

Tese apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências no Programa de Engenharia Aeronáutica e Mecânica na Área de Produção.

Milton de Freitas Chagas Junior

Criação e Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas

Explorando Interações entre Formas de Aprendizagem Tecnológica

O Caso do Programa CBERS

Tese aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:


Arnaldo Souza Cabral
Orientador

Celso Massaki Hirata
Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil.

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Chagas Junior, Milton de F.

Criação e Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas - Explorando Interações entre Formas de Aprendizagem Tecnológica - O Caso do Programa CBERS / Milton de Freitas Chagas Junior
São José dos Campos, 2009.
206f.

Tese de doutorado – Curso de Engenharia Mecânica e Aeronáutica e área de Produção
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009. Orientador: Professor Doutor Arnaldo Souza Cabral.

1. Inovações tecnológicas. 2. Organização de empresas. 3. Indústria aeroespacial. I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Mecânica e Aeronáutica. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Chagas Junior, M.F. **Criação e Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas - Explorando Interações entre Formas de Aprendizagem Tecnológica - O Caso do Programa CBERS.** 2009. 206f. Tese de doutorado em Produção – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Milton de Freitas Chagas Junior

TÍTULO DO TRABALHO: Criação e Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas - Explorando Interações entre Formas de Aprendizagem Tecnológica - O Caso do Programa CBERS

TIPO DO TRABALHO/ANO: Tese / 2009

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta tese e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese pode ser reproduzida sem a sua autorização do autor.

Milton de Freitas Chagas Junior

Rua Oscar Freire, n. 1.753 # 61^a – Jardim América – São Paulo, SP

**Criação e Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas
Explorando Interações entre Formas de Aprendizagem
Tecnológica - O Caso do Programa CBERS**

Milton de Freitas Chagas Junior

Composição da Banca Examinadora:

Prof.	Lígia Maria Soto Urbina	Presidente - ITA
Prof.	Arnoldo Souza Cabral	Orientador - ITA
Prof.	Takashi Yoneyama	Membro Interno - ITA
Prof.	Milton de Abreu Campanário	Membro Externo - FEA - USP
Prof.	Isak Kruglianskas	Membro Externo - FEA - USP

ITA

Sumário

Sumário	IV
Índice de Figuras	VI
Índice de Tabelas	VIII
Lista de Abreviaturas e Siglas	IX
Resumo	XI
Abstract	XII
Agradecimentos	XIII
Dedicatória	XV
1. Introdução	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Motivação	7
1.3 Estrutura do Trabalho	10
2. Definições	13
2.1 Objetivos	15
2.2 Método da Pesquisa	15
3. Diferentes Entendimentos de Inovação Tecnológica	18
3.1 Uma Teoria Centrada na Inovação Tecnológica	18
3.2 Controvérsia Teórica	27
3.3 Modelos Acoplados: Forças da Demanda e da Oferta	36
3.4 Redes Organizacionais e o Processo de Inovação	41

4. A Visão Baseada em Recursos e Capacitações Organizacionais	47
4.1 A Natureza das Organizações segundo a VBR	47
4.2 Rotinas e Capacitações Organizacionais	49
4.3 Capacitações Dinâmicas	51
4.4 Inovação Arquitetônica e Capacitações em integração de sistemas	55
5. Explorando as Interações entre Formas de Aprendizagem Tecnológica	65
5.1 Introdução	65
5.2 Projetos, Capacitações e Sistemas Complexos	67
5.3 Modelo	70
5.4 Conclusão	115
6. Estudo de Caso	120
6.1 Introdução	120
6.2 Histórico do Programa CBERS	121
6.3 Criação de Capacitações em Integração de Sistemas	126
6.4 Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas	135
7. Análise	145
7.1 Acumulação de estoque de conhecimento e estrutura organizacional	145
7.2 Criação de Valor Econômico	150
7.3 Aprendizagem pelo uso, Rotinas e Capacitações em Integração de Sistemas	156
7.4 A necessidade de conhecimento conceitual e operacional	163
7.5 Aprendizagem pelo uso e incompletude de conhecimento conceitual	174
8. Conclusões	179

Índice de Figuras

Figura 1: Representação Esquemática do Método de Pesquisa	17
Figura 2: Esquema Teórico de Schmookler	35
Figura 3: Deslocamento da Curva de demanda	37
Figura 4: Movimento ao longo da curva da demanda	37
Figura 5: Tipos de inovação	58
Figura 6: Explorando as interações de diferentes aprendizagens tecnológicas	70
Figura 7: Processo de tomada de decisão da arquitetura do sistema - balanceamento entre tensões de projeto	82
Figura 8: Perfil de Gasto Típico: % Comprometida X % Gasta	84
Figura 9: Modelo de Integração de sistemas com engenharia simultânea	90
Figura 10: Ciclo de Aprendizagem individual	96
Figura 11: Interação entre conhecimento científico e tecnológico: um modelo dinâmico revisado	110
Figura 12: Ciclos de aprendizagem: simples e duplo	117
Figura 13: Constituição da <i>Joint Project Organization</i> – JPO	124
Figura 14: Duas vistas do satélite aberto e as empresas fornecedoras brasileiras de equipamentos dos CBERS 1&2	125
Figura 15: Duas vistas do satélite aberto e as empresas fornecedoras brasileiras de equipamentos dos CBERS 1&2	125
Figura 16: Interação entre áreas de pesquisa: tecnologia de sensoriamento remoto	149
Figura 17: Criação de valor Econômico	154
Figura 18: Domínios do Produto, da Organização e do Conhecimento – Entendimento do comportamento do sistema em seu ambiente de operação	161

Figura 19: Domínios do Produto, da Organização e do Conhecimento – Ciclo de aprendizagem simples	162
Figura 20: duas vistas do satélite aberto mostrando subsistemas em cortes, CBERS 3&4	166
Figura 21: duas vistas do satélite aberto mostrando subsistemas em cortes, CBERS 3&4	167
Figura 22: Detalhe da WFI após a SDR	168
Figura 23: Detalhe da WFI após a PDR	169
Figura 24: Detalhe da WFI após a CDR	170

Índice de Tabelas

Tabela 1: Paralelo entre estágios de desenvolvimento moral e tipos de confiança	44
Tabela 2: Inovação e Organização da Indústria: Produtos e Sistemas Complexos (CoPS) x Bens de consumo de produção em massa	61
Tabela 3: Características gerais dos CBERS 1&2	130
Tabela 4: Divisão de trabalho entre subsistemas, CBERS 1&2	131
Tabela 5: Divisão de trabalho entre subsistemas, CBERS 3&4	140
Tabela 6: Características das câmeras CBERS 3& 4	142
Tabela 7: Características das câmeras CBERS 1&2	143

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACDH - Attitude Control and Data Handling
AEB – Agência Espacial Brasileira
AIT - Assembly, Integration and Test
AOCS – Attitude and Orbit Control System
ARPA - Advanced Research Projects Agency
CAST – Chinese Academy of Space Technology
CBERS – China-Brazil Earth Resource Satellite
CCD - High Resolution CCD Camera
CDR - Critical Design Review
CoPS – Complex Products and Systems
COTS – Commercial of the shelf
CRESDA – Center for Resource Satellite and Applications
COSTIND – Commission of Science, Technology and Industry for National Defence
CSD – Capitalismo, Socialismo e Democracia
CTU – Central Terminal Unit
DDT – Descrição detalhada de trabalho
DETER – Detecção e Desmatamento em Tempo Real
DNA- Deoxyribonucleic Acid
DoD – Department of Defence
ECT – Economia dos Custos de Transação
EMG – Engineering Management Group
ETG – Engineering Technical Group
FBC – Faster, Better and Cheaper
FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRMSS - Infrared Multispectral Scanner
JPC – Joint Project Committee
JPO – Joint Project Organization
LIT – Laboratório de Integração e Testes
MECB – Missão Espacial Completa Brasileira

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MUX- Câmera Multi-espectral
NASA - National Aeronautics and Space Administration
NSF – National Science Foundation
OBDH – On-board Data Handling
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPTO – Opto Eletrônica S.A.
OSRD - Office of Scientific Research and Development
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PDR - Preliminary Design Review
PMM – Plataforma multimissão
PNAE – Programa Nacional de Atividades Espaciais
PNDAE – Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais
RFP- Request for Proposals
RFW - request for waiver
RTU- Remote Terminal Unit
SAPPHO - Scientific Activity Predictor from Patterns with Heuristic Origins
SCD1 – Sistema de Coleta de Dados 1
SCD2 – Sistema de Coleta de Dados 2
SCR- System Concept Review
SI- Systems Integration
SOW- Statment of Work
SPRU – Science Policy Research Unit
SSR1 – Satélite de Sensoriamento Remoto 1
SSR2 – Satélite de Sensoriamento Remoto 2
TBD – To-Be Determined
TDE - Teoria do Desenvolvimento Econômico
TRACES - Technology in Retrospect and Critical Events in Science
TRW - Thompson – Ramo – Wooldridge
VBR – Visão Baseada em Recursos
WFI - Wide Field Imager

Resumo

A tese tem como referencial teórico a visão baseada em recursos e sua vertente que trata de inovação em sistemas complexos. Propõe-se um modelo cognitivo estilizado, que representa interações entre principais formas de aprendizagem tecnológica, enfocando as organizações que estabelecem e lideram, com base em projetos, redes de fornecedores: de subsistemas e de conhecimentos especializados. O modelo apresenta uma matriz que relaciona esforços de desenvolvimento coordenados interna e externamente à organização e os diferentes efeitos da cumulatividade sobre as rotinas organizacionais, que estão baseadas na arquitetura de um sistema. Para isto, utiliza-se o conceito de capacitações em integração de sistemas fundamentado nas disciplinas: gestão de projetos e engenharia de sistemas, para definir os processos do ciclo de vida de um sistema. A tese tem caráter exploratório e utiliza evidências empíricas extraídas do estudo de caso de uma organização envolvida com a produção de sistemas complexos: o INPE. O estudo é centrado no programa de cooperação tecnológica entre o Brasil e a China para, a produção de satélites de sensoriamento remoto. O trabalho sustenta que as capacitações em integração de sistemas constituem um meio efetivo para a criação de valor econômico em uma sociedade, permitindo o *catch-up* tecnológico.

Abstract

This thesis uses the resource-based view and its strand that deals with innovation in complex systems as the theoretical framework. It proposes a stylized cognitive model to represent the main forms of technological learning, focusing on the organizations that establish and lead in suppliers networks of subsystems and of specialists knowledge on a project basis. This model presents a matrix that relates development efforts coordinated internally and externally to an organization and the different effects of cumulativity over organizational routines, which are based on systems architecture. For this, the concept of systems integration capabilities is used. This concept is based on project management and systems engineering to define the processes of a system's life cycle. This thesis has exploratory character and uses empirical evidences extracted from the case study of an organization involved with complex systems production: the INPE. The study is focused on a technological cooperation program between China and Brazil for the production of earth resource satellite. The research argues that systems integration capabilities fitness represent an effective means to a society economic value creation, allowing technological catch-up.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao CNPQ pela bolsa de estudo concedida para financiar esta pesquisa de doutorado. À CAPES pela possibilidade de ampliar minhas experiências e conhecimentos com a bolsa no exterior. À Fundação Casemiro Montenegro Filho, pela bolsa de pesquisador, como importante complemento às outras bolsas. E principalmente ao ITA, por acreditar na relevância do assunto e apoiar institucionalmente a concessão destas bolsas.

A presença do orientador, Professor Arnoldo Souza Cabral, como apoiador e debatedor, sempre demonstrando muita confiança neste trabalho, foi essencial. O Professor José Henrique de Souza Damiani teve importância relevante nas sugestões de enfoques e bibliografias. As Professoras Mischel Carmen Neyra Belderrain, Lígia Maria Sotto Urbina, e o Professor Luiz Carlos Sandoval Góes sempre apoiaram o trabalho, em todos os momentos decisivos.

O Professor Andrea Prencipe, da *Università Degli Studi "G. D'Annunzio"*, proveu as condições para que eu pudesse fazer parte dos meus estudos de doutorado no exterior. Foi, sem dúvida, um grande privilégio poder discutir os temas da tese com um especialista, reconhecido internacionalmente, na área de integração de sistemas.

