

Tabela 2.1 Taxonomia Schumpeter Marco I e Schumpeter Marco II

<i>Características</i>	<i>Schumpeter Marco I</i>	<i>Schumpeter Marco II</i>
Tipo de inovação	Criação destrutiva	Acumulação criativa
Barreiras à entrada	Pequena	Grande
Tamanho da firma	Pequena	Grande
Quantidade de firmas	Muitas	Poucas
Ambiente	Instável	Estável
Fonte: Elaborado pela autora		

Por outro lado, inovações que aperfeiçoam e melhoram um produto são denominadas incrementais. Empresas nesta situação talvez, mas não necessariamente, estejam numa posição mais confortável em relação aos concorrentes (KLEPPER, 1996). Estes são extremos opostos. Há ainda o caso da inovação arquitetural, cuja característica principal é a montagem dos mesmos componentes de uma maneira diferente, criando um sistema novo (HENDERSON; CLARK, 1990).

2.5 Produtos, processos e comercialização

Um outro aspecto que não pode ser ignorado é a questão da capacidade efetiva da inovação, que ocorre sob a forma do desenvolvimento de novos produtos e processos e sua distribuição no mercado, pois esses são os elementos fundamentais para a criação da vantagem competitiva das empresas. Tal afirmação pode ser comprovada não só pela teoria, mas, principalmente, de forma empírica, através da observação do comportamento e dos resultados obtidos pelas empresas inovadoras brasileiras (NEGRI; SALERNO, 2005).

Classicamente, o desenvolvimento de produto é definido como o conjunto de atividades que se inicia com a geração de uma idéia ou um conceito, que em

seguida é transformada num produto e, por fim, é vendida e entregue ao cliente (ULRICH; EPPINGER, 1995).

Atualmente, com o ciclo de vida dos produtos cada vez menor, é preciso estar atento às dificuldades de gerenciar e executar projetos de desenvolvimento. É preciso saber capturar a essência do projeto de um produto e a sua ligação com os objetivos estratégicos da empresa (tecnologias, mercados, competências e recursos).

Portanto, esta é uma tarefa complexa, pois desenvolver produtos significa administrar recursos escassos, diferentes competências e adquirir e manter novos conhecimentos, nos diversos níveis e de forma coerente, tudo alinhado à estratégia da organização. Em virtude disso, o grande dilema é encontrar a solução que maximize as diversas restrições encontradas.

Porém, antes de resolver um problema é preciso entender o porquê da existência deles. A partir dessa percepção, Clark e Wheelwright (1993) desenvolveram o chamado Modelo Estratégico de Desenvolvimento, o qual engloba quatro novas etapas que devem ser consideradas antes de começar a desenvolver um produto. Agora, bem antes de gerar um produto-conceito é preciso estar atento às tecnologias e às informações de mercado, pois esses dados são fundamentais para que a empresa possa traçar a sua estratégia tecnológica e de produto.

E esse é um dos pontos mais problemáticos para as empresas criativas e inovadoras. Para elas, não se trata apenas de desenvolver produtos de maneira correta (eficiência, rapidez, qualidade), mas também de escolher os projetos certos. Muitas vezes, as empresas se deparam com o problema de ter idéias para muitos projetos, no entanto a escassez de recursos não lhes permite executar todos. A dúvida cruel é qual projeto deve ser priorizado em relação aos demais, ou seja, como esta decisão pode ser tomada com segurança de forma a escolher o

projeto mais promissor, alinhando os objetivos estratégicos da empresa e a viabilidade comercial do produto.

A dificuldade de desenvolver novos produtos nas firmas tipo Schumpeter Marco I é muito maior porque o ambiente organizacional na qual elas se encontram inseridas é turbulento, instável e os recursos são mais limitados. Como a dinâmica competitiva é intensa, pois não há barreiras à entrada nem um design dominante foi estabelecido, o modo que essas empresas podem se diferenciar é desenvolvendo produtos inovadores rapidamente. As empresas com essas características precisam criar uma carteira de novos produtos porque esse é o caminho para ganhar mercado e, com isto visibilidade, legitimidade e fluxo de caixa. O resultado esperado é que, além de continuar existindo, a firma aumente sua capacitação tecnológica e desenvolva o aprendizado organizacional (SCHOONHOVEN, 1990).

Para criar produtos inovadores, a firma precisa saber balancear habilidades científicas, tecnológicas e gerenciais. De qualquer forma, para que esta ocorra é preciso haver um conhecimento prévio e uma linguagem comum para reconhecer oportunidades tecnológicas. Em seguida, é preciso saber assimilá-las e absorvê-las conforme as necessidades internas à firma. Por fim, é preciso transformar este conteúdo em algo comercialmente viável. Este conjunto de habilidades é denominado capacidade absorptiva (COHEN; LEVINTHAL, 1990).

Portanto, no contexto da capacitação tecnológica há dois problemas: o primeiro é a questão da geração/aquisição de novas tecnologias e o segundo é a aplicação da tecnologia em produtos/processos. Fazer a ponte entre essas duas etapas não é um processo linear. Antes, é preciso fazer a integração tecnológica, isto é, fazer a interação entre a pesquisa científica, o design do sistema e o desenvolvimento do produto (IASINTI, 1999).

Portanto, para ser competitiva, uma empresa precisa ter capacidade gerencial de coordenar competências internas e externas e desenvolver produtos de forma rápida e flexível. Desta forma, separamos o papel da pesquisa e do desenvolvimento, que é o de construir e refinar o entendimento de um fenômeno básico e depois combinar os resultados para criar produtos e/ou processos específicos que tenham aplicação no mercado.

Para criar um produto realmente inovador, a empresa precisa incorporar tecnologias de fronteira no seu desenvolvimento. Além das dificuldades inerentes ao desenvolvimento do produto, há também a questão da comercialização da tecnologia, pois neste caso não só o produto é novo, mas também a tecnologia.

Por isso, Iasinti (1995) observou que o modelo de gerenciamento de desenvolvimento de produtos proposto por Clark e Wheelwright (1993), derivado dos estudos de indústrias tradicionais ou maduras não se aplica a todo tipo de empresa. A questão central é que em indústrias maduras, como a automobilística, a tecnologia e o comportamento do consumidor podem ser avaliados de certa forma. O processo de desenvolvimento é bem definido e sequencial, enquanto o desenvolvimento de produtos tecnológicos a incerteza técnica e de mercado são muito maiores.

Nesse caso, a inovação tecnológica requer novas estruturas e métodos que já foram demonstrados no ambiente de pesquisa, mas que precisam ser refinados para entrar em produção. Gerenciá-los é um grande desafio, principalmente para uma empresa nova, que precisa lidar com todos os tipos de escassez de recursos. Porém, possuir competência nesta atividade é fundamental tanto para assegurar o sucesso como a sobrevivência da firma.

CAPÍTULO 3

A FOTÔNICA COMO UM SISTEMA TECNOLÓGICO

3.1 Tecnologia e geografia como dimensão metodológica

A fotônica é um campo fascinante para examinar as interações entre a ciência, a tecnologia e a indústria. A luz como uma forma de energia radiante tem sido estudada há séculos por muitos cientistas. A formulação da lei de refração, o desenvolvimento do telescópio astronômico, as observações de difração e os princípios da propagação de luz foram formulados no século XVIII e formam a base da óptica como ciência. Em 1704, a publicação *Opticks* de Isaac Newton, com seus estudos compreensivos e originais de refração, dispersão, interferência, difração, e polarização estabeleceram a ciência (WEISS, 1996)

Figura 3.1 O estudo da luz através dos tempos Fonte: Elaborado pela autora

No início do século XIX, vários cientistas pesquisavam a natureza transversal da onda de luz. O relacionamento entre fenômenos ópticos e magnéticos levou à formulação da teoria eletromagnética de J. C. Maxwell. A teoria de Maxwell, que propunha que a luz consiste de campos elétricos e magnéticos, propagando junto no espaço como ondas transversais, forneceu uma base geral para o tratamento de fenômenos ópticos. Em particular, serviu como base para entender a interação entre a luz e a matéria.

Por muito tempo, não houve novos avanços sobre o conhecimento da luz até que então Max Planck, um físico alemão, publicou uma teoria em que a luz foi apresentada como um conjunto de partículas em alta-velocidade. Planck teorizou que qualquer fonte de luz emite um grande número dessas partículas, a qual ele

chamou de quantum. Mais tarde, Albert Einstein usou a hipótese do quantum de Planck para descrever a radiação eletromagnética visível, ou seja, o quantum de luz que mais tarde passaria a ser chamado de fóton.

Como podemos ver na figura 3.1, foram precisos séculos para que se chegasse a uma explicação plausível para o comportamento da luz. Portanto, de uma forma simplificada podemos explicar o comportamento da luz de duas maneiras. Na forma clássica, a luz se comporta como uma onda, e o conhecimento dos parâmetros comprimento de onda e frequência são essenciais para caracterizar a mesma. Na sua forma quântica, a luz se comporta como partícula e, nesse caso, a energia do fóton é caracterizada apenas pela sua frequência.

Figura 3.2 Parâmetros de caracterização da luz

Fonte: Elaborado pela autora

Dado a dependência da indústria a um conhecimento bastante avançado, é natural que as empresas se concentrem em regiões cujo sistema de inovação seja bem desenvolvido e associado aos avanços científicos e tecnológicos.

A pesquisa científica é fundamental para o desenvolvimento industrial. No caso da óptica essa correlação é tão positiva que um estudo bibliométrico, realizado a partir de uma análise sistemática do *Science Citation Index*, demonstrou que os líderes em publicações científicas são também os líderes em produção industrial e no número de patentes (ver tabela 3.1 e 3.2)

Um estudo comparativo que mediu as publicações de artigos científicos, a quantidade de patentes e os investimentos em P&D em diversos campos da óptica de 1990 a 2001 mostrou que há uma correlação positiva entre uma base científica sólida e o sistema de inovação. Por isso, não surpreende o fato que os países com artigos mais citados e com a maior quantidade de patentes sejam, respectivamente, Estados Unidos, Japão, Alemanha, França e Reino Unido.

Os indicadores mostram também o esforço que economias emergentes estão fazendo para se capacitar nessa área do conhecimento. A Coreia do Sul, por exemplo, aumentou suas publicações em 1000% em uma década, enquanto seus pedidos de patentes (156) em 2000 foram praticamente iguais ao do Canadá (153). Considerando o ano de 2001 isoladamente, a China passou a França e o Reino Unido em números de publicações, mas os números de patentes (37) ainda estão longe de ser alcançados quando comparados aos da França (542) e do Reino Unido (491).

Esse estudo mostra também que nos anos noventa houve uma queda da participação das publicações americanas em óptica. Na verdade isto significa o aumento da participação dos demais países. A China é o país que apresenta o crescimento mais expressivo, seguido pela Coreia do Sul, Taiwan e Polônia.

Tabela 3.1 Participação em artigos publicados em óptica por países seleccionados, 1990-2001

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>EUA</i>	32,8	31,6	30,5	31,3	30,2	28,3	26,6	25,8	24,4	24,5	24,4	24,2
<i>Japão</i>	7,3	7,5	7,0	6,3	7,5	8,0	8,2	8,0	9,4	9,2	9,0	8,3
<i>Alemanha</i>	5,4	6,1	7,7	7,2	7,8	7,9	8,1	8,3	8,0	8,8	8,8	9,0
<i>França</i>	4,4	4,8	5,1	5,0	5,4	5,3	6,1	7,0	6,7	6,2	6,2	6,9
<i>Reino Unido</i>	7,7	7,5	7,8	7,7	8,1	8,0	8,0	7,6	7,3	7,2	7,3	6,0
<i>Suíça</i>	1,0	1,1	0,9	1,1	1,1	2,4	1,4	1,5	1,7	1,6	1,4	1,4
<i>Canadá</i>	2,7	3,0	3,3	3,5	3,0	2,8	2,7	2,7	2,3	2,3	2,4	2,3
<i>Suécia</i>	0,7	0,8	0,8	1,1	1,2	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,7
<i>Itália</i>	2,0	2,4	2,7	2,6	2,8	2,9	3,3	3,3	3,5	3,7	3,8	4,2
<i>Holanda</i>	1,2	1,5	1,7	1,4	1,8	1,4	1,4	1,6	1,5	1,5	1,6	1,6
<i>Coréia</i>	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	1,2	1,0	1,3	1,5	1,6	1,9	2,2
<i>Taiwan</i>	0,7	0,8	1,1	1,2	1,1	1,2	1,8	1,7	2,0	1,8	2,0	2,3
<i>Índia</i>	2,1	2,3	2,1	2,0	1,9	1,6	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	2,3
<i>China</i>	2,8	3,0	3,2	3,9	3,3	4,0	3,9	4,1	5,1	5,7	6,9	8,0
<i>Polónia</i>	1,2	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,4	1,3	1,5	2,2	2,2
<i>Todos</i>	72,3	74,2	75,4	76,2	77,1	77,2	76,8	77,3	77,9	78,8	81,2	82,5
<i>Top 10</i>	65,2	66,3	67,5	67,3	68,9	68,0	66,8	67,0	66,1	66,4	66,2	65,6

Fonte: Frietsch; Grupp (2004)

Muito embora as patentes não estejam diretamente relacionadas ao desenvolvimento de produtos, elas possuem implicações tecnológicas. De acordo com a tabela 3.2, os EUA foram responsáveis por 1/3 das patentes registradas em tecnologias ópticas, seguido de perto pelo Japão e um pouco mais distante pela Alemanha. Em termos de crescimento, os números mais expressivos são apresentados pela Suécia, Taiwan, Canadá e Coreia. Com exceção de Taiwan, os demais países estão procurando se especializar em aplicações tecnológicas mais modernas.

Do ponto de vista do desenvolvimento industrial, tal característica ajuda a confirmar o pressuposto da exploração de nichos tecnológicos, que é descrito na

literatura sobre economia industrial como arquétipo Schumpeter Marco I (MALERBA; ORSENIGO, 1996). Essa estratégia de inovação é possível graças à utilização de uma nova tecnologia, que é incorporada a um produto ou processo.

Na maioria dos casos, a idéia de aplicar a tecnologia acaba por levar a formação de novas empresas. Num primeiro momento, como quase não há barreiras à entrada, o padrão de organização industrial é representado por um número razoável de empresas pequenas. Esse é o cenário ideal para que países e/ou empresas arrisquem com maiores chances de sucesso, pois irá entrar num mercado ainda não dominado.

Tabela 3.2. Indicadores de patentes com base em aplicações das tecnologias ópticas (tradicional ou moderna) para os países selecionados

		Número de patentes em 2000			Patentes por 1 milhão de habitantes		
		T O	Tradicional	Moderna	TO	Tradicional	Moderna
	Total	10.363	6.310	4.052	-	-	-
1	EUA	3.337	1.844	1.493	12,1	6,7	5,4
2	Japão	2.869	1.700	1.169	22,6	13,4	9,2
3	Alemanha	1.372	920	452	16,7	11,2	5,5
4	França	542	365	177	8,9	6,0	2,9
5	Reino Unido	491	308	184	8,2	5,1	3,1
6	Suíça	201	136	65	28,0	18,9	9,0
7	Canadá	153	74	78	5,0	2,4	2,5
8	Suécia	149	68	81	16,8	7,6	9,1
9	Itália	195	116	79	3,4	2,0	1,4
10	Holanda	584	458	126	36,7	28,8	7,9
11	Coréia	156	83	73	3,3	1,8	1,6
12	Taiwan	35	29	7	1,6	1,3	0,3
13	Índia	1	0	1	0	0	0
14	China	37	24	13	0	0	0
15	Polônia	2	2	0	0,1	0,1	0,0

Fonte: Frietsch; Grupp (2004)

As cidades de Jena (Turíngia) e Munique (Bavária) são aos dois pólos de inovação em fotônica. Jena possui uma longa tradição em óptica que começou com a Carl

Zeiss em 1846 fabricando produtos para imagem (microscópios, fotografia, astronomia), equipamentos médicos e defesa (HASSINK;WOOD, 1998).

Já Munique deve seu desenvolvimento à existência da indústria eletrônica local e aos investimentos americano e japonês, que escolheram a cidade como centro de distribuição de seus produtos. Ambas as cidades se beneficiam dos centros de pesquisa, tais como o Instituto Max Planck, o Instituto Fraunhofer entre outros.

Na Ásia, o desenvolvimento da indústria fotônica japonesa está ligada aos investimentos de pesquisa feitos pelos grandes conglomerados (Sony, Hitachi, Toshiba, Fujitsu, NEC, e Sumitomo) operando no setor de eletrônica de consumo, telecomunicações e componentes eletrônicos (MIYAZAKI, 1995). Em Hamamatsu, há uma concentração de empresas que surgiram ao redor da Hamamatsu Photonics e da Universidade de Hamamatsu. Entretanto, por uma questão cultural, a experiência japonesa é representada pelo domínio de grandes corporações, não sobrando muito espaço para empresas menores e atitudes empreendedoras (HATEKANAKA; 2004).

Entre as economias emergentes, a Coreia do Sul é o país que apresenta um grande desenvolvimento no setor no espaço de uma década. No entanto, o caso coreano é muito similar ao japonês, ou seja, os grandes conglomerados (chaebols) da indústria investem pesadamente em P&D para poder acompanhar a mudança de paradigma tecnológico. Ao mesmo tempo, o governo coreano iniciou em 1998 a construção do Gwangju Technopark, cujo foco principal é o desenvolvimento da indústria fotônica. O objetivo deste parque é dar suporte estratégico às empresas especializadas na produção de LED, tecnologias ópticas, eletrônica digital, química fina e composto especial de titânio.

Tabela 3.3 Panorama geográfico da indústria óptica

País	Região	Economia local	Presença de institutos de pesquisa e educação	Indústria fotônica
Alemanha	Turingia <ul style="list-style-type: none"> Jena 	Importante região industrial na época da ex-Alemanha Oriental, apresentou declínio após a reunificação. As iniciativas tecnológicas são guiadas pelo Estado.	Tradição em ótica na universidade de Jena, Instituto Max-Planck e Fraunhofer.	Carl Zeiss é uma influência histórica. Criação da Jenaoptik. Cluster de pequenas empresas
	Bavária <ul style="list-style-type: none"> Munique 	É uma das regiões industriais mais dinâmicas. Sede da indústria automotiva e eletrônica.	Concentração de estabelecimentos de pesquisa (semi) públicos, Universidade de Munique e Instituto Max-Planck.	Cluster de fornecedores de laser.
Brasil	São Paulo <ul style="list-style-type: none"> Campinas São Carlos São José dos Campos 	Capital industrial e financeira do país.	Presença da Universidade de Campinas e do CPqD. São Carlos conta com duas universidades (USP e UFSCar). As duas cidades contam com o Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica (CePOF) da Fapesp e diversas empresas	Fabricantes de equipamentos para saúde em São Carlos e componentes para telecom em Campinas
	Pernambuco <ul style="list-style-type: none"> Recife 	Segundo Estado em desenvolvimento industrial na Região Nordeste. A indústria estadual tem destacada importância econômica nos setores de alimentos, produtos químicos, metalurgia, material eletrônico e artigos têxteis	Laboratório de nanodispositivos fotônicos da UFPE	As empresas originam-se da incubadora da UFPE
Canadá	Québec <ul style="list-style-type: none"> Quebec City 	Forte presença do setor terciário	<i>Institute National d'Optique(INO), Centre de Optique, photonique e laser (COPL) e Centre e recherche pour la défense</i>	Empresas oriundas de instituições de pesquisa
China	Wuhan, Shenzhen e Xangai	Investimentos em infra-estrutura e atração de investimentos estrangeiros e ETDZ	Investindo na formação de recursos humanos, em pesquisa e aplicações industriais	Produtos e componentes de telecom
EUA	Califórnia <ul style="list-style-type: none"> Vale do Silício 	Concentração de indústrias mais inovadoras e intensivas em tecnologia	Stanford, Caltech, UC, Lab públicos e privados	Componentes e aplicativos de alto valor agregado
	Nova Iorque <ul style="list-style-type: none"> Rochester 	Centro financeiro mundial	Sede de instituições de ensino e de pesquisa, tais como Columbia e Rochester e empresas como a Corning e a Kodak	Especializada na produção de produtos relacionados à imagem e metrologia
Japão	Shizuoka <ul style="list-style-type: none"> Hamamatsu 	Concentração de indústria de manufatura em vários setores.	Universidade de Shizuoka	Uma empresa líder HKK e outras spin off da universidade. Esforço governamental.
Reino Unido	País de Gales <ul style="list-style-type: none"> Norte Sul 	Possui uma agência de desenvolvimento que procura atrair investimento estrangeiro e outras iniciativas.	Universidade de Gales espalhada em quatro áreas do país distribui a expertise	Cluster no Norte em torno da Pilkington Optronics. Menor concentração no Sul.
	Inglaterra <ul style="list-style-type: none"> Cambridge 	Atraiu grande número de empresas <i>high tech</i> em torno de Cambridge, através dos parques tecnológicos.	A universidade de Cambridge tem reputação em pesquisa, mas não especificamente em óptica.	MNC em Defesa e telecom

Fonte: Adaptado de Hendry et al (2000)

3.2 Sistema tecnológico

A abordagem metodológica utilizada nesta pesquisa para o estudo da inovação tecnológica toma como base o conceito de sistema. Este, por sua vez, pode ser percebido de acordo com diversas dimensões. Uma delas é a dimensão geográfica, cujo foco pode ser um país ou uma região. Em outros casos, a dimensão analisada pode ser um setor ou uma tecnologia. Portanto, os primeiros recortes delimitadores deste estudo são a geografia e a tecnologia.

Uma questão central da pesquisa é entender como o Brasil e a China, países em relação aos países industrializados se industrializaram tardiamente, podem fazer para mover-se na cadeia produtiva, passando a incorporar a produção de bens com maior valor agregado. A escolha desses países é relevante, pois se trata de economias que, junto com a Índia, Rússia e África do Sul, apresentam um enorme potencial de crescimento. Sem contar o tamanho do seu mercado e os benefícios que o desenvolvimento dessas regiões, se bem repartido, poderiam trazer a uma grande parcela da população mundial.

Como contraponto, ou variável de controle, estudamos também os Estados Unidos, um dos países mais avançados em termos industriais e em ciência e tecnologia. Além disso, com o crescimento do fluxo de comércio internacional e a globalização das cadeias produtivas, é necessário também considerar a estrutura e as tendências que moldam a atividade econômica como um todo, não apenas localmente (CARLSSON et al., 2002).

Apesar da impressão, o objetivo desta análise não é fazer um estudo comparativo entre países tão diferentes como Brasil, China e os Estados Unidos, mas sim mostrar que é possível chegar às soluções tecnológicas inovadoras sem que essas

sejam necessariamente adquiridas dos países mais industrializados (SRINIVAS; SUTZ, 2008).

A tecnologia é a outra dimensão de análise escolhida para delimitar a pesquisa e que toma como base a estrutura analítica definida pelo conceito de sistema tecnológico. De uma forma genérica, a estrutura do sistema tecnológico é definido como a interação de uma rede de agentes trabalhando numa tecnologia específica, que se encontram sob um determinado arcabouço institucional, cuja missão é fazer com que esta tecnologia seja aplicada e difundida.

Acontece, porém, que esta abordagem é ainda muito ampla e por isso podemos delimitá-la ainda mais ao estabelecermos diferentes níveis de análise. Um nível de análise pode ser a escolha de uma determinada tecnologia como um campo de conhecimento e o estudo de uma aplicação ou várias. Um outro nível de análise pode ser feito através do estudo de produtos que emprega a tecnologia. E, por fim, um mercado específico com seus diversos atores e instituições envolvidos no fornecimento de produtos.

3.3 Coleta de dados

Para entender a estrutura da indústria fotônica, é preciso identificar quais são os atores, em qual contexto tecnológico eles interagem e em qual tipo de estrutura institucional eles se apóiam. Este trabalho de pesquisa, que foi realizado entre 2004 e 2007, envolveu a coleta de dados primários e secundários, observações etnográficas e entrevistas.

3.3.1 Dados secundários

O primeiro passo para se interar sobre o objeto de estudo foi consultar fontes secundárias. De uma forma geral, há várias publicações, tanto americanas como européias, voltadas tanto para a indústria como para a comunidade científica, que misturam novidades científicas e tecnológicas com informações comerciais. As mais populares entre elas são Laser Focus World, Photonics Spectra, Opto&laser Europe, Biophotonics e Nature Photonics. No Brasil, a Revista Fapesp tem a Coluna Fiat Luz dedicada à óptica e à fotônica e sempre trás alguma reportagem sobre as pesquisas ou empresas atuando nessa área do saber.

Nessas publicações foi possível encontrar informações sobre empresas, novas tecnologias, regiões, lançamento de novos produtos, as curiosidades sobre algum determinado processo, fusões e aquisições e questões legais, tais como àquelas relativas à propriedade intelectual e legislação ambiental. A Laser Focus World, anualmente nos meses de janeiro e fevereiro, oferece uma edição especial com as principais tendências do mercado de laser.

Ao mesmo tempo em que consultamos esse material, fizemos a revisão de alguns artigos acadêmicos que tratavam sobre o desenvolvimento da indústria fotônica em países como Alemanha, Japão, Reino Unido, EUA e Canadá.

3.3.2 Observação etnográfica

A próxima etapa do estudo foi realizar uma pesquisa de campo, através de observações etnográficas em conferências. A conferência é uma forma importante

e, ao mesmo tempo, informal que os participantes têm para se encontrar, para debater e discutir os últimos acontecimentos das suas áreas de atuação.

Foram feitas observações etnográficas em seis conferências (duas nos EUA, duas no Brasil, uma na Rússia e uma na Argentina). Esses são encontros científicos, mas que, por causa das especificidades da área de conhecimento, envolvem a exibição de produtos. Além do processo de observação foram tomadas notas sobre os produtos e sobre as características básicas das empresas participantes.

Uma dessas conferências é a Photonics West, considerada uma das mais importantes feiras comerciais na área de fotônica, lasers, biofotônica, componentes optoeletrônicos e tecnologias de imagem. Ela coincide com uma conferência e quatro simpósios internacionais: a BIOS (Óptica Biomédica), a OPTO (Artifícios Integrados de Optoeletrônica), a LASE (Lasers e Aplicações em Ciência) e micro-máquinas, micro-sistemas e micro-fabricação.

A exibição foi uma oportunidade rara de assistir o que há de mais moderno em fotônica e suas aplicações, através da exposição de um vasto leque de indústrias, aproximadamente 1.000 expositores de todas as regiões dos Estados Unidos e também da comunidade internacional, que fazem demonstração de produtos, processos de produção e serviços.

3.3.3 Estudos de caso

Ao final, a Photonics West acabou sendo o ponto de contato inicial com algumas empresas e também para verificar o funcionamento da cadeia de fornecedores. A seleção da amostra das empresas americanas seguindo o diretório de participantes da Photonics West 2006 e do Escritório de Licença de Tecnologia

(TLO) do MIT. No total, 25 empresas foram contatadas, mas apenas 5 concordaram em ser entrevistadas.

Os dados primários foram coletados através de entrevistas, realizadas com os principais executivos das empresas. As questões formuladas tratavam da formação, motivação e transformação do negócio, o papel das instituições, a origem do capital, aquisição tecnológica e desenvolvimento de produtos (detalhes no anexo)

Ao contrário dos EUA, a amostra brasileira foi propositalmente escolhida, incluindo empresas com algum tipo de conexão com institutos de pesquisa e a universidade. No total 5 empresas de Campinas e 4 de São Carlos concordaram em ser entrevistadas de uma amostra de 33 empresas.

CAPÍTULO 4

A CADEIA DE PRODUÇÃO FOTÔNICA

4.1 Introdução

Definir a indústria fotônica é uma tarefa difícil e imprecisa, devido à capacidade de propagação da tecnologia. Da forma, fazem parte desse setor as empresas cuja principal atividade é a manufatura de produtos, ou àquelas cuja utilização de um produto fotônico é um aspecto fundamental do negócio. Além dessas características, enquadram-se também àquelas funções que não poderiam acontecer sem a existência da tecnologia fotônica.

Por causa dessas características, a utilização de fontes secundárias para a obtenção de dados sobre a indústria fotônica é limitada pelo fato da mesma ainda não ser reconhecida como uma indústria ou setor pelas autoridades responsáveis por classificar e organizar as estatísticas industriais (*North American Industry Classification System, NAICS, classification of Economic Activities in the European Community, NACE, ou Standard Industrial Classification of all Economic Activities, ISIC*).

Portanto, de uma forma geral, a cadeia de produção da indústria fotônica pode ser dividida em cinco níveis principais. O menor deles consistindo na produção de materiais avançados e dos componentes, que são feitos a partir dos materiais avançados, e que combinados formam subsistemas (módulos, dispositivos) e sistemas com diversos atributos. O último nível é o dos aplicativos, quando subsistemas e sistemas são integrados para formar novos equipamentos (MIAZAKI, 1995). A figura 4.1 ilustra os diferentes níveis da cadeia.

Figura 4.1 Cadeia de produção da indústria fotônica
 Fonte: Adaptado DTI (2006)

A manufatura de componentes que utilizam óptica clássica, porém faz parte da classificação sob o número 3827, enquanto tecnologias modernas estão escondidas dentro das indústrias que a utilizam no processo de produção ou como um subsistema do processo ou produto final, mas que não é classificado como um produto fotônico.

4.2 A cadeia de produção

A família de componentes ópticos é formada por centenas de tipos e configurações individuais e subsistemas que podem ser utilizadas em diversas aplicações. No entanto, para efeitos de classificação, os componentes são separados em duas categorias básicas, que são os componentes passivos (lentes, prismas, espelhos, etc) e os componentes ativos (Lasers, LED, detectores, etc).

A seguir descrevemos as características e funções de alguns dos principais componentes ópticos passivos e ativos, assim como o processo de manufatura e das máquinas e equipamentos necessários para fabricá-los.

Para um melhor entendimento sobre as principais características dos componentes ópticos básicos, nos utilizamos como fonte de referência, caso não especificado de forma diferente, o *The Handbook of Photonics* (GUPTA; BALATTO, 2006), que é uma coleção de artigos que detalha as principais aplicações da tecnologia fotônica.

4.2.1 Componentes ópticos básicos

4.2.1.1. Lentes

As lentes podem ser de formatos, tamanhos e materiais variáveis. Sua superfície pode ser esférica, não-esférica ou cilíndrica. Enquanto o material do vidro pode ser feito a partir de uma centena de vidros, comuns ou de materiais mais complexos, como sílica ou fluoridro de cálcio, as lentes podem ser feitas a partir de um único pedaço de vidro ou de múltiplos elementos.

