



## *XII Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica - ALTEC 2007*

### **Padrão de desenvolvimento tecnológico: Evidências da indústria fotônica<sup>1</sup>**

Luciana Pereira  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Brasil  
[luciana.pereira@poli.usp.br](mailto:luciana.pereira@poli.usp.br)

Guilherme Ary Plonski  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Brasil

#### **Resumo**

Este artigo apresenta as características de desenvolvimento da indústria fotônica. Por suas especificidades tecnológicas, acredita-se que a fotônica terá um impacto econômico e industrial similar ao da eletrônica. Por esta razão, é importante que países em desenvolvimento tentem dominá-la a partir da criação de uma base industrial, cuja origem esteja atrelada aos investimentos local em ciência e tecnologia.

Os resultados foram obtidos a partir de uma série de entrevistas feitas com empresas no Brasil e nos EUA. A conclusão é que os países em desenvolvimento também podem gerar suas próprias tecnologias e transferi-la ao sistema produtivo através de novos produtos.

*Palavras-chave: inovação tecnológica, desenvolvimento industrial, fotônica.*

#### **1. Introdução**

---

<sup>1</sup> Esta pesquisa foi feita com apoio financeiro do CNPq e da CAPES.

Se a atividade de inovação de forma geral é um processo difícil de ser desenvolvido e exige esforços de investimento e aprendizado, o que dizer então da inovação em tecnologias emergentes? Da mesma forma, se for verdade que qualquer país é um iniciante quando se trata de uma nova tecnologia (Schumpeter, 1942), então há uma chance para que todos eles possam tentar produzi-la? Neste artigo construímos uma estrutura que apresenta as principais características observadas no desenvolvimento da indústria fotônica. Entender o padrão de evolução de uma indústria que utiliza uma tecnologia emergente é importante para torná-lo mais forte e replicá-lo em outros campos. Uma tecnologia emergente é definida como aquela cujo princípio científico é conhecido e algumas aplicações são vislumbradas, mas ela ainda carece de um produto ou de demanda de mercado.

Enquanto isso, o mercado global para produtos tecnológicos cresce à taxas superiores aos demais produtos manufaturados e a atividade econômica em indústrias intensivas em capital é responsável pelo crescimento econômico mundial (NSF, 2004). No entanto, os países em desenvolvimento fazem pouca inovação tecnológica, e o debate de como mudar esta situação é centrado em estratégias de transferência tecnológica via investimento direto estrangeiro, resultado das experiências de sucesso do Japão e da Coreia do Sul (Amsden, 1989). Aqui abordaremos uma atitude pró-ativa dos países em desenvolvimento, que vêm nas políticas tecnológicas uma forma de induzir a inovação industrial. Com isso, a transferência por investimento direto estrangeiro passa a ser um elemento complementar e secundário dessas políticas e não mais a principal forma de aquisição tecnológica.

A indústria fotônica foi escolhida para ser estudada por incorporar uma tecnologia emergente considerada estratégica em diversos mercados e produtos *high-tech*. Esta indústria tem como padrão de entrada o *spin off*, em princípio acadêmico e, depois, corporativo. (Klepper, Thompson 2007; Hatakenaka, 2004; Ouimet et al, 2004, Hendry et al; 2000). Segundo estes artigos, os EUA, o Japão a Alemanha e o Reino Unido são, nesta ordem, os líderes na fabricação de produtos fotônicos.

A China colocou a fotônica em seu Plano de Desenvolvimento Tecnológico 863/973 como uma das dez tecnologias emergentes, continuando com destaque no décimo primeiro plano quinquenal (2006-2010) (MOST, 2007). O objetivo do governo chinês é fazer com que o país esteja em compasso com os desenvolvimentos recentes em fotônica, através de metas estabelecidas de desenvolvimento industrial e de inovação. Cidades como Wuhan, Shenzhen e

Xangai são conhecidas como vale da óptica e os governos locais estão investindo no desenvolvimento da infra-estrutura local como forma de tornarem-se auto-suficientes na produção dessa tecnologia (Opto&laser Europe, 2006)

Por estas razões, a indústria fotônica se apresenta como uma oportunidade rara de estudar uma indústria emergente e, por isso, ainda pouco analisada. Ao mesmo tempo, é interessante comparar estratégias de desenvolvimento industrial e tecnológico em países com estruturas econômicas, industriais e culturais muito diferentes.

