

Firmas Integradoras de Sistemas, suas Capacitações e Fontes de Tecnologia – O Caso da Empresa Brasileira de Aeronáutica (Embraer)

Milton de Freitas Chagas Junior¹

Arnoldo Souza Cabral²

Milton de Abreu Campanário³

Resumo

A dinâmica da inovação dos sistemas complexos tem sido tratada como uma categoria distinta de análise, uma vez que apresenta características muito diferentes daquelas dos sistemas de produção em massa e de processo contínuo. Sistemas complexos são bens de capital de alto valor agregado, geralmente produzidos em pequenos lotes, através de alianças temporárias entre diversas organizações, porque uma única firma não consegue desenvolver toda a base de conhecimentos necessários para sua produção. O uso de fontes externas de conhecimento e componentes tem aumentado na estratégia competitiva das firmas – por meio da modularidade –, para fazer frente à crescente complexidade dos produtos, em termos de número de componentes e especialização de sua base de conhecimento relevante. A literatura sobre o assunto define firma integradora de sistemas como a organização que estabelece e lidera uma rede dos pontos de vista organizacional e tecnológico. Mesclando características positivas dos mercados e das hierarquias, essas redes ajudam a coordenação das atividades econômicas, especialmente aqueles com caráter inovador. Utilizando a visão baseada em recursos da firma como referencial teórico, o objetivo desta pesquisa é analisar, através de um estudo de caso, as capacitações requeridas para integrar conhecimentos, internos e externos, visando à coordenação de projetos e programas que atendam à evolução dos requisitos de seus clientes. O artigo propõe um modelo cognitivo estilizado que permite compreender o desenvolvimento de capacitações em integração de sistemas.

¹Doutor e mestre em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE. End.: Av. Francisco Matarazzo, 612, Água Branca, São Paulo – SP. Cep 05001-100 – Brasil. E-mail: miltonfc@uninove.br.

²Doutor em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. Atualmente é professor associado do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. End.: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica, Departamento de Organização. Vila das Acácias, n. 50 – São José dos Campos – SP. Cep 12228-900 – Brasil. E-mail: cabral@ita.br.

³Doctor of Philosophy – Cornell University. Atua como professor do departamento de Economia da Universidade de São Paulo – USP. É coordenador do Programa de Mestrado e Doutorado em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE. Endereço: Centro Universitário Nove de Julho. Av. Francisco Matarazzo 612 – Prédio C – Água Branca, São Paulo – SP. Cep 05001-100 – Brasil. E-mail: miltonac@uninove.br.

Artigo recebido em: 30/08/2010. Aceito em: 12/11/2010. Membro do Corpo Editorial Científico responsável pelo processo editorial: Thomas G. Brashear.



Esta obra está sob a Licença Creative Commons Atribuição-Uso.

Palavras-chave: Capacitações em integração de sistemas. Desenvolvimento tecnológico. Desenvolvimento de novo produto. Modularidade. Redes organizacionais.

I. Introdução

Os Sistemas Complexos (SC) têm sido objeto de estudos recentes. O objetivo principal desses estudos é identificar questões relacionadas com específicas capacitações tecnológicas e organizacionais que surgem quando são analisados os processos de criação de produtos sistêmicos, de longo ciclo de vida, alto valor agregado, intensivos em capital, projetos de engenharia e tecnologia da informação, envolvendo redes interorganizacionais internacionais.

Estão inclusos na categoria de SC uma parte significativa da produção de bens de capital, tais como: edifícios inteligentes, diversos sistemas militares, redes corporativas de informação, sistemas de comunicação móvel, aeronaves, subsistemas de aeronaves, como o de propulsão e aviônica, simuladores de voo, sistemas de controle de tráfego aéreo, plataformas de petróleo, geradoras de energia, pacotes de *software* desenvolvido *ad-hoc*, entre outros.

De longa tradição na literatura sobre sistemas militares, há apenas uma década, autores da corrente evolucionária procuram definir e tratar os processos de inovação em SC como uma categoria analítica distinta dos processos convencionais, como por exemplo, Miller *et al.* (1995); Hobday (1998); Dosi *et al.* (2002); Pavitt (2003) e Prencipe *et al.* (2003). Muito embora grandes diferenças existam entre as indústrias dos SC, importantes características comuns podem ser notadas. Dentre elas, ressaltamos: (a) a inexistência de projeto dominante selecionado pelo mercado *ex-post*; (b) a grande quantidade de disciplinas tecnológicas que devem ser dominadas e integradas seguindo a lógica hierárquica do SC; (c) a necessidade de se estabelecer redes interorganizacionais, com base em um projeto, em que os agentes devem assumir acordos de participação *ex-ante* enegociar questões técnicas ao longo das etapas de projeto, desenvolvimento, produção e manutenção; e (d) o grande envolvimento de clientes ao longo de todo o processo.

Em oposição à dicotomia entre mercados e hierarquias, as redes interorganizacionais emergiram como uma forma de organização das ativi-

dades econômicas, principalmente as de caráter inovador. Enquanto nos mercados o mecanismo de coordenação se dá por meio do sistema de preços, nas hierarquias essa coordenação ocorre no meio da integração vertical. Em redes o mecanismo de coordenação é a integração de sistemas, que mescla características dos mercados e das hierarquias (PRENCIPE *et al.* 2003). Anteriormente, confinada dentro da engenharia de sistemas, a integração de sistemas se tornou uma atividade estratégica que envolve a gestão do negócio, não somente no nível técnico, mas também no organizacional. Para competir, as firmas devem criar e manter capacitações em integração de sistemas para gerenciar a integração de novos componentes e conhecimentos tecnológicos, gerados interna ou externamente à firma. A questão da fronteira vertical das firmas torna-se relevante neste ponto, pois ao contrário do que a literatura sobre decisões de fazer ou comprar (*make or buy*) sugere, as firmas podem identificar, gerenciar e integrar mudanças técnicas, sem serem integradas verticalmente.

Rothwell (1992) se referia a uma classe particular de firmas líderes, responsáveis pela coordenação geral da inovação e produção não apenas de suas atividades internas, mas também de uma rede de fornecedores de equipamentos, componentes e conhecimentos especializados, como integradoras de sistemas (*systems integrators*). Especificamente na indústria de construção aeronáutica, Mowrey e Rosenberg (*apud* HOBDDAY, 1998, p. 705) dizem:

[...] much of the US\$ 4 billion to US\$ 6 billion devoted to R&D for commercial jets was spent on integrating together prototypes machines, avionics, propulsion and other aerodynamic components. In addition on their internal tasks, *systems integrators* often have to coordinate the innovation activities of supply network made up of small firms, major users, large partner companies, standard bodies and governments departments.