Figura 4.2 Lente dupla côncava
Fonte: Edmund Optics

4.2.1.2 Filtros

Os filtros alteram as características de um feixe de luz através da mudança da intensidade total do feixe sem afetar seu espectro, ou mudando ou separando o espectro do feixe através da absorção seletiva do comprimento de onda ou reflexão.

Figura 4.3 Filtros refletor coloridos
Fonte: Edmund Optics

4.2.1.3 Janela e padrão óptico

As janelas passam radiação de um ambiente para outro sem permitir que os elementos se misturem. Os ambientes podem sofrer variações de temperatura, pressão, composição química ou limpeza. O critério utilizado para selecionar a

janela adequada inclui a transmissão do comprimento de onda, o espalhamento, a distorção da onda frontal e a resistência de certos elementos.

Figura 4.4 Janela óptica
Fonte: Edmund Optics

Padrões ópticos são referenciais utilizados para testar e avaliar a superfície de outros elementos ópticos. O padrão é colocado na superfície a ser avaliada e a interferência é formada no espaço entre as superfícies. O formato e a curvatura das franjas de interferência indicam o formato da superfície sendo testada. O padrão da franja é mais fácil de ser visto através do plano do que do objeto testado. Além disso, é vantajoso ter um filme anti-reflexo ao lado da superfície observada.

Figura 4.5 Padrão óptico
Fonte: Edmund Optics

4.2.1.4 Prismas

Prismas são blocos de material óptico com as superfícies laterais polidas em precisos ângulos laterais. Prismas desviam luz, invertem ou giram imagens, dispersam luz em comprimento de ondas e separam estados polarizados. Há muitos tipos de prismas, muitos dos quais fazem uso da propriedade da reflexão interna total.

Figura 4.6 Prisma de ângulo direita
Fonte: Edmund Optics

4.2.1.5 Espelhos

Os espelhos são utilizados para criar, redirecionar e focar a luz e, por isso, apresentam várias formas, tamanhos e configurações. Eles podem ser feitos de vidro, metal ou plástico, enquanto seu formato pode ser plano, esférico ou piramidal, coberto por filme ou não.

As propriedades reflexivas dependem do comprimento de onda, ângulo de incidência e polarização da luz incidente. Especificações fundamentais dos espelhos incluem a reflexão no comprimento de onda apropriado, dimensões e tolerâncias, qualidade da superfície, diafragma e estabilidade mecânica e térmica.

Figura 4.7 Espelho esférico
Fonte: Edmund Optics

4.2.1.6 Refletores

Os componentes refletores difusos dispersam luz incidente de forma igual. A quantidade e a distribuição é função da qualidade do substrato da superfície, fato que torna as superfícies ásperas mais dispersa. Os componentes refletores difusos podem reduzir a intensidade presente num feixe ao dispersá-lo em diversas direções.

Os componentes absorventes são o inverso dos refletores porque eles evitam que a radiação seja refletida ou transmitida. Eles são úteis em aplicações onde a radiação deve ser removida de um sistema como a aplicação de um laser de alta energia, onde reflexões perdidas podem danificar outros componentes. Os componentes absorventes freqüentemente são limitados pela quantidade de calor ou potência do laser que eles podem absorver. Uma outra característica importante que precisa ser considerada é que certos materiais irão absorver certos comprimentos de onda melhor do que outros. Isto pode ser uma vantagem quando bloquear certas áreas específicas do espectro é necessário.

As grades de difração podem separar a luz policromáticas (branca) em comprimentos de onda específicos. A luz incidente é irradiada em função do ângulo de incidência, do comprimento de onda e do espaço entre os períodos ou entalhes paralelos. As grades podem ser tanto traçadas ou holográficas. As grades traçadas utilizam entalhes paralelos espaçados sobre um substrato coberto com um filme. As grades holográficas, por sua vez, resultam da interferência entre o laser e o processo de fotolitografia. As grades de difração são geralmente aplicadas em monocromadores e em aplicações de espectroscopia. Elas são úteis para escanear o espectro de um comprimento de onda específico ou nos intervalos de comprimento de onda.

Figura 4.8 Grade de difração
Fonte: Edmund Optics

4.2.1.7 Filmes-finos (Coatings)

O desempenho individual dos componentes pode ser aumentado através da utilização de filmes-fino e substratos. É importante considerar a aplicação específica do componente quando o sistema óptico é projetado, de forma a obter o equilíbrio entre custo, durabilidade e acurácia. Os filmes-fino metálicos e os vidros coloridos são as formas mais utilizadas para aumentar o desempenho de um determinado componente.

Figura 4.9 Filmes anti-reflexo
Fonte: ThomasNet

As propriedades de reflexão dos filmes metálicos, feitos de materiais tais como cromo, níquel e inconel (uma superliga de níquel) são relativamente indiferentes ao comprimento de onda. Por outro lado, as características de absorção dos vidros coloridos podem variar por diversas ordens de magnitude acima de uma pequena distância do comprimento de onda.

A cobertura com filmes-fino aumenta o desempenho e a durabilidade do componente. Eles podem aumentar a transmissão das lentes ou criar uma superfície refletida de um espelho e pode se aplicado a substratos variando do típico vidro óptico (vidro crown) ao Zerodur (vidro cerâmico com coeficiente de expansão térmica extremamente baixa). Os filmes finos podem produzir baixa ou alta refletividade, tanto num único ou em vários comprimentos de onda, assim como a uma variedade de ângulos incidentes. Os filmes-fino ainda podem ser otimizados para um comprimento de onda de 200 nm ao ultra vermelho, sendo tanto de composição metálica ou dielétrica.

Filmes anti-reflexo são aqueles que reduzem a quantidade de luz refletida através do elemento óptico, aumentando a transmissão. Eles são importantes para sistemas com grande número de superfícies ópticas ou quantidade limitada de luz.

Modernas técnicas de deposição transformam elementos encontrados na natureza em novos materiais. Os filmes-fino são utilizados em diversas aplicações para controlar as propriedades de transmissão ou reflexão da superfície. De um modo geral, quase todas as superfícies que operam do ultravioleta até o infravermelho são revestidos por uma ou múltiplas camadas de deposição que podem ser de diferentes tipos de materiais.

Os materiais para filmes-fino podem ser classificados de acordo com grupos químicos: dielétricos compostos de metal óxido e compostos fluoridos, metais e semicondutores compostos. Há também uma categoria especial de materiais que incluem condutores transparentes, compostos especiais e ligas desenvolvidas para aplicações tribológica, que é a interação entre uma superfície sólida com algum material, através de movimentos friccionais. As camadas de filmes-fino desses materiais podem ser depositadas através de evaporação ou por sputtering, processo pelo quais os átomos num material sólido são ejetados dentro da fase gasosa por causa do bombardeamento do material por íons energizados.

Materiais de diferentes grupos podem ser combinados para produzir diversas camadas de filmes-fino com propriedades específicas. Os materiais iniciais para filmes-fino são escolhidos a partir de uma seleta lista de candidatos desenvolvidos e bem categorizados. A lista já foi destilada a partir de uma dúzia de possíveis materiais com base nas propriedades ópticas e mecânicas e durabilidade em relação ao ambiente, adesão, e facilidade de deposição. Custo e disponibilidade são fatores adicionais.

4.2.2 Fibras ópticas

Quando o laser de diodo foi inventado em 1960, as fibras ópticas já eram utilizadas em aplicações médicas há uma década para visualização do interior do estômago. O design de uma fibra moderna seguiu o mesmo conceito de uma fibra médica, pois, além de flexíveis, elas deveriam ser capazes de transmitir a luz pela reflexão interna total. Para isso, elas precisavam de uma capa protetora.

O recapeamento das fibras prevenia a luz de vazar onde os feixes de luz se tocavam. A idéia de reencapar cada fibra com um vidro com um índice de refração mais baixo do que a fibra principal foi elaborado por Brian O'Brien da Universidade de Rochester no início da década de cinquenta, derivada dos seus estudos de como os olhos transmitiam a luz de volta a retina. Com cabos ópticos flexíveis, a endoscopia se tornou um procedimento médico bastante comum. Um dos resultados dessas pesquisas foi a criação da empresa Corning Glass para produzir fibras de vidro que conduzia ondas de luz com pouca distorção de sinal.

Figura 4.10 Fibra óptica
Fonte: Corning

As fibras ópticas possuem diversas vantagens como meio transmissor. O cabo óptico é pelo menos dez vezes menor e mais leve que os cabos de cobre e coaxial

de mesma capacidade. Além disso, as fibras não são afetadas pela interferência elétrica, não corroem e não estão sujeitas aos ataques de insetos.

As primeiras aplicações da fibra óptica visavam atender ao mercado militar e os altos custos de produção eram compensados pelas suas vantagens técnicas perante o equipamento do inimigo. Embora as fibras ópticas fossem satisfatórias para o uso médico, quando uma única imagem precisava viajar alguns metros, elas estavam longe de ser eficientes para utilização em comunicação entre distâncias quilométricas.

Em 1965, as fibras mais transparentes apresentavam uma perda de 1000 dB/km ou 1% da transmissão. Porém, mesmo que um laser de intensidade suficiente estivesse disponível para compensar essa perda, a fonte do cabo óptico era limitada a alguns milliwatts por efeito não-linear na fibra. No entanto, em 1970 a Corning Glass conseguiu produzir 200 metros de fibra com uma perda de apenas 16 dB/km. Um grande avanço para a época.

Coincidentemente, este foi também o ano que o primeiro laser de diodo de onda contínua foi feito a uma temperatura ambiente em São Petersburgo, Rússia. Esta inovação no processo foi a grande ruptura que faltava para trazer as redes de fibra óptica para a vanguarda das comunicações.

Ainda assim, passar luz numa fibra de 10 μm de diâmetro não era uma opção prática para fazer instalações comerciais. A transmissão multimodal permitia que houvesse banda larga para as primeiras aplicações e a fibra de 50 μm eram largas o suficiente para junto com o laser de diodo de 850nm formarem a primeira rede óptica.

O desenvolvimento de componentes para a primeira geração de fibras ópticas comerciais começou em 1978, operando no comprimento de onda no 800-900

nm e fonte de luz de arseneto de gálio. Estes componentes foram adaptados das aplicações militares.

O comprimento de onda foi aumentado através das novas gerações de equipamentos porque maiores comprimentos de onda permitiam taxas maiores de transmissão. Houve também uma redução no número de componentes do sistema enquanto se aumentou a proporção do preço por desempenho.

Por exemplo, a segunda geração de fibras ópticas foi marcada pela introdução de componentes com comprimento de onda no 1300nm. Isto foi possível graças ao desenvolvimento da injeção do laser de diodo (ILD), que proporcionou uma fonte de luz com custo-benefício mais interessante.

O sistema 800-900nm continuou a ser produzido, mas a inovação tecnológica focava-se no processo de manufatura, que procurava diminuir sua complexidade e reduzir os custos do sistema, de forma a torná-lo competitivo em relação aos sistemas elétricos.

A terceira geração da fibra óptica está associada ao desenvolvimento do receptor PINFET, isto é, um semiconductor do tipo transistor com campo efeito. Esta tecnologia representou uma inovação radical em termos de redução de custos, pois a partir de então não era mais necessário utilizar um laser para transmitir no comprimento de onda do 1300nm, mas sim uma fonte de luz mais barata e confiável, o LED (diodo emissor de luz). Ao mesmo tempo, um mesmo tipo de fibra óptica, de módulo único, que permitia menos degradação do sinal em transição de longa distância, foi desenvolvido para aplicações comerciais.

A quarta geração foi desenvolvida para ampliar a transmissão das aplicações submarinas. Com o comprimento de onda se expandindo até o 1630 nm para aplicações de alta velocidade, os sistemas praticamente atingiram o limite físico

de melhoria que poderia ser alcançado através desse comprimento de onda. O fotodiodo de avalanche (APD) foi o componente que tornou o custo deste receptor viável.

O desenvolvimento da quinta geração de fibras ópticas para comunicação está focado na expansão do comprimento de onda acima da qual um WDM (*Wavelength Division Multiplexer*) pode operar. A janela de comprimento de onda convencional, conhecido como banda C, cobre o comprimento de onda dos 153-157 μm e a fibra seca promete expandir dos 130-165 μm .

Tabela 4.1 As gerações de desenvolvimento comercial da tecnologia da fibra óptica

<i>Geração</i>	<i>Período</i>	<i>Comprimento de onda (nm)</i>	<i>Material</i>
<i>Primeira</i>	1978-82	900	Arseneto de Gálio, Silício
<i>Segunda</i>	1980-84	1300	Iridio, Gálio arsenídeo Fosfídio
<i>Terceira</i>	1982-87	1300	Ingá Fibra de módulo único PInFET
<i>Quarta</i>	1986-92	1630	Ingá dispersão
<i>Quinta</i>	1991-dias atuais	1630	Fibra dopada de irídio

Fonte: Webb 1996

- *Transmissores e receptores*

Um transmissor é um dispositivo que envia informações para um receptor.

- *Componentes WDM (wavelength-division multiplexing)*

Permite que múltiplos sinais ópticos passem numa única fibra óptica pela utilização de diferentes comprimentos de onda, permitindo o aumento da capacidade de utilização da fibra e a comunicação bidirecional.

- *Sensores de fibra óptica*

São dispositivos que fazem o sensoriamento da variação de temperatura, da tensão mecânica, vibração, pressão, aceleração e concentração química.

- Sistemas de comunicação
- Medidas e testes de fibra óptica

4.2.3 Lasers

A emissão estimulada elaborada por Einstein in 1916 é o principal conceito por trás do laser. Desse modo, se um elétron num estado excitado é bombardeado por um fóton com energia própria, um outro fóton, com energia idêntica, será emitido. A emissão estimulada requer a inversão de uma população de elétrons de um estado de baixa excitação para o de alta excitação (KLEPPER; SLEEPER, 2005).

Este estado foi alcançado experimentalmente pela primeira vez pelo físico Charles Townes, na Universidade Columbia. Durante a realização da sua pesquisa, Townes conseguiu passar um feixe de molécula de amônia através de um campo elétrico e a novidade do experimento residia na incorporação de um oscilador de cavidade para refletir os fótons emitidos. O oscilador, por sua vez, servia como um estimulador da emissão de fótons (TOWNES, 1999).

A invenção do laser (luz emitida por radiação) iria acontecer 4 anos depois, quando Townes e Arthur Schallow, então no Bell Labs, propuseram fechar a cavidade estimulada com um par de espelhos que deveria refletir somente os fótons com a energia correspondente a um determinado comprimento de onda no espectro visível da luz. Este procedimento iria criar um revestimento de fótons refletidos e, a uma pequena fração deles, seria permitido escapar através de uma abertura dos espelhos, de forma a produzir um raio de luz colimado de comprimento de onda único e com todas as ondas em fase. Foram essas características, mais a grande intensidade potencial da luz que tornaram o laser um dispositivo útil para diversas aplicações.

O primeiro laser operacional foi desenvolvido em 1960 por Theodore Maiman do Hughes Lab, que utilizou um cristal sub-sintético dopado como meio do laser. Em sequência, outros materiais viriam a ser utilizados para produzir luz em

diversos comprimentos de onda. O primeiro laser comercial foi produzido em 1961 e foram utilizados em pesquisas e aplicações militares. As empresas que detinham contratos com o departamento de defesa norte-americano, Hughes e Martin Marietta, foram as primeiras a explorar o mercado comercial.

Hoje os lasers podem ser divididos em três tipos, diferenciados pela especialidade e aplicação. Eles são os chamados lasers de estado-sólido, que pode ser subdividido em cristais e semicondutores, líquidos, envolvendo corantes químicos, e gasosos hélio-neônio (He-Ne), dióxido de carbono (CO₂), íons, excimer, hélio-cádmio (He-Cd).

Quando o laser foi apresentado pela primeira vez em 1960, logo ganhou o interesse público. No entanto, cientistas e engenheiros o descrevia com uma solução para um problema inexistente. O tempo provou que os críticos estavam enganados: das comunicações à construção, o laser se tornou parte do cotidiano.

O laser, assim como qualquer outra fonte de luz, é um componente que converte energia em luz. Todas as fontes de luz utilizam alguma forma de energia para excitar os átomos ou moléculas que, então, emitem luz. No caso do laser, a entrada, ou bombeamento, pode ser de várias formas, sendo as duas mais comuns a óptica e a eletrônica.

Os lasers podem ser divididos em três maiores categorias: laser de onda contínua, laser pulsado e laser ultra-rápidos. Como o próprio nome sugere, o laser de onda contínua produz um resultado contínuo e ininterrupto. Alguns materiais como rubi, gases raros halógenos e excimers, dão sustentação ao laser por um breve período, formando assim a base do laser pulsado. Se a duração do pulso é suficiente longo (microsegundos), o laser será do tipo de ondas contínuas.

Durante muitos anos, o laser de Hélio-Neônio (He-Ne) foi o mais comum dos lasers de baixa-potência, utilizando uma descarga elétrica de alguns miliwatts para criar um plasma num tubo de vidro, onde quase todos emitem no vermelho a 633nm. Este tipo de laser era utilizado em leitores de código de barras, na indústria da construção, sinalização, procedimentos cirúrgicos e física de alta energia. Ultimamente, porém, um crescente número dessas aplicações está passando a utilizar o laser de diodo visível.

Lasers de argônio e criptônio também utilizam tubos de plasma para produzir feixes de luz intensos em vários comprimentos de onda, que vão do ultravioleta até o vermelho, incluindo 488nm e 514nm. Dispositivos comerciais oferecem fontes com algumas centenas de miliwatts a dezenas de milhares de watts. Devido à intensa geração de calor, esses lasers utilizam um resfriamento de água. Aplicações típicas do laser de argônio incluem processamento de materiais de alta-precisão na indústria de armazenamento de dados, holografia, artes gráficas, luz para shows. No espectro de baixa-potência, eles estão sendo substituídos em algumas aplicações pelo laser de diodo bombeado de estado sólido.

Laser de dióxido de carbono (CO₂), que também utiliza plasma, emite no médio infravermelho, em torno de 10 μ m. A maioria é de ondas curtas, ou pseudo-ondas curtas. Junto com os lasers de Neodímio YAG, (Nd:YAG), os lasers de CO₂ são os principais tipos de laser utilizados em aplicações industriais.

Lasers de diodo são os mais eficientes, convertendo diretamente eletricidade em luz laser num chip de semicondutor. Recentes inovações têm permitido que esse tipo de laser atinja maior potência e menores comprimentos de onda. Os dispositivos de alta-potência são utilizados para bombear os lasers de diodo de estado sólido e para fazer o processamento de aplicações de materiais leves. Os diodos visíveis (vermelho) estão substituindo os lasers de He-Ne como laser

pointer e fontes de luz para máquinas. A utilização do Nitrido de Gálio está permitindo que o diodo azul se torne uma realidade comercial.

Figura 4.11 Laser de diodo
Fonte: Eolsurplus

Uma segunda classe de laser de diodo é o laser de superfície de emissão de cavidade externa (VECSEL), que utiliza um laser semiconductor opticamente bombeado (OPSL). Isto resulta em maior potência e permite uma maior qualidade do feixe. Além disso, o bombeamento óptico permite que a frequência do OPSL dobre na região azul do espectro eletromagnético. Há uma família de cristais de Ítrio, Itérbio, Gálio dopado com Neodímio (Nd:YAG) que emitem próximo do infravermelho quando bombeado com fonte intensa de luz.

Os lasers de alta potência (kilowatt) são utilizados para processamento industrial de materiais. Aplicações típicas de lasers de alta potência incluem pesquisa científica, superfície e corte industrial. Quando usado como baixa potência, os lasers de diodo substituem lâmpadas como fonte de bombeamento.

Alguns lasers de titânio-safira e cromo emitem além do espectro do vermelho e próximo do infravermelho. A maioria é do tipo cw e usa um feixe visível a partir de um íon ou laser de diodo do estado sólido para excitar o cristal. As principais

aplicações se encontram no campo da pesquisa científica e incluem espectroscopia de tempo de resolução, fotoquímica, biologia e microscopia. A curta duração do pulso se mostra útil para aplicações em micromáquinas.

O excimer é um laser do tipo pulsado com intensa fonte de pulsos ultravioleta. O tubo do laser contém uma mistura de um gás inerte e um halogênio. Esses lasers são utilizados para fotoquímica, para bombear lasers de corante e micromáquinas e em cirurgias oftalmológicas. Uma das aplicações emergentes mais importantes é em microlitografia para produção de nova geração de chips para computadores.

Diversas aplicações de lasers de corante migraram para lasers de titânio-safira (Ti:safira). Porém, em aplicações que demandam pulsos de alta-energia, o laser de corante ainda é a melhor opção. Suas aplicações incluem fotoquímica, espectroscopia, sensor remoto e imagem hiperespectral.

4.3.1.1 Sistemas laser

- Comunicações

Inclui todos os lasers utilizados em voz, dados e transmissão a cabo.

- Entretenimento
- Construção
- Pesquisa

Laser utilizado em P&D

- Armazenamento de dados

Lasers utilizados em equipamentos de DVD, ROM óptico, armazenagem óptica

- Processamento de materiais

Inclui todos aos lasers utilizados para processamento de metal, manufatura de semicondutores e microeletrônica, moldagem de materiais (plástico, metal e silício), prototipagem rápida.

- Médico e biomédico

Inclui lasers utilizados na fabricação de equipamentos oftalmológicos (cirurgia refrativa e fotocoagulação), cirurgia geral, terapia, imagem e aplicações cosméticas. Inclui também equipamentos biomédicos, instrumentos analíticos (espectroscopia Raman), espectrofluoremetria, abrasão e microscopia a laser.

- Gráfico e impressão

Lasers utilizados em impressoras, fax, impressão gráfica

- Metrologia

Espectroscopia e análise química

- Aeroespacial e Defesa

Aviação, sistemas militares, satélites, laser pirotécnicos

- Lidar (Light Detection and Ranging)

4.2.4 Detectores e sensores

Os detectores ópticos são componentes que transformam um sinal óptico num sinal elétrico. A corrente elétrica gerada é proporcional à intensidade da radiação óptica incidente. Sensores são componentes utilizados para medir a intensidade da mudança em uma ou mais raios de luz ou sobre a fase de mudanças dos raios de luz quando eles interagem ou interferem um com o outro.

- Fotodiodos
- Detectores piroelétricos
- Detectores termal
- Fotomultiplicadores
- Detectores semicondutor
- Detector infravermelho
- Dispositivos CCD ou CID

4.2.5 Componentes optoeletrônicos

- Análise de sinal
- Placas de Aquisição de dados
- Fontes de alimentação
- Displays
- LED

O LED, anacronismo para Light Emitted Diode, é um emissor de luz que possui um princípio de funcionamento diferente das lâmpadas incandescentes. Trata-se de um dispositivo semicondutor que por passagem de corrente elétrica emite luz através de um processo denominado de eletroluminescência.

Diferentemente das lâmpadas incandescentes existentes, o LED pode produzir luz que mudam de cor, intensidade e distribuição, características que permitem reduzir o consumo de energia em cerca de 50% em relação às fontes tradicionais.

Figura 4.12 LED de diversas cores
Fonte: Superbrightled

Alguns motivos importantes para utilização do LED são: economia de energia, redução da produção de calor da luz emitida, vida útil e durabilidade, redução do tamanho dos equipamentos, fatores ecológicos, controle de contraste das cores e qualidade da luz emitida. Outras áreas estratégicas com amplas janelas de oportunidade para o LED na região do ultravioleta incluem: purificação do ar e da água, descontaminação de superfícies,

4.2.6 Sistemas e dispositivos de imagem

- Processadores de imagem
- Sistemas de imagem completos
- Imagem médica
- Câmeras CCD (charge coupled device) ou CCI (camera control interface)
- Câmeras CMOS (complementary metal oxide semiconductor)
- Câmeras Streaks
- Câmeras e sistemas infravermelho
- Câmeras de análise de movimento
- Sistemas de visão
- Sensoriamento remoto

4.2.7 Teste, medidas e análise

- Interferômetros
- Equipamento de testes ópticos
- Analisador de frente de onda
- Circuito de alta frequência
- Microscópios
- Equipamentos de espectroscopia
- Monocromadores
- Espectrômetros
- Medidores de potência
- Esferas integradoras
- Radiômetro/ fotômetro
- Analisador de perfil de feixe

4.2.8 Miscelânea

- Lâmpadas e fontes de luz
- Equipamento de segurança
- Equipamento de resfriamento/criogenia
- Equipamento holográfico
- Manipulação de gases

4.3 Fabricação de máquinas e equipamentos

Quando a tecnologia do microchip chegou aos mercados na década de setenta, houve uma revolução na indústria. Um aspecto dessa revolução foi a necessidade de produzir em massa uma família de produtos totalmente novos que precisava ser entregue ao mercado no menor prazo possível. A indústria do microchip evoluiu de uma tal maneira que hoje uma empresa como a Intel fabrica milhões de componentes. Nesse caso, diversas empresas de bens de capital tiveram tempo suficiente para desenvolver os sofisticados sistemas de produção utilizados na manufatura dos microchips. Muitas delas, hoje empresas grandes e de sucesso, começaram como pequenas empresas no Vale do Silício. Elas investiram em tecnologia de processos, aceitando o desafio de construir sofisticados equipamentos que tornaram realidade a produção de chips em massa.

Uma revolução similar está ocorrendo na indústria fotônica. No entanto, microchips fotônicos não apenas carregam informação através das correntes elétricas, mas também transmitem e recebem sinais pelas ondas de luz coerentes geradas por lasers semicondutores. Ao contrário da indústria de semicondutores que teve tempo para amadurecer, as empresas de fotônica estão tentando fazer com que 20 anos de evolução técnica sejam feitas em 2-3 anos.

Os fabricantes de equipamentos estão se posicionando para responder a esta necessidade e para liderar a corrida que irá levar a produção em massa a um custo satisfatório. Apesar disso, ainda há muitos desafios a ser transpostos. Um problema é que vários tipos de componentes são transferido tão rapidamente dos laboratórios de P&D para o chão de fábrica que não há tempo para fazer um projeto padronizado. Como resultado, o projeto completo de uma máquina automática é prejudicada, dado que sua essência é fabricar um mesmo tipo de produto repetidas vezes e da mesma maneira. Um outro problema é que algumas peças precisam ser manipuladas manualmente durante o processo de manufatura por técnicos extremamente especializados, o que diminui os níveis de rendimento e da capacidade produtiva das máquinas.

Figura 4.13 Equipamento de alinhamento fotônico automático de 6 eixos
Fonte: Physik Instrumente

Parece, portanto, que a chave para construir fábricas e linhas de montagem para produção em massa é definir novas estratégias de automação e máquinas plataformas que possam fazer o processo de manufatura repetitivo e independente do operador, resultando em economias de escala.

Um dos grandes avanços esperado é que se consiga fazer a integração dos componentes ópticos e eletrônicos num único chip, o chamado circuito integrado em larga escala. Para fazer a integração é preciso eliminar o problema de fabricar materiais incompatíveis. O advento do transistor óptico seria muito mais eficiente que o circuito integrado eletrônico.

A fabricação do circuito integrado fotônico é complexa devido à física dos componentes, das especificidades dos materiais e devido à questão da propriedade intelectual dos métodos de produção. A engenharia de processo, o projeto de manufatura, o projeto para teste, a padronização, automação e terceirização são procedimentos comuns em outras indústrias high-techs, mas que ainda permanecem ausentes na indústria fotônica. Melhoria nesses processos irá permitir aos fabricantes otimizar a produção, levando à redução dos custos e à criação de novos processos.

Da manufatura do chip e do filme-fino ao teste, cada etapa é importante, pois cada uma delas adiciona valor ao produto final. Contudo, devido à delicadeza do produto e do processo, essas etapas geram também muitas perdas, resultando num produto final com alto custo de produção.

Hoje, a padronização e a configuração do encapsulamento do circuito integrado fotônico é uma função crítica, pois a funcionalidade do componente dita sua formatação. Os circuitos de alto desempenho geralmente são montados em encapsulamento do tipo borboleta, enquanto os de baixo desempenho utilizam encapsulamento de custo mais baixo. O encapsulamento é responsável por 60 a 80 por cento do custo de um componente fotônico, enquanto na indústria de semicondutor este custo varia de 20 a 30 por cento.

Considerando-se os muitos métodos de encapsulamento utilizados na fabricação de vários componentes fotônicos, o resultado é que esses métodos acabam por

demandar equipamentos e processos de fabricação únicos. Além disso, os componentes que formam esses equipamentos utilizam elementos híbridos de eletrônica e fotônica, os quais são fabricados utilizando uma variedade de materiais raros, um importante fator que distingue a montagem do componente optoeletrônico do microeletrônico convencional.

Os fabricantes de componentes selecionam o material mais apropriado para o componente específico, notavelmente silício, quartzo, sílica, niobato de lítio, arseneto de gálio e fosfato de irídio, sendo que cada componente é único em relação aos demais do circuito óptico, embora isto deva mudar com o advento dos circuitos integrados fotônicos.

Figura 4.14 Encapsulamento fotônico
Fonte: Sifam

4.3.1 Integração

Os fabricantes de componentes e a indústria de encapsulamento estão sempre sob pressão para reduzir custos. A maioria dos fabricantes reconhece que uma mudança nos métodos de integração ajudaria a baixar os custos dos componentes e aceleraria o ritmo de produção. Isto levou a um movimento de eliminação dos processos manuais de montagem que havia sido a característica da indústria durante décadas, dando lugar à exatidão e a eficiência dos métodos automatizados.

Figura 4.15 Integração fotônica
Fonte: Sifam

Além disso, começaram a surgir fornecedores que capazes de atender os limites de tolerância da produção, pois os componentes que contém lentes, cristais e lasers de diodo e fotodetectores demandam alinhamento exato. Por exemplo, as fibras ópticas que conduzem os sinais para dentro e para fora dessas peças são precisamente anexadas e alinhadas aos componentes ópticos internos. Conseqüentemente, a colocação destas partes miniaturizadas requer tamanha acurácia que os fabricantes precisam confiar em equipamentos automatizados de alta precisão. Além do desafio técnico, um outro desafio é produzir o produto rápido o suficiente, seguindo as melhores práticas de produção e padronização, para atender as demandas do consumidor.

- Equipamento de coating
- Equipamento de máquina-diamante
- Máquinas de polimento
- Equipamentos de limpeza óptica
- Equipamentos de vácuo

4.3.2 Equipamentos de posicionamento

- Mesa óptica e trilho óptico

- Sistemas de alinhamento
- Equipamento de isolamento de vibração
- Microposicionadores
- Nível de detecção
- Suportes ópticos

4.4 Software

Projeto e teste óptico

O projeto das lentes, ou sistema ópticos, como é chamado pelos projetistas parece ser uma tarefa simples. O processo inicia-se com um rascunho esquemático que será otimizado pelo computador. Porém, qualquer tipo de lente, antiga ou nova, é totalmente identificado pela chamada descrição da lente.