## **2. Estratégia de inovação tecnológica**

Tradicionalmente, os países menos industrializados usam o modelo de transferência de tecnologia ou investimento direto estrangeiro para produzir sua tecnologia. Produção, execução de projetos e inovação são descritos como as etapas pelas quais os países em desenvolvimento podem se capacitar tecnologicamente (Amsden, 2001). A etapa de produção é a mais fácil delas, pois o seu sucesso decorre da eficiência no processo produtivo. O controle de qualidade e de inventário e o treinamento para assegurar qualidade total são os principais requisitos para obter sucesso nesta etapa. O próximo estágio é a execução de projetos, que se refere à maneira ou ao processo de se fazer uma nova empresa ou um novo produto. Esta etapa requer conhecimentos de análise de viabilidade técnica e econômica, engenharia, gerenciamento de operações e a única forma de se capacitar é fazendo. O último estágio é o da inovação, que é feito de forma moderada por alguns países em desenvolvimento por falta de infra-estrutura. A Coreia do Sul é o modelo de país que se industrializou tardiamente e que atualmente atingiu patamar de inovação igual ao de países mais avançados. O trabalho de Kim (1980) fez uma análise detalhada de como e por que as firmas coreanas importaram tecnologia, como a tecnologia foi assimilada e adaptada e qual foi o papel do governo e de outros fatores exógenos sobre este processo.

Para que a ciência e a tecnologia possam ter efeito no desenvolvimento industrial sem depender da importação ou dos investimentos diretos estrangeiros, é preciso, antes de mais nada, que haja uma comunidade científica local bem desenvolvida e disposta a interagir com outros setores da sociedade.

Na literatura, este tipo de interação é chamado de sistema de inovação, pois é ele que rege as instituições (universidades, institutos de pesquisa, governo e empresa) e suas inter-relações

para a produção, difusão e uso de novo e economicamente viável conhecimento pelo sistema produtivo (Lundvall, 1992). A Empresa Brasileira de Aeronaves (Embraer) é o exemplo mais notável de um país em desenvolvimento que conseguiu construir sua própria indústria aeronáutica e competir com os países mais avançados a partir de um sistema de inovação próprio (Ramamurti, 1985).

Porém, por de trás da estratégia de sucesso técnico existiu também a estratégia de mercado que focou a exploração de nichos, a qual diz que países ou empresas possuem maiores chances ao tentar competir em mercados ainda não dominados. O padrão de inovação de mercados tradicionais é caracterizado pela “acumulação criativa” e, por isso mesmo, se caracteriza como 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 (Nelson e Winter; 1982). Tais fatores são obstáculos suficientes para que uma empresa nova se arrisque em tentar disputar este mercado

A inovação pode ganhar seu espaço no mercado através da exploração de nichos e, neste caso, é possível arriscar a introdução de uma nova tecnologia, diferente do que já existe. Como trata-se de algo novo, quase não existem barreiras à entrada e por isso o padrão de organização é representado por um número razoável de pequenas empresas operando num ambiente instável. A tabela 1 apresenta um resumo das principais características das estruturas inovadoras chamadas de Schumpeter Marco I e Marco II.

*Tabela 1- Taxonomia Schumpeter Marco I e Schumpeter Marco II*

<b><i>Características</i></b>	<b><i>Schumpeter Marco I</i></b>	<b><i>Schumpeter Marco II</i></b>
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 pelo autores com base no trabalho de Malerba e Orsenigo (1996)*

A forma de organização da firma, conforme demonstrada pela taxonomia Schumpeter Marco I e II, também podem estar associada ao tipo de produto desenvolvido. Teoricamente, as empresas do tipo Schumpeter Marco I estariam mais propensas ao risco de realizar inovações que rompem e tornem obsoleto algum padrão estabelecido, portanto denominada inovação

radical. Empresas categorizadas como Schumpeter Marco II, talvez, mas não obrigatoriamente, estejam numa posição mais confortável em relação aos concorrentes (Klepper, 1996).

Estes são extremos opostos. Há inovações que aperfeiçoam e melhoram um produto e são denominadas incrementais e 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, 1990).