Brusoni, Prencipe e Pavitt (2001), seguindo essas contribuições, introduzem o conceito de firma integradora de sistemas como a organização que estabelece e lidera uma rede do ponto de vista tecnológico e organizacional.

As capacitações necessárias para estabelecer e liderar redes são divididas em duas categorias analíticas, sincrônica e diacrônica (PRENCIPE *et al.*, 2003). A dimensão sincrônica é relativa à manutenção da vantagem competitiva de curto prazo, e se refere às capacitações necessárias para acessar re-

cursos externos à firma com o objetivo de reduzir custos de transação, riscos e período de desenvolvimento. De forma mais específica, significa estabelecer um projeto conceitual, decompô-lo em módulos, coordenar a rede de fornecedores e recompô-lo em determinada arquitetura. A dimensão diacrônica é relativa à manutenção da vantagem competitiva no longo prazo e se refere às capacitações necessárias para se manter atualizada com os desenvolvimentos tecnológicos, aumentando sua capacidade de inovar, criando conhecimentos e elaborando novas arquiteturas de produtos que atendam à evolução das necessidades de seus clientes.

As capacitações, ao contrário dos fatores de produção clássicos, não podem ser compradas. São atividades que exigem equipes com experiência em trabalho conjunto, que demandam tempo para se desenvolver. A criação de capacitações é uma atividade essencialmente dupla, resultado da evolução constante e inter-relacionada das aplicações tecnológicas que fundamentam o produto com as oportunidades de mercado.

Criar e manter capacitações únicas requer especialização e as firmas não podem se especializar em muitas aplicações tecnológicas sem perder foco. Os benefícios do investimento em determinadas aplicações tecnológicas depende do investimento simultâneo em aplicações tecnológicas complementares. Dessa forma, divide-se a base tecnológica da firma em duas categorias: aplicações tecnológicas de domínio próprio e aplicações tecnológicas de domínio de uso ou incorporadas. As de domínio próprio são aquelas em que a firma integradora de sistemas deve posicionar-se na fronteira tecnológica e buscar a liderança de forma constante, com capacidade de inovar, criar conhecimentos e desenvolver soluções próprias. Nas de domínio de uso, deve ter competência para identificar, selecionar e especificar componentes e subsistemas que se adaptem aos seus produtos, em condições técnicas e financeiras favoráveis. Para isso deve ter parceiros ou fornecedores com capacidade de inovar, e ser capaz de monitorar a evolução dessas aplicações tecnológicas. E em alguns casos críticos participar de seu desenvolvimento.

Nas indústrias de SC, intensivas em tecnologia, os mercados não se mostram como principal forma de organização das atividades econômicas. A elevada especificidade de ativos exigida, somada à necessidade de se avançar nas etapas de desenvolvimento do produto com informações incompletas, mudanças de requisitos de clientes e interdependências sistêmicas, sugere que o sistema de preços não é o melhor mecanismo de coordenação dessas atividades.

O objetivo deste trabalho é expandir a compreensão sobre as capacitações necessárias para as firmas integradoras de sistemas coordenarem suas redes, aproveitando as vantagens da especialização sem ser integrada verticalmente, para ter competitividade sustentável.

O trabalho está organizado de forma que a Seção 2 é apresentada a metodologia. Na Seção 3 é feita revisão bibliográfica sobre a evolução dos processos de inovação, chegando aos fatores que possibilitam e promovem a integração de sistemas. Em seguida, são analisadas as relações entre modularidade do produto, do conhecimento e das organizações. Na Seção 4 é apresentado o modelo de desenvolvimento, ressaltando capacitações e aplicações tecnológicas envolvidas na criação de SC. Na Seção 5 é realizado um estudo de caso de dois projetos da Embraer. Finalmente, na Seção 6 são apresentadas as conclusões.

2. Metodologia

O trabalho, elaborado a partir de uma pesquisa em andamento, tem caráter exploratório, na medida em que busca a elaboração de um modelo, e está dividido em duas etapas: a primeira etapa se refere à elaboração de um modelo conceitual que permite compreender a realidade de uma firma integradora de sistemas que tem uma base tecnológica ampla formada por disciplinas com diferentes taxas de mudança técnica. Essa etapa se baseia em revisões bibliográficas e entrevistas. A revisão bibliográfica inclui consulta a diversas bases de dados específicas do setor aeronáutico e a revistas especializadas. Diversas entrevistas foram feitas com funcionários, ex-funcionários, consultores e fornecedores da Embraer, além de funcionários dos órgãos de certificação de aeronaves. Na segunda parte é realizado um estudo de caso baseado no modelo conceitual proposto, utilizando informações de projetos em desenvolvimento.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. As Cinco Gerações do Processo de Inovação

Os processos de inovação foram inicialmente representados por meio de modelos lineares, guiados pelo desenvolvimento tecnológico ou pela de-

manda, eles representam a primeira e a segunda geração dos processos de inovação. Durante décadas, houve controvérsia teórica sobre as origens da mudança técnica, se foram influenciadas pela demanda ou pelo desenvolvimento tecnológico.

O resultado de pesquisas empíricas no nível microeconômico resolveu o debate e modelos interativos e sistêmicos substituíram os modelos lineares. A partir desses estudos foi proposto o processo de inovação de terceira geração, tal processo é conhecido como *Coupling Model* e aponta que a mudança técnica é um fenômeno de caráter duplo, guiado pela constante interação entre mercados e tecnologias.

Após estudo sobre a indústria automobilística, chegou-se à conclusão de que os fabricantes japoneses eram capazes de lançar seus produtos de forma mais rápida e com menores custos de desenvolvimento que os fabricantes ocidentais. Foi proposto o processo de inovação da quarta geração, *Integrated Model*. Nesse processo, ressalta-se a importância da superposição funcional com intensiva troca de informações, principalmente entre Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), produção e marketing e, ainda, a forte ligação da firma líder com fornecedores e clientes desde os estágios iniciais do processo de inovação.

Utilizar a integração de sistemas como mecanismo de coordenação das atividades econômicas de redes interorganizacionais é a sugestão do processo de inovação da quinta geração, *Systems Integration and Networking* (SIN), proposto por Rothwell (1994). Baseado nas premissas do modelo anterior, a quinta geração previa uso mais intenso das tecnologias de informação e comunicação, ao longo de todo o processo de inovação. Embora não tenha se referido especificamente aos SC, foi a partir dessas ideias seminais que a corrente evolucionária que estuda SC se desenvolveu.

3.2 Formas de Organização em Rede e Integração de Sistemas

A natureza multitecnológica e multicomponente dos SC exige que seus programas de desenvolvimento sejam realizados por meio de alianças temporárias entre várias organizações, pois a quantidade de aplicações tecnológicas necessárias para projetar, desenvolver e produzir seus componentes e subsistemas é muito grande para que uma firma única possa dominá-las dentro de suas fronteiras.