O número de vidros, o tipo do vidro, o raio de curvatura, a espessura da lente, a distância entre os diversos elementos e o diâmetro de cada lente são os elementos necessários para descrever uma lente. Quando um raio de luz passa através de uma superfície de vidro, teremos o processo de reflexão ou refração.

A quantidade de curva depende do índice de refração do vidro. Se o projetista conhece a localização do elemento frontal onde certo raio de luz deverá entrar e o ângulo de incidência deste raio, então ele pode seguir o caminho do raio através do sistema óptico com a máxima acurácia.

É sabido que qualquer fonte luminosa irradia energia (fótons) em todas as direções. Apenas uma parte desta energia é capturada pelas lentes e, por simplificação matemática, o projetista assume que toda a energia luminosa que entra na lente pode ser tratada como um número individual de raios de luz, que pode ser traçado através das lentes que compõem o sistema óptico.

- Aquisição de dados
- Gráficos

Figura 4.16 Sistema óptico do espectrômetro SpectraMax M2
Fonte: Bucher biotec

4.5 Aplicativos

Devido à abrangência de suas aplicações, os diversos mercados que incorporam a tecnologia fotônica são direcionados pela combinação dos componentes/sistemas apresentados que permitem a criação de novos aplicativos (equipamentos, dispositivos, produtos) utilizados em:

- Equipamentos de aviação e aeroespacial
- Instrumentos de análise e medida

- Equipamentos militares
- Equipamentos médicos/biomédicos
- Equipamentos de comunicações
- Componentes ópticos
- Lasers e sistemas
- Produtos químicos e farmacêuticos
- Equipamentos e máquinas
- Equipamentos automotivos e de transporte
- Fotografia, impressão e editoração
- Energia
- Sistemas de controle industrial e robótica
- Equipamentos de navegação e guia
- Materiais
- P&D (laboratórios de pesquisa)

3. Qual é o tamanho desse mercado?

O relatório da *Optoelectronics Industry Development Association* (OIDA) lançado no final de 2006 mostrou que as vendas totais de componentes e aplicativos cresceram 20% em 2005 (US\$ 364 bilhões em relação aos US\$ 304 bilhões de 2004). A força motriz por trás desse crescimento está no sucesso das aplicações no mercado de bens de consumo.

O crescimento da participação dos componentes é principalmente resultado da demanda maior por componentes passivos (24%), displays ((20%) e fontes e detectores (10%). A grande novidade é que os componentes optoeletrônicos começam a ser utilizados em volume em bens de consumo, de entretenimento e em computadores.

Figura 4.17: Mercado Global para Componentes e Aplicativos

Fonte: OIDA (2006)

Além do mercado norte-americano, várias regiões geográficas vêm mostrando sinais de fortalecimento. Na Europa observa-se o aumento da participação de países como Espanha e diversos países do Leste Europeu, tais como Hungria, Polônia, Eslováquia e República Tcheca. Sobre o ponto de vista de vendas de produtos, observa-se demanda por instrumentação biomédica, processamento de materiais, artes gráficas, eletrônicos, displays e diagnóstico médico e terapêutico.

CAPÍTULO 5

A FOTÔNICA *MADE IN* ESTADOS UNIDOS

5.1 Estrutura e desenvolvimento da indústria

Para entender como o progresso científico e a aplicação tecnológica contribuem para o desenvolvimento tecnológico e industrial, nós decidimos estudar o surgimento das empresas que utilizam fotônica nos Estados Unidos. A escolha dos Estados Unidos decorre do fato deles serem um dos países mais eficientes no processo de transferência de ciência e tecnologia para o setor produtivo e na criação de produtos e processos tecnologicamente inovadores

Para realizar a pesquisa, contamos com a colaboração da professora Alice Amsden, do Departamento de Planejamento e Estudos Urbanos do Massachusetts Institute of Technology, estudiosa do desenvolvimento econômico, especialista no processo de industrialização dos países asiáticos. O objetivo do estágio nos EUA foi identificar a escala, o escopo e a estrutura da indústria fotônica, assim como estabelecer o padrão da organização da produção e as suas inter-relações.

O método de pesquisa utilizado contou com entrevistas, análise de literatura técnica e participação em duas das mais importantes conferências na área: Photonics West, em São José (Califórnia) e Photonics East em Boston (Massachusetts). Estas conferências são importantes porque reúnem num mesmo local pesquisadores e indústria, que anualmente se encontram para debater os recentes avanços tanto em termos de pesquisa como de produtos e processos. Durante esses encontros houve a oportunidade de fazer um primeiro contato e, posteriormente, negociar entrevistas com as empresas, cujo perfil encontra-se no anexo:

5.2 Padrões de entrada, crescimento e saída

A estrutura organizacional da indústria fotônica, no geral, possui duas características distintas, dependendo do mercado de atuação e isso também irá moldar o padrão de organização industrial. A primeira delas é que as indústrias voltadas para setores mais tradicionais são dominadas por grandes empresas. Nesse caso, o progresso tecnológico é cumulativo, o mercado é oligopolizado e as barreiras à entrada são grandes.

O segundo grupo é formado por empresas empreendedoras, que surgem tanto do chamado processo de spin-off corporativo, quando engenheiros ou técnicos deixam as empresas que trabalham para criar o seu próprio negócio, muitas vezes tornando-se fornecedor do antigo empregador, ou do spin-off acadêmico. O resultado é que este processo tem levado a criação de uma diversidade de empresas, mas estas, por sua vez, não costumam produzir nem em escala nem em volume. Como consequência, o mercado é pulverizado, formado por empresas

que atuam em nichos mercados altamente especializados e com pouco volume de produção.

O comportamento empreendedor irá também determinar o tamanho da empresa. A princípio, trata-se de pequenas empresas, geralmente especializada na manufatura de componentes fotônicos, raramente em posição de competir, pelo menos inicialmente, com empresas maiores. Quando as empresas se estabelecem, elas passam a diversificar a linha de produtos, expandindo seu nicho de atuação, o que faz com que elas cresçam mais rapidamente.

Por outro lado, as aplicações destinadas a mercados mais tradicionais, como bens de consumo e telecomunicações são dominados por grandes corporações, que por sua vez acabam adquirindo empresas menores, quando estas possuem tecnologias que possa lhes interessar. Em suma, alguns segmentos da indústria fotônica são ainda bastante fragmentados e diversificados, e o mercado tem evoluído a partir da criação e destruição desses segmentos.

No início, a maioria das empresas recém-criadas não tem outra opção de capital a não ser recursos próprios. A verdade é que aos capitalistas de risco só irão fazer algum tipo de investimento quando a empresa já conseguir ter desenvolvido um produto e despertado algum interesse do mercado.

Como uma alternativa aos investidores, algumas empresas aproveitam os contratos públicos como forma de levantar capital e encontrar demanda para seus produtos. O governo americano tem estimulado o desenvolvimento da fotônica através de programas especiais como *Small Business Innovation Research* (SBIR) e o *Small Business Technology Transfer Program* (STTR). Nesses programas, as empresas trabalham em projetos de pesquisa e desenvolvimento com agências governamentais (NASA, o Departamento de Defesa, de Energia, Saúde e o National Science Foundation).

Dependendo do tipo de tecnologia e do produto, algumas empresas trabalham em cooperação com outras empresas, recebendo fundos para desenvolver um produto em particular, o que é muito comum na indústria automobilística, aeroespacial e eletrônica. Estar associado a uma empresa ou a uma agência governamental pode ser benéfico por vários motivos, tais como o prestígio daquela marca/instituição, a possibilidade de realizar contatos, o acesso a recursos sofisticados e também ao fato de que essas empresas não possuam nenhum interesse de participação na empresa.

Conforme a empresa vai crescendo, pode ser que uma quantia maior de capital seja necessária. Neste caso, uma das formas mais comuns é fazer a abertura do capital ou IPO (*Initial Public Offerings*). Com o auxílio de um banco de investimentos a empresa passa a oferecer ações no mercado. O maior desafio em abrir o capital é que este deve ser uma quantia suficiente – alguns milhões- para justificar a participação do investidor no negócio. Sendo assim, ele só se justifica a partir de um determinado limite.

Fusões e aquisições são bastante comuns nesta indústria. Como já foi dito, muitas vezes acontece de a propriedade intelectual de uma empresa ser complementar ao de uma outra, decorrendo daí muitas fusões. Uma outra característica é o fato de firmas americanas e européias se juntarem para expandir a oferta de produtos e o acesso a novos mercados.

5.3 A geografia da produção nos Estados Unidos

Há nos Estados Unidos mais de 15.000 empresas atuando no setor de fotônica, cada um deles empregando em torno de 23 pessoas. A Califórnia e Nova Iorque concentram a maior quantidade de empresas por Estado, com 2.985 e 1.034 empresas, respectivamente. Em seguida encontram-se os estados de Nova Jérsei, Illinois e Massachusetts contabilizando 536 empresas em média. A tabela 5.1 mostra a distribuição das empresas fotônica nos Estados Unidos

A região do Vale do Silício concentra as indústrias mais intensivas em tecnologia: computadores, componentes, eletrônicos, comunicações, equipamentos de medição e controle e a indústria aeroespacial. Já o Estado de Nova Iorque é uma região especializada na pesquisa e manufatura de produtos relacionada à imagem e metrologia. Nova Jérsei, por sua vez, a tradição industrial remonta ao pioneirismo da Bell Labs (hoje parte da Alcatel-Lucent) e às inovações em comunicações ópticas.

Na Rota 128 e adjacências de Boston e Cambridge, a ênfase industrial é bastante similar. A indústria fotônica no Colorado desenvolve e manufatura componentes utilizados nas indústrias localizadas na própria região que atuam em defesa, imagem, indústria aeroespacial, armazenamento de dados entre outros.

O que há de comum entre essas regiões, além de serem industrial e economicamente desenvolvidas? Todas estão inseridas num sistema nacional de inovação, que num determinado período em particular foi contemplado com investimentos em educação, e/ou participaram de programas governamentais, parcerias estas que resultaram num círculo virtuoso, levando ao desenvolvimento econômico dessas regiões.

Tabela 5.1 Principal concentração de empresas e emprego em fotônica nos EUA

Estado	Empresas	%Concentração geográfica	Empregados	Empregados por 1 milhão/habitantes	Média de empregados/ empresa
EUA	14.898	100	327.850	1087	23
Califórnia	2.985	20,0	61.641	1686	22
Nova Iorque	1.034	6,9	33.832	1753	35
Nova Jérsei	544	3,7	10.954	1261	21
Illinois	543	3,6	13.793	1073	27
Massachusetts	532	3,6	14.200	2202	28
Pensilvânia	513	3,4	16.990	1367	35
Arizona	364	2,4	7.274	1148	21
Minnesota	299	2,0	18.667	3,591	66
Indiana	254	1,7	7.600	1198	31
Connecticut	247	1,7	6.106	1087	28
Maryland	237	1,6	3.749	1070	16
Oregon	221	1,5	4.301	1148	21
NewHampshire	131	0,9	3.728	2,833	30
Rhode Island	57	0,4	2.983	2,82	54
Nebraska	49	0,3	1.845	1004	39

Fonte: De Jonge, 2008

Nos Estados Unidos, o sistema de inovação é formado por uma base industrial composta por diversas empresas de tamanhos e posições variadas. Os outros dois vértices são as agências governamentais que anualmente financiam milhões de dólares em pesquisas realizadas tanto nas universidades como nas empresas ou laboratórios públicos.

Como é sabido, as universidades e as instituições de pesquisa possuem papel fundamental no desenvolvimento científico e tecnológico e no suprimento de recursos humanos. Além disso, nos EUA é comum que as universidades participem de consórcios onde grupos de professores se envolvem em projetos multidisciplinares patrocinados tanto pela indústria como pelo governo. O engajamento de professores em serviços de consultoria para laboratório comercial também é um mecanismo comum no processo de transferência de tecnologia.

Os recursos financeiros estão distribuídos em diversos departamentos do governo federal, mas como podemos ver a seguir, todos englobam setores considerados estratégicos para manter forte a economia e a sociedade americana. Alguns exemplos de programas no âmbito federal visando o desenvolvimento e a aplicação da óptica e da fotônica são listados a seguir:

a) Departamento de Comércio

NIST Optoelectronics Division

NIST Advanced Technology Program

b) Departamento de Defesa

Air Force Research Lab

Alliance for Photonic Technology (parceria entre universidades, laboratórios de pesquisa e indústria)

Army Optics Branch

Defense Advanced Projects Agency (DARPA)

Naval Research Laboratory

National Technology Transfer Center

c) Departamento de Energia

Lawrence Livermore National Laboratory Laser Programs

Oak Ridge National Laboratories

Sandia National Laboratories Program in Microelectronics and Photonics

d) NASA

Ames Research Center Photonics Group and Vision Group

Goddard Space Flight Center International Laser Ranging Service

Langley Research Center Lidar in Space

Marshall Space Flight Center

e) Instituto Nacional de Saúde

National Eye Institute

National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering

f) National Science Foundation

Não possui laboratórios *in-house*, mas financia projetos em óptica e fotônica.

O Programa de Tecnologias Avançadas (ATP) em óptica e fotônica do NIST investiu mais de US\$ 774,4 milhões (US\$ 396,5 do NIST e US\$ 377,8 das empresas) em 127 projetos que foram aprovados entre 1990 e 2004. Desses projetos, aproximadamente 72% tinham pequenas (106) e médias (38) empresas como participantes, enquanto 36% de todos os ATP aprovados tinham como característica a colaboração entre empresas e universidades e/ou laboratório de pesquisa. As principais aplicações dos projetos propostos eram relacionados às aplicações em manufatura (78), energia (16), segurança (14), , saúde e biotecnologia (14) e nanotecnologia (5). (NIST, 2006).

5.4 Principais tendências observadas

Dando continuidade ao que parece estar se tornando uma tendência, uma proporção crescente do aumento da receita da indústria fotônica americana está atrelada, direta ou indiretamente, aos gastos dos consumidores. Como resultado, a indústria é afetada pelos fatores macroeconômicos, tais como variações nas taxas de juros, taxa de câmbio, balança comercial, preço do petróleo e pela confiança do consumidor.

Em 2006, a indústria se beneficiou do surgimento de novos tipos de financiamento, além de um retorno à abertura do capital. As possibilidades de

financiar a indústria estão se ampliando de diversas formas, sendo que algumas delas não existiam há três anos. A indústria superou os problemas ocasionados pela bolha das telecomunicações e, do lado da demanda, observa-se que a diversificação tecnológica, assim como as alternativas de financiamento.

Várias empresas abriram o capital em 2006 (IPG, QPC, Laser, Optium, Arasor, Opnext, Enablence Technologies e Cynosure). Há uma tendência crescente em buscar novas fontes de capital através de investidores internacionais, inclusive fora dos Estados Unidos, para evitar os custos adicionais associado ao Sarbanes-Oxley Act².

Empresas de capital de risco têm exibido entusiasmo por empresas relacionadas à fotônica. As áreas de particular interesse para os investidores incluem fontes de iluminação, biotecnologia, aplicações em semicondutores, lasers de fibra para aplicações industriais, displays, células fotovoltaicas, sensores e detectores.

Enquanto as pequenas e médias empresas vão ganhando seu espaço junto à comunidade financeira, as empresas maiores ainda dominam o cenário da produção fotônica, o que resulta na atração de capital para a indústria como um todo. A Coherent, localizada em Santa Clara, Califórnia, teve uma receita de US\$585 milhões em 2006, acima dos 516 milhões de 2005. O crescimento da receita é o resultado dos investimentos em semicondutores, displays de tela plana e aplicações para encapsulamento.

Outro gigante do setor, a Newport viu suas receitas aumentarem 10% durante 2006, em grande parte graças ao mercado de semicondutores e de microeletrônica. A receita da empresa durante os nove primeiros meses foi de US\$ 330 milhões, comparados aos US\$ 300 milhões para o mesmo período de

² É uma lei federal Americana, também conhecida como Reforma das Normas Contábeis das Empresas de Capital Aberto e de Proteção aos Investidores. Foi criada em 2002 para evitar práticas contábeis fraudulentas.

2005. A empresa prevê que para os próximos anos haverá um aumento da demanda para células fotovoltaicas, pesquisa básica, saúde e ciências da vida.

CAPÍTULO 6

FOTÔNICA: NEGÓCIO DA CHINA

6.1 A China em busca da independência tecnológica

A inovação tecnológica é um gargalo para os países que se industrializaram tardiamente. Por isso, desenvolver tecnologia através dos mecanismos de mercado ainda é um grande desafio para países como Brasil, China e Índia. Ainda assim ele deve ser incentivado para estimular o processo de aprendizado como observado por Bell e Pavitt (1993).

O processo de industrialização no Brasil foi um dos pioneiros em relação aos demais países que se industrializaram tardiamente, mas mesmo assim o país tem encontrado dificuldades em atingir uma etapa na qual são produzidos bens mais intensivos em tecnologia. Além disso, o Brasil vem perdendo competitividade para a China como ficou demonstrado nas entrevistas realizadas (anexo).

Neste capítulo, vamos analisar algumas estratégias de investimento em ciência e tecnologia feitas pelo governo chinês, mais especificamente em relação ao desenvolvimento da indústria fotônica. Este exercício, ainda que feito com dados secundários, é fundamental para entendermos qual é a posição do Brasil, não apenas perante a um país tecnologicamente mais avançado como os Estados Unidos, mas também em relação a um país que apresenta certas características de desenvolvimento semelhantes ao brasileiro. Ainda sim, é preciso ficar claro que o objetivo não é fazer um estudo comparativo porque o desenvolvimento desses países está atrelado a uma convergência de forças nacionais - estrutura política, econômica, emprego, relações internacionais, comércio, entre outros – que por si só inviabilizaria qualquer tentativa de comparabilidade.

6.2 Industrialização comunista de mercado

Os dados sobre a economia chinesa, ainda que possam ser inflados pelo governo, mostram que o produto interno bruto (PIB) cresceu a uma taxa média anual de 9,67% de 1978 a 2006, enquanto a média entre os demais países para o mesmo período ficou em torno de 3,3%. O PIB brasileiro está bem abaixo da média mundial, tendo alcançado 1,6% na década de oitenta, 2,4% na década de noventa e 2,6% em 2006 (Folha de SP, 28/02/2007).

É certo que crescimento econômico não necessariamente resulta em domínio tecnológico e menos ainda em inovação. No entanto, para que a tecnologia e inovação se desenvolvam é preciso que haja um ambiente propício e estimulante. A seguir vamos apresentar como as empresas chinesas estão se organizando para serem auto-suficientes em fotônica.

A entrada da China na Organização Mundial do Comércio (OMC) em 2001 vem causando diversas mudanças na estrutura industrial do país. Embora no passado a proteção do governo chinês tenha permitido com que as empresas nacionais dominassem grande parte do mercado local, isso também resultou numa estrutura industrial desequilibrada, porque o lucro não era o objetivo principal (SUTTMEIR, CAO, SIMON, 2006).

Hoje, com o fim das barreiras comerciais, as firmas chinesas estão tendo que competir com as multinacionais estabelecidas no país e como meio de manter suas margens elas precisam exportar. Além disso, a redução às barreiras de entrada e o aparecimento de uma classe média urbana estão criando demanda para produtos mais sofisticados. A China, que sempre foi vista como um país produtor de manufatura barata, intensivo em trabalho e com pouco valor agregado, a cada dia tem se movido para a produção de bens tecnológicos, procurando entrar no mercado de alta tecnologia (Gilboy, 2004).

A concentração da manufatura na China está resultando na formação de clusters tecnológicos e de centros de competência que aumentam a atratividade de indústrias específicas. A manufatura sólida e estável está atraindo investimentos em pesquisa e desenvolvimento e o país está rapidamente se movendo em direção à produção tecnológica.

6.3 Estratégia de desenvolvimento industrial e tecnológico

Algumas inovações científicas e tecnológicas, como a pólvora, a bússola, o processo de manufatura da seda foram realizadas primeiramente na China. A universidade de Pequim, inaugurada em 1898, foi a primeira instituição de educação superior criada aos moldes ocidental. Este processo se intensificou após

o fim do regime imperial em 1911, mas foi interrompido com o início da guerra com o Japão em 1937.

A tomada do poder pelos comunistas em 1949 iria reorganizar o sistema de educação, mas dessa vez seguindo o modelo soviético, isto é, cada instituição seria responsável por uma especialização e o papel da universidade era de instruir, não cabendo a realização de pesquisa, que era tarefa da Academia de Ciências.

Em 1978, com a chegada de Deng Xiaoping ao comando do país, uma série de reformas teve início e uma nova política, chamada de Programa das Quatro Modernizações, determinou como prioridade os investimentos na indústria, na defesa, na agricultura e na ciência e tecnologia.

Entre 1949 e 1978, as políticas de Ciência e Tecnologia na China foram direcionadas pelo clima da Guerra Fria e por questões ideológicas. Os investimentos eram destinados principalmente para defesa militar e setores considerados de segurança nacional, como energia atômica, jatos e mísseis, eletrônica e computadores.

O primeiro Plano Nacional de Desenvolvimento (1953-1957) estabeleceu investimentos em eletrônica e computadores. Diversos computadores foram desenvolvidos e instalados nas universidades, laboratórios militares e indústrias, primeiro para ajudar nas questões de segurança nacional como, por exemplo, comando naval, lançamento de mísseis, controle de satélites, análise geológica e sistema de produção de óleo (QIWEN, 2000).

O período de reformas estabelecidos no final da década de setenta marca o início da transição para uma economia de mercado, com as áreas de ciência e tecnologia ganhando destaque. As áreas escolhidas foram fontes de energia, computadores, tecnologias a laser, setor espacial, física de alta energia e genética. Ao mesmo

tempo deu-se início a um programa para treinar 800.000 novos cientistas e o desenvolvimento de 88 universidades.

A reativação das relações diplomáticas com os EUA foi reforçada através de programas de cooperação em pesquisa e com envio de estudantes para estudar lá. Ao mesmo tempo o país passou a permitir o investimento direto estrangeiro e a entrada de multinacionais.

Percebendo a importância da C&T para o desenvolvimento econômico, o governo chinês começou a planejar políticas detalhadas de C&T. Em meados dos anos oitenta uma política de C&T sistemática foi moldada e continuamente melhorada. Em linhas gerais esta política estabelecia que o desenvolvimento econômico tivesse a ciência e a tecnologia como base e, esta, por sua vez, deveria servir ao desenvolvimento econômico.

O seu objetivo era estabelecer uma conexão entre pesquisa e o setor produtivo. Uma das políticas previa a redução do orçamento de institutos de pesquisas, de modo a forçá-los a interagir e complementar seus recursos através de parcerias com empresas. O resultado é que os institutos ineficientes foram reformulados ou fecharam e aqueles cujo foco principal era o desenvolvimento, foram transformados em empresas, tornando-se auto-suficientes ou fechando.

A estratégia de desenvolvimento industrial e tecnológico na China teve seu início através da importação de tecnologia do Japão e dos países ocidentais. Ainda assim, o hiato tecnológico era tão grande que tornava difícil de fazê-lo. No caso da indústria eletrônica e de computadores, a estratégia era estudar, absorver e duplicar tecnologias existentes.

A pesquisa, o desenvolvimento e a manufatura de eletrônica de alto desempenho dependiam de tecnologias importadas. A princípio, os programas nacionais para

o setor de microeletrônica tiveram pouco sucesso. As políticas de promoção do setor eram extensas e havia um peso em relação à pesquisa, investimentos e tomada de decisões das empresas, e as medidas tomadas eram duplicadas e coordenadas de forma ineficiente (HOWELL et al., 2003)

Levando-se essas circunstâncias em consideração, os anos noventa foram marcados pela adoção de políticas para desenvolvimento tecnológico e para a indústria de tecnologia. Para fazer a comunidade científica mais inovadora, o governo fez com que a disputa por recursos se tornasse mais explícita e intensa. O crescimento da produção de equipamentos eletrônicos na China é descrito como uma das mudanças fundamentais no mundo da indústria eletrônica. O desenvolvimento conta com um ativo suporte do governo, cujo objetivo é fazer da indústria eletrônica uma atividade independente e competitiva, de forma a alavancar a competitividade do país.

A China é uma das maiores fabricantes de produtos eletrônicos de consumo de massa, tais como tubos catodos (CRT) para tv, computadores e tocadores de disco ópticos (dvds e cds). Uma porção significativa da montagem de produtos eletrônicos e de componentes optoeletrônico está mudando para lá, atraindo a maior parte dos investimentos para abertura de novas fábricas (FUCHS, 2006). Ao mesmo tempo em que a China mantém a competitividade através da produção intensiva em trabalho e escala, ela vem ganhando vantagens competitivas em setores de média intensidade tecnológica (equipamentos de escritório e máquinas elétricas) e mais intensivos em tecnologia como equipamentos de telecomunicações e de processamentos de dados (VAIDYA, BENNETT, LIU, 2007).

6.3.1 Regiões Nacionais de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico (ETDZ)

No início de 1984, para fazer sua abertura completa, o governo chinês decidiu estabelecer as regiões estaduais de desenvolvimento econômico e tecnológico, as chamadas ETDZ, que tinham como base experiências bem sucedidas realizadas anteriormente.

Há 54 ETDZ no plano nacional, entre as quais 34 estão localizadas nas regiões litorâneas orientais e 20 na região centro-oeste. O objetivo das ETDZs dispersas em várias províncias, cidades, regiões autônomas e outras cidades abertas é desenvolver o oeste, fortalecendo a cooperação econômica entre o meio oriental e as regiões ocidentais, de modo a promover o crescimento coordenado da economia regional.

Figura 6.1 Regiões Nacionais de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico (ETDZ)

Fonte: Ministério da Ciência e Tecnologia (MOST, 2007)

A ETDZ é uma área nas cidades costeiras e outras cidades abertas cujo objetivo é desenvolver tecnologia, com foco voltado para projetos industriais, absorvendo fundos estrangeiros e visando a exportação.

6.3.2 A experiência dos parques tecnológicos

Em 1988, o governo chinês estabeleceu a criação do primeiro parque tecnológico experimental de Pequim (Zhongguancun), além de determinar a criação de outros 52 parques espalhados ao longo do território nacional (ver tabela 6.1)

Entre as empresas chinesas que se desenvolveram nesta região estão as gigantes do ramo de telecomunicações Julong Electronics, Datang Telecom, Zhongxing Telecomunicações e Huawei, além da Haier e da TCL, que produzem eletrônicos de consumo. Empresas multinacionais como a IBM, Microsoft, Intel, Motorola, Ericsson e Mitsubishi possuem centros de pesquisa na área.

Após analisar a experiência de outros parques tecnológicos, o governo estabeleceu novas formas de incentivos fiscais, facilitou a captação de capital via empréstimos e permitiu a mobilidade de recursos humanos. O princípio básico de funcionamento do parque deveria seguir uma filosofia de independência em relação a forma de gerenciar o negócio, mas este precisaria contemplar o desenvolvimento tecnológico, o desenvolvimento industrial e a comercialização dos resultados.

Hoje, o Parque tecnológico de Zhongguancun ocupa uma área de 100 km² composto por uma infra-estrutura industrial em tecnologia da informação, tecnologia integradas opto-mecânica e eletrônica, biotecnologia, farmacêutico, novos materiais, energia, e tecnologias ecológicas. De um total de 11 firmas em

1983, em torno de 15 mil se desenvolveram na área. Em 2003, a renda gerada com a comercialização dos produtos tecnológicos desenvolvidos foi de US\$ 34.3 bilhões, 18.1% superior a 2002, enquanto pagaram US\$1.5 bilhões em impostos. Em média, estas empresas investem 3,9% da receitas em P&D. Enquanto isso, em 2003, os demais 53 parques tecnológicos espalhados pelo país geraram renda de US\$ 240 bilhões e exportações de US\$ 57 bilhões (ver tabela 6.2).

Tabela 6.1 Parques Tecnológicos na China

<i>Região</i>	<i>Município Província</i>	<i>Nome do Parque /ano de estabelecimento</i>
<i>Leste</i>	Pequim	Zhongguancun (1988)
	Tianjin	Tianjin (1991)
	Shanghai	Shanghai (1991)
	Liaoning	Shenyang, Dalian (1991), Anshan (1993)
	Hebei	Shijiazhuang (1991), Baoding (1993)
	Shandong	Jinan, Weihai (1991), Qingdao, Weifang, Zibo (1993)
	Jiangsu	Nanquim (1991), Suzhou, Wuxi, Changzhou (1993)
	Zhejiang	Hangzhou (1991)
	Guangdong	Guangzhou, Zhongshan, Shenzhen (1991), Foshan, Huizhou, Zhuhai (1993)
	Fujian	Fuzhou, Xiamen (1991)
	Guanxi	Guilin (1991), Nanning (1993)
	Hainan	Hainan (1991)
<i>Centro</i>	Heilongjiang	Haerbin (1991), Daqing (1993)
	Jilin	Changchun (1991), Jilin (1993)
	Neimenggu	Baotou (1993)
	Shanxi	Taiyuan (1993)
	Henan	Zhengzhou (1991), Luoyang (1993)
	Hubei	Wuhan Donghu, Xiangfan (1993)
	Hunan	Changsha (1991), Zhuzhou (1993)
	Anhui	Hefei (1991)
	Jiangxi	Nanchang (1993)
<i>Oeste</i>	Shaanxi	Xi'an (1991), Baoji (1993), Yangling (1997)
	Gansu	Lanzhou (1993)
	Xinjiang	Urumqi (1993)
	Chongqing	Chongqing (1991)
	Sichuan	Chengdu (1991), Mianyang (1993)
	Yunnan	Kunming (1993)
	Guizhou	Guiyang (1993)

Fonte: Cao (2004) apud Chaolin et al (1998)

Apesar dos números impressionantes, segundo Cao (2004), os parques tecnológicos chineses têm servido muito mais como centros de processamento, distribuição e comércio de empresas de tecnologia estrangeira. No caso dos computadores e produtos de TI chineses, apenas uma pequena porcentagem deles contém tecnologia genuinamente desenvolvidas na China. Por exemplo, dos US\$ 29 bilhões de renda gerados em 2002 pelo parque de Zhongguancun, apenas US\$ 1.4 bilhões ficaram com as empresas locais, pois o restante dos lucros foi dividido entre as empresas multinacionais através dos pagamentos pela utilização de propriedade intelectual.