A dificuldade de desenvolver novos produtos nas firmas tipo Schumpeter Marco I é muito maior porque o ambiente na qual elas se encontram inseridas é turbulento e instável. A dinâmica competitiva pode ser intensa, pois não há barreiras à entrada nem um design dominante foi estabelecido. Assim, o modo que essas empresas podem se diferenciar é através do desenvolvimento rápido de produtos inovadores. Portanto, a criação de uma carteira de novos produtos é o caminho para ganhar mercado e, com isto visibilidade, legitimidade e fluxo de caixa. Espera-se dessa forma, que além de continuar existindo, a firma aumente suas capacitações através do aprendizado organizacional (Schoonhoven, 1990).

Para criar produtos inovadores a firma precisa saber balancear conhecimentos científicos, tecnológicos e gerenciais. Numa primeira etapa, é preciso haver um conhecimento prévio e uma linguagem comum para reconhecer oportunidades tecnológicas exógena à firma. Em seguida, é necessário saber assimilá-las e absorvê-las conforme estratégias determinadas pela empresa. Por fim, é preciso transformar este conteúdo em algo comercialmente viável. Este conjunto de habilidades é denominado capacidade absorptiva (Cohen, 1990).

Portanto, há três problemas: o primeiro é a questão da geração de novas tecnologias, o segundo é a transformação da tecnologia em produtos ou processos e o terceiro é a questão mercadológica. Fazer a ponte entre estas etapas é uma tarefa bastante difícil e cara, sendo este um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas e transpô-lo irá diferenciar as vencedoras das demais.

Assim, para ser competitiva, uma empresa precisa ter capacidade gerencial de coordenar competências internas e externas e desenvolver produtos de forma rápida e flexível. Em resumo, fazer a integração tecnológica, isto é, a interação entre a pesquisa científica, o design do sistema e o desenvolvimento do produto (Iasinti, 1999). Ainda, 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.

### **3. Observações empíricas**

A base deste artigo é o resultado de um trabalho de pesquisa de três anos, conduzido no Brasil e nos EUA. Trata-se de um estudo comparativo e de múltiplos casos e esta estratégia de pesquisa se justifica porque, como veremos a seguir, esta não é uma indústria homogênea em termos de aplicações, mas o seu padrão de organização parece ser regular. A primeira parte da pesquisa foi feita durante um estágio de 15 meses no Massachusetts Institute of Technology. Durante esse período fez-se o levantamento de dados secundários, tais como artigos escritos sobre o assunto, catálogos técnicos e visitas a duas das principais conferências que reúnem o maior número de empresas do setor: Photonics West, em São José, Califórnia, e Photonics East, em Boston, Massachusetts.

Dentre as empresas entrevistadas, algumas estão localizadas em diferentes regiões do EUA (Flórida, Massachusetts, Califórnia) e uma no Canadá (Montreal). A segunda parte da pesquisa foi feita no Brasil quando foram entrevistados os sócios das principais empresas de Campinas, São Carlos (São Paulo) e uma empresa de Recife (Pernambuco). Com exceção da entrevista de Recife, que foi feita por correio eletrônico, as demais foram gravadas e, posteriormente, codificadas e analisadas. Durante o processo de edição e codificação observou-se a repetição de diversos padrões já relatados na literatura.

A escolha de uma tecnologia particular, ao invés do foco genérico em empresas tecnológicas, torna o estudo comparativo mais acurado. Além disso, da mesma forma que tecnologias diferentes possuem trajetórias diversas, o mesmo ocorre com os padrões de inovação inter-indústria. Um aspecto interessante, no entanto, é que a trajetória tecnológica não muda para um mesmo setor tecnológico, mesmo que localizado em países diferentes (Carlsson, 2002).

A relação entre o conhecimento e o ambiente tecnológico e a taxa de inovação e a estrutura inovadora acontecem dentro de setores específicos. Isto é, a natureza do aprendizado tecnológico, no caso desta análise em fotônica, e organizacional, como as firmas operam, 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 de inovação (Malerba, Orsenigo 1997).