As redes interorganizacionais representam hoje um modelo de organização industrial no qual firmas reúnem capacitações tecnológicas e organizacionais de diversas naturezas para produzir produtos sofisticados e cada vez mais complexos.

Conforme apontado por Pavitt (2003), a forma dominante de organização das atividades econômicas industriais é condicionada por duas características da mudança técnica:

- a) O contínuo crescimento da especialização na produção de artefatos e conhecimentos, identificados por Adam Smith.
- b) As ondas periódicas de grandes inovações, que alteram o paradigma técnico-econômico do sistema, baseadas no rápido desenvolvimento de tecnologias específicas, identificadas por Kondratieff.

Brusoni e Prencipe (2001) analisam as forças que impulsionam a integração sistemas nos setores de motores aeronáuticos e engenharia química, na Inglaterra. São analisados dois conjuntos de forças, as que possibilitam e as que promovem a integração de sistema como uma forma de coordenar as atividades econômicas de organizações articuladas em rede.

3.2.1 Forças Possibilitadoras

A acumulação de conhecimento tecnológico permite que a firma integradora de sistemas compreenda *ex-ante* o comportamento do SC e de seus componentes em seu ambiente de operação. Essa habilidade deriva do acompanhamento de trajetórias tecnológicas, da capacidade de gerar e interpretar modelos matemáticos que representam o comportamento dos SC, do conhecimento tácito das equipes envolvidas com desenvolvimento e da experiência operacional. A utilização de *softwares* específicos para a simulação vem permitindo o progresso desse conhecimento nessas indústrias. No entanto, os resultados de simulação somente são relevantes quando são usados dados empíricos relacionados com o comportamento e *performance* de produtos anteriores, guardados nos bancos de dados dos fabricantes. A confiabilidade dos resultados de simulação depende fundamentalmente dos dados de entrada. Os bancos de dados representam parte extremamente valiosa da memória das firmas integradoras de sistemas. Da mesma forma, a experiência dos engenheiros e a utilização de regras práticas são fundamentais na definição de novos projetos conceituais.

O melhor entendimento dos princípios tecnológicos que governam o sistema possibilitou a concepção dos motores em módulos. O conceito de modularidade tem suas origens nos esforços dos fabricantes de padronizar componente e subsistemas, definindo interfaces estáveis entre eles e facilitando sua manutenção.

3.2.2 Forças Promotoras

Nos dois setores existe densa rede de acordos de colaboração englobando as atividades de projeto, desenvolvimento e manufatura de produtos. Desde os anos de 1980, os integradores de sistemas vêm tentando envolver um número crescente de fornecedores no desenvolvimento de novos produtos e processos. No caso da indústria de motores aeronáuticos, essa prática surgiu na parte militar da indústria. As razões para a divisão dos esforços de desenvolvimento entre diferentes empresas estão ligadas aos custos de desenvolvimento e aos riscos de falha dos programas. Os projetos de motores são desenvolvidos utilizando uma nova forma de relacionamento contratual chamado parceria de risco e receita (*risk and revenue sharing partnership*). Os fornecedores são convidados a participar do projeto nos estágios iniciais e a comprar uma participação normalmente relacionada com um ou mais componentes ou subsistemas com o objetivo de dividir o risco, despesas e receitas do projeto. A participação dos fornecedores tem crescido com o tempo.

Por um lado, os integradores de sistemas querem dividir risco e receitas entre muitos fornecedores e reduzir sua própria participação, com o objetivo de conquistar clientes através do envolvimento de fornecedores da mesma nacionalidade de seus clientes. De acordo com especialistas, as linhas aéreas têm maior disponibilidade de comprar produtos quando componentes de fornecedor, de mesma nacionalidade, estão envolvidos no projeto. Por outro lado, os fornecedores, especialmente nos países em desenvolvimento, procuram ter uma maior participação nos projetos para aprender mais sobre os produtos.

3.3 Modularidade na Arquitetura dos SC

A crescente desintegração das firmas integradoras de sistemas vem ocorrendo por meio da contratação externa de porcentagens cada vez maiores das atividades de produção, de desenvolvimento e até mesmo do projeto de componentes, partes ou subsistemas dos SC.

A definição da arquitetura de SC engloba:

- a) A disposição dos elementos funcionais, isto é, a forma como os elementos funcionais são estruturados para contribuir com a *performance* do produto.
- b) A definição da relação entre os elementos funcionais e os elementos físicos, isto é, qual componente é responsável pelo desempenho de determinada função.
- c) A especificação da interface física do componente.

Baseados no grande sucesso obtido na indústria de produtos eletrônicos, seguidores da estratégia da modularidade, como Sanchez e Mahoney (1996) e Arora *et al.* (1998), afirmam que essa nova forma de organização dos negócios pode ser utilizada em todos os setores. Sustentam ainda, que o processo de inovação também poderia ser dividido em módulos. Cada firma se especializaria num módulo específico, concentrando seus esforços de aprendizagem e inovação, sugerindo a possibilidade de se transferir a modularidade do produto para as esferas organizacional e do conhecimento.

3.4 Modularidade do Produto, do Conhecimento e das Organizações

A literatura sobre modularidade utiliza hipóteses fortíssimas e sugere que:

- a) Existe uma correlação positiva entre a modularidade do produto, do conhecimento e organizacional.
- b) Produtos de arquitetura modular possibilitam a crescente especialização entre e dentro das organizações.
- c) Arquiteturas modulares permitem que a coordenação das atividades possa ser efetuada com pequenos esforços de gestão.

Essas hipóteses sugerem que as firmas integradoras de sistemas seriam *hollow companies* que estariam somente atuando como intermediárias entre seus fornecedores e o mercado. No entanto para os SC essas hipóteses não são válidas por duas razões principais: a diferença entre as taxas de mudança técnica das disciplinas de sua base tecnológica e a sua interdependência sistêmica.

As diferenças entre as taxas de mudança técnica das disciplinas que fundamentam um produto podem causar o que Rosenberg (1976) chamou *technical imbalance*, ou desequilíbrio técnico. Isso acontece quando o potencial de melhora de *performance* de uma parte do sistema é muito maior do que a do restante do sistema, exigindo assim mais atenção aos melhoramentos complementares do restante do sistema. A partir disso, surgiu o conceito de *saliência*. Fazendo uma metáfora com ações militares, uma divisão que avança mais rápido do que as demais cria uma *saliência*. É aí que a integração deve atuar. Deve-se descobrir se a melhor estratégia é acelerar todas as divisões ou desacelerar a divisão que avança mais rápido, para evitar a fragilidade do conjunto. Dito de outra forma, a *saliência* cria um problema de *performance* que pode se repercutir em todo o sistema e, portanto, deve ser buscar uma solução que traga o sistema para uma situação de equilíbrio. Isso somente pode ser feito por meio da coordenação consciente de quem possui domínio geral do sistema.