A quantidade de pessoas do INPE que cederam seu tempo para me receber, responder a entrevistas, esclarecer conceitos e discutir sobre o tema deste trabalho é muito grande. Desta forma, é necessário escolher alguns nomes, por meio dos quais, estendo meus sinceros agradecimentos a todos que me ajudaram. Em especial, ao Luiz Antonio Bueno, que foi entrevistado inúmeras vezes, e respondeu às minhas perguntas e dúvidas sempre de maneira clara, didática e gentil. Ao Bernardo Vertamatti, que me possibilitou acompanhar a integração do satélite CBERS 2B, *in loco*, por diversos dias, tirando minhas dúvidas e ampliando meus

entendimentos sobre propriedades emergentes de satélites. À Mônica Elizabeth Rocha de Oliveira pelas inúmeras discussões e entrevistas relacionadas à contratação e gestão de subsistemas e diversas outras questões relevantes para o tema da tese.

Agradeço também à minha família pelo estímulo, e ao mesmo tempo peço desculpas, pela minha ausência em diversos momentos importantes do convívio familiar.

Sem a ajuda de todas estas pessoas este trabalho não poderia ter sido realizado. Todos os erros e omissões são obviamente de minha responsabilidade.

Ao meu filho, Miguel, dedico este trabalho.

1. Introdução

1.1 Considerações Gerais

O processo de inovação tecnológica é controlado por dois conjuntos distintos de forças que interagem de maneira sutil e, por consequência, reduzem drasticamente a capacidade de prever seus resultados. O primeiro conjunto de forças é representado pelo progresso técnico. Os avanços nas fronteiras de disciplinas científicas e tecnológicas sugerem possibilidades para o lançamento de novos produtos, para melhorar o desempenho de produtos existentes ou para produzir os mesmos produtos a um custo menor. O segundo conjunto é representado pelas forças de mercado. Neste conjunto de forças, enquadram-se mudanças nos preços relativos de fatores de produção, alterações demográficas e de renda média da população, além daquelas de comportamentos e gostos desta população. A combinação destas mudanças gera oportunidades para diferentes inovações. Obter sucesso em um processo de inovação tecnológica requer a consideração destes dois conjuntos de forças, sempre.

O projeto vem se tornando a unidade básica de agregação de esforços que permite às organizações atingir seus objetivos estratégicos de inovação, considerando a interação dinâmica entre os conjuntos de forças do progresso técnico e do mercado. Estes objetivos estratégicos e organizacionais estão fortemente relacionados com a capacidade de criação de valor para os *stakeholders* de seus projetos.

O processo de inovação é difícil de ser adequadamente mensurado. Esta dificuldade na mensuração de inovações deve-se a diversos fatores. A complementaridade entre inovações constitui fator de destacada importância. O retorno de uma inovação – principalmente o retorno social – raramente pode ser identificado isoladamente. A criação de valor econômico para diferentes *stakeholders* exige a consideração de diversas inovações tecnológicas que se auxiliam mutuamente ou, em última análise, que estejam adequadamente integradas. Com

frequência, estas inovações, consideradas isoladamente, têm pouca capacidade de criação de valor econômico.

Em termos econômicos, pode-se considerar que os esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de uma organização são direcionados à produção de bens de capital ou de bens de consumo e serviços relacionados, por meio de criação de vantagens tecnológicas competitivas. Os bens de consumo podem ser enquadrados geralmente em sistemas de produção em massa e sistemas de produção contínua. Os bens de capital seguem sistemas de produção de pequenos lotes ou são unitários, com base em projetos. Rosenberg (1976) sustenta, com muita propriedade, que os bens de capital constituem a espinha dorsal de qualquer sistema econômico na medida em que atuam como fator multiplicador de introdução de tecnologia nos sistemas produtivos que os utilizam. Desta maneira, inovações de sucesso em bens de capital, guiadas pelo atendimento de necessidades específicas de seus *stakeholders*, servem como elementos potencializadores da produtividade total dos fatores de um sistema econômico. Hobday (1998) chama a atenção para as características específicas da dinâmica de inovação de bens de capital, em relação àquelas dos bens de consumo. Da comparação entre estas duas dinâmicas, surgem dois modelos ideais de inovação: as indústrias de sistemas complexos e as indústrias de produção em massa. A inovação em sistemas complexos exige esforços cooperativos, entre diversas organizações, incluindo fornecedores, órgãos reguladores e usuários, que definem *ex-ante* qual será a trajetória de inovação destes sistemas. Estas definições permitem a coordenação dos diversos agentes econômicos que formam a cadeia de valor destas indústrias. Estes esforços cooperativos ocorrem por meio de alianças temporárias entre organizações, e têm como unidade básica de agregação o projeto e como mecanismo de coordenação a integração de sistemas. O comprometimento fundamental dos agentes envolvidos com o ciclo de vida destes produtos é com o desempenho competitivo dos sistemas complexos envolvidos.

Desta forma, a integração de sistemas, considerada tradicionalmente como uma atividade técnica e relacionada com uma fase específica do ciclo de vida de um projeto, passa a ser a variável estruturante da definição de estratégias competitivas, desde a fase de envolvimento inicial entre organizações. Este entendimento de integração de sistemas refere-se não somente à dimensão física do produto, mas também, e principalmente, à integração de conhecimentos que permitirá a adequada integração física deste produto.

O referencial teórico mais adequado para o tratamento de questões de integração de conhecimentos é a visão baseada em recursos. Demsetz, em seu artigo *The Theory of the Firm Revisited*, de 1988, sustenta que as firmas representam uma resposta à assimetria fundamental na economia do conhecimento: a aquisição de conhecimento requer maior especialização que sua utilização. Portanto, as organizações existem como instituições produtoras de bens e serviços, porque criam as condições para que diversos indivíduos possam integrar seus conhecimentos especializados. Nesta visão, enfatizam-se os recursos internos de uma organização e os serviços que se tornam possíveis a partir destes recursos. Penrose é a referência seminal da moderna visão baseada em recursos. Para a construção de sua Teoria do Crescimento da Firma, de 1959, a distinção estabelecida entre recursos e serviços é fundamental, assim como para os conceitos deles derivados: rotinas, competências e capacitações organizacionais.

Richardson (1972) mostra como o conceito de capacitações provê uma forma apropriada de analisar a organização de cadeias de valores industriais. O autor antecipou muito do que viria a ser escrito, a partir dos anos 1990, sobre capacitações e competências, visando à caracterização teórica do comportamento distintivo das organizações. Estas caracterizações ressaltam que as vantagens competitivas das organizações são dependentes da forma como elas fazem uso e ampliam seus estoques de conhecimentos e experiências,

através da combinação de diferentes processos de aprendizagem, que são específicos de seus recursos internos.

Eisenhardt e Martin (2000) e, mais recentemente, Helfat et al. (2007) enfatizam que os processos organizacionais constituem a essência de suas capacitações.

As organizações envolvidas com a inovação de sistemas complexos devem criar as condições para que a integração de diversos conhecimentos especializados seja convertida na integração de produtos, de acordo com as expectativas dos *stakeholders* do projeto. Elas devem ser capazes de estabelecer e liderar redes de esforços inovadores, compostas por diversos agentes econômicos, comprometidos com a produção de sistemas complexos. Ou seja, elas devem ter capacitações em integração de sistemas.

Estas capacitações em integração de sistemas são compostas por processos organizacionais derivados de duas disciplinas, criadas para lidar com a complexidade: gestão de projetos e engenharia de sistemas. Por meio destas disciplinas, introduz-se o conhecimento processual nas organizações, permitindo a elaboração progressiva de projetos e seu tratamento sistêmico. A gestão de projetos define novas formas de integração de esforços organizacionais, relacionados com o planejamento, a execução e o controle, permitindo que equipes multifuncionais se comprometam e cooperem para a produção de sistemas inovadores. A engenharia de sistemas define a estrutura lógica do ciclo de vida destes sistemas. Os processos destas duas disciplinas interagem e se sobrepõem, de acordo com as necessidades específicas de cada sistema. Estes processos são definidos pelas organizações envolvidas com a produção destes sistemas e são responsáveis pelas formas de integração de suas rotinas.

A dinâmica da inovação nas indústrias de sistemas complexos é estabelecida a partir de produtos conceituais, ou arquiteturas de sistemas. A apropriada definição de uma arquitetura de sistema permite o lançamento de sucessivas gerações destes sistema,

considerando-se a co-evolução de disciplinas tecnológicas e de necessidades de *stakeholders*. Assim, a arquitetura de um sistema torna-se um importante meio de definição dos processos organizacionais de aprendizagem.

A tese propõe um modelo cognitivo estilizado de inovação em sistemas complexos, que explora as interações entre as principais formas de aprendizagem tecnológica. Ressalta-se a dependência de trajetórias nos processos de aprendizagem organizacional que propiciam a mudança técnica. A partir da arquitetura do sistema, são definidos 2 ciclos de aprendizagem: simples e duplo. O ciclo de aprendizagem simples refere-se à ampliação do estoque de conhecimentos organizacionais de determinadas tecnologias, tendo como base uma determinada arquitetura de sistema. O ciclo de aprendizagem dupla refere-se à proposição de uma nova arquitetura de sistema.

O modelo foi desenvolvido com base na evidência empírica de indústria de sistemas complexos em países de industrialização recente, marcados pela incompletude dos conhecimentos tecnológicos organizacionais. O estoque de conhecimentos organizacionais é caracterizado por conhecimentos conceituais e operacionais. O conhecimento operacional, considerado isoladamente, é associado às fases iniciais de aprendizagem de uma organização, e ocorre por meio de compra ou transferência de tecnologia. O conhecimento conceitual é associado à aprendizagem derivada dos esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Estes conhecimentos são considerados a partir de uma perspectiva sistêmica e sustenta-se que ambos são necessários para o estabelecimento de ciclos completos de aprendizagem.

A aprendizagem pelo uso é apresentada como uma classe epistemológica distinta, adquirida por meio da experiência com a operação dos sistemas, que produz mudanças no estoque de conhecimentos de uma organização e constitui importante fonte de inovação organizacional (Rosenberg, 2006). A aprendizagem pelo uso requer a integração entre conhecimentos conceituais e operacionais de equipes multidisciplinares, permitindo um

melhor entendimento do comportamento deste sistema, com base no saber na prática. A interação entre estes conhecimentos e o saber na prática gera novos conhecimentos organizacionais, que permitem a evolução dos sistemas. Estes novos conhecimentos apresentam forte caráter idiossincrático, na medida em que são gerados a partir da experiência coletiva, e podem ser tanto tácitos como explícitos. Nos casos em que a organização possui somente conhecimento operacional a aprendizagem pelo uso se mostra menos efetiva, pois as estruturas cognitivas que permitiriam a expansão incremental do conhecimento conceitual estão ausentes. Esforços próprios de P&D são necessários para o desenvolvimento de capacidade de absorção, que permitirá a expansão deste conhecimento conceitual. A interação entre estas diferentes formas de aprendizagem apresenta forte caráter cumulativo e se reforçam mutuamente, na medida em representam uma forma estável de integração entre rotinas organizacionais, definidas pela arquitetura do sistema.

No caso do ciclo de aprendizagem duplo, em que uma nova arquitetura do sistema é estabelecida, este caráter cumulativo, representado pelo conhecimento arquitetônico, é perdido. A sustentabilidade de vantagens competitivas tecnológicas depende do estabelecimento dos ciclos simples e duplos na organização. Os ciclos simples envolvem uma menor exposição de risco à organização e permitem a exploração de economias de repetição e recombinação através de sucessivos projetos. Os ciclos duplos ocorrem com baixa frequência, pois redefinem a forma de integração entre rotinas organizacionais e elevam o nível de exposição ao risco das organizações. O modelo sustenta que a criação de valor econômico, que permite o crescimento de organizações inovadoras em sistemas complexos, depende da apropriada avaliação custo-benefício de projetos que definem ciclos de aprendizagem simples e duplos.

O estudo de caso utilizado é aquele do programa de cooperação tecnológica entre o INPE (Instituto Tecnológico de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) no desenvolvimento de tecnologia de sensoriamento remoto.