Tabela 6.2: *Maiores Indicadores Econômicos dos Parques Tecnológicos Chineses (US\$ 100 milhões)*

<i>Ano</i>	<i>No. de Empresas (unidade)</i>	<i>No. de empregados (10.000 pessoas)</i>	<i>Renda gerada</i>	<i>Valor industrial</i>	<i>Lucros e impostos</i>	<i>Exportação</i>	<i>Exportação como porcentagem da renda (%)</i>
1991	2,587	14	16.40	13.38	2.24	1.8	10.98
1992	5,569	34	41.87	33.87	6.11	4.1	9.79
1993	9,687	55	97.81	77.63	12.93	5.4	5.52
1994	11,748	80	109.37	98.94	12.77	12.7	11.61
1995	12,937	99	178.93	165.97	20.75	28.8	16.10
1996	13,722	129	276.67	257.67	28.64	43.0	15.54
1997	13,681	148	408.67	375.06	42.22	64.8	15.86
1998	15,935	180	557.84	523.44	53.81	78.5	14.07
1999	17,498	221	818.38	717.97	89.06	119.1	14.55
2000	20,796	251	1,112.41	959.36	127.72	186.0	16.72
2001	24,293	294	1,441.15	1,222.28	155.25	226.6	15.7
2002	28,338	349	1,851.69	1,567.60	189.38	329.2	17.78
2003	n.i.	n.i.	2,439.77	2,090.97	240.18	570.0	23.36

Fonte: Cao, 2004

Nota: Valores foram ajustados de acordo com a taxa de câmbio do dólar e do Renminbi

n.i= não informado

O problema apontado é que ainda faltam aos parques gerar produtos internacionalmente competitivos e com grande participação de mercado que poderiam causar um grande impacto no desenvolvimento econômico da região.

6.4 A indústria fotônica chinesa

A indústria fotônica é vista pelo governo chinês como um setor estratégico para o crescimento econômico e tecnológico do país (Opto&Laser Europe, 2005). Nas últimas duas décadas o país tem investido no desenvolvimento da indústria fotônica que é especialmente forte na produção de equipamentos de telecomunicações, fibras ópticas para comunicações e montagem de módulos optoeletrônicos.

A base tecnológica em telecomunicações foi desenvolvida internamente por empresas nacionais e *joint ventures*, além de que as maiores multinacionais fabricantes de produtos para telecomunicações têm manufatura na China (FAN, 2003).

A chave para o sucesso dessas empresas é uma base de fornecedores competitiva e com baixo custo, que vem se amadurecendo já faz alguns anos. Eles são bastante competitivos em projeto e manufatura de componentes passivos, fornecendo para 80% do mercado doméstico.

Porém o país não possui uma base forte de manufatura de chips e componentes, tais como lasers, moduladores e LEDs. A China compra componentes ativos do Japão, da Coreia do Sul, de Taiwan, dos EUA e da Europa.

6.4.1 Investimentos na fabricação de componentes ativos

A fotônica foi designada como uma das dez tecnologias mais estratégicas pelo governo chinês e o Plano de Desenvolvimento Tecnológico 863/973 trás

instruções claras sobre fotônica, sendo também destaque no décimo plano quinquenal (Cao et al, 2006). Um laboratório nacional está sendo construído em Wuhan e já investiram 160 milhões RMB (~11 milhões de libras) só em instalações. O objetivo é fazer com que a China esteja em compasso com os desenvolvimentos recentes em fotônica, que alcance resultados inovadores e estabeleça metas industriais de desenvolvimento.

Algumas das medidas tomadas para promover a indústria estão sendo oferecidas na forma de incentivo fiscal e empréstimo a taxas de juros baixa. Além disso, o governo está promovendo algumas regiões de modo a atrair empresas fotônicas para investir e montar uma base naquele local.

Há em torno de 10 regiões-bases, sendo que a maioria delas vem investindo energeticamente para promover a indústria fotônica. O governo local também oferece suporte à indústria, investindo em infra-estrutura e atraindo investimento direto estrangeiro. Wuhan, que fica na Província de Hubei, é conhecida por possuir a maior concentração de manufatura em óptica e ela está programada para receber um total de US\$ 2,9 bilhões em investimentos para estabelecer um parque industrial numa área de 50 km².

Uma área tecnológica que é vista como fundamental é a de projetos e manufatura de chips ópticos e dispositivos ativos. A maior parte dos fabricantes de componentes ativos na China não é verticalmente integrada e seus principais fornecedores de chips semicondutores estão em Taiwan, Coréia do Sul, Japão e EUA. A aversão ao risco de muitas empresas japonesas tem restringido os investimentos em fabs de chips internas. Eles corretamente entendem a manufatura de chip como uma área de alto risco, pois demanda vultosos investimentos de capital e engenheiros altamente qualificados e especializados.

Uma outra área tecnológica tida como fundamental é a de fabricação de LED, pois o rápido crescimento econômico do país coloca algumas limitações de recursos energéticos. Eles estão construindo tanto um mercado doméstico para a utilização de LED e estão antecipando a demanda futura.

Há várias empresas, principalmente em Shenzhen, fabricando LED visíveis para display, iluminação e letreiros luminosos. Em várias cidades chinesas, as luzes dos semáforos já utilizam LED.

Empresas tais como Fangda Group estão começando a desenvolver LEDs de Nítrido de Gálio (GaN) para aplicações de fontes de luz branca, e fontes de ultravioleta para discos compactos (CDs) e DVDs. Já existem diversas plantas produzindo LED na China.

O problema com a manufatura de LED na China é a total ausência de fornecedores e assistência para os bens de capital (equipamentos) e a falta de propriedade intelectual neste setor. No momento, eles se utilizam do baixo custo da sua manufatura para ganhar acesso ao mercado de LED. Em torno de 10% dos LEDs são fabricados na China enquanto o restante é fornecido por Taiwan, Japão e EUA. Portanto, as empresas fazem crescer a parte óptica através de terceirização ou então importam componentes ativos de fornecedores.

Em 2005, havia em torno de 6 empresas fabricando LED comercial na China. A maioria dos chips é importado como wafer completos de Taiwan e da Coreia do Sul. O encapsulamento do LED é feito usando uma combinação de máquinas semi-automáticas e trabalho-intensivo, enquanto algumas linhas de produção utilizam máquinas locais.

Recentemente, algumas empresas e universidades fizeram a deposição por vapor químico metálico-orgânico (MOCVD) e equipamento raio epitaxial molecular

(MBE) que são os processos utilizados na wafer. O problema é que existe uma barreira de entrada enorme, representada pelos custos dos equipamentos MOVC e BEM (US\$ 1.98 milhão), além dos custos de manutenção e conservação. As universidades e as empresas estão trabalhando para encontrar uma solução para este problema.

O objetivo de grande parte das empresas chinesas é ser um fornecedor verticalmente integrado, ou seja, ter todo o fornecimento in-house para minimizar os custos. Por outro lado, os custos com o investimento em bens de capital limitam o desenvolvimento da indústria fotônica na China.

Para efeitos de comparação, as firmas chinesas estão 5 anos defasados em relação às firmas do Reino Unido, principalmente em relação aos componentes ativos. No entanto, o governo chinês vem investindo recursos maciços e as empresas chinesas talvez consigam se equiparar rapidamente.

6.4.2 Componentes para telecom

Tradicionalmente, os benefícios oferecidos pelo modelo de negócio chinês, encorajaram a concentração na manufatura de componentes passivos. A fabricação desses componentes é intensiva em trabalho e de baixo valor agregado. O que as empresas chinesas estão fazendo agora é mudar para a manufatura de componentes ativos, pois estes possuem maior valor tecnológico. Para tanto, eles precisam melhorar a qualidade dos produtos para ganhar acesso aos mercados internacionais.

Uma das características encontradas nas empresas é que os engenheiros seniores possuem experiência de trabalho em grandes empresas fabricantes de

equipamentos nos EUA. Observa-se nesse caso um comprometimento com a manufatura de qualidade e um comportamento pró-ativo. O desenvolvimento de produtos nessas empresas é um processo estabelecido, feito *in-house*. Em alguns casos há uma equipe de P&D com base nos EUA, responsável pelo marketing técnico, cujo objetivo é ficar próximo dos clientes para detectar tendências. Desde que o time chinês ganhou competência em pesquisa, esta passou a ser feita totalmente na China.

6.4.2.1 Componentes para aplicações de curta-distância

O mercado para estes produtos é custo competitivo, a manufatura já é concentrada em regiões de baixo custo. As especificações são padronizadas e é possível comprar o projeto para a maioria dos produtos maduros. Os componentes para estes produtos, incluindo chip optoeletrônicos, é fácil de encontrar.

Os maiores fabricantes de componentes, por exemplo, a Photon e a WTD, obtiveram êxito na produção em massa de transreceptores ópticos. O volume de produção dessas empresas é da ordem de 2-3 milhões de transreceptores por ano. A produção inclui a manufatura de subconjuntos ópticos que são montados em placas de circuito impresso com controle eletrônico.

A região de Shenzhen possui diversas empresas atuando na produção de componentes optoeletrônicos de curto alcance. Uma forma de entrada neste mercado é através de subcontrato de manufatura de projeto já existentes. No caso de multinacionais fabricantes de bens eletrônicos de consumo, elas costumam manter o controle do projeto e desenvolver empresas subcontratadas com as fabricantes chinesas e, assim, o fluxo da propriedade intelectual vai passando para a China.

6.4.2.2 Componentes para aplicações de longa distância

Esses produtos são aplicados em redes de alta capacidade. Os produtos de alto desempenho são desenvolvidos com especificações customizadas e o volume de produção é menor do que o de curta-distância e, por isso, a produção ainda é limitada na China.

Os fornecedores de produtos de longa distância costumam ser empresas multinacionais ou uma instituição que pertencia ao governo e que agora produz. As empresas multinacionais que produzem esses componentes se estabeleceram na China por motivos de redução de custo. A estratégia de produção minimiza o risco ao replicar uma linha de produção já existente numa planta chinesa. O projeto do produto e o chip semicondutor não são produzidos na China e, portanto, a propriedade intelectual e as características críticas do projeto ficam protegidas.

As empresas chinesas, por sua vez, dependem dos semicondutores importados, o que é uma grande desvantagem. Os produtos de longa-distância mais modernos migraram do 2,5Gb/s para o 10Gb/s o que requer componentes semicondutores específicos e que ainda não estão facilmente disponíveis mercado.

Uma das principais características dessas empresas é que elas possuem uma origem ligada à academia e são financiadas por programas públicos que visam criar competência industrial e tecnológica no setor de fotônica. Por outro lado, elas padecem com a falta de experiência em manufatura e com as boas práticas gerenciais, tais como gerenciamento de recursos humanos, controle de inventário e contabilidade de custos. Por exemplo, metade dos engenheiros de P&D da Accelink é financiada pelo governo.

A China vem procurando criar uma cadeia de fornecimento da indústria fotônica própria associada à busca de padrões de operação classe mundial, e beneficiando-se do baixo custo da matéria-prima e do trabalho.

CAPÍTULO 7

FOTÔNICA VERDE-AMARELA

7.1 Visão geral

A análise da estrutura da indústria fotônica brasileira foi feita a partir do estudo das experiências de duas cidades: Campinas e São Carlos. Ambas as cidades, localizadas no interior do Estado de São Paulo, tiveram um surto de crescimento econômico no final do século XIX em virtude da expansão da economia cafeeira. Hoje em dia elas são importantes cidades universitárias e sede de alguns dos mais importantes centros de pesquisa do país. Além disso, Campinas e São Carlos são pólos regionais de desenvolvimento econômico, sede de empresas multinacionais e nacionais de alta tecnologia, sendo algumas delas utilizadas como amostra nesta pesquisa.

Ambas as cidades contam com um Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica (CEPOF), localizados no Instituto de Física da Unicamp e no Instituto de Física da USP de São Carlos. O objetivo do CEPOF é concentrar esforços na produção científica, tecnológica, educacional e industrial em Óptica e Fotônica. Recentemente, essas cidades foram incluídas pelo governo do Estado para participar do Sistema Paulista de Parques Tecnológicos.

A pesquisa concentrou-se no estudo de caso de nove empresas que vem utilizando fotônica para desenvolver produtos, sendo cinco delas no segmento de comunicações ópticas (fibra óptica, multi-divisores de comprimento de onda e componentes para rede) e quatro em biofotônica (equipamentos para cirurgia a laser, equipamentos de diagnóstico, sistemas a LED e a laser para tratamento odontológico).

Embora o nível de desenvolvimento tecnológico das duas cidades possa de uma maneira geral ser comparado, veremos que cada cidade adotou diferentes estratégias para o desenvolvimento da indústria fotônica local. Ao analisarmos as diferenças e similaridades do desenvolvimento da fotônica no contexto de Campinas e São Carlos, queremos entender quais foram os padrões de desenvolvimento e em qual estrutura institucional ela aconteceu.

7.2 A experiência de Campinas

7.2.1 Antecedentes

A história da comunicação no Brasil é caracterizada por diversas idiossincrasias presentes tanto no desenvolvimento industrial quanto tecnológico para o país. Até meados da década de cinquenta, o assunto não havia entrado na agenda de

projetos prioritários do país. Por exemplo, durante a elaboração do Plano SALTE realizado no Governo Dutra, em 1948, saúde, alimentação, transporte e energia foram tomados como setores estratégicos. Naquela época, os serviços de telefonia estavam sob a responsabilidade de concessionários estrangeiros tais como American Foreign Power Company (Amforp), Light&Power Company (Light) e International Telephone &Telegraph (ITT) e, por essa razão, não havia interesse do estado em fazer investimentos nesse setor (OLIVEIRA, 2005).

Uma década mais tarde, o Plano de Metas de Juscelino Kubitschek, previa 31 objetivos a serem alcançados em diversos setores da economia, como energia, transporte, alimentação e indústria de base. Novamente, percebe-se que não há nenhuma menção à comunicação, muito embora o rápido crescimento industrial do país naquele momento tivesse aumentado a demanda por serviços telefônicos.

O serviço existente, por sua vez, era precário e desconectado entre si, pois as ligações locais estavam sob a responsabilidade dos municípios, enquanto as ligações interestaduais eram de responsabilidade dos estados envolvidos e do governo federal. Além disso, havia a questão da incompatibilidade do sistema entre uma região e outra, que por diferenças técnicas e falta de padronização dos equipamentos instalados pela Companhia Telefônica Brasileira não conseguiam se comunicar uns com os outros. Além disso, não havia uma legislação sobre comunicações no país, que seguiu a canadense até 1954.

Percebendo isso, JK criou o Grupo Executivo da Indústria Eletro-Eletrônica (GIEE), que a princípio se dedicava aos problemas de geração de energia elétrica e depois passou a tratar também de telefonia. Uma das primeiras soluções para acabar com a falta de padronização foi fazer com que as empresas aqui existentes (Ericsson, Standard Electric, Siemens, Phillips e Plessey-ATE) fabricassem equipamentos telefônicos (BASTOS, 1995).

Esta situação perdurou até 1962, quando foi elaborado o Código Brasileiro de Telecomunicações. Assim que o código foi aprovado em 27 de agosto de 1962 sob a forma da Lei 4.712, foi organizado também o Conselho Nacional de Telecomunicações (CONTEL). Imediatamente após a sua criação, o CONTEL elaborou o primeiro Plano Nacional de Telecomunicações, que organizava aos serviços de telecomunicações a partir de três redes:

- A básica, que seria responsável pelas ligações entre as principais cidades do país
- A criação de uma empresa, que foi chamada de Empresa Brasileira de Telecomunicações, a Embratel, que centralizaria os serviços
- A rede complementar e a rede extra.

Além de determinar os marcos regulatórios, que durante trinta e seis anos regeu o setor, a lei estipulava a criação de dois órgãos e de um fundo, que de forma coordenada seriam os responsáveis:

- Pela formulação, implementação e gerenciamento da política de telecomunicações, estando sob a responsabilidade do Ministério das Comunicações (MiniCom), criado em 1967
- Por fornecer os serviços de longa-distância (nacional e internacional). A Empresa Brasileira de Telecomunicações (Embratel) foi criada em 1965 para cumprir esta finalidade. Em 1972 foi formado o sistema Telebras em conjunto com outras vinte nove operadoras que prestavam serviços locais
- Pela formação de um fundo financeiro constituído a partir da cobrança de uma taxa de 30% que incidiria sobre os serviços telefônicos.

Com o arcabouço institucional estabelecido e a certeza que o domínio das telecomunicações era sinônimo de integração e soberania nacional, o governo estabeleceu a partir do Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) a base fundamental para o crescimento do setor.

A implementação do plano se deu num segundo momento, após o choque do petróleo em 1973 através do Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), a partir de incentivos à substituição de importações nos chamado setores do complexo eletrônico (informática, componentes eletrônicos e equipamentos de telecomunicações).

7.3 O desenvolvimento das comunicações ópticas em Campinas

Em conjunto com os investimentos em serviços de telecomunicações, o governo decidiu promover uma indústria de equipamentos. Os serviços de comunicações por serem considerados estratégicos ficariam sob a responsabilidade de uma empresa estatal, a Telebras. Para o desenvolvimento dos equipamentos, o governo contou com a participação da Unicamp, que seria responsável pela formação dos recursos humanos e pelas pesquisas na área. Além disso, seria criado um centro de pesquisa e desenvolvimento em telecomunicações, o CPqD, cuja função era fazer o desenvolvimento de produtos e transferi-lo às empresas.

Dessa forma, o desenvolvimento das telecomunicações no Brasil começou a tomar os contornos de um sistema nacional e setorial de inovação. Os quatro elementos mais importantes para que isso ocorresse foram de acordo com Neves (2002):

- Investimentos na formação de recursos humanos qualificados e na pesquisa acadêmica
- Valorização da ciência e tecnologia através da criação de um centro de pesquisa e desenvolvimento aplicado às telecomunicações (CPqD),

- Associação ao setor privado nacional, encarregado de incorporar inovações tecnológicas aos produtos e processos e suprir o mercado
- Uso sistemático do poder de compra do Estado, via Telebras

Figura 7.1 Esquema de desenvolvimento do setor de telecomunicações

Fonte: Elaborado pela autora

7.3.1 O papel da Universidade

A Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, foi criada pela lei estadual no. 7.655, de 28 de dezembro de 1962. A sua implementação efetiva, porém só ocorreu após a publicação do decreto no. 45.220 de 9 de setembro de 1965. A instituição nasceu do propósito do governo do Estado de São Paulo de instalar no

interior uma nova universidade que fosse uma grande escola de ensino e superior e, ao mesmo tempo, um centro de excelência em pesquisas.

Em 1971, um grupo de cientistas como Sérgio Porto, Rogério Cerqueira Leite, Nelson Parada, Paulo Sakanaca e José Elis Ripper vieram dos Estados Unidos para serem professores do então recém-criado Instituto de Física Gleb Wataghin da Unicamp. Com o apoio das agências de fomento como FAPESP, CNPq e FINEP e do BNDE o grupo passou a desenvolver pesquisas na área de comunicação óptica, que era um campo de pesquisa muito recente (Correio Popular; 1976).

Quando se criou a Telebras, em 1972, esta pretendia fazer pesquisa na mesma área, por isso surgiu a idéia de fazer um convênio com a Unicamp, que destinava mais de um 1 milhão de dólares para formar recursos humanos especializados em lasers, detectores e fibras ópticas. Portanto, a função da IFGW era fazer pesquisa experimental nesse campo, de tal forma a acompanhar o desenvolvimento científico e tecnológico realizados em outros países, ao mesmo tempo em que preparava físicos, engenheiros e técnicos para o mercado que eles esperavam que fosse surgir com a segunda e etapa do projeto.

7.3.2 Um Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

O segundo pilar do desenvolvimento tecnológico estipulava a criação de um centro de pesquisa e desenvolvimento responsável pela capacitação do país em tecnologias aplicada às telecomunicações. A missão do centro era utilizar os recursos humanos e o conhecimento gerado nas universidades para criar soluções tecnológicas que, posteriormente, seriam transferidos ao setor produtivo (Jornal do Comércio e da Indústria de Campinas, 1977)

Foi, portanto, com este propósito que a Telebras criou o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). Inaugurado em 1978 na cidade de Campinas, os sofisticados laboratórios do CPqD ocupavam aproximadamente 60.000 m² distribuídos numa imensa área verde de 300.000 m²

No começo da sua operação, o CPqD funcionava principalmente como um centro voltado para o desenvolvimento de produtos protótipos (componentes e equipamentos) cujo objetivo era claramente substituir a demanda dos produtos importados e a dependência da tecnologia estrangeira. Logo de início, investiu-se em projetos de produtos em quatro segmentos de fundamental importância em telecomunicações: CPAs, (Central de Programa Armazenado) fibras ópticas, redes externas e satélite.

7.3.3 O modelo de transferência tecnológica

O CPqD desenvolvia um protótipo e fazia os testes em campo, que depois voltava para finalização do produto final. A participação da empresa ocorria de forma eventual e apenas com o fornecimento dos recursos humanos. Todas as despesas, inclusive com salários do pessoal alocado da empresa para o CPqD eram arcados inteiramente pela Telebras.

Em teoria, os contratos de transferência tecnológica abrangiam o período de cinco anos e previam a assistência para absorção da tecnologia, assim como consultoria para melhoria do produto. Os contratos estipulavam ainda a cobrança de royalties que variavam entre 1% a 5% do preço líquido da venda do produto final. Embora esta fosse uma cláusula do contrato entre o CPqD e a indústria, a cobrança e o acompanhamento do mesmo ocorriam de modo esporádico.

Num segundo período que teve início em 1985, a Telebras passou a elaborar o Plano Plurianual de P&D cujo um dos principais objetivos era estabelecer quais seriam as fontes de recursos que iriam financiar a P&D.

A evolução tecnológica dos produtos era construída a partir de blocos básicos de hardware e software, os quais possuíam uma especificação padrão em termos de concepção do sistema, do empacotamento elétrico e mecânico e dos circuitos. O CPqD ficava responsável pelo desenvolvimento tecnológico e do protótipo do produto, enquanto a indústria era responsável pelo processo de manufatura e distribuição.

A partir desse momento, a indústria passa a arcar com as despesas referentes aos recursos humanos alocados no CPqD e com os royalties que se tornaram pré-fixados e que estavam atrelados ao nível de participação do processo de desenvolvimento.

O período seguinte, que teve início em 1987, tinha como objetivo limitar as atividades do CPqD à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento de protótipos testados, consequência direta do que havia sido estabelecido na etapa anterior.

Em suma, a partir de 1985, o objetivo do CPqD passava a ser o desenvolvimento de protótipos tecnológicos, enquanto a indústria ficava responsável pela manufatura e comercialização. Essa estratégia, porém, resultou numa necessidade maior da interface entre a indústria e o CPqD e da diminuição dos níveis de detalhamento do produto. Além disso, houve aumento dos custos de desenvolvimento e da necessidade de capacitação da indústria.

Figura 7.2 O Plano de transferência tecnológica

Fonte: elaborado pela autora

7.3.4 A indústria de equipamentos em telecomunicações

O terceiro pilar de sustentação da política de capacitação tecnológica em telecomunicações era a construção de uma indústria de equipamentos. Desde o início, a Telebras estabeleceu o sistema de concorrência pública para selecionar as empresas que iriam receber a tecnologia desenvolvida no CPqD.

Normalmente eram selecionadas de duas a quatro empresas com capacidade similar. Além de garantir o mercado, a Telebras impedia a entrada de tecnologias concorrentes que pudessem competir com a tecnologia desenvolvida no Brasil.

Uma das primeiras experiências de transferência tecnológica foi o multiplex de código de pulso (MCPs) e do elo (equipamento óptico), que passou a ser fabricado pela Elebra, NEC e GTE (Multitel).

7.4 O caso da fibra óptica

As pesquisas com fibras ópticas no Brasil tiveram início em 1975 na Unicamp. O grupo inicial, coordenado pelo professor Sergio Porto, era composto por seis pesquisadores: quatro americanos, um hindu e um brasileiro. Enquanto a Unicamp era responsável pela pesquisa básica, o CPqD era responsável pelas aplicações

Como nos outros casos, o Ministério das Comunicações (MiniCom) abriu concorrência para selecionar as empresas que seriam responsáveis pela fabricação da fibra óptica. Algumas empresas se juntaram para formar um consórcio e apresentaram seus projetos. Um deles era a Opticabo, formado pela Bracel e a Imbramac. O outro era formado pela Xtal, Condugel e Marsicano.

No entanto, durante o processo, a Opticabo resolveu se associar à Pirelli, multinacional italiana que possuía know-how na fabricação tanto de cabos como de fibras. Sob a alegação de que a entrada de uma empresa estrangeira iria arruinar os esforços de desenvolvimento tecnológico nacional, a análise do projeto foi interrompida. O então diretor da Bracel, Jorge Salomão (CEO e diretor de tecnologia da Padtec), argumentava que a Opticabo possuía 55% das ações e, que, portanto, o consórcio não estava nas mãos dos estrangeiros. O objetivo da parceria era usufruir da experiência da Pirelli em fibras ópticas para competir no mercado internacional. (Revista Nacional de Telecomunicações, 1983)

Quando souberam que havia um consórcio internacional, um grupo de pesquisadores da Unicamp se uniu e também apresentou um projeto. Eles formaram a Codecom (Companhia de Desenvolvimento de Comunicações) que viria ser um braço da Codetec (Companhia de Desenvolvimento da Tecnologia). Porém, a empresa precisava ainda ser credenciada pela Telebras.

A Codecom e a Xtal passaram a pressionar o MiniCom para não aceitar a proposta da Opticabo com a Pirelli. Enquanto a Opticabo pressionava para que a Codecom não fosse credenciada, pois não haveria mercado para três empresas.

Diante do impasse, o governo optou por criar um monopólio para a fabricação das fibras ópticas e o consórcio escolhido foi o liderado pela empresa Xtal. A sede da Xtal ficava localizada no Rio de Janeiro e era de propriedade do General Burnier e já tinha experiência em produzir fibra de telemetria. Embora a Xtal tenha sido escolhida, era sabido que a empresa passava por dificuldades financeiras e também havia tido problema com a qualidade das fibras produzidas para ser usada em Itaipu.

No momento da assinatura do contrato entre Telebras e a Xtal, foi anunciado também que a Xtal havia sido adquirida pelo Grupo ABC (hoje Algar). O Grupo ABC era um operador de serviços telefônicos em 58 municípios no Sul de Minas. O contrato inicial entre a Telebras e a partir de então ABC-Xtal previa produção de 2 mil km de fibra no primeiro ano, sendo que a entrega do primeiro lote de fibra deveria ocorrer após sete meses da assinatura do contrato. Para tanto, o monopólio ficava garantido através da reserva de mercado por 5 anos, finalizando em 1989 (Jornal da tarde; 1983)

A fábrica da ABC-Xtal foi construída estrategicamente ao lado do CPqD e era constituída por um laboratório de 1400m² distribuídos numa área de 20.000 m²

Quando a fábrica foi inaugurada, ela tinha 30 funcionários e a linha de produção era automatizada e controlada por computadores e sensores a laser.

Com o fim da reserva de mercado ocorrendo um pouco antes da liberalização econômica realizada no governo Collor, empresas como Alcatel, Furukawa, Pirelli e Tectel passaram a fabricar fibras ópticas no Brasil.

Em 1999, o Grupo Algar vendeu a ABC-Xtal para uma empresa americana chamada Fibercore. Com a crise mundial que atingiu todo o setor no início do novo milênio, as encomendas cessaram e a empresa acabou falindo. Hoje, o prédio abandonado da ABC-Xtal, ao lado do CPqD, é o símbolo dos acertos – a necessidade de articulação das instituições e organizações, como a Telebras, a Unicamp e o CPqD - e os erros – CPqD fazendo desenvolvimento de produto enquanto a empresa não participava do processo e se beneficiava do mercado protegido, da política de desenvolvimento tecnológico e industrial.

7.5 O impacto da desregulamentação dos serviços de telecom sobre o desenvolvimento tecnológico

O mercado brasileiro de produtos e serviços de telecom não é muito diferente dos demais países. Grande parte dos serviços está concentrada nas mãos de um pequeno número de operadoras. Por exemplo, na telefonia fixa, quatro empresas (Brasil Telecom, Embratel, Telefônica e Telemar) são responsáveis por mais de 80% das encomendas por produtos de telecom.

A nova organização do setor fez com que os fornecedores de produtos tivessem que se adequar. Além disso, uma outra característica desse setor, é a natureza cíclica da demanda, expandindo-se e retraindo-se. Fornecedores que possuem

produtos diversificados, como as grandes multinacionais, conseguem se adaptar com menores dificuldades.

Um outro problema para os produtores brasileiros são as empresas chinesas, Huawei, UT Starcom e ZTE, que oferecem preços muito baixos e com longos prazos de faturamento. As empresas de nichos comprometidas com a fabricação local que conseguiram resistir à abertura de mercado não possuem a mesma margem de manobra. Entre as mais de cem empresas existentes na década de oitenta, pouco acima de vinte resistiram à virada do século (CASSIOLATO, SZAPIRO, LASTRES, 2002). Para isso, tiveram que se reestruturar e estabelecer novas estratégias de negócio.

Na década de oitenta, o índice de nacionalização dos produtos brasileiros era superior a 90%. Quando o país passou a restringir a participação do capital nacional a 50% de participação do capital estrangeiro, as empresas brasileiras deixaram o mercado, por não terem como competir e atender aos clientes com a rapidez e competitividade dos demais fornecedores, e, por isso, acabaram falindo ou foram adquiridas por fornecedores globais. As empresas multinacionais, por sua vez, entraram no mercado brasileiro com uma estrutura que contava com fornecedores globais, custos reduzidos, volume de produção e capital para investimento.

7.6 A experiência de São Carlos

7.6.1 Antecedentes

O desenvolvimento da indústria fotônica de São Carlos também é o resultado dos investimentos públicos nas universidades e nos centros de pesquisa. Esses investimentos não apenas resultaram na formação de recursos humanos e pesquisas inovadoras, mas também serviram para o surgimento de negócios empreendedores na cidade.

Porém, ao contrário da experiência de Campinas que é um exemplo de política industrial planejada pelo Estado, a origem da indústria em São Carlos foi uma consequência indireta dos investimentos públicos em C&T.

O problema surgiu quando um grupo de pesquisadores, formado pelos professores Milton Ferreira, Jarbas Caiado, Sergio Zílio, Máximo Yu e Vanderlei Bagnato, tentavam fazer experimentos de física atômica nos laboratórios do Instituto de Física da USP de São Carlos. Para realizar a pesquisa, eles precisavam de alguns componentes ópticos básicos, tais como lentes e espelhos.

No início dos anos 80, esses componentes precisavam ser importados, o que demandava um tremendo esforço burocrático até a aprovação do processo, sem contar o prazo de entrega. No total eram meses de espera até que os componentes chegassem e a pesquisa propriamente dita pudesse ser iniciada.