## **4. Luz: o vetor da nova revolução industrial**

### **4.1 Antecedentes**

A fotônica é um caso interessante para examinar as interações entre ciência, tecnologia e indústria. Cientificamente, o conceito moderno de fóton foi desenvolvido por Einstein entre 1905 e 1917 para explicar observações experimentais que não se encaixavam no modelo clássico de luz como onda. Até então, a óptica clássica, descrevia o comportamento da luz como uma onda eletromagnética viajando em uma determinada direção. Neste modelo, a luz é entendida pelos parâmetros comprimento de onda, velocidade e frequência. A compreensão destas características permitiu entender o comportamento óptico básico: refração, reflexão, difração e interferência. A óptica moderna está associada à descoberta da mecânica quântica no início do século XX que levou a constatação de que a luz não se comporta apenas como onda, mas também como uma partícula. Representada pelo conceito de fóton, uma partícula de luz contém uma quantidade específica de energia, que por sua vez é proporcional à frequência da onda de luz por ela representada.

Popularmente, a fotônica tornou-se sinônimo de suas aplicações como optoeletrônica, laser, fibra óptica. Em termos tecnológicos, a fotônica pode ser definida como toda tecnologia física, química ou biológica utilizada para gerar, ampliar, manipular, transmitir, medir e utilizar a luz. De qualquer forma, a verdade é que a história da indústria está intimamente associada aos avanços científicos e tecnológicos realizados tanto em laboratórios acadêmicos quanto industriais (Townes, 1999).

A evolução científica e as inovações tecnológicas decorrentes se tornam evidentes quando nos atentamos às suas aplicações. As lentes, os prismas, os óculos, binóculos, microscópios, lunetas, câmera fotográficas (não digital) são todos exemplos de produtos que tiveram suas origens atreladas aos conhecimentos advindos da óptica clássica. Da mesma forma, bens de consumo modernos como o CD, DVD, LCD ou bens de capital como instrumentos de medição e lasers para uso na manufatura, equipamentos cirúrgicos e terapêuticos, equipamentos de telecomunicações, entre outros, são frutos da evolução científica alcançados em meados do século XX.

### **4.2 Pesquisa científica e inovação**

Será que pesquisa científica é importante para inovação tecnológica? Uma análise sistemática do índice de citação científica (SCI) demonstrou que aos países líderes em publicações científicas na área de óptica são também líderes em inovação tecnológica (tabela 2).

A queda da participação das publicações dos EUA em óptica nos anos noventa ocorreu em virtude do aumento da participação dos demais países. De qualquer forma, os americanos lideram o *ranking* de publicações, mantendo-se bem a frente dos outros. A China é o país que apresenta o crescimento mais expressivo, seguido pela Coreia do Sul, Taiwan e Polônia. Por outro lado, o Reino Unido e o Canadá são aos países que publicaram menos.

Tabela 2. Participação em artigos publicados em óptica por países selecionados, 1990-1991

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
1	EUA	32,8	31,6	30,5	31,3	30,2	28,3	26,6	25,8	24,4	24,5	24,4	24,2
2	Japão	7,3	7,5	7,0	6,3	7,5	8,0	8,2	8,0	9,4	9,2	9,0	8,3
3	Alemanha	5,4	6,1	7,7	7,2	7,8	7,9	8,1	8,3	8,0	8,8	8,8	9,0
4	Reino Unido	7,7	7,5	7,8	7,7	8,1	8,0	8,0	7,6	7,3	7,2	7,3	6,0
5	França	4,4	4,8	5,1	5,0	5,4	5,3	6,1	7,0	6,7	6,2	6,2	6,9
6	Suíça	1,0	1,1	0,9	1,1	1,1	2,4	1,4	1,5	1,7	1,6	1,4	1,4
7	Canadá	2,7	3,0	3,3	3,5	3,0	2,8	2,7	2,7	2,3	2,3	2,4	2,3
8	Suécia	0,7	0,8	0,8	1,1	1,2	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,7
9	Itália	2,0	2,4	2,7	2,6	2,8	2,9	3,3	3,3	3,5	3,7	3,8	4,2
10	Holanda	1,2	1,5	1,7	1,4	1,8	1,4	1,4	1,6	1,5	1,5	1,6	1,6
11	Coréia	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	1,2	1,0	1,3	1,5	1,6	1,9	2,2
12	Taiwan	0,7	0,8	1,1	1,2	1,1	1,2	1,8	1,7	2,0	1,8	2,0	2,3
13	Índia	2,1	2,3	2,1	2,0	1,9	1,6	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	2,3
14	China	2,8	3,0	3,2	3,9	3,3	4,0	3,9	4,1	5,1	5,7	6,9	8,0
15	Polônia	1,2	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,4	1,3	1,5	2,2	2,2
	Todos	72,3	74,2	75,4	76,2	77,1	77,2	76,8	77,3	77,9	78,8	81,2	82,5
	Top 10	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 SCISEARCH; Fraunhofer ISI calculations (Frietsch, 2004)