A interdependência sistêmica do SC exige que a otimização do sistema seja feita levando-se todos os componentes e subsistemas, integrados em determinada configuração, em consideração. A otimização isolada de componentes e subsistemas, não faz nenhum sentido. Além do mais, existem as interdependências imprevisíveis que geraram sérios problemas ao SC, como por exemplo, as mecânicas: vibração e ressonância.

4. Firmas Integradoras de Sistemas

As capacitações em integração de sistemas, necessárias para que a firma possa estabelecer e liderar redes aproveitando as vantagens de especialização sem ser integrada verticalmente, são divididas em duas categorias analíticas: *sincrônica* e *diacrônica*. Adotando a visão baseada em recursos em sua forma mais moderna, é possível considerar essas capacitações como um exemplo de capacitações dinâmicas aplicadas a sistemas complexos (HOBDAY *et al.*, 2005).

4.1 Dimensão Sincrônica

A dimensão *sincrônica* está relacionada à manutenção da vantagem competitiva de curto prazo. Essa dimensão se refere às capacitações

tecnológicas e organizacionais da firma dentro de um novo programa de desenvolvimento com cronogramas e orçamentos definidos. Do ponto de vista tecnológico, a integração de sistemas se refere à capacitação da firma para estabelecer a arquitetura do sistema através do projeto conceitual e da atribuição de funcionalidades, decompô-lo em subsistemas e componentes, e delegar as tarefas de projeto, desenvolvimento e produção para fornecedores. A decomposição do produto requer a definição das interfaces entre componentes e subsistemas. Esse processo de definição das interfaces faz parte da engenharia de sistemas. A engenharia de sistemas concebe o produto com diversos níveis hierárquicos, partindo do produto como um todo em direção aos níveis mais baixos, chegando ao nível de elementos isolados. A engenharia de sistemas é a responsável pela compatibilidade da integração, física e funcional, das interfaces dos componentes, entre os subsistemas e pelos testes do sistema. Depois de decompor o produto, os integradores de sistemas sincronizam seu trabalho com o dos fornecedores para recompor o sistema. Eles devem assegurar sua consistência e *performance*, além de atender às regras dos órgãos de regulação.

A dimensão sincrônica deve ser vista como um processo de duas vias. De cima para baixo: deve ser capaz de, a partir dos requisitos gerais do sistema, modelar, simular e decompor. E, de baixo para cima: deve identificar as interdependências-chave, comparar alternativas, otimizar a configuração e manter-se no controle para recompor o que decompueram.

Dentro de uma família de produtos, a integração de sistemas sincrônica se refere às habilidades de explorar o potencial de determinada arquitetura de produto para atender determinados nichos de mercado. A criação de derivativos e a introdução de atualizações tecnológicas no produto (*retrofitting*) dependem da modularidade da arquitetura do produto.

Os integradores de sistemas fazem uso intensivo da aquisição de componentes, subsistemas e aplicações tecnológicas para minimizar os riscos, custos e tempos de desenvolvimento de seus programas.

Do ponto de vista organizacional, a integração de sistemas sincrônica se refere às capacitações necessárias para gerenciar as comunicações interorganizacionais, para promover uma visão compartilhada entre os parceiros e criar uma identidade de rede. A cooperação em rede nunca é automática, e é preciso buscar relacionamentos que incentivem a *performance*, como a participação nos resultados financeiros do projeto.

4.2 Dimensão Diacrônica

Integração de sistemas diacrônica se refere às capacitações da firma de introduzir inovações incrementais e radicais no nível de arquitetura para atender à evolução das necessidades e expectativas dos clientes ou exigências dos órgãos reguladores. Nesse sentido, integração de sistemas diacrônica se refere às capacitações para coordenar mudanças através de diferentes campos tecnológicos e fronteiras organizacionais. O que exige uma postura de assumir risco de pesquisa, de alternativas para o desenvolvimento de novas configurações do produto. A introdução de configuração radicalmente nova requer maior esforço de coordenação entre os produtores, fornecedores, clientes e agências de regulação. Nesse sentido, a dimensão diacrônica se refere às capacitações para a coordenação e desenvolvimento de um corpo emergente de conhecimentos tecnológicos. Tais capacitações devem ser desenvolvidas para a coordenação da mudança por meio de: (1) diferentes aplicações tecnológicas, analisando as taxas de mudança técnica dessas disciplinas; e (2) diferentes fronteiras organizacionais, pois as firmas não podem dominar internamente todas as disciplinas tecnológicas. A gestão do relacionamento com universidades, centros de pesquisa, laboratórios e fornecedores especializados, que permita a coordenação de atividades externas, se tornou uma tarefa central para as firmas integradoras de sistemas.

4.3 Aplicações Tecnológicas de Domínio Próprio

Estamos utilizando o termo aplicações tecnológicas, pois dentro de uma disciplina tecnológica existem várias aplicações práticas, que se desenvolvem em função da necessidade de utilizá-la em alguma fase do processo de inovação.

Por exemplo, a inteligência artificial é uma disciplina tecnológica que pode ser utilizada de diversas formas. Na fase de projeto, ela pode ser aplicada na engenharia baseada em conhecimento (EBC). A EBC representa um conjunto de aplicações tecnológicas que, através de sistemas computacionais, incorpora à geometria do produto conhecimentos tácitos, rotinas, critérios, regras e restrições que permitem a execução de processos de engenharia de maneira rápida segura e eficiente, além de facilitar a efetivação da engenharia simultânea. A inteligência artificial também pode ser aplicada no sistema de monitoramento e controle de um SC, permitindo que se efetue a manu-

tenção baseada em condições de uso (*condition-based maintenance*), reduzindo os custos de manutenção do SC e tornando-o mais competitivo. Esses são os casos que consideram aplicações tecnológicas de domínio próprio, ou seja, quando se utiliza o conhecimento de determinada disciplina tecnológica aplicando-o de forma prática. Existem, no entanto, muitas outras aplicações de inteligência artificial que podem ser integradas nos SC por meio de um subsistema e que foram desenvolvidas por um fornecedor. Essas são consideradas aplicações tecnológicas de domínio de uso, ou incorporadas. Existem muitas outras aplicações de inteligência artificial que não se relacionam com o SC.

Isso vale para todas as disciplinas tecnológicas: mecânica dos fluidos, materiais compostos, sistemas de comunicação, termodinâmica, estruturas, combustão, etc. Existem aplicações de domínio próprio e aplicações de domínio de uso.