1.2 Motivação

A maioria dos bens de capital são sistemas complexos. Seguindo de perto as ideias de Marx, Rosenberg (1976) sustenta que os bens de capital constituem a espinha dorsal de qualquer sistema econômico, na medida em que transmitem o progresso técnico para diversos setores da economia, por meio dos processos em que são empregados.

Existe um consenso crescente de que a criação de capacitações tecnológicas endógenas, para conceber e desenvolver bens de capital, não só encoraja a produção destes bens, como também permite que estes bens sejam concebidos e desenvolvidos para atender às necessidades de *stakeholders* locais, permitindo que a criação de valor econômico se dê de maneira adequada ao ambiente físico-social desta sociedade (Rosenberg, 1976; Fransman and King, 1984; Porter, 1990; Kim, 1997).

Para mostrar a relevância do assunto, citam-se alguns exemplos da realidade brasileira. A auto-suficiência na produção de petróleo foi conseguida graças ao esforço da PETROBRÁS, em geral, e do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES), em particular. Criado inicialmente para adaptar as condições de operação das refinarias à realidade brasileira, o CENPES progressivamente foi se dedicando à adaptação de tecnologias importadas para as condições do ambiente físico-social brasileiro, por meio de esforços de P&D. A consolidação do Centro se deu com a integração da engenharia básica, até então espalhada pela organização, às equipes de P&D. Desde então o centro se dedica a responder às demandas tecnológicas da realidade brasileira. Suas capacitações em exploração de petróleo em águas profundas foram sendo progressivamente

criadas e exercitadas. Hoje a PETROBRÁS é reconhecida mundialmente como líder na exploração de águas profundas, em função de suas capacitações em integração de sistemas para conceber e desenvolver e operar plataformas de petróleo adequadas à realidade do ambiente físico-social brasileiro. Sem dúvida, um fator determinante no crescimento expressivo desta organização são suas capacitações em integração de sistemas. A vantagem tecnológica alcançada pela organização, por meio da aprendizagem acumulada em sucessivos projetos, permite a extração de petróleo de profundidades crescentes. Atualmente, a PETROBRAS é a organização que mais gera patentes no Brasil e no exterior. Os impactos deste crescimento vão muito além da própria organização e de seus fornecedores. Eles estão presentes em toda indústria petrolífera do país e se fazem sentir também na dimensão macroeconômica. Hoje, a PETROBRAS é a maior empresa e maior exportadora brasileira, incluindo a tecnologia de exploração em águas profundas para diversos países, contribuindo para melhorar a delicada situação da conta `tecnologia` do balanço de pagamentos do Brasil.

A concepção e desenvolvimento de uma aeronave pequena, resistente e adaptada às más condições da infra-estrutura aeroportuárias brasileiras, então existentes, permitiram a criação da EMBRAER. Com a intenção de promover a integração do imenso território nacional, por meio de acessibilidade aérea, o Estado brasileiro criou condições para o surgimento de massa crítica em tecnologia aeronáutica e garantiu a compra de um número suficiente de aeronaves que viabilizaram a abertura e o crescimento da EMBRAER. Uma sequência de projetos de novos produtos, caracterizados por elevação contínua de complexidade, e por gastos crescentes em P&D, permitiu a aprendizagem e o domínio de um conjunto de tecnologias aeronáuticas fundamentais (Cabral, 1987). Com uma estratégia tecnológica baseada em integração de sistemas, a EMBRAER hoje lidera o mercado de aviação regional mundial, contribuindo também com um volume expressivo de exportação de produtos de elevado valor agregado.

A maturidade tecnológica de um país está fortemente relacionada à capacidade de suas organizações passarem do domínio de tecnologias simples para tecnologias complexas. O domínio de tecnologias complexas impõe diversos desafios a economias de industrialização recente. Em muitos setores existe elevada distância entre os retornos públicos e privados exigidos pelos esforços de pesquisa e desenvolvimento necessários para conceber, desenvolver e operar estes sistemas. Em presença de longos processos de aprendizagem tecnológica, os mecanismos de coordenação oferecidos por meio dos “mercados” tendem a ser insuficientes. Os elevados riscos e custos inerentes a longos processos de aprendizagem tecnológica fazem com que os investimentos requeridos para que esta aprendizagem ocorra não sejam relacionados exclusivamente aos mecanismos de coordenação de mercado, exigindo outros mecanismos de coordenação complementares.

Assim, considerando que o retorno social da criação destas capacitações é expressivo nos países desenvolvidos, e mais recentemente, nos países emergentes, nota-se a presença de políticas públicas de incentivos à inovação em bens de capital, como forma de promover o desenvolvimento econômico.

A OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) considera a indústria aeroespacial, englobando os segmentos de defesa, espacial e aeronáutico, como aquela de maior intensidade tecnológica. Nesta indústria as capacitações em integração de sistemas são utilizadas como estratégia competitiva e mecanismo de coordenação de projetos.

Nesta indústria é comum o estabelecimento de programas que promovem a aprendizagem tecnológica, proporcionando o apoio financeiro à Pesquisa e Desenvolvimento e garantindo mercado para seus produtos inovadores por meio de compras governamentais.

Estudos desta natureza exploram o papel desempenhado pelas organizações em estabelecer a ligação entre o estoque de conhecimentos de uma sociedade e o nível do valor econômico criado em seus negócios. Desta maneira, entender como as organizações criam,

mantém e expandem suas capacitações é fundamental para o entendimento de como a sociedade funciona e de como ela muda. Esta crença obviamente contribui fundamentalmente para o interesse intelectual do objeto da pesquisa.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está organizado em 8 capítulos conforme segue. O capítulo 1 é constituído por esta introdução, que está sendo apresentada.

O capítulo 2 apresenta definições, que serão utilizadas durante o trabalho, os objetivos geral e específico da tese e o método de pesquisa utilizado.

O capítulo 3 trata dos entendimentos de Schumpeter sobre inovação tecnológica e seus desdobramentos em um sistema econômico. A controvérsia teórica entre os determinantes da inovação tecnológica, que se estendeu por 3 décadas, é descrita e comentada. São também apresentados diversos modelos acoplados, considerando as forças de demanda e de oferta, simultaneamente. A inovação por meio de redes organizacionais conclui o capítulo 3, chamando a atenção para as limitações em se considerar o oportunismo como uma característica igualmente distribuída entre agentes econômicos e sobre a possibilidade de construção de mecanismos de governança que visam à redução de custos de transação.

O capítulo 4 apresenta e discute a moderna visão baseada em recursos (VBR). O conceito de capacitações como integração de rotinas organizacionais é discutido. As capacitações dinâmicas são apresentadas com base nos entendimentos de Winter (2003). Por fim, são consideradas as implicações de inovações arquitetônicas nas rotinas das organizações.

O capítulo 5 apresenta o modelo da tese, que explora as interações entre diferentes formas de aprendizagem tecnológica. A partir do modelo ideal de inovação proposto para sistemas complexos por Hobday (1998), considera-se a inovação por meio de redes organizacionais, com base em projetos, como unidade de análise complementar ao produto e à

organização. O modelo da tese propõe duas categorias de capacitações em integração de sistemas: as convergentes e as generativas. As convergentes referem-se à capacidade de definir uma arquitetura de sistema, considerando os requisitos de desempenho, custo, risco e tempo de desenvolvimento, dividir os trabalhos de desenvolvimento – centrados interna e externamente – e garantir a integração final, de acordo com os requisitos do projeto. Durante a operação do sistema, em seu ambiente físico-social, a aprendizagem, através de uso, torna-se relevante, e cria possibilidade de expansão dos conhecimentos conceitual e operacional.

Argumenta-se que a exploração das economias de repetição e recombinação são as equivalentes às economias de escala e escopo chandlerianas, para bens de consumo de produção em massa. A proposição de uma nova arquitetura gera importantes mudanças nas rotinas organizacionais. Muitas vezes novos processos organizacionais, adequados à nova arquitetura devem ser definidos, sugerindo que, no caso de convivência entre duas arquiteturas, uma nova unidade organizacional pode ser requerida. No caso de arquiteturas que apresentem taxas decrescentes de aprendizagem, exige-se a presença da alta hierarquia da organização, para prover as condições necessárias à variação, por meio de esforço inovador. Sinais internos e/ou externos à organização se intensificarão à medida que novos desenvolvimentos tecnológicos amadureçam, criando novas demandas, ou possibilitando o atendimento de demandas existentes de maneira mais eficiente.

O capítulo 6 apresenta o estudo de caso do programa de cooperação tecnológica entre o Brasil e a China para a produção de satélites de sensoriamento remoto – *China Brazil Earth Resource Satellite* - CBERS. Faz-se um histórico do programa, desde sua constituição. A criação de capacitações é apresentada ressaltando o nível de complexidade do satélite com relação aos anteriormente produzidos no Brasil. Comenta-se sobre a divisão dos esforços de desenvolvimento entre o Brasil – INPE - e a China – CAST – na primeira e na segunda geração de satélites. A aprendizagem tecnológica a partir do uso é ressaltada, indicando

melhora significativa de desempenho do sistema na geração de imagens em seu ambiente de operação, quando uma propriedade emergente que decorria do acoplamento mecânico entre dois subsistemas foi identificada e superada. A identificação de requisitos de usuários finais também é ressaltada como elemento-chave na criação de valor econômico, proporcionado pelo satélite.

O capítulo 7 apresenta a análise do estudo de caso com base no modelo teórico proposto. Na seção 7.1, é discutida a relação entre acumulação de estoque de conhecimentos e estrutura organizacional, com base em projetos. Na seção 7.2, a criação de valor econômico para a sociedade é analisada por meio da política de acesso gratuito às imagens geradas nos satélites, passando-as de bens artificialmente escassos para bens públicos. A seção 7.3 apresenta a necessidade de integração de rotinas organizacionais, ocorrida através de ajuste mútuo entre equipes multidisciplinares, para superar as limitações impostas pelo fenômeno de propriedades emergentes. Argumenta-se que o entendimento do comportamento do sistema, interagindo com seu ambiente físico-social, ocorre por meio da aprendizagem pelo uso. As capacitações em integração de sistemas permitem a interação entre conhecimentos conceituais e operacionais de diversas áreas de conhecimentos especializados que levam à aprendizagem organizacional. A seção 7.4 analisa a necessidade de conhecimentos conceituais e operacionais para que o processo de aprendizagem ocorra de maneira efetiva. São apresentados dois exemplos de subsistemas: WFI e AOCS. No primeiro caso, a aprendizagem pelo uso expande os conhecimentos conceituais e operacionais, por meio da interação entre capacitações convergentes e generativas, estabelecendo um ciclo virtuoso, que permite que os esforços organizacionais sejam convertidos em inovação. No segundo caso, o ciclo de aprendizagem não se completa e a aprendizagem pelo uso limita-se às condições específicas da operação. Na seção 7.5 são analisadas as condições que dificultam a obtenção de

conhecimento conceitual a partir do aprofundamento do conhecimento operacional, que a aprendizagem pelo uso proporciona.

O capítulo 8 apresenta as conclusões da tese.

2. Definições

A definição estrita de inovação é: a introdução bem sucedida de um novo produto ou um produto melhorado (ou processo) no mercado. No entanto, muitas inovações ocorrem aquém da fronteira tecnológica, definida pelas organizações líderes, normalmente sediada em países avançados tecnologicamente. A definição ampla de inovação é um produto ou processo novo para a organização em vez de para o mundo ou para o mercado. O Manual OSLO (2004, p.60) define ainda inovação, nova no país ou na região, como classe de inovação intermediária entre a inovação para o mundo e a inovação para a organização.

Existe amplo consenso, desde Schmookler (1966) passando por Myers e Marquis (1969), Nelson e Rosenberg (1993), Kim (1997) e Kim e Nelson (2005), de que a dificuldade em lidar com novos conhecimentos em uma organização impõe desafios de difícil superação, mesmo que estes conhecimentos já existam e sejam empregados com sucesso por outras organizações.

Estes novos conhecimentos irão requerer novas habilidades e gerar novas experiências, definindo novas rotinas organizacionais. Definir a melhor forma e o melhor ritmo de integração destes novos conhecimentos aos já previamente existentes na organização também constituem importantes desafios organizacionais.