A queda da participação das publicações dos EUA em óptica nos anos noventa ocorreu em virtude do aumento da participação dos demais países. De qualquer forma, os americanos lideram o ranking de publicações, mantendo-se bem a frente dos outros. A China é o país que apresenta o crescimento mais expressivo, seguido pela Coréia, Taiwan e Polônia. Por outro lado, o Reino Unido e o Canadá publicaram menos.

Um outro indicador que correlaciona pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica é o número de patentes. Muito embora as patentes não estejam diretamente associadas à novos produtos, elas ajudam determinar implicações tecnológicas. De acordo com a tabela 3, os EUA foram responsáveis por 1/3 das patentes registradas em tecnologias ópticas na Europa, seguido de perto pelo Japão e, um pouco mais distante, pela Alemanha. A Holanda ficou à frente de países maiores como a França e o Reino Unido, fato que deve ter ocorrido em função dos holandeses serem produtores tradicionais de televisores e equipamentos de iluminação. Já a Suécia e a Suíça possuem um número considerável de patentes, alternando as aplicações tecnológicas mais modernas com as mais tradicionais. Tal característica também é observada no Japão, apesar de que as tecnologias tradicionais predominam neste país. Em termos de crescimento, os números mais expressivos são apresentados pela Suécia, Taiwan, Canadá e Coréia do Sul. Com exceção de Taiwan, os demais países estão procurando se especializar em aplicações tecnológicas mais modernas.

Tabela 3. Indicadores de patentes com base em aplicações das tecnologias ópticas

	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 Coreia	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 PATDPA Fraunhofer ISI calculations Fristsch (2004)

## 5. Padrão de desenvolvimento da indústria fotônica

A estrutura da indústria fotônica global possui duas características distintas, dependendo do mercado de atuação e isso irá moldar o padrão de organização industrial. A primeira delas é que indústrias voltadas para setores mais tradicionais são dominadas por grandes empresas (Miazaki, 1995). Neste caso, o progresso tecnológico é cumulativo, o mercado é oligopolizado e as barreiras à entrada são grandes. O segundo grupo é formado por empresas que surgiram em centros de pesquisa ou das empresas estabelecidas, através do chamado processo de *spin-off*, quando engenheiros deixam as empresas que trabalham para criar o seu próprio negócio. Dependendo do tipo de negócio, a nova empresa pode atuar num novo nicho que não interessa a empresa que ele trabalhava anteriormente ou se tornar o seu fornecedor. A estrutura de inovação em tecnologias emergentes para países em desenvolvimento também segue este padrão.

Nos países industrializados, as universidades e as instituições de pesquisa possuem papel fundamental no desenvolvimento científico e tecnológico e no suprimento de recursos humanos. Além disso, as universidades participam 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

é um mecanismo comum no processo de transferência de tecnologia. A principal diferença é que os países em desenvolvimento precisam criar sua base industrial tecnológica, o que no caso dos países mais avançados já existe. Portanto, a participação direta e ativa das universidades e/ou centros de pesquisa é fundamental para a criação da base industrial, assim como o professor cientista e os seus ex-alunos e técnicos de laboratório serão os principais responsáveis pelo desenvolvimento de um equipamento, processo ou técnica porque o conhecimento tecnológico é tácito a estas pessoas.

No caso de Campinas isto é mais explícito, quando a criação da Unicamp e do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Pesquisa em Telecomunicações (CPqD) desencadearam o desenvolvimento das indústrias fabricantes de equipamentos para telecomunicações. No caso de São Carlos, as empresas surgiram de forma empreendedora, sem intervenção estatal. Pernambuco está procurando seguindo os mesmos passos de São Paulo, seguindo o modelo de incubação de empresas na Universidade Federal de Pernambuco.