A integração de sistemas se refere tanto às aplicações tecnológicas de domínio próprio como às de domínio de uso ou incorporado. As aplicações tecnológicas de domínio próprio referem-se ao conjunto da base tecnológica da firma que necessitam estar posicionadas na fronteira tecnológica e a disputa da liderança com os concorrentes deve ser desenvolvida de forma contínua.

São as áreas em que a firma tem que ter capacidade de inovar, ter disponibilidade de equipamentos, infraestrutura e pessoal qualificado possibilitando que se dê utilidade ao estoque de conhecimento tecnológico. As atividades de desenvolvimento tecnológico são centradas internamente, de forma constante no tempo, e mantendo sempre vinculações com as atividades de pesquisas. Para tanto, o relacionamento com universidades, laboratórios, centros de pesquisa e com fornecedores especializados é fundamental.

Dependendo do porte da firma, ela pode até mesmo manter internamente uma unidade organizacional que se preocupe com aspectos mais voltados à pesquisa básica. Mesmo nestes casos, as relações com universidades e centros de pesquisa continuam sendo fundamentais para auxiliar e complementar as atividades desenvolvidas internamente, aumentando a área de absorção de informações e conhecimentos relevantes da firma.

4.4 Aplicações Tecnológicas de Domínio de Uso

As aplicações tecnológicas de domínio de uso são aquelas em que as atividades de desenvolvimento tecnológico são centradas fora das fronteiras

da firma integradora de sistemas. No entanto, como visto anteriormente, a firma mantém internamente grande estoque de conhecimentos da disciplina, é ativa em termos de pesquisa e desenvolvimento e tem equipes com habilidades para lidar com essas tecnologias nas diversas fases do processo de inovação. Ou seja, existe superposição de conhecimentos entre a firma integradora de sistemas e seu fornecedor, que se transfere para a esfera organizacional. Essa categoria se refere a processos, componentes ou subsistemas, concebidos, projetados e produzidos por outras firmas.

Encontrar fornecedores externos que atendam às especificações do projeto conceitual, ou adaptem seus produtos a essas especificações é fundamental.

A firma líder deve ser capaz de absorver e integrar conhecimentos especializados de fontes externas aos seus conhecimentos internos. Deve também ser capaz de avaliar os impactos que as inovações causarão e procurar prever suas interdependências com as outras partes do sistema. Muitas vezes, essas interdependências somente poderão ser definidas através de experimentação e teste de protótipos.

Pode ocorrer também que as aplicações tecnológicas de domínio de uso se tornem de domínio próprio para evitar, por exemplo, o fenômeno de desequilíbrio técnico, conforme já exposto. É o que está representado no modelo da Figura 1 pelo fluxo BA. Ou ainda, em virtude do processo de aprendizagem, decorrente de projetos anteriores, a firma pode considerar que determinada tecnologia de domínio de uso passe a ser de domínio próprio, representado no modelo da Figura 1 pelo fluxo CA.

Cabe aqui ressaltar que o ponto-chave da estratégia tecnológica no SC é justamente a gestão do que é considerado de domínio próprio e o que é considerado como domínio de uso.

Os conceitos de amplitude (*breadth*) e profundidade (*depth*) do conhecimento tecnológico são bastante úteis nesse ponto. Amplitude se refere ao número de disciplinas tecnológicas, que aumenta de forma constante. Profundidade é definida através de dois parâmetros. O estágio de projeto: conceitual ou detalhado. E o tipo de conhecimento, componente ou arquitetônico.

Como esse processo é dinâmico, sempre ter-se-á disciplinas novas, avanço do conhecimento criando novas disciplinas e novas aplicações de disciplinas existentes.

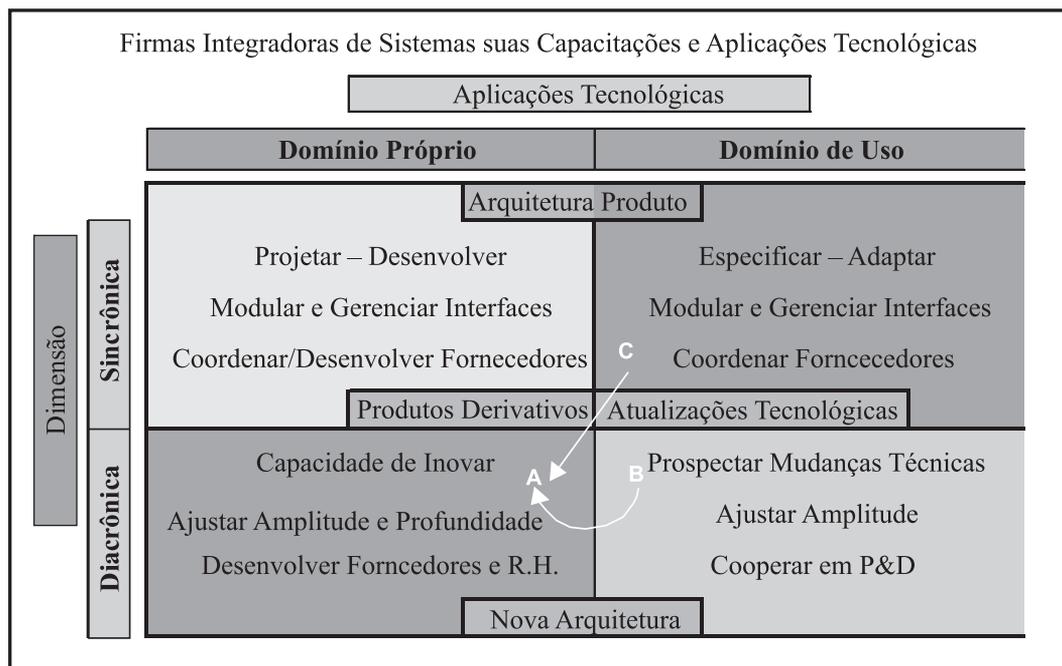


Figura 1: Modelo para desenvolvimento de sistemas complexos

Fonte: Elaborada pelos autores

5. Estudo de Caso

A Embraer pode ser considerada como uma firma integradora de sistemas desde sua origem:

De qualquer forma havia um conceito fundamental que presidia todas as decisões: nunca se deveria verticalizar, isto é, não deveríamos partir para a fabricação interna quando fosse possível adquirir de terceiros (OZIRES, 2002, p. 177).

E na realidade, vem acumulando capacitações de integradora de sistemas desde sua origem. No entanto, seguindo a definição de firma integradora de sistemas apresentada neste trabalho, cuja integração de sistemas é vista como o principal mecanismo de coordenação utilizado para competir por

meio da introdução de inovações, pode-se considerar que o primeiro projeto com tais características foi o ERJ-145.