O processo de inovação será entendido como um processo de aprendizagem tecnológica. Na realidade, como diversos processos que se superpõem e se retroalimentam. A aprendizagem é entendida como a capacidade organizacional de tomar decisões efetivas, em

relação aos novos conhecimentos adquiridos pela organização, como resultado de seus esforços inovadores.

Decorrente desta definição entende-se que a mudança técnica (e organizacional) se dá por meio de um processo evolucionário. A evolução ocorre por meio de trajetórias particulares em que o conhecimento acumulado anterior contribui para definir a direção e ritmo das mudanças técnicas. Desta maneira, o processo evolucionário tende a ser dependente da trajetória e cumulativo para cada organização.

Estes processos de inovação ocorrem de maneira consciente e com propósito definido, e não de maneira automática e passiva. As organizações enfrentam elementos de incerteza e elevados custos ao longo destes processos de aprendizagem tecnológicos, (Kim e Nelson, 2005). O montante de incerteza e custo depende de:

1. quão novo é o conhecimento para o estoque de conhecimentos da organização;
2. quão profunda deverá ser a utilização destes conhecimentos tecnológico; e
3. qual o ritmo de mudança da tecnologia;

Em função das definições acima apresentadas parece natural supor que as organizações devem tomar suas decisões com base em racionalidade limitada: as organizações não têm informações completas das alternativas técnicas disponíveis e operam diferentes tecnologias com conhecimentos irregulares e imperfeitos. E mais, não têm uma compreensão precisa das consequências de escolher uma alternativa tecnológica.

Outra hipótese importante é a comportamental. Enquanto a hipótese cognitiva – racionalidade limitada –, acima descrita, já é bem aceita pelas teorias comportamentais das organizações, em função da imensa contribuição de Hebert Simon, a hipótese comportamental é mais controversa. A insistência da Economia dos Custos de Transação (ECT) a respeito da homogeneidade de comportamento oportunista vem se mostrando muito restritiva, principalmente, no que se refere a processos de inovação com elevados níveis de

especialização entre diferentes disciplinas tecnológicas. Desta maneira, não se considera a hipótese de oportunismo homogêneo como a ECT e, com base em Barney e Clark (2007), adota-se a categorização de 3 níveis possíveis de confiança entre agentes econômicos: baixo, semi-forte e forte.

2.1 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é expandir o entendimento sobre as interações entre as diferentes formas de aprendizagem tecnológica por meio da criação e exercício de capacitações em integração de sistemas.

O objetivo específico é descrever e explicar como a dinâmica de aprendizagem tecnológica ocorre em uma organização localizada num país de industrialização recente, considerando projetos de desenvolvimento de sistemas complexos, que fazem parte de um programa de cooperação tecnológica, como unidade de análise.

2.2 Método da Pesquisa

A pesquisa tem caráter exploratório uma vez que visa à expansão do entendimento de um problema geral, enquadrando-se especificamente na categoria de teorização apreciativa (Nelson & Winter, 2005).

O método usado neste trabalho é o estudo de caso, adequado para a análise de situações específicas que podem ser representativas de diversas outras situações, e válido quando a expansão do entendimento sobre o tema é necessária. Desta forma, o constructo da pesquisa é definido por elementos teóricos e elementos empíricos derivados do levantamento de campo, conforme mostrado na figura 1. A pesquisa teórica é constituída pelo estabelecimento da filiação teórica, pela escolha de abordagens apropriadas ao objeto e objetivo da pesquisa e pela proposição de um modelo conceitual.

A filiação teórica refere-se à identificação das origens e evolução da teoria da firma, com base na microeconomia da inovação, confrontando-a com a teoria ortodoxa da firma. As abordagens apropriadas referem-se a um conjunto de disciplinas necessárias ao entendimento do estudo de caso. A primeira abordagem refere-se ao entendimento teórico das organizações: visão baseada em recursos. Outras duas abordagens complementares tiveram que ser progressivamente incorporadas à pesquisa teórica, para permitir um melhor entendimento da pesquisa de campo.

A visão sistêmica aplicada às disciplinas gestão de projetos e engenharia de sistemas foi a primeira abordagem complementar. Hobday (1998) e Davis e Hobday (2005) fizeram uso destas abordagens, procurando fundir a visão baseada em recursos com a visão sistêmica. Embora o enfoque principal destes trabalhos seja a gestão de projetos. Prencipe, Davis e Hobday (2003) e Rehtin (2000) fazem uso mais intenso da visão sistêmica aplicada tanto à gestão de projetos como à engenharia de sistemas, assim como Forsberg et. al (2005), Eisner (2005), Kossiakoff e Sweet (2003), Eisner (2002), Palmer (1999) e Sage (1998). Estes últimos, no entanto, não utilizam a visão baseada em recursos como referencial teórico.

A segunda abordagem refere-se à filosofia da ciência. O uso da filosofia pragmática de Dewey mostrou-se adequado à análise de capacitações de organizações envolvidas com a produção de sistemas de complexidade crescente. O fenômeno de propriedades emergentes requer o uso de uma classe epistemológica voltada para prática, que une os conhecimentos conceituais e operacionais. Os conceitos de Kuhn, relativos à filosofia da ciência, foram mais bem explorados depois do exame de qualificação, por sugestão – oportuna e pertinente – da banca examinadora.

A pesquisa de campo foi feita por meio de entrevistas com funcionários do INPE diretamente envolvidos com o Programa objeto do estudo de caso e com a análise de documentação técnica e gerencial referentes a este programa.

Fontes primárias de dados incluem entrevistas com representantes envolvidos diretamente com os projetos objeto da pesquisa. Estes representantes incluem os arquitetos responsáveis pela arquitetura de sistemas do programa, representantes do departamento de contratos e compras de componentes críticos, representantes dos usuários finais, e responsáveis pela execução da montagem, integração e teste finais dos produtos destes projetos. No nível de definição teórica de políticas públicas, foi entrevistado um embaixador envolvido com a questão de acordos internacionais de cooperação tecnológica. Um fornecedor de primeiro nível foi, também, entrevistado. Um total de 44 entrevistas foram feitas. Três entrevistados-chave foram usados para validar o constructo (Yin, 2003): o arquiteto chefe do programa, um gerente de contratos e um representante da montagem, integração e testes finais. Eles leram e comentaram o esboço do estudo de caso. Dois deles foram co-autores do artigo Chagas Junior et al (2006 a).

Fontes secundárias de dados incluem revistas especializadas, relatórios e planejamentos estratégicos organizacionais, relatórios e planejamentos dos projetos objeto de análise e *designs* dos produtos.

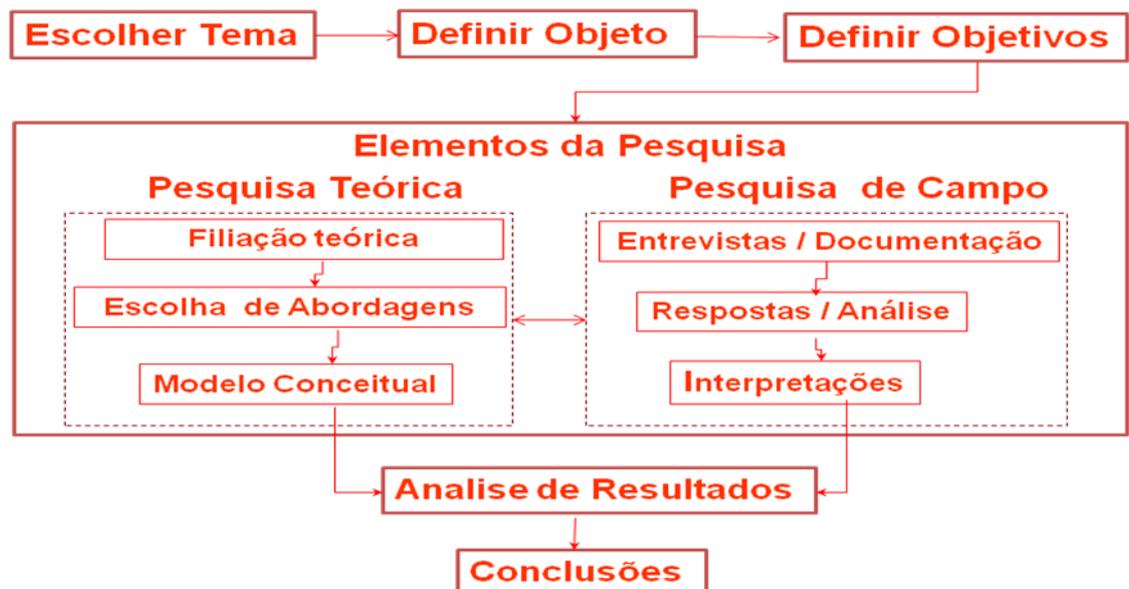


Figura 1: Representação Esquemática do Método de Pesquisa

Fonte: Autor

3. Diferentes Entendimentos de Inovação Tecnológica

3.1 Uma Teoria Centrada na Inovação Tecnológica

Os entendimentos de Schumpeter sobre empreendedorismo e inovação tecnológica e seus desdobramentos em um sistema econômico, a forma de competição entre organizações, baseada na criação de valor econômico e apropriação temporária de lucros extraordinários, formam a base conceitual da crescente literatura sobre economia evolucionária.

O crescimento desta literatura é atribuído ao desconforto generalizado, de diversas correntes de pensamento, com a vertente dominante do pensamento econômico, que lida de maneira inapropriada com as questões relacionadas à inovação e difusão tecnológicas no sistema econômico. À medida que a competição por meio da inovação, competição schumpeteriana, é adotada de maneira crescente por diversos setores de um sistema econômico – desde os emergentes até os mais maduros –, a teoria econômica ortodoxa mostra-se progressivamente menos adequada como ferramenta de análise que permite o entendimento e a predição do comportamento dos agentes econômicos. A centralidade da busca pelo equilíbrio, obtido por meio de maximização de funções-objetivo, é, sem dúvida, a questão mais questionada pelos evolucionários, de maneira geral. E foi Schumpeter, um economista neoclássico, de amplo reconhecimento internacional, o primeiro a enquadrar a limitação da abordagem ortodoxa em lidar com a mudança técnica e explicitar a natureza do problema sob a ótica e centralidade da inovação tecnológica.

“Em outras palavras, o problema que habitualmente é percebido é o da maneira como o capitalismo administra as estruturas existentes, mas o problema relevante é de como o capitalismo as cria e destrói. Enquanto isso não for reconhecido, o investigador fará um trabalho sem significado. E, tão logo for reconhecido, sua perspectiva sobre a prática capitalista e seus resultados sociais mudará consideravelmente.” (Schumpeter, 1984)

O ataque de Schumpeter é dirigido à essência da teoria econômica tradicional, pois diverge fundamentalmente da forma instituída dominante. O entendimento da realidade econômica deve ser baseado na dinamicidade trazida pela inovação tecnológica a um sistema econômico, para o entendimento da sua realidade. A sua insatisfação com a teoria econômica ortodoxa era fundamentada na incapacidade desta teoria explicar a dinâmica concorrencial de economias crescentemente industrializadas, marcadas por um progresso técnico capaz de gerar mudanças qualitativas pervasivas ao sistema econômico.

“When you adopt a new systematic model of economic you comprehend reality in a new different way” (Samuelson, 1967 apud Freeman e Soete 1997, p. 10)

Em seu primeiro livro de grande repercussão e influência, derivado de sua tese de doutorado, a Teoria do Desenvolvimento Econômico (TDE), Schumpeter inicia sua análise a partir de uma condição de equilíbrio estacionário – sem desenvolvimento - descrevendo o “fluxo circular da vida econômica”. Neste modelo, as atividades econômicas e as interações entre seus agentes se processam de forma circular, com os produtores e vendedores de mercadorias atuando também como consumidores. Esta condição estacionária da vida econômica seria alterada, principalmente, por condições externas, tais como o crescimento da população ou mudanças no regime político. No entanto, mais cedo ou mais tarde, com maior ou menor dificuldade, a condição de equilíbrio da vida econômica seria restaurada. Neste modelo, a produção é guiada pelo consumo e não existem empreendedores, apenas administradores dos meios de produção disponíveis. Não existe necessidade de crédito para a produção, e a moeda é um meio de troca e de circulação das mercadorias. Este modelo, descrevendo a

“vida econômica do ponto de vista do “fluxo circular”, correndo essencialmente pelos mesmos canais, ano após ano — semelhante à circulação do sangue num organismo animal” (Schumpeter, 1982, p. 72),

é suficiente para análise da condição econômica estática marcada por lucros regulares.