Desta maneira, a criação de empresas está atrelada às necessidades de um projeto de pesquisa específico, que não poderia ser executado por algum tipo de dificuldade, sendo o principal deles o custo de aquisição de um equipamento, que inviabiliza tanto a continuação da pesquisa como a disseminação de seus resultados. A expectativa de obter um ganho com o desenvolvimento do protótipo criado é o maior motivador para que empresas sejam criadas e as pessoas participem.

Com recursos próprios o(s) professor(es), alguns ex-alunos de mestrado e/ou doutorado e técnicos abrem uma empresa para produzir o equipamento. Esta 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.

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.

Apesar de contraditório, as empresas de capital de risco só investem quando estão certas de que o negócio é seguro, por isso não há capital de risco em tecnologias emergentes, mesmo em países avançados. Os governos americanos e britânicos estimulam as tecnologias emergentes através do financiamento integral de projetos especiais de inovação através do Ministério da Defesa. 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 (Opto&laser Europe, 2006).

Por causa deste padrão de entrada, as firmas fotônicas são pequenas, geralmente especializadas na manufatura de componentes fotônicos e, raramente em posição de competir, pelo menos no início, com empresas maiores. Como consequência, essas empresas são altamente especializadas e atuam em nichos, sendo pouca a manufatura de larga-escala, o que diminui a sua capacidade de competir em alto volume e, como resultado, a indústria fotônica se apresenta de forma fragmentada.

Na etapa da produção é preciso encontrar as formas de desenvolver e refinar as máquinas e ferramentas utilizadas na manufatura. No caso da empresa empreendedora, ela conta 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 mecânicos, montam os cartões eletrônicos, 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 são sempre produzidas internamente. A escassez de recursos para investir em bens de capital é resolvida através da adaptação de máquinas e equipamentos tradicionais para efetuar seus processos. Estas adaptações, além de constituírem-se como inovações incrementais, funcionam também como uma propriedade intelectual que dificulta a imitação do processo. A montagem dos módulos, a integração final dos produtos e os testes são tarefas realizadas internamente.

Ao mesmo tempo, a empresa precisa assegurar que os objetivos de P&D almejados estejam alinhados com as demandas de mercado e aos demais objetivos de longo prazo da empresa.

Em virtude disto, a identificação da idéia e da necessidade tecnológica precisam ser muito bem avaliadas. Esta avaliação é feita a partir da participação em feiras e congressos, quando a empresa 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 tecnológicas.

Conforme a empresa vai se consolidando, ela pode expandir sua atuação em outros nichos de forma a atender o interesse dos clientes e, assim, pode crescer rapidamente. Na indústria fotônica, espera-se que a empresa cresça até atingir um tamanho médio, sendo muito difícil que ela consiga passar disso. Conforme a empresa vai crescendo a forma de gerenciá-la deixa de ser menos empreendedora no sentido de que aos sócios irão fazer um pouco de tudo, dando espaço ao gerenciamento profissional e esta ação será determinante no caso da empresa decidir abrir o seu capital.

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.

Uma das primeiras parcerias é feita entre representantes e distribuidores de produtos, tanto como forma de expansão de mercado interno e externo, como em relação aos serviços de pós-venda. Além disso, 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 é tanto uma chance de tornar o cliente fiel como configura-se também em uma forma de melhorar e incrementar novas gerações do produto.

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.

No quadro 1 encontram-se resumidas as principais características da evolução da indústria fotônica. A existência de uma sólida base científica em óptica gerou capacitação técnica que

combinada às motivações pessoais induziram a formação destas empresas. O reconhecimento inicial adveio da origem das empresas estar atrelada a instituições de pesquisas. No momento da criação da empresa pode-se dizer que a sua capacidade de inovação dependia do conhecimento acumulado e do histórico dos fundadores, portanto tácito a algumas pessoas.

A inovação tecnológica e a eficiência incorporada aos produtos desenvolvidos determinam o sucesso da empresa no mercado e está intrinsecamente relacionada à gestão de produtos, que por sua vez, é o resultado da gestão organizacional como um todo. O sucesso da gestão das competências internas é importante para fortalecer as diversas inter-relações observadas no sistema de inovação.