A solução para este problema foi criar uma oficina para fabricar e montar componentes ópticos. A universidade contratou e treinou técnicos na França e na Alemanha, além de comprar equipamentos. Por volta de 1985, a oficina já estava em perfeito funcionamento e eles passaram a fornecer componentes tanto para outros grupos de pesquisa como para algumas empresas. Esse tipo de resolução de problemas em condição de escassez é uma fonte importante de inovação para países em desenvolvimento conforme foi demonstrado por Srinivas e Sutz, 2008.

Figura 7.3 Sistema tecnológico de inovação em São Carlos

Fonte: Elaborado pela autora

Um outro resultado da pesquisa foi o desenvolvimento de componentes para produzir laser de hélio-neônio (He-Ne). Entusiasmados com a tecnologia, eles acreditaram que aquele seria um bom produto para ser comercializado. Agora só precisavam de uma empresa para produzi-lo. E assim nasceu a primeira empresa de fotônica em São Carlos, a Opto Eletrônica que foi formada pelos professores Milton e Jarbas e mais alguns técnicos da oficina de óptica.

No final de 1986, a empresa estava constituída e havia um produto de alta tecnologia para ser desenvolvido, mais ainda faltava capital para comprar os equipamentos para dar início a produção. Por fim, o problema foi solucionado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), ligada ao Ministério da Ciência e da Tecnologia, que emprestou US\$ 1 milhão para a Opto comprar uma evaporadora. Apesar de todos os esforços e da competência técnica do produto, a Opto logo de início se deparou com um problema clássico em empresas de alta

tecnologia, que no caso era a inexistência de demanda para componentes de lasers de hélio-neônio no Brasil.

Em 1990, o Grupo Arbi se juntou a Opto não apenas fornecendo capital, mas também o gerenciamento da empresa e dando orientações em relação às questões de mercado. A partir de então, ao invés de produzir componentes de lasers de He-Ne, a Opto começou a focar o mercado industrial brasileiro, criando soluções para os seus problemas, como os sistemas de relógio de laser para controle de pneu e laser de multi-posição. Estes produtos geraram o capital que a empresa necessitava para sobreviver, além de abrir novas oportunidades de mercado.

Junto com a divisão industrial foi criada a divisão médica, cujo objetivo era ser um canal de distribuição para equipamentos de lasers utilizados em cirurgias oftalmológicas. No entanto, o contato com produtos médicos, fornecedores e clientes lhes deu alguma perícia para desenvolver os próprios equipamentos. Em seguida, surgiu a colaboração com faculdade de Medicina da Universidade Federal de São Paulo, que ajudou a Opto a desenvolver equipamentos oftalmológicos a um preço mais acessível.

Hoje, a Opto é a única companhia brasileira que produz equipamentos para cirurgias oftalmológicas a laser, os demais fornecedores são empresas multinacionais, e esses equipamentos têm sido exportados para países como EUA, Japão e Alemanha. Os investimentos de Opto em inovação e certificação de produto refletem seu desejo de tornar-se uma companhia global. Seus produtos são certificados pela União Européia (MDD 93/42) e a Opto Global localizada na Austrália é um centro de distribuição e apoio para os clientes mundial.

Com 320 empregados, 43 com títulos de mestre e doutor, e US\$ 25 milhões de receita, a Opto abriu o seu capital para atrair investidores e aumentar os investimentos em desenvolvimento de novos produtos e novos mercados.

Participações em projetos é uma outra estratégia seguida pela empresa. Em 2004, a Opto ganhou uma licitação do Instituto Nacional para Pesquisa de Espaço (INPE) para desenvolver e produzir a Câmera de MUX para o Satélite CBERS-3 produzido em parceria com a China. Ainda assim, a Opto enfrenta muitos desafios. Recentemente, o governo americano proibiu a venda de certos componentes a Opto alegando motivos de segurança nacional.

7.7 Uma história de sucesso estimulando novas empresas

A história de êxito da Opto tornou-se uma inspiração: Cinco outras firmas já foram criadas a partir da Opto (DMC, Kondortec, Eyetec, Artec e Optica online), enquanto mais quatro empresas tiveram sua origem a partir do Grupo de Óptica (MM Optics, Calmed, CEMAPO e APRAMED). Estas empresas desenvolvem equipamentos para cirurgia e tratamento de olhos, equipamentos para terapia fotodinâmica (PDT), equipamentos a Lasers e LEDS utilizados em odontologia e outras aplicações médicas.

O que pode explicar a entrada dessas empresas no mercado? No caso de firmas produzindo equipamentos odontológicos, o surgimento das empresas está atrelado, novamente, aos problemas de pesquisa. Em meados da década de 90, o professor Carlos de Paula Eduardo d Escola de Odontologia da USP São Paulo havia começado a receber os resultados da sua pesquisa com aplicações de laser de baixa potência para bio-estimulação.

Durante sua pesquisa, ele contatou outro professor, o físico Vanderlei Bagnato para ajudá-lo a entender as interações da luz do laser com o tecido. Esse tipo de colaboração multidisciplinar é particularmente importante para os mercados de

equipamentos médicos de laser (GRUPP, 2000). Essa colaboração de pesquisa resultou na criação de um equipamento, cuja tecnologia mais tarde foi transferida à MM Optics.

Figura 7.4 Padrão de entrada de empresas em São Carlos

Fonte: elaborado pela autora

A MM Optics, por sua vez, também vinha de uma experiência de falta de êxito. A empresa foi criada para produzir microscópios que o governo brasileiro havia comprado da Carl Zeiss em Jena. O problema nesse caso era que mesmo dominando a tecnologia, eles não tinham como produzir em escala para competir com produtos chineses e nem possuíam a tradição da marca Carl Zeiss.

Quando a MM Optics percebeu que a empresa não sobreviveria com a linha de microscópio, eles investiram na produção dos equipamentos laser terapia que eles haviam projetado durante a colaboração com os pesquisadores da universidade. A demanda para os produtos foi surgindo com a atualização profissional. Os dentistas que faziam pesquisa em física aplicada de laser ensinavam aos demais dentistas sobre as propriedades terapêutica do laser.

As empresas como DMC e Kondortec têm uma história semelhante, O resultado é que a competição entre estas empresas é bastante acirrada, o que tem estimulado aos investimentos em novas tecnologias e na diferenciação de produtos.

7.8 Fonte de conhecimento tecnológico em fotônica e inovação em produtos e processos

O crescimento dessas empresas é explicado pela eficiente utilização da tecnologia para criar produtos inovadores e com preços acessíveis ao consumidor brasileiro, ao mesmo tempo em que vai ganhando experiência para competir em mercados internacionais. Além do mais, as empresas brasileiras podem oferecer treinamento e assistência aos clientes quase imediatamente. As empresas estrangeiras que só distribuem equipamentos aqui encontram mais dificuldades para resolver esse problema.

A convivência das empresas com o centro de pesquisa em óptica e fotônica tem provido a competência para operacionalizar a estratégia de desenvolvimento de produtos inovadores.

A estratégia adotada é alinhar desenvolvimento de produtos às metas do negócio: produzir e comercializar instrumentos fotônico para aplicações diversas tais como médico-odontológica, energia, agricultura, segurança, entre outros, sempre atuando na fronteira tecnológica.

O conhecimento é obtido através de ações de seus profissionais, que se mantêm atualizados ao estado da arte nos campos da óptica e das suas mais diversas aplicações. A cooperação e a participação ativa com grupos de pesquisa científica e aplicada; congressos, cursos e programas de formação no Brasil e exterior; são formas de aquisição e atualização tecnológica.

Além da atualização sobre as tecnologias para a solução de problemas de desenvolvimento dos produtos, o contato direto e a participação em eventos promovidos por associações de classe e por profissionais de empresas permitem

avaliar demandas potenciais. Além disso, este intercâmbio serve também como fonte de idéias para a geração de novos produtos.

7.8.1 O desenvolvimento de produtos fotônicos

Desenvolver produtos tecnológicos é uma atividade complexa e arriscada, mas são estas características, aliadas à competência técnica, gerencial e comercial, que vem garantindo o sucesso da indústria fotônica em São Carlos. De uma maneira geral, podemos dividir o processo de desenvolvimento de produtos nas empresas estudadas em quatro etapas: assimilação, incorporação, produção e comercialização.

Figura 7.5 Desenvolvimento de produtos como fator de crescimento

Fonte: Elaborado pela autora

7.8.1.1 *Assimilação*

A fase de assimilação é aquela na qual a empresa realiza o monitoramento, o acesso e a captura de novas tecnologias. A rede de relacionamentos ameniza esta dificuldade, através de parcerias, que colocam as empresas em contato com as instituições que fazem pesquisa, sendo sua responsabilidade absorver e incorporar a tecnologia aos produtos.

Neste estágio, a empresa precisa assegurar que os objetivos de P&D almejados estejam alinhados aos seus demais objetivos de longo prazo. Em virtude disto, a identificação da idéia e da necessidade tecnológica precisam ser muito bem avaliadas. Esta avaliação é feita a partir da participação de feiras e congressos, quando ela está bem próxima do seu público alvo, assim como de seus concorrentes. A consulta às publicações técnico-científicas internacionais é uma outra fonte importante de acesso às informações.

Vários requisitos (funcionais, técnicos e comerciais) são especificados durante o desenvolvimento conceitual e do estudo experimental do produto. Nesta fase são elaborados alguns *mock ups*, físicos ou simulados, que representem as funções parciais e globais para avaliação da viabilidade técnica.

7.8.1.2 *Incorporação*

A segunda fase é a de incorporação e compreende a transferência do conhecimento resultante da pesquisa para o desenvolvimento, quando a tecnologia é refinada para um ponto onde ela pode ser reproduzida, testada e documentada. Esta é a etapa em que o projeto do produto é feito.

Este, por sua vez, é subdividido em projeto do design, projeto óptico, projeto eletrônico, projeto mecânico e projeto da manufatura. Durante este ciclo são confeccionados alguns produtos-conceito que incorporam todos os materiais, adquiridos e produzidos internamente ou nas empresas subcontratadas, em conformidade com as especificações estabelecidas nesta fase.

Os aspectos de segurança, que visam garantir o controle dos níveis de potência e das características críticas dos sinais emitidos sob diferentes condições de funcionamento e operação, são itens exaustivamente avaliados.

Além dos testes e ensaios das características técnicas do produto, típicos de produtos optoeletrônicos, seguem-se uma longa bateria de ensaios de validação junto aos clientes e usuários. São escolhidos profissionais com conhecimento das tecnologias e domínio das técnicas de tratamentos. Os resultados obtidos nestes ensaios são para validar o produto para uso clínico e indicar os pontos de melhoria ainda necessários. Ainda que portem as características resultantes dos estudos de manufatura e de design, a produção experimental não utiliza, necessariamente, os processos finais.

É importante observar que os aspectos de segurança de produto e de eficácia de tratamento são validados durante os testes realizados ainda na fase de incorporação. Durante esta etapa são estabelecidas as principais características ópticas (comprimento de onda, potência e dosimetria) que o produto final deverá possuir.

No caso de equipamentos médicos, os requisitos de homologação e de segurança aplicáveis são estabelecidos nas práticas e normas emitidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). O processo de homologação é longo e composto de várias fases. Os requisitos, assim como as recomendações oriundas das análises efetuadas pelas autoridades, influenciam o projeto do produto.

Portanto, o processo de homologação é iniciado em paralelo ao processo de desenvolvimento do produto.

7.9.1.3 Produção

A terceira fase é o da produção, quando é preciso encontrar as formas de desenvolver e refinar as ferramentas de produção. No início, as empresas costumam produzir a maior parte dos componentes mecânicos, montando os cartões eletrônicos e fazendo a integração e o teste dos produtos. Com a diversificação da carteira de produtos e a ampliação de seu mercado, a manufatura passa a ser menos verticalizada, mantendo-se, por seu caráter estratégico, as atividades de manufatura e montagem dos componentes ópticos.

As empresas procuram driblar a escassez dos recursos para investir em bens de capital (máquinas e equipamentos) aproveitando a habilidade e criatividade de seus engenheiros e técnicos, que adaptam equipamentos tradicionais para realizar o processo. Estas inovações incrementais acabam por dificultar a imitação dos produtos. Os componentes plásticos, as montagens de placas eletrônicas e componentes mecânicos específicos, não estratégicos, podem ser executados em empresas subcontratadas ou por fornecedores. A montagem dos módulos, a integração final dos produtos e os testes são realizados internamente.

7.8.1.4 Comercialização

Os equipamentos do lote piloto são dirigidos aos ensaios e validações por clientes, apresentação interna e demonstrações em congressos, feiras e outros eventos. Estas demonstrações já são parte do processo de divulgação para o lançamento do produto. O lançamento oficial é tratado de forma organizada, integrado à

campanha de marketing e divulgação em mídias específicas, entrevistas e eventos com presença dos profissionais da área.

O acompanhamento técnico é uma ação de pós-venda, que visa seguir o desempenho do produto ao longo do seu ciclo de vida. Essa atividade permite levantar pontos positivos e possíveis fragilidades apresentadas pelos produtos, através de verificações realizadas e reportadas pela assistência técnica e pelas avaliações e auditorias efetuadas diretamente pela empresa junto aos clientes e usuários.

O caráter inovador do produto permite à empresa estabelecer um laço com o seu cliente, pois este precisa ser “educado” para utilizar o equipamento. Esta aproximação faz com que a empresa treine o profissional, de forma que este extraia os melhores resultados do produto. A observação do comportamento dos profissionais usuários e o conhecimento do ambiente operacional, durante os treinamentos, está se tornando não apenas uma importante fonte de fidelização do cliente, mas, mais importante, um processo de inovação do tipo usuário-produtor a partir do aprendizado que ocorre pela interação entre os agentes.

7.9 Análise e implicações

Como pudemos constatar, as experiências de Campinas e São Carlos são respostas diferentes da utilização do sistema de inovação brasileiro em busca da capacitação tecnológica e do desenvolvimento industrial. O caso de Campinas é um exemplo clássico do modelo de substituição de importações, resultado de uma política intencional de desenvolvimento industrial. Por sua vez, São Carlos não seguiu um modelo planejado, emergindo de uma necessidade presente naquele

momento, muito embora as sementes do sistema de inovação tenham sido semeadas.

Uma segunda diferença entre as duas cidades é sobre a questão do mercado. As empresas de São Carlos exploraram um nicho de mercado, já que as empresas estrangeiras não conseguem competir nem com o preço nem o serviço das empresas nacionais. Por outro lado, a competição interna obriga todas as empresas de São Carlos a inovarem constantemente para garantir sua participação e isto tem feito com que os produtos desenvolvidos no Brasil contenham as tecnologias e as características mais avançadas no mundo.

O inverso ocorreu em Campinas. O mercado de equipamentos já se encontrava num estágio mais avançado e dominado por grandes empresas. Desde que os serviços de telecomunicações eram muito ineficientes no país, teve-se a idéia de solucionar dois problemas. O primeiro era atender a demanda por serviços de telefonia pelo Brasil afora, enquanto pelo lado da oferta, empresas nacionais iriam utilizar tecnologia nacional para desenvolver os produtos de telecomunicações.

Apesar da boa intenção, o resultado foi que esta política não supriu a demanda por serviços telefônicos, pois era necessário esperar anos para conseguir uma linha telefônica, o que gerou um mercado paralelo de venda de linhas a preços absurdos, sendo que somente uma parcela da população poderia se beneficiar.

Com o fim da reserva de mercado e a desregulamentação do setor, as empresas de equipamentos passaram a importar componentes chineses que antes eram produzidos aqui. Um fato interessante é que a indústria chinesa de equipamento de telecomunicações é contemporânea a brasileira e, naturalmente, fruto de uma forte intervenção estatal. Nesse sentido, não cabe aqui a tentação de culpar o

Estado pelo insucesso da política implementada, mas sim entender onde a estratégia escolhida foi bem sucedida e onde ela falhou.

Entre as companhias entrevistadas, encontram-se melhor posicionadas aquelas que conseguem competir em mercados internacionais (Asga, Opto e Padtec). A falta de infra-estrutura logística tem dificultado o crescimento da indústria assim como a ampliação de novos mercados via exportação.

Uma outra pergunta é se a centralização de um centro de pesquisa ao moldes do CPqD é um modelo eficiente de transferência tecnológica para indústria. Hoje o CPqD é uma instituição privada, tendo se transformado num parque tecnológico que incuba empresas e fornece serviços tecnológicos. Na China, por exemplo, as quatro maiores empresas fabricantes de equipamentos de telecomunicações utilizam uma estratégia de P&D descentralizada, inclusive com centros de pesquisa em países onde a tecnologia se encontra em estágio mais avançados (FAN, 2003).

Para as empresas de São Carlos a pergunta é o que acontecerá quando a tecnologia se popularizar e os preços diminuam? Será que elas estarão preparadas para competir com as empresas multinacionais? Os formuladores de políticas públicas criadores deveriam promover mais competição entre essas companhias e ajudá-las a entrar no mercado internacional, evitando um desastre futuro e perda da competitividade.

O desenvolvimento das tecnologias ópticas representa um impacto positivo, embora muito pequeno, em termos de ofertas de empregos. Por outro lado, é uma oportunidade de trabalho para profissionais qualificados porque a fotônica exige profissionais altamente especializados e com treinamento formal. Porém, no longo prazo, espera-se que a oferta de emprego aumente conforme novas

empresas e novos produtos e serviços vão surgindo e a tecnologia vai se difundindo no mercado.

É natural que conforme a economia passe a produzir bens de maior valor agregado, maiores serão as demandas em relação ao grau e a qualidade dos seus recursos humanos. Porém, o grande desafio é como fazer com que parcelas excluídas da população brasileira também tenham acesso aos benefícios trazidos pelos avanços tecnológicos. Indiretamente esta população pode ser beneficiada através da adoção de equipamentos e novas técnicas de tratamento de saúde disponíveis em hospitais públicos.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

8.1 O que a indústria fotônica nos ensinou?

Nos capítulos anteriores, apresentamos a trajetória da indústria fotônica nos Estados Unidos, na China e no Brasil. Quais foram os fatores, tanto institucionais como organizacionais, que contribuíram para o desenvolvimento dessa indústria? Enquanto cada um desses países possui características de desenvolvimento próprias, o objetivo deste capítulo é identificar os pontos críticos que estimulam ou limitam o desenvolvimento tecnológico e industrial. A seguir, discutimos as principais lições aprendidas e as suas implicações para o desenvolvimento tecnológico e industrial.

1ª Lição: Um sistema de inovação incompleto funciona como empecilho para o desenvolvimento, seja ele econômico, tecnológico ou industrial

A dificuldade sistêmica em inovar é o reflexo de um sistema de inovação desequilibrado e incompleto. A falta de inovação é, portanto, a manifestação e não a raiz do problema, e esse, por sua vez, é o resultado de uma ainda fraca integração entre instituições e organizações, seja por razões históricas ou pela própria complexidade do processo.

O dinamismo e a diversificação da produção industrial dos Estados Unidos ocorrem porque há a colaboração de empresas de diferentes setores e estrutura (tamanho, mercado, domínio tecnológico) operando num ambiente competitivo, e que contam com o apoio de políticas públicas direcionadas e das diversas instituições (pesquisa, ensino, financeira, jurídica).

Um exemplo concreto do sistema de inovação americano pode ser verificado pelas colaborações e investimentos feitos com o intuito de substituir os fios elétricos dos chips por luz, o que resultaria numa evolução muito grande para a indústria de computadores, pois iria permitir o aumento da velocidade e da capacidade de armazenamento dos dados.

Assim, o governo americano, através da Agência de Projetos Avançados (DARPA) do Departamento de Defesa (DoD), abriu concorrência procurando parceiros para essa aventura. Empresas como a Sun Microsystems, IBM e a Intel junto com a HP e uma instituição de ensino e pesquisa, o MIT, apresentaram um projeto. A empresa escolhida de acordo com as regras da DARPA foi a Sun. Esta, por sua vez, tem como colaboradores a Universidade de Stanford e a Universidade da Califórnia em San Diego e duas empresas, a Luxtera e a Kotura.

No Brasil, e na China ainda mais, o sistema de inovação é ainda incompleto. Do ponto-de-vista institucional, o Brasil apresenta problemas de falta de continuidade do planejamento que precisariam de um prazo mais longo para amadurecer.

Porém, o aspecto mais crítico reside mesmo na cadeia produtiva, que apesar de ampla e diversificada, ainda não é auto-suficiente para fazer colaborações para fomentar a oferta e a demanda tecnológica do tipo que a estrutura industrial americana permite. O resultado disso é que quando parece tudo estar pronto para o processo de inovação acontecer, descobre-se que ele é manco.

Às vezes, quando tudo parece estar funcionando é que percebemos o desequilíbrio do sistema de inovação. A parceria entre Brasil e China para a produção do CBERS 3 (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) é um grande avanço para esses dois países. Porém, alguns países restringem a transferência de tecnologia de certos componentes considerados de uso dual, isto é, que possa ser utilizado em aplicações militares. O resultado foi a proibição das vendas de certos componentes às empresas brasileiras Opto e Mectron devido à colaboração com a China. No caso da Opto, esse componente também era utilizado num equipamento médico. A solução foi recorrer aos fornecedores Europeus, mas não se sabe até quando eles vão continuar fornecendo os produtos sem restrições.

2ª Lição: Colaboração entre a universidade e a empresa é imprescindível, independente do tamanho da empresa e dela possuir ou não laboratórios de pesquisa próprio

A Luxtera, fundada em 2001, é uma empresa de capital fechado, spin off da Caltech que possui o domínio da tecnologia do silício fotônico, responsável pela integração óptica dos circuitos integrados. Ao contrário da tradicional indústria de semicondutores, que se divide em fabless, que são as empresas que fazem o design e o desenvolvimento dos chips, as foundrys fazem a manufatura e outras empresas que fazem o back-end (encapsulamento e teste), a produção do chip fotônico será monolítico, integrando todas essas etapas, fazendo uma linha de produção única.

Um dos sócios fundadores da Luxtera e membro do corpo de diretores da empresa é o também professor de departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Califórnia, Berkeley, Eli Yablonovitch. O outro sócio-fundador é o professor Axel Sherer, da Caltech.

Ao mesmo tempo, os laboratórios de pesquisa da Intel, da IBM, da HP, que não venceram a concorrência da DARPA, fazem colaborações com outras universidades e empresas e continuam suas pesquisas de forma independente para não ficarem para trás e, assim, poderem acompanhar a quebra desse novo paradigma tecnológico.

Portanto, a participação direta e ativa das universidades e/ou centros de pesquisa é fundamental para a criação de empresas e ampliação da produção tecnológica porque o conhecimento de fronteira está nesses lugares. Da mesma forma, numa fase inicial, o cientista e os seus alunos e técnicos serão os principais responsáveis pelo desenvolvimento de um equipamento, processo ou técnica porque o conhecimento tecnológico é tácito a essas pessoas.

Com o tempo a empresa irá formar o seu departamento de P&D e o papel das universidades e dos institutos de pesquisa se torna o de fornecedor de recursos humanos capacitados. Um outro tipo de relacionamento irá ocorrer agora na

forma de parcerias com outras empresas, estimulando a complementação das atividades entre elas.

3ª Lição: A estratégia de entrada de novas empresas deve privilegiar nichos tecnológicos/ de mercado

As maiores possibilidades para empresas novas é a exploração de nichos de mercado e, preferencialmente, mercados onde empresas consolidadas não estejam atuando.

Essa parece ser uma lição óbvia, mas as experiências da Xtal, da Opto com o laser de hélio-neônio e da MM Optics com os microscópios devem servir de aprendizado do que acontece com novas empresas tentando competir com empresas tradicionais mesmo que o produto/ tecnologia fossem naquele momento emergentes.

Isso só funciona no caso de uma tecnologia muito radical, como a do silício fotônico dominado pela Luxtera. Agora são empresas consolidadas como a Intel é que estão tentando desenvolver a tecnologia que ela já possui.

Conforme a empresa vai se consolidando, ela pode expandir sua atuação em outros nichos de forma a atender o interesse dos clientes e, assim, poder sustentar seu crescimento.

4ª Lição: Desenvolvimento de produtos e processos e distribuição no mercado é o coração da inovação

Em quase todas as empresas entrevistadas, o produto-protótipo surge mesmo antes do que a própria empresa. A diferença principal entre o Brasil e os Estados Unidos é que, normalmente, a empresa aqui desenvolve um produto que já existe no resto do mundo, mas cujo custo limita a sua aquisição.

As empresas investem então no desenvolvimento do similar nacional, que já trás embutido inovações do tipo incremental, e fatura essa fatia do mercado desatendida. O que observamos a seguir é a tentativa dessas empresas de fazer inovações mais radicais, experimentando novas tecnologias e técnicas. Nos EUA, vemos as empresas entrando no mercado com uma inovação radical e depois formando uma plataforma de produtos incrementais.

A manufatura e pode ser também o motivo de sucesso ou fracasso da empresa. Na etapa da produção é preciso encontrar as formas de desenvolver e refinar as máquinas. No caso das empresas brasileiras, elas contam com apenas alguns funcionários, pois não há capital para contratá-los e os sócios desempenham diversas tarefas, tanto técnicas como administrativas. Em princípio, as empresas produzem a maior parte dos componentes, montam, integram e testam seus produtos.

Com a diversificação da carteira de produtos e a ampliação de seu mercado, a manufatura pode se tornar menos vertical, dependendo da empresa, mas as atividades consideradas estratégicas serão sempre produzidas internamente.

A escassez de recursos para investir em bens de capital pode ser resolvida através da adaptação de máquinas e equipamentos tradicionais para efetuar seus processos. As adaptações, além de constituírem-se como uma forma de inovação incremental, podem funcionar também como propriedade intelectual que dificulta a imitação do processo.

Uma das primeiras parcerias é feita entre representantes e distribuidores de produtos, tanto como forma de expansão de mercado interno e externo, como para garantir o serviços de pós-venda próximo ao cliente.

A observação do comportamento dos profissionais usuários e o conhecimento do ambiente operacional é tanto uma chance de tornar o cliente fiel como se configura também numa forma de melhorar e incrementar novas gerações do produto. Essa aproximação faz com que a empresa treine o profissional, de forma que este extraia os melhores resultados do produto.

5ª Lição: Acesso ao capital inicial é a parte mais difícil

Na maioria dos casos, tanto no Brasil como nos Estados Unidos, as empresas foram criadas com recursos próprios dos sócios-fundadores(s) professor(es), alguns ex-alunos de mestrado e/ou doutorado e técnicos abrem uma empresa para produzir o equipamento.

No caso do Brasil, essa etapa é bastante controversa porque há uma mistura de atribuições, uma vez que o professor está ligado ao órgão de pesquisa e utilizando-se de recursos e infra-estrutura pública para criar um negócio próprio. A verdade é que numa etapa inicial há toda incerteza natural em relação à sobrevivência da empresa, pois se trata de uma tarefa arriscada, cujos resultados são desconhecidos.

Em países como os Estados Unidos, há um setor financeiro e de capital de risco bem desenvolvido, que estimulam a geração de novos negócios. No entanto, as empresas de capital de risco tradicionais nem sempre investem em empresas em estágios iniciais, na fase de formação ou concepção de um produto. Por isso,

capital de risco em tecnologias emergentes, mesmo em países mais desenvolvidos, é difícil de atrair.

Os governos americanos estimulam a aplicação de tecnologias emergentes através do financiamento integral de projetos especiais de inovação pelo Departamento de Defesa, Energia e Saúde. Através de contratos, normalmente pequenas e médias empresa, chamadas de “science providers” detêm a propriedade intelectual do trabalho e podem se beneficiar de acordos de licença em mercados não-militares, por exemplo.

No entanto, independente do estágio de evolução em que a empresa se encontre, políticas públicas que financiem novos projetos tecnológicos são sempre bem-vindos durante o processo de geração de novas tecnologias e novos produtos.

6ª Lição: Gestão organizacional

Nada do que foi discutido a pouco funcionará se a empresa não for bem gerenciada, independente se ser uma gerência empreendedora, como é típico nas empresas brasileiras ou profissional, como já nascem as empresas americanas.

Tabela 8.1 Principais características da evolução da indústria fotônica (* apenas para o Brasil)

<i>Variáveis</i>	<i>Fase Inicial</i>	<i>Fase Intermediária</i>	<i>Fase Avançada</i>
<i>Padrão de entrada de novas firmas</i>	Spin off acadêmico/ lab. de pesquisa	Empresas sobreviventes da fase inicial	Spin off corporativo Novas firmas vão surgir das empresas que se consolidaram na fase anterior
<i>Recursos humanos críticos</i>	Professor-cientista e técnico empreendedor metade do tempo na empresa e metade na universidade	O técnico deixa a universidade, instituto de pesquisa e passa a ser tempo integral na empresa. O professor-cientista continua na universidade porque isso garante o intercâmbio	Empresa formada por pessoal técnico, sem ligação formal com a universidade e/ou instituto de pesquisa
<i>Recursos financeiros críticos</i>	Recursos próprios + recursos de pesquisa	Recursos da empresa + empréstimos bancários + apoio à pesquisa na empresa+ capital de risco	Recursos da empresa + empréstimos bancários + apoio a pesquisa na empresa + abertura do capital
<i>Aquisição tecnológica inicial</i>	Universidade/Instituto de pesquisa. Tácito ao RH crítico	Uma parte ainda vem da universidade/instituto de pesquisa, mas a empresa começa a desenvolver sua própria tecnologia	Vem da experiência adquirida na empresa anterior
<i>Processo de Produção da tecnologia</i>	Quase experimental	Preocupação técnico-mercado. Além da inovação tecnológica há também a questão da eficiência do processo e aceitação do produto no mercado	Questão da eficiência em desenvolvimento de novos produtos
<i>Fonte predominante da mudança tecnológica</i>	Resolução de um problema	Cliente-mercado	Cliente-mercado
<i>Transferência internacional de tecnologia</i>	Engenharia reversa*	Um pouco de engenharia reversa, máquinas e equipamentos	Máquinas e equipamentos
<i>Mercado</i>	Interno*	Interno e externo	Interno e externo
<i>Ênfase P&D&E</i>	Desenvolvimento e engenharia	P&D&E	P&D&E
<i>Fornecedores de peças e componentes</i>	Interno e externo	Interno e externo	Interno e externo
<i>Integração</i>	Vertical	Vertical	Vertical
<i>Colaboração com outras empresas</i>	Não*	Sim	Sim
<i>Papel das instituições de P&D</i>	Fornecer pessoal e transferência de conhecimento, infra-estrutura de pesquisa	Fornecer pessoal e transferência de conhecimento infra-estrutura de pesquisa	Fornecer pessoal e transferência de conhecimento infra-estrutura de pesquisa
<i>Gerenciamento</i>	Empreendedor*	Empreendedor/Profissional	Profissional
<i>Política governamental</i>	Direta*	Indireta	Indireta
<i>Fonte: Elaborado pela autora</i>			

8.2 Um modelo de desenvolvimento tecno-industrial

A indústria fotônica nos ensinou que há certas características que devem existir para que novas tecnologias e novas empresas continuem surgindo. Um modelo de desenvolvimento tecno-industrial parece ser uma abordagem útil para mostrar os caminhos específicos da evolução tecnológica e o seu impacto sobre o desenvolvimento industrial.