No entanto, este modelo não pode lidar com a inovação tecnológica capaz de gerar lucros extraordinários, introduzindo dinamicidade ao sistema econômico. Vale ressaltar que na primeira edição de TDE, o título era a Teoria da Dinâmica Econômica, tendo sido alterado para Desenvolvimento nas edições posteriores.

“...o que estamos prestes a considerar é o tipo de mudança que emerge de dentro do sistema que desloca de tal modo o seu ponto de equilíbrio que o novo não pode ser alcançado a partir do antigo mediante passos infinitesimais. Adicione sucessivamente quantas diligências quiser, com isso nunca terá uma estrada de ferro.” (Schumpeter, 1982, p. 75)

Schumpeter definiu inovação de forma ampla, como um deslocamento de uma função de produção. A este deslocamento atribuiu diversas causas, e não somente o progresso técnico derivado da introdução da inovação tecnológica no sistema econômico. De maneira genérica, a inovação se refere a “novas combinações de fatores” de produção.

Tendo tido uma forte influência de Marx, Schumpeter considerava a natureza do capitalismo, enquanto força histórica, um processo evolucionário e que, portanto, deve ser analisado por meio de um modelo dinâmico, que considera o progresso técnico como uma característica essencial e indissolúvel das empresas capitalistas. Seu argumento central é que o progresso técnico não pode ser descrito como fluxos circulares nem como movimento pendulares em torno de um centro. Ao contrário, o tipo de mudança gerada pelo progresso técnico

“é a causa de tantos fenômenos econômicos importantes que parece valer a pena construir uma teoria para eles...” (Schumpeter, 1982, p. 75)

O livro Capitalismo, Socialismo e Democracia – CSD – é dividido em cinco partes. Na primeira parte do livro, aquela que trata do marxismo, Schumpeter ressalta a atenção dada por

Marx à inovação tecnológica, embora não da mesma forma que ele próprio. E indica que uma importante diferença entre eles é que Marx não separa as figuras e funções do empreendedor e do capitalista, considerados por Marx, como o mesmo agente econômico.

“Correr riscos não é em hipótese nenhuma um componente da função empresarial.

Mesmo que possa arriscar sua reputação, a responsabilidade econômica direta do fracasso não recai nunca sobre ele.” (Schumpeter, 1982, p. 136)

Outro economista clássico, que tornou famoso o termo *entrepreneur*, foi o francês Say. Sem dúvida, a definição de inovação de Schumpeter como deslocamento de uma função de produção, está fortemente arraigada na definição de empreendedor de Say.

A definição de empreendedor feita por Say, por volta de 1800 é a seguinte.

“The entrepreneur shifts economic resources out of an area of lower and into an area of higher productivity and greater yield.” (Say, apud Drucker 1993 p. 21)

O entendimento de Say sobre a figura do empreendedor, ou agente-mestre, como ele às vezes o descrevia, é considerada sua contribuição fundamental à economia. Say também já havia identificado o empreendedor como aquele indivíduo raro e indispensável que faz, de fato, um sistema econômico crescer. No entanto, Say não explorou os aspectos psicológicos que motivavam a ação do empreendedor.

Com uma visão heróica de empreendedor, Schumpeter atribuiu-lhe a capacidade de liderar a criação de novas indústrias, que podem desencadear mudanças com consequências estruturais no sistema econômico. Desta maneira, indústrias maduras se tornam obsoletas em função dos “perenes vendavais de destruição criadora”. Schumpeter utiliza o empreendedorismo como força motriz do progresso técnico que induz as mudanças estruturais, o crescimento econômico e os ciclos de negócios. O último capítulo de TDE trata dos ciclos de conjuntura que seriam tratados de maneira mais abrangente e profunda em outro livro importante, *Business Cycles*. Neste capítulo o autor realça que o crescimento econômico

se dá de maneira descontínua, ocorrendo como uma sucessão de crises e expansões. E faz uma correlação entre crises e expansões e a difusão de novas tecnologias que ocorrem por meio do vertiginoso aumento de investimentos induzidos pela busca de lucros extraordinários trazidos pelas inovações. Vale ressaltar que antes desta teoria de Schumpeter - de sucessivas revoluções industriais - as discontinuidades cíclicas eram explicadas por flutuações de diferentes origens, como boas e más colheitas, superpopulação, subconsumo e nível de atividade cósmica do sol.

A segunda parte de CSD versa sobre o futuro do capitalismo e é aquela que mais chama a atenção na obra. Serão feitos, a seguir, alguns comentários sobre esta parte da obra. Os capítulos mais famosos e controversos deste livro são, sem dúvida, o sétimo e oitavo: Processo de Destruição Criadora e Práticas Monopolistas, respectivamente. Neste livro, o local da inovação tecnológica passa a ser grande empresa capitalista. Ao contrário de TDE, quando faz uma clara separação entre invenção e inovação, tirando do empreendedor a função de “encontrar ou criar novas possibilidades”, em CSD esta separação não é tão clara, pois são os laboratórios de pesquisa e desenvolvimento que criam os novos produtos da organização inovadora.

“A primeira coisa que uma empresa moderna faz, quando sente que pode fazê-lo, é estabelecer um departamento de pesquisas com pessoas que sabem que sua sobrevivência irá depender do sucesso que tiverem na invenção de aperfeiçoamentos.”

(Schumpeter, 1984)

Existe amplo consenso na literatura especializada de que Schumpeter teria se inspirado no comportamento de organizações como a Du Pont e General Electric ao escrever CSD. De fato, as indústrias química e elétrica foram as primeiras a fazer uso, em larga escala, das funções desempenhadas por laboratórios de P&D especializados, com profissionais altamente

treinados - normalmente engenheiros e cientistas - dedicados exclusivamente à criação de novas tecnologias, novos produtos e novos processos.

A crescente profissionalização dos laboratórios de P&D, em diversas indústrias, vem moldando outro tipo de competição, centrado na inovação tecnológica e na mudança técnica do sistema econômico dela derivada, que é uma característica marcante e distintiva da sociedade industrial. Há de se ressaltar que este desconforto com a teoria microeconômica dominante de uma maneira geral, e com o princípio marginalista de uma maneira específica, existe desde o surgimento da Organização Industrial, com Coase, Mason e Hall & Hitch.

Coase, em seu artigo de 1937, ressalta que a firma não pode ser considerada como uma função de produção, mas se devem considerar seus relacionamentos com clientes e fornecedores, e que a operação da organização neste mercado não ocorre sem custos. Mason e Bain estabeleceram as bases da Organização Industrial tradicional, conhecido como paradigma Estrutura-Condução-Desempenho. Este paradigma sugere a existência de um encadeamento causal entre a estrutura de um mercado, a condução das firmas atuantes neste mercado e o desempenho do sistema econômico derivado destas atuações. Hall & Hitch, na Inglaterra e Paul Sweezy, nos Estados Unidos, simultaneamente, mostram, a partir de evidências empíricas, que os empresários utilizam a margem fixa (*Mark-up*) sobre o custo variável médio, para determinar o preço de suas mercadorias. O preço estável, em mercados oligopolísticos, caracterizado pela interdependência de ações entre agentes econômicos, é explicado por meio da curva de demanda quebrada. No entanto, a maioria destes modelos, embora reconheçam a centralidade da inovação na competição entre organizações, conforme ressaltado por Schumpeter, não abandonou o paradigma do equilíbrio da teoria microeconômica tradicional, resolvendo seus problemas por meio de novas condições de equilíbrio.

Em função disso, os principais autores da corrente evolucionária, também chamados de evolucionistas ou neoschumpeterianos, vêm realizando um grande esforço no sentido de construir modelos centrados na competição através da inovação tecnológica, procurando identificar quais são seus determinantes e quais as consequências econômicas deste tipo de concorrência. Abandonando o paradigma da busca do equilíbrio, estes autores partem da passagem descrita abaixo de CSD.

“O ponto essencial a ser entendido é que ao lidar com o capitalismo estamos lidando com um processo evolucionário” (Schumpeter, 1984)

Estes esforços de pesquisas seguem o conselho do próprio Schumpeter com relação à construção de uma teoria econômica: ela deve ser elaborada com base nas novas evidências empíricas reveladas por pesquisas.

Como já foi dito, este não é um entendimento original de Schumpeter. Marx, um contemporâneo de Darwin, havia originalmente sugerido que a mudança histórica era parte fundamental do entendimento do sistema capitalista. Marshall, em passagem muito citada na introdução de seu famoso *Principles*, também indicava que o sistema econômico deveria ser analisado sob o prisma evolucionário darwiniano. A mudança deveria fazer parte dos objetivos da economia, apesar de sua análise formal basear-se no paradigma do equilíbrio.

“Os objetivos da economia estão mais próximos da biologia econômica do que da mecânica econômica. Mas, as concepções biológicas são mais complexas que as da mecânica; um livro sobre fundamentos deve, portanto, reservar um espaço relativamente amplo para as analogias mecânicas, e por isso far-se-á um frequente uso do termo equilíbrio, que sugere uma analogia estática.”

A teoria da firma utilizada pela ortodoxia é construída a partir de hipóteses restritivas, que impedem o adequado entendimento do comportamento competitivo das firmas em ambientes marcados pela concorrência através da inovação. Em função disto, esta teoria vem

recebendo, há tempos, críticas diversas de pesquisadores de diferentes correntes do pensamento que ressaltam a necessidade de se entender a firma como uma organização. A principal destas hipóteses é a referente à capacidade de entendimento da realidade, necessária para a tomada de decisão. A capacidade cognitiva humana foi explorada, pelo ganhador do prêmio Nobel de economia em 1972, Herbert Simon, que salientou sua limitada natureza no entendimento de realidades complexas em processos de tomada de decisão. Esta limitação na capacidade cognitiva está em linha com o pensamento de Schumpeter em relação à tomada de decisão sobre inovações:

“O que já foi feito tem a realidade aguda de todas as coisas que vimos e experimentamos; o novo é apenas o fruto de nossa imaginação. Levar a cabo um plano novo e agir de acordo com um plano habitual são coisas tão diferentes quanto fazer uma estrada e caminhar por ela. Torna-se claro o quanto isso é diferente, se se tem em mente a impossibilidade de examinar exaustivamente todos os efeitos e contrafeitos do empreendimento projetado. Mesmo os que poderiam em teoria ser averiguados, se se tivesse tempo e meios ilimitados, devem na prática permanecer obscuros.”
(Schumpeter, 1982, p.92)

Desta maneira, a tomada de decisão sobre investimento em esforços inovadores é feita sem todas as informações necessárias e, mais, sem a completa compreensão dos efeitos que essa ação trará quando for inserida no sistema econômico.

Freeman retira o aspecto puramente racional, baseado no critério de maximização dos processos de tomada de decisão, do investimento em esforços inovadores de organizações, ressaltando a incerteza que envolve a avaliação de projetos de P&D.

“The uncertainty surrounding innovation means that among alternative investment possibilities innovation projects are usually dependent on ‘animal spirits’”.

(Freeman e Soete, 1997, p. 251)

A expressão “espíritos animais” foi cunhada por Descartes, e referia-se a partículas de matéria que têm a função de agentes mecânicos da sensação e do movimento, tendo sido usada durante a descrição do funcionamento do coração, na parte V do Discurso do Método.

Keynes que escreveu um tratado sobre teoria da probabilidade e revolucionou a teoria econômica, não tinha ilusões sobre investimentos de risco, sejam estes especulativos ou inovadores.