*Quadro 1- Principais características da evolução da indústria fotônica*

<b>Variáveis</b>	<b>Fase I</b>	<b>Fase II</b>	<b>Fase III</b>
Padrão de entrada de novas firmas	Spin off acadêmico	Empresas sobreviventes da fase I	Spin off corporativo Novas firmas vão surgir das empresas que se consolidaram na fase anterior
Recursos humanos críticos	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 isto garante o intercâmbio	Empresa formada por pessoal técnico, sem ligação formal com a universidade e/ou instituto de pesquisa
Recursos financeiros críticos	Recursos próprios + recursos de pesquisa	Recursos da empresa + empréstimos bancários + apoio à pesquisa na empresa	Recursos da empresa + empréstimos bancários + apoio a pesquisa na empresa + abertura do capital
Aquisição tecnológica inicial	Universidade/Instituto de pesquisa	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
Processo de Produção da tecnologia	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
Fonte predominante da mudança tecnológica	Resolução de um problema	Cliente-mercado	Cliente-mercado
Transferência internacional de tecnologia	Engenharia reversa	Um pouco de engenharia reversa, máquinas e equipamentos	Máquinas e equipamentos
Mercado	Interno	Interno e externo	Interno e externo

Ênfase P&D&E	Desenvolvimento e engenharia	P&D&E	P&D&E
Fornecedores de peças e componentes	Interno e externo	Interno e externo	Interno e externo
Integração	Vertical	Vertical	Vertical
Colaboração com outras empresas	Não	Sim	Sim
Papel das instituições de P&D	Fornecer pessoal e transferência de conhecimento, infraestrutura de pesquisa	Fornecer pessoal e transferência de conhecimento infraestrutura de pesquisa	Fornecer pessoal e transferência de conhecimento infraestrutura de pesquisa
Gerenciamento	Empreendedor	Empreendedor-Professional	Professional
Política governamental	Direta	Indireta	Indireta

*Fonte:Elaborado pelos autores*

## 6. Conclusão

Nossa análise da indústria fotônica sugere que há possibilidades dos países em desenvolvimento criarem sua própria indústria através da ocupação de nichos, desenvolvimento de novos produtos e gerenciamento profissional da empresa. Este trabalho é o resultado do estudo de empresas brasileiras cuja tecnologia originou-se a partir da base de conhecimento nacional, que foi transferida ao sistema produtivo e que vem gerando produtos inovadores tecnologicamente. Portanto, uma primeira conclusão é que incentivar estas interações pode ser uma forma eficiente de aumentar a participação do Brasil e de outros países em desenvolvimento na produção de produtos tecnológicos.

A principal diferença entre países mais avançados está no fato de que a participação das universidades, institutos de pesquisas e de ações governamentais seriam mais diretas no início e o padrão de entrada ocorreria através do processo de spin off acadêmico. Com o passar do tempo, a empresa desenvolve habilidades próprias e seu crescimento e sucesso tornam-se estímulo e exemplo para que novas empresas entrem.

Outra diferença significativa é encontrada entre o padrão de entrada dos países mais industrializados e dos demais. Como aqueles já possuem uma base industrial e tecnológica avançada, os recursos humanos críticos, além de serem técnicos especializados, são também profissionais com experiência em ambiente corporativo. No entanto, independente do estágio de evolução em que a empresa se encontre, políticas governamentais que financiem novos projetos tecnológicos são sempre bem-vindos durante o processo de geração de novas tecnologias e novos produtos.

Portanto, há duas questões para serem analisadas futuramente, a primeira é como transferir tecnologia entre organizações que possuem objetivos e missões diferentes. A segunda é como fazer com que o resultado da transferência tecnológica seja o mais eficiente possível em termos de resultados corporativos e mercadológicos. O domínio técnico do conhecimento não é razão suficiente para garantir o sucesso de um empreendimento. Assim, 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, que é o de construir e refinar o entendimento de um fenômeno básico, e será realizado nas instituições, enquanto o desenvolvimento combina os resultados da pesquisa para criar produtos e/ou processos específicos, e é a responsabilidade principal da empresa. O processo de transferência tecnológica só se efetiva quando o mercado der seu aval. A empresa agora é responsável por se organizar de forma a tornar seu produto reconhecido pelo mercado.

Esperamos que o resultado deste trabalho contribua para o debate dos sistemas de inovação tecnológica em países em desenvolvimento. Um estudo comparativo entre China, Brasil e Rússia, analisando a estratégia de desenvolvimento tecnológico para a indústria fotônica é uma pesquisa interessante a ser feita no futuro, estudo que pretendemos realizar.