Um modelo pode ser descritivo ou normativo. Um modelo descritivo captura os determinantes e os processos durante a ocorrência de um determinado fenômeno, descrevendo-os, porém sem avaliá-los. Em resumo ele procura mostrar como aquele fenômeno acontece na realidade. O modelo normativo, por outro lado, faz uma análise do fenômeno procurando mostrar como ele deveria se comportar na sua forma ideal.

Normalmente, os modelos descritivos têm suas origens a partir de estudos empíricos. O objetivo desses estudos não é servir de norma. Além do mais, desde que os modelos descritivos têm como referência as práticas correntes, não há garantia de que essas sejam as ideais e que possam ser generalizadas.

Sendo assim, quais seriam os requisitos para um modelo de desenvolvimento tecnológico e industrial normativo? Antes de tudo, ele deve ser multidisciplinar e conter elementos institucionais e organizacionais. Em segundo lugar ele deve enfatizar o papel das empresas de diversos setores e tamanhos, pois são elas as responsáveis pelo fortalecimento da base industrial. Ao mesmo tempo, este modelo deve ressaltar a importância do avanço científico e tecnológico e a sua difusão e aplicação para o desenvolvimento econômico.

A formulação do modelo de evolução tecno-industrial considera essas características. Ele foi concebido a partir de uma analogia com a formação do sistema planetário para explicar como ocorre o processo de origem e formação do sistema de inovação e o surgimento e evolução das empresas através do aproveitamento de paradigmas tecnológicos.

Um sistema planetário é formado por várias estrelas centrais e vários objetos orbitando ao seu redor. O nosso sistema planetário, o Sistema Solar, é formado pelo Sol, os diferentes planetas e uma grande quantidade de corpos menores.

O Sol surgiu a partir de nuvens de gás que continham resíduos de gerações anteriores de estrelas. Mais tarde, dos materiais contidos nos gases, surgiram os planetas, os asteróides e os cometas. Os planetas são astros que descrevem trajetórias chamadas órbitas ao redor do Sol, enquanto os satélites são corpos menores orbitando os planetas.

Os sistemas planetários nascem e crescem a partir de vastas nuvens de poeira e gás chamadas discos circunestelares, cuja matéria vagarosamente começa a se concentrar e formar estrelas em seus centros e planetas à sua volta. A composição desses ‘berços planetários’ fornece indícios dos processos físicos e químicos envolvidos no desenvolvimento de sistemas solares.

O modelo de evolução tecno-industrial consiste de quatro etapas e cada uma delas representa uma fase do processo que estão divididas em:

1. Aglutinação de massa crítica
2. Forças “gravitacionais” atuando sobre a massa resultam na formação do sistema de inovação
3. Disco circunestelar
4. A estabilização do sistema

1ª Etapa: Aglutinação de massa crítica e as forças “gravitacionais” atuando sobre ela resultam na formação do sistema de inovação

O ponto de partida do modelo é a existência de uma massa crítica, isto é, pessoas, instituições e organizações cujas interações produzem resultados que não poderiam ser obtidos por um deles sozinho. As forças que regem essas interações são fundamentais para a aquisição, a aplicação e a difusão da inovação.

2ª Etapa: A mudança técnica e a quebra de paradigmas é uma oportunidade para a entrada de novas empresas

A mudança tecnológica é o momento propício para que o surgimento de novas empresas aconteça. O resultado é a formação de novas empresas com características de destruição criativa, a la Schumpeter Marco I.

Com o passar do tempo, algumas dessas empresas irão ser capazes de organizar e gerenciar a produção, alavancar recursos financeiros, fazer colaborações, investir em P&D, marketing e distribuição de uma forma “rotineira”, se tornando grandes planetas com brilho próprio, tipo Schumpeter Marco II.

3ª. Etapa: Cinturões de empresas de diversos tipos e tamanhos vão compondo a formação industrial

Durante o processo, em torno das empresas consolidadas ou “planetas”, sempre haverá outras empresas ou “satélites”, novas ou não, gravitando ao redor umas das outras. Ao mesmo tempo, outros corpos celestes vão surgindo, na forma de fornecedores, concorrentes, distribuidores.

Algumas empresas irão crescer e poderão até tomar o lugar das empresas que se encontram em posição privilegiada se esta não se atualizar constantemente. Outras tantas empresas, tal qual aos asteróides, podem ser atraídas por outras empresas (processo de fusão e aquisição), enquanto outras poderão ser expelidas (spin off).

4ª. Etapa: Sistema de inovação completo e equilibrado permite

O resultado desse comportamento é o fortalecimento do sistema de inovação, que sempre estará preparado para aproveitar novos paradigmas tecnológicos. Como se trata de um sistema dinâmico, o processo observado na segunda e terceira etapas vai se repetindo a cada vez que uma mudança tecnológica é percebida e aproveitada.

Figura 8.1 Modelo de evolução tecno-industrial
Fonte: Elaborado pela autora

Portanto, a existência de um disco circumestelar dinâmico explica a quantidade e a qualidade do padrão de inovação tecnológica observados nos Estados Unidos. Reproduzir o fenômeno observado no modelo pode ser o caminho, não só para o Brasil e a China, mas para qualquer país que deseje aumentar a sua produção tecnológica.

8.3 Contribuições, limitações e trabalhos futuros

Este projeto de pesquisa faz sua contribuição para três correntes teóricas presentes na literatura. A primeira corrente é o do desenvolvimento econômico, pois as observações empíricas encontradas no Brasil são importantes para ilustrar diferenças e similaridades em contextos econômicos e sociais muito diferentes.

Este projeto também irá somar à literatura dos sistemas de inovação através do papel desempenhado pelas instituições e organizações de países em desenvolvimento.

Pelo lado empírico, podemos vislumbrar algumas contribuições para os formuladores de políticas públicas. O Modelo de Evolução Tecno-Industrial pode ajudar na avaliação e análises de projetos cujo objetivo seja incentivar a formação de um parque industrial de alta tecnologia.

Um outro ponto refere-se a dificuldade em se olhar para dentro e para fora da caixa-preta ao mesmo tempo. O que perdemos em precisão em não analisar uma ou mais empresas em seus pormenores organizacionais, foi ganho na generalização das informações. Ainda assim, estudos de caso mais aprofundados

ajudariam a entender o processo de desenvolvimento de produtos em mais detalhes. E, assim, novos modelos de gerenciamento tecnológico poderiam ser propostos.

Finalmente, uma pesquisa interessante é estudar as empresas de Pernambuco. O Instituto de Física da UFPe também é referência nacional e vem seguindo aos moldes do Instituto de Física da USP de São Carlos e do Instituto de Física Gleb Wataghi da Unicamp está também gerando empresas. Entender esse comportamento para tentar reproduzi-lo parece ser uma alternativa muito interessante para aquilo que a China vêm fazendo com o seu modelo de regiões estaduais de desenvolvimento econômico e tecnológico, as chamadas ETDZ.

REFERÊNCIA

AMSDEN, A. H. **Asia's next giant: South Korea and late industrialization**. New York. Oxford University Press. 1989

_____. **The rise of the "rest": the challenges to the west from late-industrializing economies**. New York. Oxford University Press. 2001.

AMSDEN, A. H; CHU, W-W. **Beyond late development: Taiwan's upgrading policies**. Cambridge, MA: MIT Press. 2003.

BAER, W. **A industrialização e o desenvolvimento econômico do Brasil**. Editora da Fundação Getulio Vargas. 5ª edição. Rio de Janeiro. 1983.

BASTOS, M.I. **Telecommunication industry in Brazil: Public-Private relationship and technology development**. The United Nations University INTECH. April, 1995. Discussion Paper Series # 9503

BELL, M.; PAVITT, K. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. *Industrial and Corporate Change* V. 2, n.1, p. 157-210. 1993.

BREZNITZ, D. Difusion of academic R&D capabilities as an industrial innovation policy? The development of Israel's IT industry. MIT Industrial Performance Center. May 2004. p. 1-52. <http://web.mit.edu/ipc/www/pubs/articles/ipc04-004.pdf>

_____. Development, flexibility and R&D performance in the Taiwanese IT industry: capability creation and the effects of state-industry co-evolution. *Industrial and Corporate Change*. 2005. v. 14, n.1, p.153-187.

_____. Innovation and the State.- **Developemnt strategies for high-technology industries ina a world of fragmented production: Israel, Ireland and Taiwan**. 2005. 331 p. Tese (Doutorado). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2005.

CAO, C. Zhongguancun and China's High-tech Parks in Transition. *Asian Survey* Sept/Oct 2004, p. 647-668.

CAO, C.; SUTTMEIR, R.P.; SIMON, D.F China's 15year science and technology plan. *Physics Today*. December 2006. p. 38-43.

CARLSSON, B.; JACOBSSON, S.; HOLMÉN, M.; RICKNE, A. Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy* 2002. v..31, n.2, p.233-245.

CARLSSON, B.; STANKIEWIKS, R. On the nature, function, and composton of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*. 1991. v 1, n.2, p.93-118.

CASSIOLATO, J. E, SZAPIRO, M. H.S; LASTRES H. M.M.. Local system of innovation under strain: the impacts of structural change in the telecommunications cluster of Campinas, Brazil *International Journal of Technology Management*. 2002 v. 24 Issue 7/8

CLARK, K. B,WHEELWRIGHT, S. C. **Managing New Product and Process Development: Text and Cases**, New York. Free Press.1993

COHEN, W. M.; LEVINTHAL,D.A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*. 1990.v 35 n1. p.128-133.

CORLAT, B, WEINSTEIN, O. Organizations, firms and institutions in the generation of innovation. *Research Policy*. 2002. v.31, n.32 p.273-290.

Correio Popular. Lasers e fibra ópticas aplicados nas telecomunicações. 17 de outubro de 1976

De JONGE, A. **Shedding some light on photonics**. Connecticut Economic Resource Center. <http://www.cerc.com/>.April 2008.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*. 1982. v.11, n.3, p.147-162.

DTI. Photonics a UK strategy for success: Painting a bright future. Report Department of Business Enterprise and Regulatory Reform. 2006.

EVANS, P. **Embedded autonomy: States and industrial transformation**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1995.

EVANS, P. **Denationalization and development: A study of industrialization in Brazil**. Cambridge Massachusetts. Harvard University. 1971

FAN, P. **Made in China: The rise of the Chinese domestic firms in the information industry**. 2003. 214 p. Tese (Doutorado). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2003.

FISHLOW, A. Origens e consequências da substituição de importações no Brasil. *Estudos Econômicos*. 1972. v. 2, n. 6

FREEMAN, C.; SOETE, L.**The economics of industrial innovation**. Cambridge, MA. : The MIT Press.1997

FREEMAN, C The national system of innovation in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics* V.19 n.1 p.5-24. 1995.

FRIETSCH, R.; GRUPP, H. There's a new man in town: the paradigm shift in optical technology,*Technovation* 2004. n.26, p.13-29

FUCHS, E.R.H. **The impact of manufacturing offshore on technology development paths in the automotive and optoelectronics industry**.

209 p. Tese (Doutorado). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2006.

GERSHENKRON, A. **Economic Development in Historic Perspective**, Harvard University Press. 1962.

GILBOY, G.J. The myth behind China's miracle. *Foreign Affairs*. 2004. v.83 n.4, p.33-48

GRUPP, H. Learning in a science-driven market: the case of lasers. *Industrial and Corporate Change*. 2000 v. 9, N 1, p. 143-172.

HASSINK, R; WOOD, M. Geographic clustering in the German opto-electronics industry: Its impact on R&D collaboration and innovation. *Entrepreneurship and Regional Development*. 1998. v10, n4, p.277-296.

HATAKENAKA, S. Optoelectronics in Hamamatsu: in search of a photon valley. MIT Industrial Performance Center. March 2004. p. 1-40. <http://web.mit.edu/ipc/www/pubs/articles/IPCo4-003.pdf>

GUPTA, M. C.; BALLATO, J (Org). **The Handbook of Photonics**. CRC; 2 edition. p. 1040. 2006.

HENDERSON, R; CLARK, K. Architectural innovation. *Administrative Science Quarterly* 1990.v. 35 n1. p. 128-133.

HENDRY, C; BROWN, J; DEFILLIPPI, R. Regional clustering of high technology-based firms: opto-electronics in three countries. *Regional Studies*. 2000. v. 34 n.2 p.129-144

HOBDA, M **Innovation in East Asia: the challenge to Japan** . Aldershot, UK,: Edward Elgar. 1995.

IANSTITI, M. Shooting the rapids: managing product development in turbulent environments. *California Management Review* 1995 v..38, n1, p.37-58.

IANSTITI, M. WEST, J. From Physics to Function: An Empirical Study of R&D Performance in the Semiconductor Industry. *Journal of Product Innovation Management*. 1999. v.16, n2, p.385-399.

Jornal da tarde; **O país vai fabricar fibra óptica**. 19 de agosto de 1983.

Jornal do Comércio e Indústria de Campinas. **Telebras fará treinamento em Campinas**. 30 de junho de 1977

KLEPPER, S Exit, entry, growth, and innovation over the product life cycle. *American Economic Review*. 1996.v 86, n3, p.562-583.

KLEPPER, S. SLEEPER, S. Entry by spinoffs. *Management Science*. 2005. v. 51, n.8p.1291-1306

LASER FOCUS WORLD Review and Forecast of the Laser Markets: Part I Nondiode Lasers, v.1 January.1997-2007

LASER FOCUS WORLD (2004). Review and Forecast of the Laser Markets: Part

II Diode Lasers. v.2 February. 1997-2007

LUNDVALL, B.A. **National Systems of Innovation: toward a theory of innovation and interactive learning**. London: Pinter. 1992.

LUNDVALL, B.A. **Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation**. In: Dosi, G et al *Technical change and economic theory*. London: Pinter Publishers. 1988.

MALERBA, F; ORSENIGO, L. The dynamics and evolution of industries. *Industrial and corporate change*. 1996. v.5, n.1, p.51-87

MALERBA, F; ORSENIGO, L. Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities. *Industrial and corporate change* 1997.v.6, n.1, p.83-117.

MALERBA, F., Sectoral Systems of innovation and production. *Research Policy*. 2002.v. 31 n2, 247-264

MANI, S. Government, innovation and technology policy: an analysis of the Brazilian experience during the 1990s. UNU/INTECH, DP# 2001-11. December.2001.p.56. <http://www.intech.unu.edu/publications/index.htm>

MASKELL, P.; MALBERG, A. Localized learning and industrial competitiveness. *Cambridge Journal of Economics*. 1999.v 23. p. 167-185

MARTIN PEREDA, J.A. **Las tecnologías fotónicas ante el siglo XXI**. *Congreso Internacional "La Ciencia y la tecnología ante el Tercer Milenio*. 2002. v. 2, p.417-442

MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA (MOST) (2007). <http://www.most.gov.cn/eng/programmes1/index.htm>

MIYAZAKI, K., **Building Competences in the Firm lessons from Japanese and European Optoelectronics**. Macmillan. 1995.

NELSON, R.; WINTER, S. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press. 1982.

NEGRI, J. A. ; SALERNO, M. S. (org.). **Inovações, padrões tecnológicos e desempenho das firmas industriais brasileiras**. Brasília: IPEA, 2005

NEVES, M. S. . **O Setor de Telecomunicações**. In: Elizabeth Maria de Sao Paulo; Jorge Kalache Filho. (Org.). *BNDES 50 Anos - Histórias Setoriais*. 1 ed. São Paulo: DBA Artes Gráficas, 2002, v. 1, p. 297-319.

NIST. Competing for the future: A historical review of NIST ATP investments in Photonics and Optical Technologies. 2006. http://www.atp.nist.gov/iteo/elec_photon.htm

OLIVEIRA, E.Q. Euclides Quandt de Oliveira (depoimento, 2005). Rio de Janeiro, CPDOC/EMPRESA BRASILEIRA DE CORREIOS E TELÉGRAFOS (ECT), 2005.

OLIVEIRA, G. et al. **Empresas Tecnológicas: Estudos de caso: Bematech, Biobrás, Opto Eletrônica**. Fundap, Agosto 2001. 61p.

OUIOMET, M.; LANDRY R.;AMARA, N. **Network positions and radical innovation: a social network analysis pf the Quebec optics and Photonics cluster**. DRUID Summer Conference 2004
<http://www.druid.dk/ocs/viewabstract.php?id=87&cf=1>

OECD. Oslo Manual. Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data 2004.

OPTO&&LASER EUROPE. **How to tap the potential of military market**. 2006. March . p. 25-27

OPTO&&LASER EUROPE. **China turns its eyes to photonics to fuel growth**.January. p. 35-43.2005

PENROSE, E. **The theory of the growth of the firm**. Oxford: Basil: Blackwell. 1959.

PEREZ, C. Technological change and opportunities for development as a moving target. *Cepal Review*, no. 75, December, p. 109-130. 2001.

QIWEN L., China's Leap into the Information Age: Innovation and Organization in the Computer Industry (New York: Oxford University Press, 2000), p. 7.

Revista Nacional de Telecomunicações. **Nossos técnicos lutam pela fibra: As fibra óptica para telecomunicações já tinham fabricantes certos. Até que a Pirelli quis entrar no jogo. E os brasileiros reagiram**. Fevereiro de 1983.

SCHUMPETER, J. A. (1942) **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro. Zahar Editores.

SMY, T. (2002) - Photonics in Canada: An Outline of Current Research and Industrial Capability Carleton University – Ottawa Canada Feb.

SCHOOHOVEN, C. B., EISENHARDT, K. M.; LYMAN, K. (1990) Speeding products to market: Waiting time to first product introduction in new firms. *Administrative Science Quarterly*. v. 35 n1 177-207

SOTORAUTA, M.; SRINIVAS. S. 2006 Co-evolutionary policy process: understanding innovaive economies and future resilience. *Futures*. v. 38 312-336

SRINIVAS, S. **Technological learning and the evolution of Indian pharmaceutical and biopharmaceutical sectors**. 2004. 227 p. Tese (Doutorado). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2004.

SRINIVAS, S., SUTZ, J. Developing countries and innovation: Searching for a new analytical approach. *Technology in Society*, v.30,n2, p. 129-140. 2008

Suplemento dedicado à Telebras; RNT; **Pesquisa e desenvolvimento, uma prioridade**. Maio de 1985

SUTTMEIER, R.P.; CAO, C.; SIMON, D. F. China's Innovation Challenge and the Remaking of the Chinese Academy of Sciences, *Innovations*, summer 2006.

SUTTMEIER, R. P. ; XIANGKUI, Y. China's Post-WTO Technology Policy: Standards, Software, and the Changing Nature of Techno-Nationalism./ by NBR Special Report. National Bureau of Asian Research, May, 2004

TAVARES, M.C. The growth and decline of import substitution in Brazil. ELCA, *Economic Bulletin for Latin America*, v.9, n. 1, mar. 1964

_____. **Da substituição de importações ao capitalismo financeiro.** Rio de Janeiro: Zahar, 1972.

_____. Distribuição de renda, acumulação e padrões de industrialização: um ensaio preliminar. In: TOLIPAN, R. e TINELLI, A.C. (orgs). *A controvérsia sobre distribuição de renda e desenvolvimento*. 2.ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.

TOWNES, C H. **How the Laser Happened. Adventures of a Scientist** New York. Oxford University Press. 1999.

ULRICH, K.T. EPPINGER, S.D. **Product Design and Development.** Mcgraw-Hill. New York. 1995.

UNIDO. **Industrialization, Environment and the Millennium Development Goals in Sub-Saharan Africa.** Industrial Development Report 2004 Series
http://www.unido.org/fileadmin/import/44688_IDR05_withCovers.pdf.

VAYDIA, K; BENNETT, D; LIU, X. Is China's manufacturing sector becoming more high-tech? Evidences on shifts in comparative advantage., 1987-2005. *Journal of Manufacturing Technology Management*. V.18, n8, p.1000-1021. 2007.

WEBB, GK Product development and price trends for fiber optic components *Technovation* v. 16 n. 3 1 p.133-141. 1996

WEISS, R. J. *A Brief History of Light and Those That Lit the Way* World Scientific Publishing Company. 1996.

ANEXO A: PERFIL DAS EMPRESAS ENTREVISTADAS NOS EUA

1. *Dimensional Photonics International, Inc (DPI)*

<http://www.dpi-3d.com>

Wilmington, MA

País de origem EUA

Olaf N. Krohg Chairman & CEO (MBA Harvard Business School). Na empresa desde Agosto de 2004

12 empregados

Fundação: Março de 2000 Dr Lyle G. Shirley do Lincoln Lab

Junho 2006

A DPI é uma empresa que desenvolve e produz interferômetros a laser utilizando uma tecnologia de última geração chamada Accordion Fringe Interferometry (AFI), para fazer imagens em três dimensões. Trata-se de um projetor de luz do estado sólido estruturado que pode ajustar a fase espacial e o período de projeção das franjas de interferência de forma, rápida, acurada e repetitiva.

A história da empresa divide-se em duas fases. A primeira tem o seu início atrelado a partir dos trabalhos de pesquisa no Lincoln Lab do MIT, onde a tecnologia foi originalmente pesquisada durante um período de cinco anos, financiado pela Força Aérea Americana.

Reconhecendo o potencial técnico do método de captação de imagem em relação aos métodos conhecidos até então, os pesquisadores resolveram assegurar direitos exclusivos sobre o método através de múltiplas patentes e em março de 2000 um time formado pelo grupo de pesquisadores criou a empresa Dimensional Photonics, que tecnicamente era composta pelos maiores experts em medidas tridimensional avançada.

De acordo com Olaf Krogh, quando a empresa foi criada, o capitalista de risco que estava investindo na empresa, sugeriu que alguém que a empresa fosse gerenciada por alguém fora do grupo técnico, mas o pesquisador líder decidiu que seria ele também o responsável pelo gerenciamento da empresa. A empresa passou por diversas instalações, mas o principal problema era a falta de experiência em negócios, que o timing de uma empresa não é o mesmo de um laboratório. Além disso, a empresa não possuía ninguém com conhecimento em processo de manufatura.

O resultado foi que quando eles conseguiram lançar o produto, este apresentava tantos problemas houve tantos problemas em campo, sem que houvesse uma estrutura de atendimento ao cliente para resolvê-los. Em outubro de 2003 a empresa ficou sem capital, paralisando as suas operações.

O problema foi resolvido em Agosto de 2004, quando a empresa, incluindo a marca e a propriedade intelectual, foi adquirida por investidores que passou a chamá-la de Dimensional Photonics International, Inc.

De acordo com o presidente, a empresa aprendeu muito com os problemas em campo, fazendo com que esses aspectos fossem levados em consideração durante a nova fase da empresa. No momento dessa entrevista, o produto vinha sendo re-projetado e testado desde 2004.

O problema principal foi diagnosticado como uma dificuldade de fazer a integração entre os diversos e sofisticados componentes internos, tais como mecânico, óptico e eletrônico. Além disso, foi preciso desenvolver um software que faz a leitura dos dados.

Olaf Krogh, que é norueguês, observou também que os EUA parece ser um lugar único no mundo para o empreendedorismo, pois quando o negócio dá errado,

existe na sociedade a percepção de que aquilo é uma oportunidade de aprendizagem. Ele acredita que em outros países as pessoas se sentem mais seguras trabalhando em empresas estabelecidas, pois existe a percepção do risco de algo dar errado é menor e também pelo status que isso trás.

Ele diz ainda que há incentivos para empresas inovarem, aconselhamento, locais para empresas se instalarem e fazer network. Apesar disso, ele frisa que apesar dos EUA serem famosos pela abundância de capital de risco, levantar capital não é tão simples. Na maioria dos casos, os capitalistas de risco não querem colocar seu capital numa tecnologia que eles não entendem absolutamente nada, pois isto é visto como muito arriscado.

Uma das principais fontes de recuperação da DPI tem sido a colaboração. Eles possuem um parceiro japonês para distribuir o produto. Uma outra parceria tem sido realizada com empresas do setor aeroespacial, o que tem auxiliado no processo de sofisticação do produto ao mesmo tempo em que atende os requisitos dos clientes.

As fontes principais de inovação na fase atual têm sido clientes. A empresa também contratou um funcionário que trabalhava para um concorrente. Serviços de consultoria são utilizados, pois eles não possuem capital suficiente para fazer certos serviços considerados específicos. Patente, segredo e a complexidade do projeto do produto são formas de manter a inovação competitiva.

2. Foreal Spectrum, Inc

<http://www.forealspectrum.com>

San Jose, CA

País de origem EUA

Dan Cifelli: VP vendas & desenvolvimento de negócios (Físico formado pela Rensselaer Polytechnic Institute. Na empresa desde Janeiro de 2005.

Fundação 2003 Dr. Anmin Zheng: Presidente e Dr. Liang Zhou: Vice Presidente de Engenharia

15 empregados. Possui duas joint-ventures na China com 100 empregados em Qingdao e Xangai

Junho 2006

A empresa foi fundada em 2003 em San Jose para produzir coatings para filmes finos para ótica e optoeletrônica, componentes ópticos (filtros, espelhos, divisores de raio) módulos de luz, microdisplay para tv de tela plana e outros mercados de display. Principais segmentos de mercado: biotecnologia, biomédica, lasers, fibra óptica para TVs de alta definição. A empresa exporta para China e Alemanha.

Os fundadores da empresa trabalharam juntos durante oito anos na E-Tek Dynamics e tiveram papel importante no desenvolvimento da empresa e a abertura de capital e na sua aquisição pela JDS Uniphase em 1998. O capital inicial veio dos próprios sócios, que se valeram da sua rede de relacionamentos para ficar conhecido no mercado.

A tecnologia inicial veio junto com os fundadores da empresa, que detinham o conhecimento e a experiência em projeto, manufatura e operações. A valorização das ações das empresas das empresas de telecom no final dos anos noventa permitiu com que a E-Tek e a JDSU pudessem investir milhões de dólares para criar e melhorar tecnologia de coating, principalmente para fibras ópticas

utilizadas em telecomunicações. A Foreal foi formada para adaptar e melhorar esta tecnologia de coating principalmente para não-telecom aplicações. Alguns equipamentos foram adquiridos por trocas de ações com outras empresas de coating recém inauguradas na região de San José.

O processo de desenvolvimento do produto tecnológico leva em consideração a experiência tanto teórica como de mercado dos fundadores da Foreal em coating e em componentes. Eles avaliam o mercado eles já são familiares e também avaliam os concorrentes com tecnologias semelhantes e diferentes. Eles avaliam mercados que eles já são familiares e A mesma regra é válida para mercados e tecnologias emergentes.

Como se trata de uma empresa pequena, as decisões são sempre tomadas em conjunto entre o CEO, o presidente de engenharia e o VP de marketing. O CEO percebe oportunidade, avalia e determina como proceder,

A divulgação dos produtos é feito por email aos clientes atuais e passo, parceiros, revistas de divulgação da área e trade shows. O atendimento ao cliente é sempre feito por alguém bastante fluente em inglês.

Uma das principais barreiras observada por Dan Ciffeli é o fato de que como os sócios e a maioria dos funcionários são chineses há algumas barreiras culturais e de comunicação

A P&D é feita numa base continua com vários projetos em plano ou sendo executados. Eles possuem 13 pedidos de patente. O design é complexo, mas a implementação é relativamente simples através da utilização de equipamentos totalmente automáticos.

As colaborações com outras empresas são feitas para aumentar a rapidez para chegar ao mercado de modo a utilizar a menor quantidade possível de capital.

3. *Ocean Optics, Inc*

Dunedin, FL

País de origem: EUA (hoje é parte de uma multinacional britânica)

Rob Morris (Diretor de Marketing & relações com clientes). Na empresa desde 1995

Fundação: 1989. Dr Mike Morris, ex-professor da Universidade do Sul da Flórida e outros dois colegas.

150 empregados. 130 na Flórida (duas plantas de manufatura na Flórida, além da matriz). Vendas e Serviços nos EUA, Alemanha, Holanda e China e, aproximadamente, 50 distribuidores em diversos países..

Julho 2006

A história da Ocean Optics tem início em 1988 quando o professor de ciências marinhas Mike Morris da Universidade do Sul da Flórida e mais três pesquisadores desenvolveram uma fibra óptica com sensor de pH para realizar estudos oceanográficos. A primeira incursão no mundo dos negócios foi a criação da pHish Doctor. No ano seguinte, tendo dois dos pesquisadores como sócio e com capital próprio e US\$10.000 eles criaram a Ocean Optics.

Ao mesmo tempo, eles submeteram um projeto para o programa Small Business Innovation Research (SBIR) do Departamento de Energia. Enquanto o equipamento de monitoramento de pH era projetado, eles descobriram que não havia um espectrômetro pequeno o suficiente para caber dentro de uma bóia. Dessa forma, eles acabaram criando um espectrômetro que é aproximadamente 1000 vezes menor e 10 vezes mais barato que o sistema anterior, além de ser um sistema portátil.

A inovação tecnológica junto com as características técnicas do produto revolucionou a forma de fazer espectroscopia. A partir de então, ao invés de levar

a amostra para ser medida no laboratório, o laboratório passou a ir até as amostras. Com o passar do tempo novas aplicações como detecção de câncer, monitoramento da combinação de cores do plasma e análise das partículas, entre outros.

A sede da empresa fica em Dunedin, mas a manufatura está em Orlando porque ali se concentram os recursos humanos com experiência em laser e óptica que são formados pelo Centro de Pesquisa e Educação em Óptica e Lasers (CREOL).

Uma das principais preocupações da Ocean Optics é com a pesquisa e o desenvolvimento. Por isso, há uma grande ênfase em atividades de pesquisa, tanto interna como externa a empresa. O objetivo é que as pesquisas resultem em novas linhas de produtos e aplicações e, para este resultado seja positivo, a estratégia tecnológica e de marketing são feitas conjuntamente. Além da preocupação com as tendências de mercado, a Ocean Optics faz colaborações com outras empresas, como o governo e com a universidade como forma de inovar continuamente.