“Most, probably, of our decisions to do something positive, the full consequences of which will be drawn out over many days to come, can only be taken as a result of animal spirits – of a spontaneous urge of action rather than inaction, and not as the outcome of a weighted average of quantitative benefits multiplied by quantitative probabilities.” (Keynes, 1936 apud Freeman e Soete 1997, p.250)

Com isto, ressalta que os processos de tomada de decisão em investimentos em projetos de P&D, cujos resultados serão colhidos no longo prazo, não seguem exclusivamente critérios de cálculo estatísticos, mas sim a necessidade de fazê-lo para não perder a oportunidade de realizar algo positivo que possa contribuir para a realização de um lucro extraordinário futuro.

Em seguida faz a associação entre o *animal spirits*, e ondas de otimismo, que de maneira agregada, trazem vitalidade a um sistema econômico.

“It is safe to say that enterprise which depends on hopes stretching into the future benefits the community as a whole. But individual initiative will only be adequate when reasonable calculation is supplemented and supported by animal spirits, so that thought of ultimate loss which often overtakes pioneers, as experience undoubtedly tells us and them, is put aside as a healthy man puts aside the expectation of death.” (Keynes, 1936 apud Freeman e Soete 1997, p. 251)

3.2 Controvérsia teórica

A partir do reconhecimento da necessidade da construção de uma nova teoria que permita o melhor entendimento dos aspectos econômicos relacionados à inovação tecnológica, diversos autores, de diferentes correntes do pensamento – incluindo sociólogos, cientistas sociais, administradores, historiadores, engenheiros e economistas – vêm realizando pesquisas que permitam o aprofundamento deste entendimento. Lentamente, começa-se a construir um corpo de observações sistemáticas e generalizações, suportadas por evidências empíricas.

O grande enfoque destas pesquisas, inicialmente, foi para entender os determinantes da inovação tecnológica num sistema econômico. Para se chegar a um consenso sobre esta questão, foram necessárias décadas de pesquisa para superar uma grande controvérsia teórica: saber se a mudança técnica é impulsionada por forças de demanda ou por forças de oferta. Ou seja, se é a partir da necessidade de mercado que se colocam em movimento os esforços dos laboratórios de P&D presentes nas organizações de um sistema econômico para a criação de uma inovação que atenderá uma demanda explícita da sociedade; ou se é a partir das descobertas realizadas nos laboratórios de P&D, que podem ser convertidas em aplicações práticas para a criação de uma inovação, que é, ou poderá vir a ser, útil para a sociedade.

3.2.1 Science Push

“Basic research is performed without thought of practical ends. It results in general knowledge and an understanding of nature and its laws. This general knowledge provides the means of answering a large number of important practical problems, though it may not give a complete specific answer to any one of them. The function of applied research is to provide such complete answers. The scientist doing basic research may not be at all interested in the practical applications

of his work, yet the further progress of industrial development would eventually stagnate if basic scientific research were long neglected. “ (Bush, 1945)

Para que se entendam as razões por trás desta controvérsia teórica, é necessária uma contextualização histórica. Por meio de uma análise retrospectiva ampla, pode-se caracterizar o grau de proximidade da relação entre ciência e tecnologia como de grande variação. Esta variação reflete a evolução histórica dos entendimentos filosóficos sobre a ciência e a tecnologia, sobre conhecimento e ação prática. Os gregos colocavam forte distinção entre as atividades filosóficas que levariam a um conhecimento geral e aquelas práticas com escopo definido. O casamento entre conhecimento geral e ações práticas, de escopo restrito, teve sua união na Renascença italiana representada por meio de figuras como Leonardo Da Vinci, Michelangelo Buonarroti, Cristovão Colombo, entre outros. A combinação de interesses entre descobertas de caráter geral, que ampliam a base de conhecimentos científicos, e ações que levam a aplicações práticas também moldou a formação de Galileu Galilei. Neste período, cientistas de renome não se importavam em aplicar à ciência tecnologias desenvolvidas por artesões. E mais, de emprestar seus talentos científicos para o melhoramento destas tecnologias. Francis Bacon foi o mais influente defensor da fusão entre os propósitos científicos, de entendimento generalizável, e as ações práticas, de escopo reduzido. Sua descrição de instituto de pesquisa feita em sua obra póstuma, Nova Atlântida, formou a base do estatuto do Royal Society da Inglaterra com o objetivo de tornar mais próximos os esforços feitos pela comunidade científica com as necessidades da sociedade.

Centrando a análise num período mais recente, durante e após a Segunda Guerra Mundial viu-se um período de intensificação da separação entre ciência básica e inovação tecnológica. A figura central no estabelecimento da separação clara entre a ciência básica e a inovação tecnológica foi Vannevar Bush, nos Estados Unidos. Com forte apoio do Presidente Franklin Roosevelt. Bush liderava o *Office of Scientific Research and Development (OSRD)*,

que recebia um volume de investimentos sem precedente na história da humanidade para projetos de pesquisa básica. O OSRD teve um extraordinário sucesso em reunir os recursos científicos e tecnológicos dos Estados Unidos para fins militares. Dentre diversos projetos, o que mais chamava atenção por suas consequências para o desfecho da Segunda Guerra, foi o projeto Manhattan, que permitiu a aplicação dos conhecimentos, gerados na pesquisa, para a produção da bomba atômica. Uma série de arranjos institucionais foi estabelecida neste período, como, por exemplo: a contratação de universidades em vez de cientistas individuais, com pagamento dos custos diretos e indiretos, bem como direitos sobre patentes para as indústrias que realizavam esforços de pesquisa.

O volume de investimento realizado durante este período foi imenso. Com a proximidade do fim do conflito, a preocupação dos principais cientistas envolvidos era como manter este volume de investimentos em tempo de paz.

Existia uma grande expectativa que mesmo ao final da Guerra, o tipo de conflito que se estabeleceria seria um conflito científico e tecnológico, e os Estados Unidos iriam enfrentar um adversário com grande potencial científico e tecnológico na área de defesa. Na visão de Bush, a questão central residia na manutenção da autonomia da pesquisa científica em relação às pressões por resultados exigidos pela pesquisa aplicada. A partir de uma Solicitação do presidente Roosevelt, em 17 de novembro de 1944, Bush elaborou o relatório: *Science, the Endless Frontier*. A solicitação do presidente Roosevelt era voltada especificamente para reproduzir em período de paz o que havia sido conseguido no período da Segunda Guerra Mundial. Neste relatório Bush reproduz a solicitação do presidente Roosevelt.

“The information, the techniques, and the research experience developed by the Office of Scientific Research and Development and by the thousands of scientists in the universities and in private industry, should be used in the days of peace ahead for the

improvement of the national health, the creation of new enterprises bringing new jobs, and the betterment of the national standard of living.” (Bush, 1945)

Este relatório foi enviado ao presidente Harry Truman em junho de 1945. Nesta data, de posse da bomba atômica, os Estados Unidos pretendiam mostrar a crescente importância da ciência básica autônoma, que permite a criação de uma base de conhecimentos da qual se extraem aplicações tecnológicas espetaculares, e neste caso, também avassaladoras.

O principal meio pelo qual Bush procurava aliar a manutenção do volume de investimento governamental no período de guerra com a autonomia dos propósitos de pesquisa era por meio da criação de uma organização – *National Research Foundation* –, dirigida por membros da comunidade de cientistas, sem a ingerência do governo (Stokes, 2005). Ou seja, a reprodução do OSRD em tempos de paz. No relatório, Bush chegava a propor a constituição básica do *National Research Foundation*, composta por cinco divisões: divisão de pesquisa médica, divisão de ciências naturais, divisão de defesa nacional, divisão de educação e pessoal científico, divisão de publicações e colaboração científica.

Bush fracassou em sua tentativa de criar a *National Research Foundation*. No entanto, a sua construção ideológica, baseada no fundamento de autonomia de pesquisa científica que cria uma base de conhecimentos dos quais derivam aplicações práticas para serem usadas em inovações tecnológicas espetaculares, se manteve de forma marcante.

Esta ideia fica clara no capítulo 3 do relatório *Science, the Endless Frontier*, quando argumenta sobre a causalidade entre ciência básica e inovação tecnológica, ressaltando que o conhecimento aplicado na inovação tecnológica tem origem no reino mais puro da pesquisa científica.

“Basic research leads to new knowledge. It provides scientific capital. It creates the fund from which the practical applications of knowledge must be drawn. New products and new processes do not appear full-grown. They are founded on new principles and

new conceptions, which in turn are painstakingly developed by research in the purest realms of science. Today, it is truer than ever that basic research is the pacemaker of technological progress. “ (Bush, 1945).

Embora o plano de Bush tenha sido transformado em projeto de lei, sua proposta de isolar a nova organização de controle político adiou por meia década a tentativa efetivar esta nova organização. O presidente Truman sempre deixou claro que a nova organização deveria ser dirigida por alguém indicado pelo presidente e confirmado pelo senado. A criação da *National Science Foundation* (NSF), fragmentou o portfolio de investimentos inicialmente planejado por Bush. Sua ideia era a manutenção de uma única organização, nos moldes da OSRD (Stokes, 2005).

Como a ideia organizacional de Bush nunca foi testada, sua construção ideológica ganhou mais força, com as elucubrações dos possíveis resultados de uma concentração de esforços dos melhores cientistas do país, com autonomia, e guiados pela curiosidade, para a criação de novos conhecimentos que iriam ser aplicados em inovações tecnológicas espetaculares. Sem a devida validação por meio da realização prática, esta ideia se tornou uma visão paradigmática, principalmente pelas agencias especiais intensivas em P&D, inclusive a própria NSF, uma versão reduzida da proposta inicial de Bush, com ingerência governamental.

O paradigma de Bush mostrou-se fortemente enraizado na consciência dos formuladores de políticas científicas americanos. Um bom exemplo disto é a resposta dada pelo Presidente Dwight Eisenhower ao lançamento do satélite Sputnik, em 1957. Eisenhower nomeou James Killian do MIT para o cargo de conselheiro científico do presidente, nos mesmos moldes que Roosevelt havia feito com Bush. Killian e Eisenhower encararam o Sputnik como um desafio à ciência americana. Como resultado deste progresso tecnológico espetacular soviético, segue-se um crescente aumento dos investimentos em ciência básica

nos Estados Unidos. A expectativa óbvia era que um incremento no volume de investimentos em ciência permitiria a criação de uma base de conhecimentos da qual se poderiam extrair aplicações práticas que por meio do desenvolvimento tecnológico levariam a produtos inovadores. Este paradigma ficou conhecido como *Science Push*. (Stokes, 2005 e Rothwell, 1994).

Do ponto de vista da construção de uma teoria sobre os determinantes da inovação tecnológica, este paradigma tomou a seguinte forma: ciência básica - ciência aplicada - desenvolvimento tecnológico - produtos inovadores no sistema econômico. Este paradigma ficou conhecido como modelo linear de inovação tecnológica, e estabeleceu-se com grande vigor nas principais comunidades científicas e entre formuladores de políticas públicas de ciência e tecnologia.

Alan Waterman, o diretor-fundador da NSF, em defesa do paradigma de *Science Push*, de autonomia descompromissada do cientista, criou uma nova categoria de ciência básica: ciência básica orientada por missão. Waterman argumentou que existe uma diferença entre aqueles que patrocinam a pesquisa e aqueles que realizam a pesquisa.

Em uma época de pesquisa institucionalizada no interior de uma estrutura organizacional, é normal que esta organização privilegie esforços consistentes com a perseguição de suas missões e objetivos. Desta maneira, Waterman faz a distinção entre pesquisa básica livre e pesquisa básica orientada a uma missão. Seguindo esta linha, o pesquisador compartilharia com a organização a escolha do problema em questão e a partir daí estaria livre para realizar sua pesquisa.

Na mesma linha de Waterman, Harvey Brooks notou que a pesquisa pode ser percebida de maneira diferente segundo o local em que é realizada, se em laboratórios de universidades ou em laboratórios privados em função da existência de cliente potenciais para os resultados das pesquisas.