Com base no modelo conceitual, serão utilizados dois projetos para a identificação das categorias já descritas. Um demonstrando a dimensão sincrônica das capacitações de integração de sistemas: o programa Embraer 170/190. E outro, a dimensão diacrônica das capacitações de integração de sistemas, o projeto: aplicações avançadas de mecânica dos fluidos computacional para aeronaves de alto desempenho. Os projetos foram escolhidos por serem bastante representativos para o tema e por apresentarem dados considerados suficientes para a aplicação do modelo.

5.1 O Programa Embraer 170/190

A primeira fase do programa é a de definição conceitual do produto. É a fase em que existe um intenso contato com os clientes, nela procura-se captar todas as necessidades e expectativas dos clientes, atuais e futuras, pois o período de desenvolvimento de um programa desse porte é da ordem de cinco anos.

Tendo sido lançado oficialmente em junho de 1999, em Le Bourget, na França a ideia do programa surgiu inicialmente em 1997, um ano após a falência da Fokker, que produzia jatos de 70 passageiros. Com três conceitos distintos de aeronaves, uma equipe de engenheiros começou a visitar companhias aéreas de todo o mundo como estratégia de pesquisa empática de mercado, ou seja, sondar a receptividade da ideia. Os principais requisitos solicitados pelos clientes foram as diretivas seguidas pelo programa: baixo custo operacional, alta *performance*, padrões seguidos pelas principais companhias aéreas e máxima comunalidade entre as aeronaves da família. Outras necessidades detectadas foram: o maior volume relativo dedicado para as cargas, e as distâncias de decolagem e pouso adequadas aos aeroportos de menor comprimento de pista. De posse dessas informações, foi dado o *Go Ahead* da presidência para desenvolver o conceito da aeronave, ou anteprojecto. Para isso foi criada a diretoria do programa, que trabalhou durante seis meses na elaboração do anteprojecto. Com a decisão de projetar a aeronave, deu-se início ao processo de homologação.

A homologação visa garantir a segurança da aeronave e, para tanto, um conjunto de requisitos deve ser cumprido. O processo de homologação

de uma aeronave condiciona todo o seu processo de inovação. Para ter uma ideia da complexidade desse processo, para que o Embraer 170 obtivesse o seu certificado de homologação de tipo (CHT), aproximadamente, 5.000 requisitos tiveram que ser atendidos. É esse certificado que autoriza a utilização da aeronave no país. No Brasil, o órgão certificador é o CTA, nos Estados Unidos é o FAA e na Europa é o JAA. O órgão certificador exige meios que provem que os requisitos estão sendo atendidos, conhecidos como *means of compliance*. Eles podem ser: por evidência de projeto, por meio de cálculos, simulações, ensaios de solo, ensaios de laboratório, ensaios em voo ou similaridade. Aproximadamente 1.300 relatórios foram apresentados ao órgão de certificador para demonstrar que os requisitos estavam sendo atendidos. O órgão certificador julga se os meios apresentados são aceitáveis ou não. Esse rigoroso processo muitas vezes serve como mecanismo indutor da inovação tecnológica. É também responsável por parte significativa dos gastos com P&D. Os Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáutica (RBHA) seguem os padrões americanos do Federal Aviation Administration. O principal requisito é o RBHA 25, Requisito de aeronavegabilidade para aviões da categoria transporte. Os requisitos são atualizados por meio de emendas que evoluem na medida em que condições mais seguras das aeronaves são exigidas.

O requerente (*applicant*) faz uma solicitação formal da intenção de se produzir o avião descrevendo suas características. Isso aconteceu em maio de 1999. A partir dessa solicitação, os requisitos são congelados, e as emendas sucessivas não se aplicam ao projeto, por um período de cinco anos.

A partir de março de 1999, começaram os encontros com clientes, os *Advisory Board*. Esses encontros têm o objetivo de apresentar o conceito do produto para os clientes e ouvir sugestões.

Nessa fase são definidos os *High Level Requirements*, ou seja, os requisitos macros do projeto, tais como: capacidade de passageiros, alcance, velocidade e altitude de cruzeiro, número de assentos por fileira, etc. Nessa fase foi, também, avaliado o impacto do programa na Embraer. A partir disso, se estabeleceu a estrutura organizacional para o desenvolvimento do programa.

O programa é administrado por uma célula (núcleo gestor do programa – *core team*), liderada pelo diretor do programa. Para cada aeronave da família há um engenheiro chefe, e todos participam do núcleo gestor do programa. Além disso, representantes da qualidade, organização de processos,

planejamento e controle, produção, serviços ao cliente, etc. também fazem parte do processo de Desenvolvimento Integrado do Produto (DIP).

Após a definição do conceito, passou-se para a fase de seleção dos parceiros de risco do projeto. Conforme já exposto, parceria de risco tem como objetivo: reduzir a necessidade de investimentos da empresa líder, reduzir os custos de transação, reduzir os riscos de desenvolvimento, melhorar da qualidade, reduzir o tempo de desenvolvimento e a redução de estoques. Outro fator que influencia na definição dos parceiros externos é aumentar a possibilidade de se inserir em mercados externos, pois as companhias aéreas dão preferência para programas em que existam parceiros de mesma nacionalidade.

Aqui cabe ressaltar uma vez mais que a definição do conceito do produto e a estratégia de se elaborar um projeto de arquitetura modular ocorrem apenas em virtude da acumulação de capacitação nas aplicações tecnológicas de domínio próprio e na capacidade de entender o comportamento do sistema em termos de seus parâmetros relevantes. É a capacidade de elaborar um projeto aerodinâmico inter-relacionado com o projeto estrutural e de seus subsistemas que permite à Embraer conceber arquiteturas de aeronaves extremamente competitivas, aproveitando as oportunidades de mercado identificadas, através de configurações que exploram todo o potencial do produto. Essa acumulação de experiência confere autoridade para a Embraer coordenar a rede de parceiros e fornecedores, atendendo a requisitos de clientes e órgãos certificadores.

A seleção dos parceiros ocorreu com o envio de requisição de propostas para 85 companhias. Dentre essas companhias, 58 enviaram propostas. Aqui se revela a primeira grande vantagem da forma de organização em rede, a exploração da diversidade. Os parceiros compram participações no projeto por meio dos módulos, respeitando a especialização e vocação de cada firma.

A seleção dos parceiros ocorreu em duas etapas. A primeira definiu os parceiros para os motores e aviônica. Dois itens de muito relevantes numa aeronave. Assim quando a Embraer foi para Le Bourget, ela já tinha definido a General Electric para os motores e a Honeywell, para a aviônica. A segunda etapa definiu os outros 12 parceiros de risco.