## Referências

- AMSDEN, A.H (2001) – *The rise of the “rest”: the challenges to the west from late-industrializing economies*. New York. Oxford University Press.
- AMSDEN, A. H. (1989) *Asia’s next giant: South Korea and late industrialization*. New York. Oxford University Press.
- CARLSSON, B.; JACOBSSON, S.; HOLMÉN, M.; RICKNE, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy* vol.31, n.2, pp.233-245.
- COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D.A. (1990) Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*. 1990. Vol. 35 n1. pp128-133.
- FRIETSCH, R.; GRUPP, H. (2004) There's a new man in town: the paradigm shift in optical technology, *Technovation* 26, 13-29
- HATAKENAKA, S. (2004) *Optoelectronics in Hamamatsu: in search of a photon valley*. MIT Industrial Performance Center. March. pp. 1-40. <http://web.mit.edu/ipc/www/pubs/articles/IPC04-003.pdf>
- HENDERSON, R; CLARK, K. (1990) Architectural innovation. *Administrative Science Quarterly*. vol. 35 n1. pp. 128-133.
- HENDRY, C; BROWN, J; DEFILLIPPI, R. Regional clustering of high technology-based firms: optoelectronics in three countries. *Regional Studies*. Vol. 34 n.2 pp.129-144
- IANSITI, M. WEST, J (1999) From Physics to Function: An Empirical Study of R&D Performance in the Semiconductor Industry. *Journal of Product Innovation Management*. vol.16, n2, pp.385-399.
- KIM, L (1980) Stages of development of industrial technology in a developing country: A model. *Research Policy* vol. 9, n3, pp 254-277

- KLEPPER, S THOMPSON, P (2007) Submarkets and the evolution of market structure. *Rand Journal of Economics*. Vol 34, n4, pp.862-888.
- KLEPPER, S (1996) Exit, entry, growth, and innovation over the product life cycle. *American Economic Review*. Vol 86, n3, pp.562-583.
- LASER FOCUS WORLD (2006). Review and Forecast of the Laser Markets: Part I Nondiode Lasers. n. 40, v1 January.
- LASER FOCUS WORLD (2006). Review and Forecast of the Laser Markets: Part II Diode Lasers. n. 40 v.2 February.
- LUNDVALL, B.A. (1992) - *National Systems of Innovation: toward a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter.
- MALERBA, F; ORSENIGO, L. (1996) The dynamics and evolution of industries. *Industrial and corporate change*.v.5, n.1, pp.51-87
- MALERBA, F; ORSENIGO, L. (1997) Technological regimes and sectoral patterns of innovative activities. *Industrial and corporate change*.v.6, n.1, pp.83-117.
- MANI, S. (2001) Government, innovation and technology policy: an analysis of the Brazilian experience during the 1990s. UNU/INTECH, DP# 2001-11. December..pp.56. <http://www.intech.unu.edu/publications/index.htm>
- MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA (MOST) (2007). <http://www.most.gov.cn/eng/programmes1/index.htm>
- MIYAZAKI, K.(1995). *Building Competences in the Firm lessons from Japanese and European Optoelectronics*, Macmillan
- NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (NSF). (2004). Science and Engineering indicators. Industry, Technology, and the Global Marketplace. <http://www.nsf.gov/statistics/seind04/toc.htm>
- NELSON, R.; WINTER, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press
- OUIMET, M.; LANDRY R.;AMARA, N. Network positions and radical innovation: a social network analysis of the Quebec optics and Photonics cluster. DRUID Summer Conference 2004 <http://www.druid.dk/ocs/viewabstract.php?id=87&cf=1>
- OPTO&&LASER EUROPE ( 2006). How to tap the potential of military market March n126 25-27
- OPTO&&LASER EUROPE ( 2005). China turns its eyes to photonics to fuel growth. January, online
- RAMAMURTI, R (1985). High technology exports by state enterprise in LDCs: The Brazilian aircraft industry. *The Developing Economies* v.23, n.3, pp. 254-280.
- SCHUMPETER, J. A. (1942) *Capitalismo, socialismo e democracia*. Rio de Janeiro. Zahar Editores.
- 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*. vol 35 n1 177-207
- TOWNES, C H. (1999) *How the Laser Happened. Adventures of a Scientist* New York. Oxford University Press