O primeiro relatório oficial de grande repercussão nos países centrais do capitalismo foi elaborado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e foi batizado de Manual Frascati. Este relatório, cuja primeira edição foi estruturada por Christopher Freeman em 1963, partiu das definições utilizadas pela NSF, não apresentando questionamentos significativos com relação às categorias de Bush. A pesquisa fundamental foi definida como “trabalho primordialmente empreendido com vistas ao progresso do conhecimento científico, sem uma aplicação prática em vista”. A pesquisa aplicada, ao contrário, apresentava “uma aplicação prática em vista”. Em concordância com o modelo linear de transferência de tecnologia, o desenvolvimento experimental foi definido como “uso dos resultados de pesquisa fundamental e da pesquisa aplicada no sentido de introdução de materiais, dispositivos, produtos, sistemas e processos úteis, ou da melhoria daqueles já existentes.” Desta maneira, a segunda ideia por trás do *Science Push*, continuava presente: a inovação tecnológica tem suas raízes nas descobertas feitas por pesquisas básicas.

Em edições posteriores, o Manual Frascati adotou a posição de Waterman e Brooks (Stokes, 2005). A pesquisa básica, apesar de não ter em vista aplicações práticas imediatas e específicas, pode ser orientada na direção de uma área de interesse para a organização que a realiza. Desta maneira faz a distinção entre pesquisa básica pura e pesquisa básica orientada. Nesta, a organização que emprega o pesquisador normalmente dirigirá seu trabalho para um campo de interesse social, econômico ou científico, atual ou potencial.

3.2.2 Market Pull

O trabalho que alterou a perspectiva de entendimento vigente sobre os determinantes da inovação tecnológica foi aquele realizado por Schmookler. Seu trabalho de 1966, *Invention and Economic Growth*, serviu para demonstrar que a direção da mudança técnica é influenciada por fatores econômicos sendo, portanto, moldada pelas forças de demanda na alocação de recursos de atividades inovadoras. Tendo tratado fundamentalmente de

invenções, Schmookler estabeleceu a correlação entre o crescimento de indústrias e o número de patentes a elas concedidas.

Partindo da análise das indústrias de transporte ferroviário e de petróleo, Schmookler (1966) associou o crescimento da produção destas indústrias ao crescimento do número de patentes. Como existia forte correlação entre estes crescimentos, o autor não considerou a hipótese de forças pelo lado da oferta, na alocação de recursos de atividades inovadoras, como relevante.

Desta maneira, para Schmookler o retorno futuro esperado pelo inovador seria o incentivo que determinava o investimento em esforços inovadores. Ou seja, as forças da demanda se constituiriam no principal incentivo à inovação. Embora Schmookler não tenha desconsiderado o papel da ciência básica neste processo ele concluiu que a demanda é o principal determinante do processo de inovação.

Freeman et al. (1982), apresenta o modelo de Schmookler através de 4 rotas que associam a demanda de mercado à produção. A rota 1 representa aumentos da demanda atendidos pela capacidade ociosa da economia. Ou seja, utilizando a capacidade industrial já instalada. A rota 2 envolve a expansão da produção por meio do investimento em capital fixo – nova capacidade industrial – para atender o aumento da demanda de mercado. Isto poderia requerer investimento em modificações tecnológicas ou em novas tecnologias feitas pelas organizações já estabelecidas. A rota 3 se refere a grandes aumentos da demanda, que ampliam os incentivos à inovação tanto dentro quanto fora das organizações já estabelecidas.

A persistência no aumento da demanda levaria ao aumento das taxas de invenções e ao aumento do número de patentes. Os esforços para aumentar as taxas de invenções e a apropriação monopolística de seus resultados é que levariam à criação de departamentos de P&D dentro da própria organização. Esta situação define a rota 4.

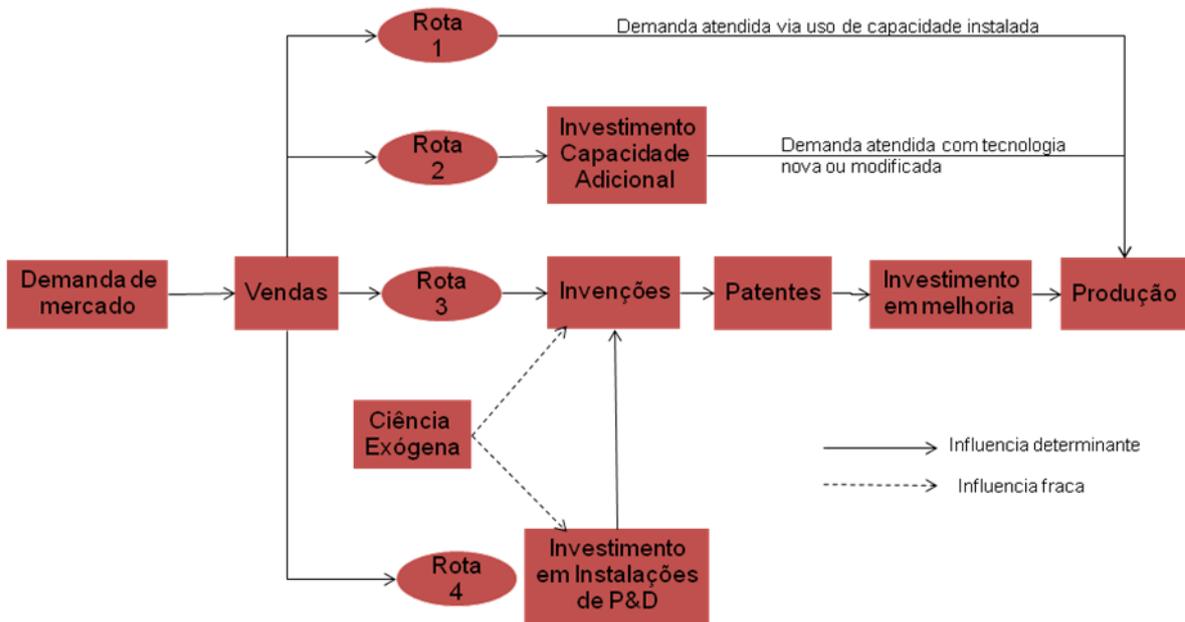


Figura 2: Esquema Teórico de Schmookler

Fonte: Campos (2006)

Ao final dos anos 1960 e início dos anos 1970, diversos estudos procuravam enfatizar a importância da demanda nos esforços inovadores.

O projeto *Hindsight* (1967) visava, através da avaliação retrospectiva de projetos financiados pelo Departamento da Defesa (DoD) dos Estados Unidos, alertar a comunidade científica de que as melhorias da tecnologia militar eram induzidas pelas limitações técnicas dos sistemas já existentes em vista de potenciais demandas aos produtos melhorados.

Por meio de um estudo de 20 casos, foi reforçada a visão da importância das forças de mercado como determinante dos processos de inovação tecnológica. Desta maneira, o modelo questionava a ideia de que as descobertas científicas seriam convertidas em produtos inovadores. Os estudos mostraram que menos de 10% do que foi considerado desenvolvimento “crítico”, poderiam ser ligados à pesquisa de qualquer tipo; e menos de 1% ligados à pesquisa básica, não dirigidas diretamente às necessidades do Departamento de Defesa.

Vale ressaltar que como uma resposta aos esforços do projeto *Hindsight*, o NSF financiou dois outros projetos de pesquisa para reforçar a tese do *Science Push*: o TRACES (*Technology in Retrospect and Critical Events in Science*) e o seu complemento, encomendado pelo NSF ao Battelle Research Institute sobre as interações entre ciência e tecnologia no processo de inovação.

O uso de horizontes de tempo mais extensos resultava numa visão mais razoável das atividades de pesquisa básica (forças de oferta), como complemento em vez de substitutos das forças da demanda. Embora se possa argumentar que os estudos de caso utilizados eram sabidamente originários de grandes invenções científicas, e o enfoque era dado às fases iniciais do processo de inovação e não às fases mercantis, como era o enfoque do projeto *Hindsight*.

Outro estudo de grande repercussão foi aquele conduzido por Myers & Marquis (1969) que, partindo de inovações de sucesso comercial, chegou a conclusão que 75% desta amostra se referiam a respostas das organizações às forças da demanda de mercado. No entanto, não existia explicação para as forças da oferta que permitiram às organizações obter êxito comercial. Outra ressalva se refere ao fato de terem sido escolhidos indústrias de bens de capital, nos quais as forças de demanda exercem grande importância.

3.3 O acoplamento das forças de demanda e oferta

“When we ask why a particular innovation came at a particular point in time, it is never enough to say it was “market demand”. The question is why innovation did not come years earlier or later. The answer to such a question therefore has to deal with changes in demand or supply conditions.”(Mowery & Rosenberg) 1979 Grifo dos autores.

Vale ressaltar que a demanda de mercado, conforme utilizada pela microeconomia ortodoxa, é um conceito bem definido, referindo-se a uma relação sistemática entre preços de produtos e quantidades produzidas destes produtos. Esta demanda de mercado precisa ser

diferenciada do conjunto ilimitado de necessidades do ser humano. Assim, as teorias de forças da demanda devem levar em consideração esta definição, e não se deixar levar pela ideia elusiva de necessidade. Ocorre que os estudos acima citados não utilizam esta definição de demanda de mercado.

Como bem colocam Mowrey & Rosenberg, para demonstrar que as forças da demanda do mercado são os determinantes de uma inovação, é preciso mostrar que ocorreu um deslocamento da curva de demanda.

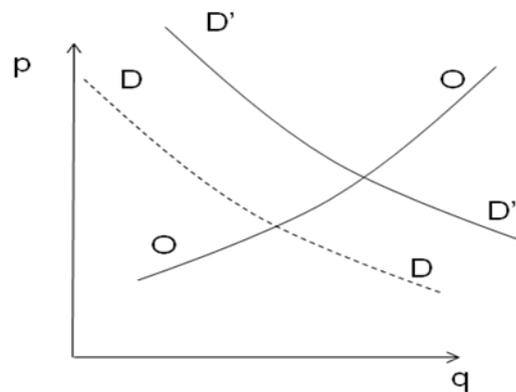


Figura 3: Deslocamento da Curva de demanda: $D - D$ para $D' - D'$

Este deslocamento nada tem a ver com um movimento ao longo de uma curva de demanda.

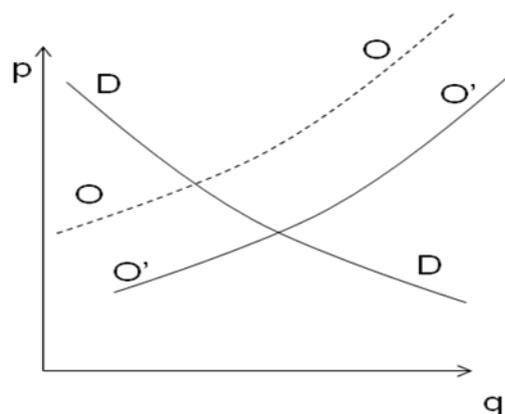


Figura 4: Movimento ao longo da curva da demanda: $O - O$ para $O' - O'$

A diferenciação entre estes dois tipos de deslocamento requer a identificação de seus determinantes. Será que a inovação é introduzida porque a demanda de um produto

aumentou? Ou será que, em função dos aperfeiçoamentos tecnológicos, tornou-se possível vender produtos a preços mais baixos? O primeiro caso, defendido pelos seguidores do *market pull*, sustenta a hipótese das forças da demanda. O segundo, das forças da oferta.

Quando se pergunta quais são os determinantes de qualquer inovação em qualquer lugar em qualquer período, nunca é suficiente atribuí-los a forças de demanda ou do mercado.

O projeto SAPPHO (*Scientific Activity Predictor from Patterns with Heuristic Origins*) realizado pelo SPRU – Science Policy Research Unit da universidade de Sussex –, que havia sido co-fundado por Christopher Freeman, apresentou uma metodologia diversa ao comparar sucessos e fracassos em inovações por meio de pares de inovação de duas indústrias diversas: produtos químicos e instrumentos científicos. O projeto, sob responsabilidade de Roy Rothwell, pode ser considerado como um projeto de administração da inovação, na medida em que trata da inovação no nível da organização. Quarenta e três pares de inovações na indústria química e de instrumentos científicos foram analisados. Na primeira fase do projeto, fez-se uma análise da importância de 24 variáveis comparando inovações bem-sucedidas de mal-sucedidas. Na sequência foi elaborada uma análise enfocando as variáveis que influenciavam no grau de sucesso comercial. Foram encontradas 5 categorias de variáveis mais importantes na distinção de sucesso e fracasso.