Em virtude do grande sucesso obtido na feira com a apresentação do programa, acelerou-se o processo de seleção dos outros parceiros. Os demais módulos foram atribuídos aos parceiros e aos fornecedores. Além da

avaliação da capacitação técnica, vários critérios foram utilizados na definição, tais como: saúde financeira, situação legal, qualidade dos produtos e serviços prestados. Foram selecionados outros 14 parceiros de risco. A partir dos requisitos macros, os parceiros tiveram que elaborar a proposta técnica para ingressar no projeto. A divisão dos investimentos necessários para o desenvolvimento do programa é uma questão crítica, e os processos de negociação entre a Embraer e os parceiros de risco ainda não foram concluídos.

Devido à natureza multidisciplinar e ao caráter fortemente tácito do conhecimento envolvido, foi adotada a prática de co-localização para a *Joint Definition Phase (JDP)*. A colocalização é uma prática comum no desenvolvimento de sistemas complexos envolvendo várias organizações. A *JDP* durou aproximadamente sete meses, contando com 300 engenheiros da Embraer e 300 engenheiros dos parceiros, e ocorreu na Embraer, em São José dos Campos.

Na *JDP* são definidas as exigências de desempenho de componentes e subsistemas, assim como as exigências de integração física e funcional. São também definidas metas de custo e prazo, essa é a fase em que os requisitos se transformam em especificações do produto.

Durante a *JDP* ocorrem controles intermediários, denominados *Preliminary Design Review (PDR)*, que tem o objetivo de avaliar o progresso, a adequação técnica e os riscos do projeto, procurando checar interfaces e prever interferências. Nessa fase são também analisadas questões do processo produtivo, tais como: infraestrutura e maquinário, matérias-primas e equipes que serão necessárias na produção, já que todos os parceiros devem ser responsáveis pela entrega do módulo relativo à participação no projeto.

Com as *PDRs* concluídas, efetua-se o congelamento das especificações, esse procedimento é adotado para garantir integração do produto. Caso haja necessidade de alterar as configurações de interface, essa necessidade deveria ser negociada com o *Configuraction Control Board (CCB)* que irá analisar a solicitação, avaliar seus impactos nos componentes e subsistemas interdependentes, e poderá autorizá-la, ou não. Aqui uma clara evidencia da autoridade exercida pela Embraer sobre os parceiros de risco com o objetivo de conduzir o processo de desenvolvimento.

Após o congelamento das especificações, cada equipe retorna para seu país e é feito o detalhamento do projeto e fabricação. Essas equipes são ligadas por meio de um portal que permite a interação remota entre os parceiros do programa, ou seja, é uma colocalização virtual. As equipes estão nos Es-

tados Unidos (900 pessoas), na Europa (800 pessoas) e no Japão (300 pessoas), além do envolvimento da Embraer (1.500 pessoas).

Durante a evolução do projeto, deve-se garantir a compatibilidade física e funcional dos componentes e subsistemas, assim como a consistência do sistema. A ferramenta que se usa para a garantia da compatibilidade e da consistência é a árvore de produto. Essa árvore consiste em dividir o produto em níveis hierárquicos e atribuir a responsabilidade de cada parte para uma célula de trabalho, liderada por um gerente de desenvolvimento de produto (GPD) da Embraer. Existem dois tipos de GPD, os responsáveis pela integração física, *Design Build Teams (DBT)* e os responsáveis pela integração funcional, *Integrated Product Teams (IPT)*. A Embraer é a responsável pela integração final da aeronave.

5.2 Aplicações Avançadas de CFD para Aeronaves de Alto Desempenho

Este programa faz parte do Programa Parceria para Inovação Tecnológica (PITE), promovido pela FAPESP, e envolve diretamente três instituições de pesquisa: o CTA, a UNICAMP e a USP São Carlos. O CTA é responsável pelas aplicações de aerodinâmica computacional, aerotermodinâmica e turbulência. A UNICAMP pelos métodos computacionais, interfaces e adaptação de malhas e a USP São Carlos pelo ambiente de computação de alto desempenho e paradigmas de programação paralela.

Esse programa de P&D tem por objetivo desenvolver aplicações tecnológicas de domínio próprio dentro da disciplina tecnológica de mecânica dos fluidos computacional (CFD). Isso significa criar conhecimentos tecnológicos novos que serão aplicados pela Embraer em seus produtos e processos.

Os objetivos principais dessas aplicações são: (1) permitir a redução do tempo e do custo de desenvolvimento de produtos; (2) propiciar o surgimento de soluções inovadoras a serem utilizadas em novas arquiteturas de produto; e (3) desenvolver fornecedores e formar recursos humanos.

A inteligência competitiva da Embraer identificou, nas universidades, avanços das fronteiras do conhecimento tecnológico que poderiam ser integrados na elaboração de produtos que irão aumentar sua produtividade na criação de produtos e processos. Dessa forma, estabelece e lidera uma rede,

coordenando o esforço de várias equipes de pesquisas, com o objetivo de aumentar sua capacidade de inovação. Esse é um exemplo da dimensão diacrônica integração de sistemas, que pode ser bem entendida como a atitude de assumir risco de pesquisa para criar capacitações tecnológicas que mantenham sua competitividade e permitam o desenvolvimento de novos produtos.

6. Conclusões

A discussão realizada neste trabalho procurou expandir a compreensão de processos de inovação tecnológica, envolvendo redes interorganizacionais e focando as capacitações tecnológicas e organizacionais necessárias para firmas líderes coordenarem atividades fora de suas fronteiras. Baseado na evidência empírica da indústria de construção aeronáutica, o trabalho aprofundou e discutiu o conceito de integração de sistemas como um mecanismo de coordenação das atividades econômicas, intermediário entre o sistema de preços e a integração vertical. A competitividade dessas firmas está diretamente relacionada com suas capacitações em integração de sistemas, permitindo integrar novos componentes, subsistemas e conhecimentos especializados desenvolvidos tanto interna como externamente às suas fronteiras. O trabalho apresentou duas categorias analíticas de integração de sistemas, sincrônica e diacrônica e duas categorias de aplicações tecnológicas, de domínio próprio e de domínio de uso. A dimensão sincrônica é associada à competitividade da firma no custo prazo sendo responsável pela exploração do potencial de determinada arquitetura de produto. Foi também discutido que em função do grande número de aplicações tecnológicas necessárias para a criação de um SC, a firma líder deve investir, de forma intensiva, nas aplicações tecnológicas para criar vantagem competitiva. Foi argumentado que a cumulatividade tem papel fundamental na escolha dessas aplicações. No caso específico de uma construtora aeronáutica, as aplicações tecnológicas de projetos aerodinâmicos inter-relacionadas com projetos estruturais e de subsistemas devem ser centradas internamente. Enquanto outras aplicações como propulsão e aviônica tendem a ser centradas fora das fronteiras da firma, mas a firma líder deve ter domínio de uso sobre essas aplicações tecnológicas, prospectando mudanças técnicas e participando de programas de P&D centrados fora de suas fronteiras.