A Ocean Optics vem trabalhando com o exército americano no desenvolvimento de um sistema que permita fazer a medição de agentes químicos e biológicos, explosivos, por exemplo. A tecnologia para isso já é conhecida há uma década, mas só recentemente ela passou a ser comercialmente viável. A dificuldade é que o laser requer espaço para a fonte e o diferencial da Ocean Optics é que eles se especializaram em resolver este tipo de problema.

A Huge Winners decidiu estabelecer uma colaboração bem próxima com a Ocean Optics e mudou todo o seu portfólio de fornecedores de espectrômetros, pois assim eles poderiam trabalhar numa solução em conjunto para aumentar a confiança dos sistemas LED.

4. Novacam Technologies, Inc July 2006

<http://www.novacam.com>

Pointe-Claire, Quebec

País de origem: Canadá

Vuk Bartulovic, Presidente

Fundação: 1997

Empregados:5

Julho 2006

A Novacam Technologies foi fundada em 1997 pelo engenheiro elétrico de origem croata Vuk Bartulovic. Previamente, ele trabalhou como diretor de engenharia da Park Medical Systems Inc, especializada na produção de equipamentos de medicina nuclear. Antes da Novacam ele também foi sócio-fundador da Modular Vision System Inc. (MVSI), que projetava sensores a laser e abriu o capital em 1996.

A empresa trabalha com contrato de P&D, projeto e implementação para equipamentos médicos e industriais. Exporta para os EUA e tem planos de atingir os mercados japoneses, de Cingapura e do Reino Unido.

A empresa vem desenvolvendo uma linha de detectores médicos utilizando a tecnologia da tomografia óptica coerente (OCT). Utilizando fotônica e fibra óptica, o OCT representa uma nova classe de equipamento de diagnóstico em tempo real utilizado em diversas aplicações médicas. Em 2004, a empresa foi a única a ser autorizada a comercializar a tecnologia de OCT desenvolvida pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (NRC/CNRC)

Desde então, a empresa vem se auto-financiando, desenvolvendo e instalando sistemas OCT. Ao mesmo tempo, a Novacam procura identificar o mais

apropriado Fabricante de Equipamento Original (OEM) para cada setor para fazer colaboração. Eles também fazem parceria com empresas que fazem a integração dos componentes manufaturados que podem ser inspecionados durante o processo de manufatura or durante o processo de qualidade assegurada.

A Novacam já forneceu sistemas para o Departamento de Energia do EUA, que está sendo utilizado no National Ignition Facility (NIF), o maior sistema a laser do mundo que deverá entrar em operação em 2009. Outros clientes incluem o Lawrence Livermore National Laboratory and Rohm and Haas.

5. Andor Technology

<http://www.andor.com>

Springvale Business Park, Belfast

País de origem: Irlanda do Norte

Entrevistados: Gene Marino Marketing Specialist 12 ½ months

Scott Philips Imaging Applications Specialist

Filial Americana em Connecticut

Fundadores: Dr Donal Denvir (ex-professor da Queen's University)

Dr Hugh Cormican (ex aluno)

160 empregados na Irlanda do Norte mais vendas e distribuidores em outros países

Julho 2006

A Andor Technologies foi criada em 1989 a partir de trabalho de pesquisa realizada no departamento de Física da Queen's University em Belfast, Irlanda do Norte. No laboratório da universidade, o professor Donal Denvir e o aluno de doutorado Hugh Cormican criaram uma câmera científica para trabalhar em condições de extrema luminosidade.

Percebendo o potencial comercial daquele instrumento, eles contataram um escritório de negócios da universidade que sugeriu que o futuro empreendimento fizesse uma colaboração com a Oriel, uma empresa americana, cujo um dos donos, Eugene Arthurs é hoje o presidente da SPIE. As primeiras câmeras foram desenvolvidas ainda na própria universidade.

O que aconteceu em 1990 foi que a Oriel foi adquirida pela Thermo Corporation, também uma empresa americana. A diferença nesse caso foi que a Andor decidiu tomar um rumo independente e não se juntou à Thermo. Em 1997, a Andor já

havia crescido o suficiente para andar sozinha e decidiu deixar a universidade, recorrendo ao capital de risco.

A especialidade da Andor é desenvolver e fabricar câmeras de alto desempenho para usos específicos que podem ser usadas em medicina, instrumentação, no espaço e outras áreas científicas. Para atingir seus clientes a empresa utiliza uma rede de distribuidor global.

As principais concorrentes da Andor são a japonesa Hamamatsu e a estadunidense Roper Scientific. O crescimento da empresa é creditado aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento e inovação dos produtos que vem permitindo a comercialização dos produtos em mercados internacionais, como o americano, o europeu e o japonês.

O objetivo da empresa é ser líder no segmento específico de câmeras para original equipment manufacturer (OEM) e de pesquisa. Eles investem continuamente em P&D e em vendas e marketing global em países como EUA, EUA e Japão. Além dos investimentos em P&D e vendas e marketing, a empresa investe também em manafatura. Em 2006, seguindo a abertura do capital da empresa a Andor inaugurou uma nova fábrica no valor de milhões de libras no Business Park Springvale, na região Oeste de Belfast. Com moderno processo de linha de produção cujo objetivo é reduzir o tempo de processo e aumentar a eficiência, produtividade e lucratividade da empresa.

A empresa também tem feito colaboração com o governo, através da participação de projetos em conjunto com outros países membros da União Européia.

Andor submeteu seu projeto que foi aprovado e vem recebendo fundos da EU. Hoje eles estão trabalhando em conjunto com algumas organizações suecas coordenado pela Semtech AB e diversos especialistas para encontrar em conjunto a solução para melhorar a qualidade da produção e reduzir os custos de energia

que as empresas produtoras de aço na Europa enfrentam, precisa monitorar de forma acurada o processo de produção de aço.

The New York Times

Technology

Replacing Wire With Laser, Sun Tries to Speed Up Data

Sun Microsystems

Sun Microsystems is gambling on using beams of light to connect processor chips, eliminating a bottleneck.

By [JOHN MARKOFF](#)

Published: March 24, 2008

Correction Appended

[Sun Microsystems](#) is trying to do for computing what all the king's horses and men failed to do for Humpty Dumpty. For decades, the semiconductor industry has broken silicon wafers into smaller chips to improve manufacturing yields.

Now Sun has found a way to reconnect the chips so they can communicate with each other at such high speeds that computer designers can build a new generation of computers that are faster, more energy-efficient and more compact.

The computer maker, which is based in Santa Clara, Calif., plans to announce on Monday that it has received a \$44 million contract from the Pentagon to explore the high-risk idea of replacing the wires between computer chips with laser beams.

The technology, part of a field of computer science known as silicon photonics, would eradicate the most daunting bottleneck facing today's supercomputer

designers: moving information rapidly to solve problems that require hundreds or thousands of processors.

Processor and memory chips are currently made by etching hundreds or thousands of identical circuits onto a single wafer of silicon and then slicing that wafer into fingernail-size chips. That manufacturing process ensures that if there is a defect at a single spot on the giant wafer it will not ruin the entire batch of chips.

The drawback in the approach is that wires have to connect the chips in a computer. This causes a fundamental limit in processing power because data moves between chips at lower speeds, creating significant bottlenecks.

The wires that connect chips are analogous to the on and off ramps that cars use to move between freeways — just as cars slow down as they move onto city streets from multilane highways, electrical signals run more slowly between chips. The bottlenecks also generate additional electrical current and heat.

“All of a sudden it’s better to have an optical superhighway,” said Greg Papadopoulos, chief technology officer and executive vice president of research and development for Sun.

Computer scientists have long sought a way to make faster and cheaper computers by making larger chips on a single wafer of silicon, a manufacturing process called “wafer scale integration.” If the Sun researchers’ idea can be proved technically feasible and manufactured commercially, it would be possible to create more-compact machines that are a thousand times faster than today’s computers, the company said. Each chip would be able to communicate directly with every other chip in the array via a beam of laser light that could carry tens billions of bits of data a second.

The Sun researchers acknowledge that their project is a significant gamble.

“This is a high-risk program,” said Ron Ho, a researcher at Sun Laboratories who is one of the leaders of the effort. “We expect a 50 percent chance of failure, but if we win we can have as much as a thousand times increase in performance.”

Silicon photonics has become hot recently with major semiconductor and computer companies as well as start-ups investing heavily in efforts to build optical networking directly into processors to replace electrical wires.

Last week, the [NEC Corporation](#), the Japanese supercomputer maker, announced that it had made an advance in optical connections between chips that will pave the way for a supercomputer able to reach speeds up to 10 petaflops, or 10 thousand trillion instructions a second. That is about 20 times faster than the world's fastest computer.

Sun's partners on the project are Stanford and the University of California, San Diego, and two silicon photonics firms, Luxtera and Kotura. The Sun bid was chosen over three competing teams from [Intel](#) and [Hewlett-Packard](#); [I.B.M.](#); and the [Massachusetts Institute of Technology](#).

The five-year program is being financed by the [Defense Advanced Research Projects Agency](#), and it builds on a Sun research project that was intended to interconnect chips electrically by stacking them edge to edge.

In 2003, a group of Sun researchers led by Ivan Sutherland, a computer industry pioneer, reported that they were able to transmit data inside a computer much more quickly than current techniques allowed. In an interview at Sun's research laboratory last month, Jim Mitchell, a Sun vice president, said that the original technology was now moving closer to commercialization.

However, the new approach, which is based on the company's ability to accurately align chips with high precision making it possible to transmit beams of light across the surface of the chips in ultranarrow channels called wave guides, could have a much bigger impact.

The Sun researchers refer to their new system as a "macrochip." They said that the technology would make it possible for computer architects to completely rethink the organization of circuitry on a computer.

"It's like the difference between having someone next door and having to get on an airplane to fly across the country," said Alan Huang, an optical networking

designer at the Terabit Corporation in Menlo Park, Calif. “This would be a way of breaking Moore’s Law.”

Moore’s Law is an observation by Intel founder Gordon Moore that the number of transistors on a computer chip doubles roughly every two years.

The Sun researchers said they believe that their alignment technique, which they plan to describe in a scientific paper, will make their systems more compact and easier to manufacture than their competitors’.

This article has been revised to reflect the following correction:

Correction: March 25, 2008

An article on Monday about an advance at Sun Microsystems that may increase the speed of a new generation of computers described incorrectly a petaflop, a measure of a computer’s processing speed. It can be expressed as a thousand trillion instructions per second, not a million trillion.

ANEXO B: PERFIL DAS EMPRESAS ENTREVISTADAS NO BRASIL

1. AsGa SA

<http://www.asga.com.br/>

Paulinia - SP

Entrevista: José Elis Ripper Filho, presidente e fundador (professor titular aposentado da Unicamp)

Fundação 1982

80 empregados

Março 2007

O nome AsGa vem de Arseneto de Gálio, um dos semicondutores que serviram de matéria-prima para os primeiros componentes opto-eletrônicos fabricados pela empresa. De lá para cá, a AsGa cresceu, passando a produzir equipamentos ópticos de telecomunicações. Hoje ela é uma provedora de soluções integradas que permitem o sucesso de seus clientes no transporte de informações, sendo líder no segmento de equipamentos e serviços de acesso.

Combinando sua competência tecnológica com o padrão de qualidade internacional de seus produtos, uma forte vocação para P&D, além do atendimento personalizado, a AsGa vem ampliando o seu portfólio de produtos e sua presença além-fronteiras. Em 2001, abriu filial na Argentina, e, em 2003, chegou ao México, atuando em outros países através de distribuidores.

Ampliando sua área de atuação, criou duas empresas: a AsGa Sistemas em 2001 e a AsGa Wireless em 2004. Em 2005 a AsGa S.A. se reestruturou como uma holding, criando um novo empreendimento: a AsGa Acesso para atuar no mercado em sua área tradicional. Em setembro foi constituída a AG Indústria e Comércio de Placas Eletrônicas Ltda, destinada à montagem de placas eletrônicas e em junho de 2006 iniciou-se a produção.

A seguir, alguns trechos da entrevista com o professor Ripper.

Por que o Brasil nunca se tornou um líder no setor de fotônica?

“Basicamente, vamos dizer o seguinte, primeiro, vamos dizer que a gente nunca conseguiu que o Brasil tivesse um projeto nacional, ele teve vários projetos setoriais, particularmente nesse setor que foi bastante favorecido pelo projeto Telebras”.

“Na verdade, houve durante o governo militar uma consciência ou uma visão de que telecomunicações é uma coisa estratégica e de que era missão do ministério das telecomunicações que inclusive era sempre ocupado por um milico, de que era responsabilidade desenvolver o setor como um todo. Se você pegar a Telebras, ao contrário das outras grandes estatais, Petrobras, Telebras, Eletrobras, a Petrobras ela até hoje tem uma vida própria, ela foi criada, se alguém disser que a Petrobras é uma instituição subordinada ao ministro da minas e energia, ela não é e nunca foi e nunca vai ser”.

“Ela é uma entidade que assumiu uma identidade própria e que então trabalha como tal, obviamente, subordinada ao governo, mas dentro de uma política. A Eletrobras sempre foi, um outro extremo, mas sempre foi fraca, ela foi criada como uma holding de uma série de companhias energéticas estatais, mas de fato ela nunca foi holding. As companhias continuaram semi-autônomas. A Telebras, ao contrário, foi criada e assumiu o papel como um instrumento de gestão do ministério das telecomunicações, ela não foi criada para ser uma empresa de telecomunicações”.

“Então, o ministério assumia como responsabilidade que deveria desenvolver o setor como um todo e usou a Telebras para isso. Inclusive o CPqD não era um laboratório da empresa Telebras, ele era um laboratório nacional de

telecomunicações que por razões de facilidade de gestão foi colocada dentro da Telebras”.

“Então havia uma política de desenvolvimento do setor, inclusive desenvolvimento tecnológico e desenvolvimento de recursos humanos que levou inclusive a essa política. Quando a Telebras foi criada em fins de 1972, a primeira gestão da Telebras percebeu que se ela imediatamente criasse o CPqD, as pessoas que faziam pesquisas em telecomunicações, que ela poderia contratar, estavam na universidade, que ela iria matar a galinha de ovos de ouro”.

“Portanto, houve uma decisão política, ao se dizer que ao invés de criar o CPqD, vamos primeiro fortalecer as universidades para criar uma massa crítica para quando eu criar o CPqD, eu não mate a galinha de ovos de ouro, coisa que não houve em nenhum dos outros setores. Aí houve uma política setorial de telecomunicações fortemente comandada pelo ministério diretamente e por sorte os primeiros gestores da Telebras foram pessoas excepcionais que conduziram essa política e nisso inclusive ela assumiu a gestão da política de componentes, da microeletrônica como um todo. Então, o nosso projeto foi muito facilitado por isso”.

“Segundo, houve a política de informática, a reserva de mercado, que olhando numa outra dimensão tinha também uma filosofia semelhante, embora gerou conflitos de competência. Eu me lembro quando foi atribuído à SEI a atribuição de componentes e tinha um grupo chamado Geicon, um grupo interministerial de componentes. Salomão Weinberg, que dirigia esse grupo disse: “ Ah isso aqui não vale nada porque o Geicon foi criado por lei, tendo como responsabilidade a política de componentes e um decreto não pode inviabilizar a lei”. Ai eu gozei ele, você não sabe que país você está. Você tem um ministro coronel e o general fez o decreto. Decreto de general vale mais do que lei de coronel”.

“Ao mesmo tempo você tinha destruído toda área de consumo com a criação da Zona Franca de Manaus que tirou o mercado de toda área de componentes da área de consumo, que era o grande volume. Então, a política de microeletrônica quando a maior parte do mercado era inacessível, já ficou meio manca. Aí veio a abertura do governo Collor. Você já havia quebrado uma perna, aí quebrou outra. Na hora que se destruiu todo e qualquer incentivo à engenharia nacional, automaticamente inviabilizou-se qualquer política de componentes. A indústria de componentes é irmã siamesa da engenharia de equipamentos. Você começa a comprar o componente na hora em que você projeta o equipamento. “

“Então agora o governo diz que quer fazer uma política industrial de semicondutores, só que ela não tem meios porque não se compra semicondutores no Brasil , porque no Brasil se compra kits para serem montados, então não tem como ter uma indústria porque não há para quem vender.”

“O problema não é atraso tecnológico. O problema não é os asiáticos, mas sim o fato de não se projetar equipamentos no Brasil, então não se compra. Não há no Brasil engenharia de projetos. Um caso que ilustra isso é de um amigo que em 1990 era presidente da Probel, fábrica de colchões. A Probel também na época era um fabricante significativo de banco de automóveis. Quando houve a abertura. Antigamente aos automóveis eram no mínimo redesenhados no Brasil. Eles tinham que ser tropicalizados, havia o problema da nacionalização. Então vinha uma montadora para ele e dizia nós vamos fabricar o modelo tal em seis meses e vamos discutir como vai ser feito o banco.”

“Ai em 1990, com a abertura que houve, os caras passaram a trabalhar com os modelos mundiais. Agora vem uma montadora para mim e diz, daqui a três meses, não mais seis meses, eu vou fabricar esse modelo e o banco tem que ser assim, vc não pode mexer na posição do parafuso e o meu target price é tanto. O

target price dá para encarar, mas eu não tinha como em 3 meses mudar todo o meu ferramental para fazer exatamente aquele banco.”

“Já que você não vai fazer e não dá para trazer no avião como semicondutor, eu vou trazer meu fornecedor lá de fora e já que você não quer mais fazer, você não quer vender a fábrica para ele? Uma vez que você não tem engenharia, eu estou falando isso não é um problema de tecnologia, não é que os caras lá foram dominam, é que uma vez que o projeto vem todo pronto, o componente virá junto e vai vir dentro daquele pacote, seja porque foi fabricado aqui pela filial, seja por transferência de tecnologia por uma empresa nacional.”

“É óbvio que nisso existe transferência/regulagem de lucro, mas não é só isso. Há uma razão tecnológica, mas uma vez nos chegamos a concretizar, nós chegamos a discutir a transferência de tecnologia para uma outra empresa estrangeira fabricar. Mas há um problema do lado de cá. Se ele fabricar o equipamento com a minha tecnologia, mesmo que ele fabrique com a marca dele, o mercado sabe que é a minha tecnologia e eu não posso deixar que ele comprometa a qualidade e então não vou deixar que ele substitua os componentes por um fabricado lá sem minha autorização. Eu vou querer que ele use exatamente os mesmos componentes. Então esse é o processo de você eliminar o mercado.”

“A AsGa nasceu como uma empresa de componentes. Eu não perdi nenhum cliente para componente importado, eu perdi cliente primeiro para equipamento pronto e segundo para kits montados no Brasil. O sujeito compra o kit, ele nem sabe quanto custa cada componente e mesmo que ele souber, ele não tem autonomia para trocar o componente. Então na hora que você tirou o incentivo de projetar equipamento no Brasil e você era servido pela lei de informática e pela política da Telebras, você acabou com a indústria de componentes, acabou com o mercado”.

“Eu falo de gozação que eles quiseram acabar com a reserva de mercado, e ao invés de acabar com a reserva eles acabaram com o mercado. Veja o caso da Zona Franca. Nós tivemos no Brasil, na área de mercado de consumo, não só uma engenharia no Brasil extremamente qualificada como até uma indústria de componentes baseado nisso. Vc tinha várias empresas nacionais fabricando rádio, televisão, sistema de som de excelente qualidade e houve um caso bastante estranho que é o caso da Philco. A Philco era uma indústria internacional. Ela foi comprada pela Ford. A Ford antevendo a entrada da eletrônica nos carros resolveu comprar a Philco”.

“Só que a Philco se tornou um enorme abacaxi, dava prejuízos enormes e a Ford resolveu fechar a Philco. Só que a Philco do Brasil dava lucro então a Philco foi fechada no mundo inteiro, menos no Brasil. Então apesar dela ser uma empresa estrangeira do ponto-de-vista do capital, do ponto-de-vista tecnológico ele era completamente autônoma, pois ela não tinha mais matriz. Então a Philco era de fato uma empresa nacional e inclusive ela tinha uma fábrica de transistores, totalmente desenvolvida no país, com projeto totalmente no país que apoiava. Então ela tinha, porque ela tinha o próprio mercado”.

“Quer dizer com isso os semicondutores eram desenvolvidos em função dos produtos e depois vendidos para outros. Aí eles fizeram duas besteiras imensas. Resolveram dar um salto e fizeram uma associação com a RCA. Essa situação, eu conheço com bastante detalhes porque tanto o cara que dirigia a Philco e depois foi dirigir a Itautec-Philco por um tempo como o cara que dirigia a área de semicondutores são colegas meus de turma”.

“Eles fizeram a besteira, fizeram duas joint ventures inicial, uma joint venture de fabricação, que a Philco tinha maioria, e uma de comercialização que a RCA tinha a maioria e colocaram lá a fábrica da RCA, tinha uma fábrica obsoleta de válvulas em Contagem, e colocaram lá. Esse troço era tão louco que só foi aprovado numa

reunião de conselho de administração da Ford mundial, na qual foi demitido o Iacoca. Obviamente o conselho nem estava prestando atenção e talvez e por isso é que foi aprovado”.

“Bom com isso, eles quebraram a grande força que eles tinham que era o elo de ligação da fábrica de semicondutores com o mercado deles mesmo. Porque obviamente agora como a RCA era o dono da comercialização, a RCA já não tinha mais esses lucros. Só que pouco tempo depois surgiu a Zona Franca de Manaus e a Philco foi transferida para Manaus e abandonou todos os projetos próprios, passando a utilizar a tecnologia da Hitachi, quebrando completamente a ligação. Então aquela fábrica de microeletrônica (semicondutores) virou um abacaxi, terminou sendo vendida a preço de banana ao grupo Sharp/ Machline e lá também terminou quebrando completamente porque vc não tinha mais mercado, vc destruiu o elo com o mercado. Então não há como ter uma indústria de componentes se não há um elo forte com o mercado. Então não adianta a gente fazer tecnologia e o diabo a quatro porque abandonamos o elo mercado”.

“Hoje a Asga é um importador dos componentes que ela fabricava. A Asga foi criada para fazer componentes então ela certamente não atendeu sua função, a sobrevivência nos obrigou a seguir outro caminho. Eu nunca quis ser empresário. A Asga foi criada para não deixar morrer a tecnologia de componentes optoeletrônicos. Ai o governo anuncia que matou. Ai a empresa já existia, se tivesse matado antes eu não teria virado empresário. A empresa tem que continuar sobrevivendo. O nosso problema não foi custo, não é que o componente lá é mais barato é que simplesmente o mercado acessível para mim era tão pequeno que eu não conseguia manter qualidade. Para começar ainda mantivemos a produção por um tempo para uso próprio, mas aí vc não consegue manter qualidade, você não consegue produzir semicondutores ligando e desligando forno. É preciso produção constante ou mesmo fazendo uma peçinha de cada vez a gente não conseguia manter a qualidade”.

2. FiberWork Comunicações Ópticas Ltda

<http://www.fiberwork.com.br>

Campinas SP

Entrevista: Sergio Barcelos, presidente e fundador (Dr e ex pesquisador da Unicamp)

Fundação: 1997

18 empregados

Março 2007

“Quando eu terminei o meu doutorado eu já pensava em montar uma empresa quando as telecomunicações estavam começando a explodir. Apliquei para um espaço na incubadora de Campinas e submeti um projeto PIPE da Fapesp, ambos tendo sido aprovados”.

“O produto foi desenvolvido durante o meu doutorado na Inglaterra. Eu desenvolvi um sistema para fazer umas medidas que funcionou muito bem. Então eu percebi que havia demanda para aquilo. Houve um prêmio lá na Inglaterra de metrologia e ganhei o prêmio de inovação”.

No primeiro momento eu comecei a vender assessoria no setor de telecomunicações e a fazer contato com o mercado. A gente foi percebendo demandas pelas operadoras por soluções tecnológicas em serviços.

“Há um problema de mão-de-obra especializada. Apesar de estar localizada em Campinas, há dificuldade de encontrar recursos humanos. Por exemplo, por ano formam um aluno e meio em fibras ópticas. Eles dizem que o engenheiro elétrico formado na Unicamp é muito teórico. A empresa trabalha em nicho e só outra empresa produz o que a FiberWork faz”.

“A China produz os componentes, que são projetados nos EUA, e vende para o resto do mundo para empresas que integra e faz o sistema de comunicações. E de coisas que o mundo já conhece. As empresas de telecom brasileira compram da China porque eles não fazem só componentes, mas integram também. Na parte de comunicações ópticas, a China tem mais de 80 por cento do mercado brasileiro”.

“A parte da produção. É uma dificuldade desenvolver fornecedores. Para fazer uma peça que às vezes básica, mas que é necessário no produto. Deu o exemplo de uma tampa de acrílico para um produto que vai ser exportado demorou um ano. Procuramos várias empresas em Campinas e em São Paulo, mas só achamos um fornecedor no Rio. Por que a dificuldade? Por que o acrílico para este componente é moldado, por causa do design que é arrojado, mas não é tão sofisticado para não aumentar os custos. Mas como foi projetado para ser uma peça única, tornou-se uma dificuldade encontrar alguma empresa que moldasse a peça”.

“Os primeiros protótipos feitos pelas empresas que encontramos, eram colados, pois eles não conseguiam fazer uma peça inteira. Assim, é possível de perceber como é complicado, além de caro, pois cada fornecedor que testamos representou um custo. A tampa em si não é caro para fazer, mas cada molde que fizemos custou R\$ 2 000 e nós tivemos que fazer de três a quatro moldes até conseguirmos chegar numa versão final. Portanto, quando nos comparamos com uma empresa americana, muito embora o custo do serviço lá seja mais caro, a eficiência é maior. Digamos que para fazer uma peça como está nos EUA custe US\$ 2000. A diferença é que eles possuem acesso mais rápido à informação e a fornecedores, resultando em maior produtividade”.

3. Fotônica Tecnologia Óptica Ltda

<http://www.fotonica.com.br/>

Walter Carvalho (ex aluno e pesquisador da Unicamp. Defendeu a primeira dissertação de mestrado em fibra óptica e trabalhou na Elebra)

Fundação 1991

Empregados:16 (já teve 80)

Março 2007

“Nós conseguimos desenvolver um produto com o apoio do Pipe da Fapesp que foi muito bem sucedido. O problema é que o nosso segmento como um todo, de 2001 para cá entrou numa crise gigantesca após a bolha das telecomunicações”.

“A empresa viu o faturamento dividir-se por quase dez e o quadro de funcionários nos dividimos por seis. Componentes ópticos usados nas conexões telefônicas e de dados, via fibra óptica, desenvolvidos por uma pequena empresa de Campinas, a Fotônica, começam a substituir os produtos importados a preços 30% mais baixos e com melhor desempenho. São peças conhecidas como atenuadores usados na adequação do nível de potência dos transmissores aos receptores dos sinais luminosos que levam as informações de um lado para outro, tanto entre cidades como dentro de uma empresa. Os dois primeiros modelos de atenuadores já garantiram à Fotônica mais de 30% do mercado nacional”.

“Algo que a AsGa e a Padtec souberam fazer e a Fotônica não, foi utilizar aos recursos associados ao CPqD. Nós não temos no Brasil um sistema de financiamento de empreendimentos decente. Praticamente todos dependem exclusivamente dos financiamentos do BNDES. Antes de mais nada, esta atividade prescinde de capital. Para inovação voc tem que estar com o parque atualizado e capital é a única coisa no Brasil que a gente não sabe como criar. Não há o seed money. O governo via Finep está tentando estimular a indústria de

capital de risco, mas não há algo consolidado como nos EUA. Mas isso é uma etapa além, pois a gente observa a dificuldade que as empresas que estão incubadas enfrentam”.

4. Optolink Ltda

<http://www.optolink.com.br/site/>

Campinas, SP

Entrevista: Idelfonso Felix de Faria (Dr pela Unicamp e ex funcionário do CPqD)

Fundação 1998

Empregados: passou de 17 para 3.

Março 2007

Idelfonso Felix de Faria montou a empresa e mais tarde, Francisco Smolka (ex-diretor técnico da Xtal), que trabalhou fazendo fibra óptica na Xtal e eu trabalhava no CPqD, se juntou a ele.

Durante o seu mestrado na Unicamp, no início, trabalhou com fibras ópticas e depois com laser de semicondutores. Ele trabalhou no Centro Nacional de Estudo em Telecomunicações na França. A gente desenvolvia a tecnologia e fabricava em escala piloto para teste. A intenção fazer a transferência da tecnologia para indústria. A AsGa, por exemplo, recebeu a tecnologia de laser semicondutor de primeira geração. Há três gerações. A primeira é de laser semicondutor de 0.85 que casava com as fibras multi-módulos. Em seguida veio o laser de 1.3, passando para a fibra mono-módulo e, finalmente o laser de 1.5.

“A AsGa quando começou transferiu a tecnologia que existia na época de 0.85, mas não chegou a de 1.3. mas ela montou os laboratórios para fabricar aos lasers. Há tecnologia há vários segmentos que envolve a fabricação do próprio semicondutor e o outro é o encapsulamento. Existe um ganho de valor muito grande entre o crescimento do cristal e o encapsulamento. Quando o crescimento do cristal é feito e o laser é fabricado, o chip que é algo que quase não se vê, pois possui em torno de 1mm de dimensão e ele é colocado numa base e colocado fibra nele, o produto final irá custar bem mais do que a etapa inicial. “

“A AsGa fazia encapsulamento, mas não o crescimento de cristal porque é demanda muito capital, tanto financeiro quanto humano. E hoje isto custa US\$ 0.10 para ser feito na Ásia (Taiwan. Coréia). Por isso é muito difícil entrar nesse campo, tanto da produção de chips para microeletrônica como para chips fotônicos. Por volta de 1989 eu estive na Holanda visitando uma fábrica de laser da Phillips, uma fábrica gigantesca, com um prédio com área limpa de três andares que fabricava laser de semicondutor. No entanto, o custo de fabricação deles era altíssimo e que eles iriam mudar para Taiwan. As empresas foram para Ásia para baixar custo e produzir em volume e vender para mercados globais”.

“Quando o crescimento de cristal é feito e aquela pastilha que demora uma semana para ser processado, mas mil lasers são fabricados com aquela pastilha de 1cm por 1cm. Em Taiwan, quando eles instalaram as fábricas lá, wafer de 3 polegadas eram utilizados, o que resultava na produção de alguns milhares de lasers. Quando um laser em 1989 custava US\$ 5000,00 aqui no Brasil, o preço de venda lá era de US\$15,00. Mesmo tratando-se de um laser popular, como aqueles utilizados em leitor de disco, computadores, mais tarde em DVD”.