Apesar da crescente tendência em se utilizar a modularidade como estratégia para o desenvolvimento dos SC, foi visto, ao longo do trabalho, que não existe correlação entre modularidade do produto, da organização e do conhecimento. Embora exista uma forte tendência de desintegração da produção, do desenvolvimento e mesmo do projeto, a condução de um programa de desenvolvimento complexo como o de uma aeronave, exige a presença de uma firma integradora de sistemas com capacitações tecnológicas e organizacionais para conceber e integrar esses produtos. Isso quer dizer que existem limites cognitivos para a divisão do conhecimento.

A pesquisa mostra que o perfil destas firmas seja bem mais próximo de integradores de conhecimentos do que de montadora de componentes, embora as duas habilidades sejam necessárias.

A pesquisa aponta que o relacionamento Universidade-Indústria na dimensão diacrônica, com dinâmicas e riscos próprios do desenvolvimento tecnológico, é promissor. Outro ponto que merece destaque é a possibilidade de desenvolvimento de fornecedores locais, visando adensamento da cadeia produtiva nacional, por meio de esforços de investimento conjuntos entre a Embraer e o Governo.

Systems Integrators Firms, their Capabilities and Sources of Technology – The Embraer Case Study

Abstract

Complex systems have been treated as a distinct analytical category, since they have a dynamic of innovation with very different characteristics from those of mass production and continuous process. These high-value capital goods are typically produced in small batches, through temporary alliances between different organizations, because a single firm cannot develop the whole knowledge base required for their production. The use of external sources of knowledge and components has grown in the competitive strategy of firms – through modularity–, to deal with the growing complexity of the products in terms of number of components and specialization of its relevant knowledge base. The literature on the subject defines systems integrator firm as the organization that establishes and leads a network from the organizational and technological points of view. Merging positive characteristics of markets and hierarchies, these networks help the coordination of economic activities, especially those with innovative character. By taking the resource-based view of the firm as a theoretical framework, the

objective of this research is to analyze, through a study case, the capabilities developed by a single firm to integrate knowledge, internal and external, and coordinating the implementation of projects and programs to meet the evolving requirements of its customers. The paper proposes a cognitive stylized model that allows the understanding of systems integration capabilities development.

Key words: Systems integration capabilities. Technological development. New product development. Modularity. Organizational networks.

Referências

AFFONSO, L.C.; CAMPELLO, A.C. Gestão integrada de Multi-Projetos em uma Indústria Aeronáutica. Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, 20., São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1998.

ARORA, A. *et al.* Division of Labour and the Locus of Inventive Activity, **Journal of Management and Governance**, n. 1, p. 1-19, 1998.

BRUSONI, S.; PRENCIPE, A. Unpacking the Black Box of Modularity: Technologies, Products, Organizations. **Industrial and corporate Change**, n. 10, p. 179-205, 2001.

BRUSONI, S.; PRENCIPE, A.; PAVITT, K. Knowledge Specialization, Organizational Coupling and the Boundaries of the Firm: Why Do Firms Know More Than They Make? **Administrative Science Quarterly**, n. 46, p. 597-621, 2001.

CABRAL, A. S. **Análise do desempenho tecnológico da Indústria Aeronáutica**. 1987. Tese de doutorado, São José dos Campos, ITA, 1987.

CENTRO TECNICO AEROESPACIAL (2002) – **Relatório de Pesquisa prospectiva na área aeronáutica**. São José dos Campos: CTA Instituição Âncora, 2002.

CHESBROUGH, H. Towards a Dynamics of Modularity. *In*: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBDDAY, M. (Eds.) **The business of systems integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

DOSI, G. HOBDDAY, M. MARENGO, L. PRENCIPE, A. **The Economics of System Integration**: Toward an Evolutionary Interpretation, Working Papers n. 16, LEM: Santana School of Advanced Studies, Pisa, 2002.

FREEMAN C.; SOETE, L. **The Economics of Industrial Innovation**. Cambridge: Mit Press, 1997.

FREEMAN, C. Networks of innovators: A Synthesis of Research Issues. **Research Policy**. 20/5: 499-514, 1991.

HENDERSON, R. M.; CLARK, K. B. "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms". **Administrative Science Quarterly**, 35: 9-30, 1990.

HOBDAY, M. Product complexity, Innovation and Industrial Organization. **Research policy**, 26: 689-710, 1998.

HOBDAY, M.; DAVIES, A.; PRENCIPE, A. Systems integration: a core capability of the modern corporation. **Industrial and Corporate Change**, v. 14, n. 6, p. 1109-1143, 2005.

MILLER, R. *et al.* Innovation in Complex Product Systems Industries: the case of flight simulation, **Industrial and Corporate Change**, v. 4, n. 2, p. 363-400, 1995.

PAVITT, K. What are advances in knowledge doing to the large industrial firm in the "new economy"? **Working papers SPRU**, n. 91, 2003.

PENROSE, E. **The Theory of the Growth of the Firm**. Oxford University Press, 1959.

PORTER, M. **Competição**. São Paulo, Campus, 1999.

PRENCIPE, A. Technological Capabilities and Product Evolutionary Dynamics: a case study from the aero-engine industry. **Research Policy**, n. 25, p. 1261-1276, 1997.

PRENCIPE, A. Breadth and Depth of Technological Capabilities in Complex Product Systems: The Case of the Aircraft Engine Control System. **Research Policy**, n. 29, p. 895-911, 2002.

PRENCIPE, A. *et al.* **The Business of System Integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

ROSENBERG, N. **Perspectives on Technology**: Cambridge: Cambridge University Press, 1976.

_____. **Exploring the Black Box: technology, economics and history.** Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

ROTHWELL, R. Successful Industrial Innovation: Critical Factors For the 1990s. **R&D Management**, v. 22, n. 3, p. 221-39, 1992.

ROTHWELL, R. Towards Fifth-generation Process Innovation. **International Marketing Review**, v. 11, n. 1, p. 7-31, 1994.

SANCHEZ, R.; MAHONEY. Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design. **Strategic Management Journal**, n. 17 (Winter Special Issue) p. 63-76, 1996.

SCHUMPETER, J. **A Teoria do Desenvolvimento Econômico.** São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SILVA, O. **A Decolagem de um sonho, a história da criação da Embraer.** São Paulo: Lemos Editorial, 2002.

TROMBONI P.; BREDAS, F. J. Yu A.; CAMARGO A.S.; TAKAMI, M. Desenvolvimento de produtos e processos: um estudo de caso do ERJ-170. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 3., 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2001. v. 1 CD.

VASCONCELLOS, E.; TROMBONI, P. Que tal uma Estrutura Fractal? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 4., 2003, Gramado. **Anais...** Gramado, 2003. v. 1 CD.