“A AsGa investiu em encapsulamento, mas no final a demanda no Brasil era muito pequena. Não havia produção em escala. Além disso, não há mão-de-obra especializada suficiente. Não há engenheiros especializados nessa área e muito menos a quantidade necessária de técnicos de nível médio para suprir a demanda de uma produção em escala. Ao mesmo tempo, para que formar pessoas, se não há emprego? A verdade é que o Brasil não conseguiu, décadas atrás, apesar do pioneirismo, fazer com que a cadeia produtiva base da fotônica, que começou com a microeletrônica, e passa pelos semicondutores, se desenvolvesse aqui no país. É preciso produzir, mas isso não pode ser feito só para o Brasil”.

Nesse momento, há também o lado do empresário, que durante muito tempo não teve a cultura de desenvolver e produzir para o mercado global.

“No princípio, os preços da empresa eram competitivo em relação aos preços de Taiwan e da Coréia, mas quando a China começou a produzir, os preços passaram a ser cinco vezes menor que o da Coréia e os nossos preços aqui ficaram defasados”.

“Hoje a AsGa parou de fazer o encapsulamento do laser, pois ficou impossível de competir com os Asiáticos e passaram a produzir equipamentos de transmissão. Nós fazemos componentes fotônicos passivos e apesar da concorrência chinesa nós temos um diferencial que é um nicho interno de atendimento e assistência ao cliente e customizado”.

“As empresas multinacionais da região de Campinas não utilizam os serviços da Optolink. Eu vendo para empresas pequenas que prestam serviços as indústrias de serviço telefonia que utilizam fibras ópticas. A Optolink tem ganhado mercado pelo serviço de assistência técnica via soluções customizadas”.

“A Optolink desenvolveu vários produtos via programas da Pipe/Pite da Fapesp. Eu tentei várias empresas de capital de risco, mas eles só investem naquelas empresas que eles acham que vai dar certo”. “As empresas para quem costumávamos fornecer, tais como AsGa, Padtec, Digitel, hoje compram da China por uma questão de preço”.

“Apesar das dificuldades, em 2004, a Optolink foi uma entre 20 empresas que tiveram projeto de comercialização de produto inovador aprovado pela Fapesp. O Programa Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas (PIPE) colocou R\$ 500 mil de financiamento a fundo perdido para a empresa.”

5. Padtec SA

<http://padtec.com.br>

CPqD, Campinas, SP

Entrevista: Sergio Salomão Pereira CEO e diretor da divisão de tecnologia

(doutor em Engenharia elétrica pela Unicamp). Gerenciou a área de

Comunicações Ópticas na Fundação CPqD no período de 1981 a 2004

Fundação: 1999 pelo CPqD

Empregados: 60

Março 2007

O CPqD criou um setor exclusivamente voltado para soluções inovadoras no mercado de sistemas de comunicações ópticas, resultando no que hoje é a Padtec: uma empresa que fabrica equipamentos e desenvolve soluções para redes ópticas.

Competindo com uma série de empresas já conhecidas do mercado internacional, a Padtec foi por diversas vezes selecionada em concorrências por apresentar soluções mais adequadas, customizáveis e de rápida instalação.

A Padtec, através de um grande esforço de P&D, traz ao mercado novos produtos de qualidade e desempenho segundo padrões internacionais. Em seis meses foram introduzidos vários produtos novos de forma pioneira no Brasil, dentre os quais o amplificador Raman e DWDM com FEC para enlaces de ultra longa distância.

É com o maior realismo que a Padtec encara seu futuro. Sendo uma empresa que já conquistou o mercado brasileiro, só tem a crescer ganhando espaço no mercado internacional. Com diversos representantes por todo o globo e negócios fechados na América Latina e em países de primeiro mundo

Os acionistas da Padtec são o CPqD (65,8%) e a Ideiasnet (34,2%).

6. Calmed Ltda

São Carlos -SP

Entrevista: Liliane Ventura Schiabel (Professora do depto de Engenharia Elétrica EESC USP. Foi aluna do prof Jarbas Caiado)

Fundação: 2001

Fevereiro 2007

Pesquisadores da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP), da Universidade de São Paulo (USP), e da empresa Calmed, de São Carlos, desenvolveram o ceratômetro, equipamento para testes de uso de lentes de contato e para verificação de cicatrização e de distorções após cirurgias de catarata e de transplantes de córnea. O aparelho que mede os raios de curvatura da córnea já teve seu pedido de patente requerido no Brasil, nos Estados Unidos, na Europa e no Japão. A previsão de lançamento comercial é para o primeiro semestre de 2005.

Para isso, a Calmed acaba de firmar um acordo de licenciamento da patente e de produção com a Apramed Aparelhos Médicos, empresa de São Carlos, especializada na fabricação, importação e exportação de aparelhos oftalmológicos. A parceria garante uma maior infra-estrutura industrial e uma rede de distribuição adequada para a comercialização do equipamento, tanto no Brasil quanto no exterior.

A física Liliane Ventura está à frente do projeto na EESC, onde é professora, e na FMRP, como a coordenadora do Laboratório de Física Oftálmica (LFO). Na Calmed, empresa da qual foi fundadora, ela coordena o projeto que recebeu financiamento do Programa Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas (PIPE) da Fapesp para o desenvolvimento comercial do produto. Ela diz que entre as vantagens do novo equipamento está a projeção de um anel luminoso

com 72 pontos de luz na córnea do paciente, na região de 3 milímetros (mm) da pupila.

Os ceratômetros manuais importados medem um anel contínuo de luz no olho, com grande precisão, porém a medida é limitada, geralmente até 26 dioptrias, ou 26 graus de astigmatismo, enquanto o equipamento nacional mede até 60 graus de astigmatismo, um problema oriundo da córnea ovalada que pode surgir como consequência de cirurgias de catarata, impedindo a percepção de contrastes e dificultando a leitura, por gerar imagens sem nitidez, tanto para longe quanto para perto. Por não possuírem a automação, as medidas realizadas no equipamento manual são mais demoradas. Já os automatizados, que fazem parte dos auto-refratores (medem miopia, astigmatismo e hipermetropia), possuem apenas seis pontos de projeção na córnea e com uma medida máxima de 12 graus de astigmatismo.

A profa Liliane Ventura é coordenadora-chefe do Laboratório de Física Oftálmica - FMRP-USP. Fez bacharelado em Física no Instituto de Física de São Carlos e graduou-se em 1987. Fez também seu Mestrado naquela instituição na área de Física do Estado Sólido (1989). Em 1995 doutorou-se em Física Aplicada à Oftalmologia no IFSC-USP, desenvolvendo um sistema denominado auto-refrator. Em 1996, em seu Pós-Doutorado, fundou o LFO na Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP.

Em 2001, fundou uma empresa, para os seus alunos, a CALMed Ltda - ME, onde a transferência da tecnologia da universidade pôde ser repassada ao setor industrial, através do projeto PIPE, da FAPESP. Em 2002, fundou uma nova unidade do laboratório, o Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO), na Escola de Engenharia de São Carlos - USP, com o projeto PROFIX, do CNPq.

Atualmente, as duas unidades trabalham em conjunto, sob a coordenação da Dra. Liliane Ventura, e além de artigos científicos publicados em revistas de renome nacionais e internacionais, possui também 03 patentes oriundas dos trabalhos realizados nestes grupos e na empresa.

7. DMC Ltda

<http://dmc-equipmantos.com.br>

Entrevista: Renaldo Massini

Fundação: 1998

Empregados: 60

Março 2007

Fundada em 1998, a empresa se tornou líder de mercado em tecnologias LASER, com aplicações em odontologia para clareamento dental.

A DMC Equipamentos foi a primeira empresa no mundo a desenvolver a terceira e quarta gerações dos aparelhos de fotopolimerização utilizando LEDs como fonte de luz, criou e patenteou a tecnologia de fotoativação para clareamento dental que congrega dois tipos de emissores de luz de estado sólido (laser de diodo infravermelho e LEDs).

“Os aparelhos da DMC revolucionaram mundialmente os procedimentos de clareamento dental, já que a unidade geradora de luz composta dos equipamentos possibilita o clareamento simultâneo por arco, além de ter como vantagens à minimização do tempo de procedimento e da ocorrência de hipersensibilidade pós-procedimento”, relata Renaldo Massini, diretor da DMC Equipamentos.

“Outros aparelhos da empresa são indicados para uso em técnicas de laserterapia e terapia foto-dinâmica para os cuidados em procedimentos para combater aftas, hipersensibilidades dentinária, DTMs, gengivites, Herpes, edemas, entre outras afecções”, completa o executivo.

Com um vasto portfólio de produtos e experiência, a DMC Equipamentos desenvolve tecnologia em laboratórios próprios, onde se executam inúmeros

testes antes da introdução do equipamento no mercado. Isso repercute em descobertas muito rápidas, como é o caso do gel clareador à base de urucum e juá, fontes renováveis e biodegradáveis. “A empresa, desde sua fundação, esforça-se para acompanhar os avanços científicos e tecnológicos mundiais na área de odontologia”, argumenta Renaldo.

A tecnologia utilizada nos equipamentos DMC é 100% nacional e considerada uma das melhores do mundo, tanto é que desenvolve produtos e equipamentos customizados para várias empresas nacionais e multinacionais no sistema private label.

A mais recente inovação da empresa para a odontologia é fruto do esforço corporativo rumo a inovação e qualidade, o Implantek Lase, motor de implantes da DMC é produzido pela Divisão Cirúrgica e que já fabrica Contra-ângulos, Peças de Mão, Lâminas para Micro-Serras, Drills, Lâminas Cirúrgicas, entre outros equipamentos para a área médica.

Um dos grandes diferenciais da empresa está em disponibilizar ao cliente consultorias por uma entidade própria, o NuPEen – Núcleo de Pesquisa e Ensino de Fototerapia nas Ciências da Saúde, departamento da empresa que coordena as atividades de educação, pesquisa e desenvolvimento das técnicas de clareamento dental, laserterapia, fototerapia, etc, disponibilizando aos profissionais da saúde, o acesso às novas tecnologias através do incentivo e patrocínio de pesquisas que culminem com a criação de conceitos modernos de bioengenharia sem comprometimento da integridade do meio ambiente.

8. MM Optics Ltda

<http://mmo.com.br>

São Carlos, SP

Entrevista: Fernando Ribeiro

Fundação: 1998

Empregados: 65

Maio 2004

A MM Optics é um *spin off* da USP de São Carlos e a sua origem foi o resultado de dois

acontecimentos paralelos. Um deles foi a compra de tecnologia de microscopia óptica da

empresa alemã Carl Zeiss pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e o outro foi a

pesquisa de mestrado do engenheiro Fernando M. de M. Ribeiro sobre aplicação do granito sintético em estruturas de microscópio óptico. O MCT transferiu a tecnologia para o Instituto de Física da USP de São Carlos (IFSC), sendo que a função deste era transferir a tecnologia para o setor privado.

A MM Optics foi então criada para produzir e comercializar os microscópios, utilizando a inovação do granito sintético. Durante três anos, a MM tentou colocar os microscópios no mercado, mas a competição era muito acirrada num setor dominado por empresas multinacionais, com anos de experiência, e o preço dos similares chineses.

Em diferentes etapas e funções temos o representante das instituições no nível nacional (MCT, CNPq, Projeto RHAE), local (USP, Fapesp) e o das organizações (MM, fornecedores). Encarregadas pela busca e exploração de inovações.

Ao mesmo tempo em que enfrentava as dificuldades no mercado de microscópios e devido a sua ligação com o IFSC, a MM foi chamada para resolver um problema dos pesquisadores de aplicação de laser em odontologia (LELO/FOUSP). O custo dos equipamentos importados e a falta de suporte técnico nacional dificultavam a realização das pesquisas. Por isso, a tarefa da MM seria desenvolver o equipamento utilizado nas pesquisas. Foi desta forma que surgiu o primeiro equipamento nacional de laser de baixa potência para aplicação em odontologia, o BDP 660.

Ao passar a fazer parte de um grupo multidisciplinar, a empresa começou a ampliar sua rede de relacionamento. Carlsson *et al* (2002) relatam que esta é uma das formas mais importantes de transferência ou aquisição tecnológica, que pode acontecer tanto por interações mercadológicas ou não. Este tipo de transferência tecnológica, pelo seu caráter acidental ou não intencional, pois não se sabia qual seria o resultado final da pesquisa, é chamado na literatura de *spillover* tecnológico. O ponto fundamental ressaltado pelo autor é que, independente do tipo de transferência tecnológica, é preciso estar ciente da necessidade de investimento de tempo e esforço considerável para o receptor dominá-la. Portanto, é natural que um processo de colaboração de longo prazo se estabeleça, ao invés de um processo pontual.

Os resultados das pesquisas foram positivas e a utilização do laser como propriedade bioestimuladora foi bem recebida pela comunidade de dentistas em geral, atravessando aos muros da academia e criando demanda para o produto desenvolvido pela MM. A história de sucesso do BDP 660 evidencia um outro aspecto do desenvolvimento de produtos tecnológicos, que não é apenas econômico e organizacional. O bem tecnológico promove o desenvolvimento e a inserção social, através da oportunidade daqueles que compram o produto possuem para expandir seu conhecimento para níveis mais avançados e, por sua vez, poder oferecer ao seu cliente a opção por tratamentos mais modernos.

Passados quase sete anos de seu início conturbado, a empresa emprega 34 funcionários e faturou R\$ 5 milhões em 2004. O financiamento da empresa foi feito com capital próprio e com recursos obtidos de projetos como o RHAE (CNPq) e o PIPE (Fapesp). A empresa possui uma rede de distribuidores e assistência técnica em todas as regiões do país e realiza exportações esporádicas para o Chile, México e Peru. Para aumentar o rol de países é necessário criar uma rede de distribuição e assistência técnica internacional, para poder oferecer um contato mais próximo com o cliente.

9. Opto SA

<http://opto.com.br>

São Carlos, SP

Entrevista: Jarbas Caiado de Castro (Professor titular do IFSC e sócio e fundador)

Fundação: 1985

Empregados: 320

Desafios inesperados marcaram a história da Opto Eletrônica. Nascida em 1985, a empresa era a única a fabricar no Brasil emissores de raios laser de hélio-neônio, um tipo de produto em franco crescimento, naqueles tempos, nos Estados Unidos. Tratava-se de um equipamento incorporado a múltiplas aplicações nas áreas médicas e afins, tais como fotocoaguladores, bisturis movidos a laser, entre outros. Não era um produto de venda direta ao consumidor. A Opto fazia o emissor de laser e não o produto final.

Com o tempo, a empresa percebeu que faltava no mercado brasileiro produtos finais com plena utilização do laser. "No Brasil, na época, não havia quase aplicativos", lembra Jarbas Caiado de Castro, um dos sócios da empresa. Foi assim que a Opto passou a desenvolver equipamentos completos com venda direta ao consumidor, chegando a um total de 100 tipos de produtos à base de laser.

A empresa cresceu muito até o final da década de 80, saltando de 6 para 70 funcionários. Mas, em 1989, foi lançado, nos Estados Unidos, um novo tipo de emissor laser, desta vez acionado por diodos semicondutores. Esses componentes são mais eficientes, mais baratos e ocupam menos espaço que os gases e os espelhos utilizados na técnica hélio-neônio. "Foi mais ou menos como passar da válvula para o transistor", compara Castro.

Assim, de uma hora para outra o laser fabricado pela Opto não era mais páreo

para o novo concorrente. E medidas extremas e rápidas foram tomadas, como a adoção do novo componente. Foi uma decisão correta e o crescimento da empresa foi grande e rápido. A Opto começou o ano de 2000 com 100 funcionários e um faturamento anual da ordem de R\$ 13 milhões. Hoje, a linha de produtos da Opto vai de microscópios oftalmológicos de altíssima definição a fotocoaguladores a laser para cirurgias de retina, além de sistemas de precisão de imagens do olho, tornando possível executar a coagulação de microfissuras nesse órgão. Acrescente-se a isso outros inúmeros equipamentos de uso industrial.

"Fomos os pioneiros na produção de equipamentos de laser industriais no Brasil", reforça Castro. "Estamos num segmento que movimenta anualmente, no mundo, mais de US\$ 100 milhões.

A Opto tem seis sócios e está estruturada em três divisões. A primeira é a básica, dedicada à pesquisa e desenvolvimento. A segunda cuida da fabricação dos implementos laser e componentes ópticos de precisão. E a terceira está voltada para a produção de filmes finos utilizados em refletores de "luz fria", outro nicho de mercado muito promissor. Nessa área, a Opto já é o maior fabricante nacional de refletores odontológicos. "Exportamos 45% da nossa produção", reforça Castro.

Produtos desse tipo inauguram com frequência novos segmentos industriais, o que significa dizer criação de empregos mais qualificados. Na Opto, os funcionários têm perfis que vão de técnicos de grau médio a engenheiros, mestres e doutores, além de 20 vendedores fixos. "Nesse setor não é possível manter vendedores genéricos", explica Castro. As especificações e aplicações exigem o conhecimento de inúmeros detalhes que somente quem se especializa consegue entender. É, justamente, o caminho que a Opto quer seguir, incorporando conhecimento a seus produtos.

[Próximo Texto](#) | [Índice](#)

EUA barram satélite do Brasil com a China

Empresas nacionais que trabalham na construção das naves CBERS-3 e 4 não conseguem mais importar peças americanas

Limitação à exportação de tecnologia à China causa o problema, que pode atrasar lançamentos; embaixada afirma que veto não é novo

Joel Silva/Folha Imagem

Sede da Opto, em São Carlos, onde câmera do CBERS-3 é montada; empresa pagou US\$ 45 mil por peça que não pôde vir dos EUA

CLAUDIO ANGELO
EDITOR DE CIÊNCIA
RAFAEL GARCIA
DA REPORTAGEM LOCAL

Os Estados Unidos têm imposto restrições ao programa de satélites que o Brasil mantém em parceria com a China. Empresas nacionais que fabricam peças para as naves CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) 3 e 4 têm tido dificuldade para importar peças dos EUA. E,

segundo a **Folha** apurou, representantes do governo americano disseram a diretores do Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que não gostariam que o satélite Amazônia-1, de produção 100% nacional, fosse lançado em 2010 a bordo de um foguete chinês.

As restrições não são voltadas especificamente contra o Brasil, mas sim contra sua parceira, potência militar e agora também espacial. Os americanos temem transferir à China, através do Brasil, tecnologias sensíveis, que possam ser usadas em equipamentos militares como mísseis balísticos, satélites-espiões e bombas atômicas.

Quem acaba sofrendo com isso é o setor de inovação tecnológica no Brasil. Pelo menos duas empresas subcontratadas pelo Inpe para produzir partes do CBERS-3 e do CBERS-4 -a Mectron, de São José dos Campos, e a Opto, de São Carlos- foram impedidas recentemente de comprar equipamentos norte-americanos.

O caso mais grave foi o da Opto, que está montando a câmera do CBERS-3. Neste ano, ela teve de cancelar um contrato de US\$ 45 mil com a IR (International Rectifier), uma firma da Califórnia, porque o componente comprado -um conversor de corrente altamente sensível- não pôde ser embarcado para o Brasil, mesmo depois de pago.

"O departamento jurídico disse ao nosso contato lá que, se ele exportasse, poderia pegar nove anos de cadeia e multa de US\$ 1 milhão", disse Mario Stefani, diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Opto. O dinheiro foi devolvido, mas o projeto atrasou em seis meses.

Graham Robertson, gerente de Relações-Públicas da IR, diz que não é raro que a empresa seja proibida de exportar depois que se descobre qual é o mercado final do produto. "Nós somos controlados no que diz respeito à China."

"Bomb letter"

O veto atinge dimensões orwellianas. Stefani teve um software para desenvolvimento de instrumentos ópticos médicos (comprado dos EUA) travado remotamente em pleno uso, porque ele poderia também ser aplicado em satélites.

"A empresa viu no nosso site que nós trabalhamos no CBERS e seus advogados mandaram bloquear o programa", afirma.

"Aí mandaram uma "bomb letter" e eu tive de assinar dizendo que aquilo era só de uso médico."

"Bomb letter" é o apelido dado a termos que empresas

americanas fazem compradores de seus produtos no exterior assinarem, comprometendo-se a não dar a esses produtos nenhuma destinação que os EUA não aprovariam, como a fabricação de bombas -daí o nome.

Em agosto último, a Dell computadores mandou uma carta dessas a um físico brasileiro que comprara duas máquinas da empresa. O termo exigia compromisso de que os computadores não seriam repassados a cidadãos do "eixo do mal" -como Irã, Coréia do Norte e Cuba. O cientista denunciou o caso e o Ministério da Ciência e Tecnologia passou uma reprimenda na Dell.

Paranóia reforçada

Limitações à transferência de tecnologia sensível não são novidade, nem exclusividade dos EUA. Vários acordos internacionais regulam o comércio de produtos de uso dual. No caso americano, o Departamento de Estado faz cumprir uma regulamentação chamada Itar (International Traffic in Arms Regulations), que lista uma série de componentes de exportação restrita e classifica os países em vários graus de proibição, de acordo com seu grau de desenvolvimento tecnológico e suas relações com os EUA. Os objetos controlados vão de colas a chips e softwares.

"Depois do 11 de Setembro, essa lei tem sido aplicada de forma indiscriminada", afirma Stefani, da Opto.

Ricardo Cartaxo, diretor do programa CBERS, diz que os dois primeiros satélites da série (desenvolvidos na década de 1990) não sofreram embargo. "Usávamos um componente feito por uma empresa americana subsidiária da Fujitsu japonesa, mas não conseguimos [comprá-lo agora]. Tivemos de mudar o projeto para utilizar uma parte já montada feita por uma empresa francesa."

Atraso

Segundo Cartaxo, o risco de o CBERS-3 sofrer atraso é iminente. "Um lote de componentes está sendo comprado agora. Fizemos a escolha dos fornecedores alternativos e vamos manter o cronograma", diz. "A aposta é que dá para manter o lançamento em abril de 2010, mas não está fácil, não."

Segundo Fernando Ramos, assessor de Cooperação Internacional do Inpe, a ameaça de militarização do espaço pela administração Bush contribui para agravar as restrições. "Isso tem ocasionado problemas para o Brasil, sim, sobretudo

depois daquele ensaio que os chineses fizeram [em janeiro de 2007] e destruíram um satélite antigo deles em órbita", disse. "Os EUA apertaram o cerco à China e aos seus parceiros."

[Texto Anterior](#) | [Próximo Texto](#) | [Índice](#)

Frase

O departamento jurídico disse que, se [o vendedor] exportasse, poderia pegar nove anos de cadeia e multa de US\$ 1 milhão

MARIO STEFANI

diretor da Opto, sobre contrato que empresa americana cancelou após saber que uma peça iria para o programa de satélites sino-brasileiro

Diretor do Inpe diz esperar que veto seja interino

GILBERTO CÂMARA

ESPECIAL PARA A FOLHA

Os EUA são um país grande, com múltiplos interesses. O Inpe tem excelentes relações com instituições americanas na área espacial, como a Nasa e o USGS (Serviço Geológico dos EUA).

Temos um histórico de cooperação científica e técnica, como o uso das imagens Landsat e o experimento LBA.

Infelizmente, as relações positivas na área espacial não se refletem na posição do Departamento de Estado e nas leis americanas. Especialistas da divisão de Controle de Bens Sensíveis dos EUA disseram ao Inpe que sabem que o CBERS é um programa civil e que não há transferência de tecnologia do Brasil para a China.

Mesmo assim, afirmam que as regras americanas proíbem a exportação de componentes espaciais para qualquer programa com participação chinesa. O Inpe confia que o caráter público do CBERS e seus benefícios para todo o planeta possam convencer os legisladores dos EUA a mudar sua atitude. Os EUA, cuja Constituição promove de forma pioneira a

liberdade e a concórdia, são os maiores prejudicados por uma atitude que esperamos temporária.

Gilberto Câmara é diretor do Inpe

País recorre a componente feito na Europa

DA REDAÇÃO

DA REPORTAGEM LOCAL

Para contornar a proibição, as firmas brasileiras passaram a recorrer a componentes feitos por empresas européias, que graças à paranóia americana abriram um novo nicho de mercado, o de produtos "Itar-free" (livres do Itar). A Opto trocou amplificadores e conversores de vídeo para poder usar equipamentos da Europa na câmera do CBERS-3. Outra consequência das limitações é a criação de um verdadeiro mercado negro de itens listados pelo Itar. Muitos são comprados dos EUA por empresas européias -já que os países da Europa têm menos restrições- e reexportados, à revelia do Tio Sam, para países de eixos diversos, do bem e do mal.

Para Ricardo Cartaxo, usar componentes europeus não é uma solução 100% segura. "A Europa tem se mostrado aberta, mas até quando? A gente nunca sabe como vai ser o futuro das relações geopolíticas entre essas grandes potências", diz.

Restrição não é só ao Brasil, dizem EUA

DA REPORTAGEM LOCAL

A Embaixada dos EUA negou que a restrição à exportação de tecnologia espacial ao Brasil seja nova.

"Há uma lei muito específica para a tecnologia americana: não importa para onde ela esteja indo [primeiro], se tiver propósito dual, ela está sujeita a essa lei, porque sua última destinação seria a China", afirmou Richard Mei, adido de Imprensa. "Isso se aplica a todos os países."

Para ele, essa política não ameaça a cooperação científica. "Não vejo nenhum impacto negativo, porque essas leis existem há tempo, e ainda há maneiras de atingir avanços em cooperação, apesar dessa restrição."

Mei também nega o Itar esteja prejudicando o acesso dos EUA a mais mercados. "As empresas americanas também estão sujeitas a essa restrição, mas isso não as impede de trabalhar com seus parceiros em outros países sem que o resultado final viole esta lei."

(RG)

ANEXO C: QUESTIONÁRIO APLICADO NOS EUA

July 2006

Your participation in this research project is very important.

- I will treat the information I receive with the strictest confidence and use it only for research purposes. Safeguarding your information is as important to me as it is to you.

Thank you for your co-operation!

Luciana Pereira
pereiral@mit.edu
(617)379-0919

Company name and address

Contact person

Name:

Function:

Email:

Phone:

- Country of the head office:
- Type of industry:
- Main activity
- Independent or part of a group:
- Number of employees: (please, describe significant changes in these variables/ in which different plants)
- How many employees with advanced degree? (master or PhD)
- Main products
- Market segments and importance (clients)
- Exports (if yes, to which countries?)

- \$ Total turnover (market sales of good and services including exports and taxes)

1. Please can you tell me a little more on the start-up phase of the company?

2.1 How was the company formation? Physically (facility, machines, manufacturing), organizational (hiring people, marketing, suppliers, sales) and financial (seed capital, government, venture capital)

2.2 How was the initial technology acquired/ developed?

2. Can you explain me how the company develops its technology? How is the transformation of the technology into a product?

3. Can you explain me how the company organizes itself in the following areas?

3.1 Product prototype development

3.2 Product and market strategic planning

3.3 Manufacturing process

3.4 Cross functional integration

3.5 Design-build test cycle

3.6 Marketing introduction

3.7 Customer service

4. Did the company receive any public financial support for innovation activities? If yes, from who? You can include government purchase.

5. General information on innovation (products and process) of the firm.

5.1. Has research and development (R&D) activity been performed on a continuous or an occasional basis?

5.2. Number of research and experimental development projects

5.2.1. Completed

5.2.2. Aborted or unsuccessful

5.2.3. Ongoing

5.3. Number of patents

5.4. R&D expenditures

5.4.1. Product

5.4.2. Process

5.5. Number and types of technical staff

5.6 Secrecy

5.7 Having a lead time advantage over competitors

5.8 Complexity of product designs

5.9 Other(s). Please describe and explain.

6. Was the company involved in cooperative and collaborative arrangements with others firms and organizations (excluding contract R&D)?

6.1. Indicate the important reasons for being involved in cooperative and collaborative arrangements.

6.2. Describe your partner(s) and its (their) country(ies).

7. Please, describe me how these sources of information contributes to the company innovation:

A. Internal sources within the firm or business group:

- a. In- house R&D
- b. Marketing staff
- c. Production staff
- d. Management staff

B. External sources:

- a. Competitors
- b. Suppliers of equipment, materials, and components
- c. Clients or customers
- d. Consultancy firms
- e. Higher education institutions
- f. Government research institutes
- g. Private research institutes

C. Generally available information

- a. Professional conferences, meetings, and publications
- b. Fairs and exhibitions
- c. Patent disclosures
- d. Internet or computer based information networks
- D. Other sources of information. Please specify.

8. What are the advantages and disadvantages of the company being located in this city?

9. Describe and explain the internal and external factors for your company that is (were) problems or slow (ed) down the innovation process.

10. What proportion of your sales is due to the technology innovation?

% increase in sales in last three years in domestic market

% increase in sales in last three years in international market

11. How has the innovation influenced the use of factors of production, i.e., labor use, material consumption, energy consumption, and utilization of fixed capital?
12. What was the average cost reduction or increase due to technological process innovation
13. Explain the effectiveness for the company of the following methods of maintaining innovation competitiveness:
 - a. Patents
 - b. Secrecy
 - c. Having a lead time advantage over competitors
 - d. Complexity of product designs
 - e. Other(s). Please describe and explain.
14. Please specify any other important economic impacts of this innovation for the firm.
15. Please make any comments you think are important about the innovation that were not discussed in the questions above. Please also elaborate on any important points discussed above.

ANEXO D: ARTIGO SUBMETIDO À TECHNOVATION

Submissions Needing Revision for Author Luciana Pereira

Click 'File Inventory' to download the source files for the manuscript. Click 'Submit Revision' to submit a revision of the manuscript. If you Decline To Revise the manuscript, it will be moved to the Declined Revisions folder.

IMPORTANT: If your revised files are not ready to be submitted, do not click the 'Submit Revision' link.

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Date Revision Due	Status Date	Current Status	View Decision
View Submission File Inventory Submit Revision Decline to Revise Send E-mail	TECHNOVATION-D-08-00055	Shedding light on technological development in Brazil	Feb 13, 2008	Aug 29, 2008	May 21, 2008	Revise	Major Revisions

Elsevier Editorial System(tm) for Technovation: The International Journal of Technological Innovation, Entrepreneurship and Technology Management Manuscript Draft

Manuscript Number: TECHNOVATION-D-08-00055

Title: Shedding light on technological development in Brazil

Article Type: Research Paper

Keywords: Technological development, Innovation system, Brazil, Photonics

Corresponding Author: Luciana Pereira,

Corresponding Author's Institution: Polytechnic School at University of Sao Paulo

First Author: Luciana Pereira

Order of Authors: Luciana Pereira; Guilherme A Plonski, Dr

Abstract: This paper examines the national system of technological development in Brazil, with particular reference to photonics industries. We looked at some developed and developing countries experience in turn, showing how each of their national approaches to technological development has shaped their indigenous photonics industries. From this discussion, we identified some patterns of development of this sector in Brazil that might help policy makers to improve technological capabilities in developing countries.