1. Os inovadores bem-sucedidos tinham uma melhor compreensão das necessidades dos usuários.
2. Os inovadores bem-sucedidos prestavam mais atenção ao marketing e publicidade
3. Os esforços de desenvolvimento eram mais bem realizados pelos inovadores de sucesso, mas não necessariamente mais depressa
4. Os inovadores de sucesso faziam uso de tecnologias e acessórios científicos externos às áreas específicas envolvidas.

5. Os indivíduos responsáveis pelas inovações bem-sucedidas tinham usualmente mais tempo de casa e gozavam de maior autoridade que os correspondentes dos projetos mal-sucedidos.

Além do projeto SAPPHO, merecem destaque as pesquisas de Mowrey & Rosenberg (1979) demonstrando o acoplamento entre as forças de demanda, representadas pelas necessidades de mercado, e forças da oferta, representadas por avanços de conhecimentos, resultados dos esforços empreendidos por cientistas envolvidos com pesquisa básica. Estas pesquisas demonstraram que os modelos anteriores - *Science Push* e *Market Pull* – eram, na realidade, exemplos atípicos e extremados dos processos de inovação, além de enfocarem apenas partes do processo.

Posteriormente, Kline & Rosenberg (1986) formalizaram o modelo *chain-link*. Este modelo ressalta uma característica importante dos processos de inovação, os “*feed-back loops*”, ou realimentações. Além disso, este modelo ressalta que o processo de inovação é interativo e multidirecional, isto é, não é só a ciência que influencia a tecnologia, mas avanços da tecnologia são também usados nos avanços científicos.

Estes modelos realçam a interação entre as forças dos sistemas de ciência e tecnologia e as forças de mercado. Os processos de tomada de decisão nas firmas são moldados por estes dois conjuntos de forças.

Estes modelos acoplados criticavam a simplicidade exagerada de representação do processo de inovação tecnológica, apresentando-o como de natureza linear e sequencial. A representação da inovação por meio de uma sequência de estágios independentes faz crer que a inovação nas organizações ocorre através de um conjunto discreto de atividades, executadas por departamentos isolados da organização, seguida por outro conjunto, executadas por outro departamento.

A prática mostra que a inovação não ocorre desta maneira. Existe muita interação e interdependência entre os estágios que ocorrem por meio de *feedbacks* entre atividades e departamentos que se superpõem. Além do mais, estes modelos exploram muito pouco o que ocorre em cada um destes estágios.

Outra questão não apresentada pelos modelos lineares refere-se ao fato de não apresentarem a relação da organização com o ambiente. Isto é, de não considerar a organização como um sistema aberto que recebe e devolve bens e serviços do meio ambiente.

O modelo de concomitância Schmidt-Tiedemann (1982) divide a inovação em três esferas: exploração, inovação e difusão. Neste modelo ressalta-se também a importância do *feed-back* da difusão como uma importante fonte de informação e conhecimento para adaptar novos produtos à competição por meio da melhoria da qualidade, de atributos do produto e da redução de custos. O termo concomitância chama, também, a atenção para o fato de que várias funções de negócio ocorrem simultânea e interativamente durante o processo de inovação.

Outro modelo muito conhecido é aquele de Utterback (1996). Este modelo ressalta a interdependência entre a alteração de taxas de inovação de produto e de processo. Este modelo vale tanto para indústrias, como para uma organização de maneira isolada. Esta capacidade de generalização explica sua larga utilização. As taxas de inovação de produto se iniciam altas e caem seguindo o formato de uma curva normal, à medida que o tempo passa, ou que a tecnologia se torna mais madura. As taxas de inovação de processo começam relativamente baixas, atingem um ponto de máximo e também caem como uma curva normal. O ponto de encontro entre estas curvas define a passagem de entre a fase fluída e a fase específica. Esta passagem indica o surgimento de um projeto (*design*) dominante. À medida que o mercado amadurece ocorre o *shakeout* da indústria. Embora este seja um modelo muito

difundido, ele não pode ser aplicado de maneira generalizada, em função da inexistência de projeto (*design*) dominante em algumas indústrias, como será visto na seção 4.4.

3.4 Redes Organizacionais e o processo de inovação

Desde o final da Segunda Guerra Mundial, uma quantidade muito grande de modelos do processo de inovação tecnológica foi proposta. Em uma contribuição seminal para o campo de estudos de inovação, Roy Rothwell (1992, 1994) propôs que o pós-guerra foi marcado por sucessivas gerações de modelos de inovação tecnológica associados a correspondentes evoluções nas estratégias corporativas. O autor sustenta que se podem identificar 5 gerações de modelos. As três primeiras gerações correspondem aos modelos das seções acima. Os modelos de quarta geração são aqueles caracterizados por elevados níveis de integração funcional, permitindo o uso de engenharia simultânea desde as fases iniciais de projetos de inovação. Estes modelos são caracterizados por equipes de trabalho compostas por fornecedores e parceiros, formando redes de organizações.

Estas redes de organizações marcadas por relacionamentos estáveis e de longo prazo, estendendo-se por grande parte do processo de inovação tecnológica, são apresentadas como o novo paradigma de modelo bem sucedido. A partir da indústria automobilística japonesa, o modelo ressalta que a forte ligação entre as montadoras e seus fornecedores, nas fases iniciais de projetos de lançamentos de novos produtos, permitiam o enfoque em *designs* que facilitavam a manufaturabilidade de componentes (*design for manufacturability*), aumentando a qualidade e reduzindo, ao mesmo tempo, o custo total dos novos produtos.

O Manual Oslo (2004) faz referência ao modelo de quinta geração, proposto por Rothwell, que é um aprofundamento do modelo de quarta geração. Este modelo inclui, além da parceria com fornecedores, fortes ligações com clientes-chave, universidades e institutos de pesquisas. A parceria com universidades e institutos de pesquisa ressalta a importância do estabelecimento de grupos de pesquisa colaborativos, nas fases iniciais dos processos de

inovação tecnológica. Em analogia aos fornecedores tradicionais de componentes e subsistemas, as universidades e institutos de pesquisa são vistas como fornecedores de conhecimentos especializados, científicos e tecnológicos. Grande ênfase é dada à flexibilidade corporativa e a estratégias baseadas na redução de tempos de lançamento de novos produtos (*time-based strategy*).

Rothwell enfatiza de que modo estas cinco gerações devem ser consideradas. Em primeiro lugar, deve-se considerar que a evolução de uma geração para outra não implica a substituição de um modelo pelo outro; muitos modelos existem simultaneamente, e em alguns casos elementos de um modelo são mesclados com elementos de outros modelos em determinados períodos. Em seguida, ressalta a extrema simplificação de todos os modelos em relação à complexidade real de um processo de inovação. Estes modelos irão variar de setor para setor da indústria e entre diferentes tipos de inovação – incremental, radical, modular e arquitetônica –, como será visto a seguir. E, finalmente, ressalta que os processos que ocorrem dentro das organizações são contingentes a fatores externos a estas organizações. Enfatiza o ritmo da mudança técnica, como uma importante contingência.

Chesbrough (2003a) cunha o termo inovação aberta para chamar a atenção para a crescente dificuldade de as organizações dependerem exclusivamente de seus departamentos de P&D para gerarem conhecimentos necessários aos seus processos de inovação tecnológica. O autor sustenta que as inovações tendem, de maneira crescente, a ocorrer por meio de redes organizacionais, que fazem uso de talentos internos e externos à organização, visando à criação de valor econômico. O modelo de inovação aberta também ressalta que a capacidade de apropriação do valor econômico criado pela inovação é dependente de seus recursos internos.

Em outro trabalho, Chesbrough (2003b) analisa a crescente tendência de modularidade de produtos. O autor indica, no entanto, que a modularidade do produto não implica a

modularidade do conhecimento tecnológico, por meio de redes organizacionais de fornecedores especializados, principalmente nos casos em que a integração de sistemas é um item relevante.

“In particular, the issue of systems integration figures prominently, and how integration occurs within the firm differs substantially from how it emerges through the market”. (Chesbrough, 2003 b, p. 175)

Este tema será retomado nos capítulos seguintes, que tratam da forma como diferentes organizações realizam esforços cooperativos, para integração de conhecimentos, visando ao lançamento de produtos inovadores. São estas organizações – integradoras de sistemas – as responsáveis pelo desempenho competitivo dos sistemas por elas criados. O comprometimento com o bom desempenho competitivo destes sistemas, entre as partes que realizam os esforços cooperativos, é um item que vem recebendo importância crescente na literatura sobre inovação.

Os relacionamentos de longo prazo, marcados por confiança e reciprocidade constituem-se em fontes importantes de vantagem competitiva. Estes conceitos, centrais para inovações complexas, são tratados de maneira profunda por Barney & Clark (2007). Os autores adotam a seguinte definição – feita por Sabel - de confiança:

“trust is mutual confidence that no party to an exchange will exploit another’s vulnerabilities” (Barney & Clark, 2007, p. 95)

Esta definição de confiança, que engloba reciprocidade, enfoca a crença de que nenhuma das partes de um relacionamento de troca irá explorar as vulnerabilidades de outra parte. O compartilhamento desta crença entre as partes implica a não exploração de seleção adversa, risco moral e custos de rompimento de contratos (*holdup*), ou qualquer outra vulnerabilidade que possa existir em um relacionamento de troca particular.

São identificados, e associados a estágios de desenvolvimento moral, três tipos de confiança em um relacionamento qualquer de troca entre dois agentes econômicos:

“At least three types of trust can be identified: weak form trust, semi-strong form trust, and strong form trust.” (Barney & Clark, 2007, p. 96)

Estágio de Desenvolvimento Moral	Tipos de Confiança
Estágio Amoral: quando não existem escolhas morais a serem feitas	Forma Fraca de Confiança: poucas oportunidades para o oportunismo
Estágio de Moral Convencional: decisões e comportamentos são conforme os padrões evitando os custos de violação de padrões	Forma Semi-Forte de Confiança: a confiança emerge como resposta aos mecanismos de governança social e econômica que impõem custos aos comportamentos oportunistas
Estágio de Moral Pós-convencional: Decisões e comportamentos conforme os padrões porque foram internalizados como princípios e valores	Forma Forte de Confiança: um parceiro comporta-se de maneira confiável, pois de outra maneira estaria violando valores, padrões e princípios de comportamento

Tabela 1: Paralelo entre estágios de desenvolvimento moral e tipos de confiança

Fonte: Barney e Clark (2007)

A forma fraca de confiança é característica de mercados de commodities, altamente competitivos. Nesta forma de confiança as vulnerabilidades em relacionamentos de troca não existem.

A forma semi-forte de confiança exige mecanismos de governança, impondo custos aos comportamentos oportunistas, que serão maiores que os benefícios. Portanto será um interesse racional, e centrado no próprio interesse, comportar-se de maneira confiável. Se a organização for reputada como não confiável, ela pode se beneficiar de custos econômicos,

mas irá perder a legitimidade social. Os autores comparam a Toyota à General Motors. As redes de relacionamento social e econômico, de longo prazo, entre a Toyota e seus fornecedores, permitiram que os custos de criação da forma semi-forte de confiança fosse significativamente menores que aqueles da General Motors. As habilidades especiais em construção de redes de relacionamentos com baixos custos relativos de governança se constituem em importantes vantagens competitivas, na medida em que são particulares de determinadas contextos sócio-culturais. Neste caso, fazem parte da estrutura social das redes em que os relacionamentos de troca se dão. Estas redes de relacionamentos são desenvolvidas através de longos períodos. Portanto, o fenômeno de dependência da trajetória se aplica também às habilidades em estruturar mecanismos de governança. Estas habilidades são socialmente complexas e difíceis de imitar. Desta maneira, uma importante hipótese da teoria dos custos de transação é diretamente questionada: as habilidades de se estabelecer mecanismos de governança variam entre indivíduos e organizações.

“Where transactions cost economics (TCE) implicitly assumes that the skills and abilities needed to conceive of and implement governance mechanisms are constant across individuals and firms, this approach suggest that these skills and abilities may vary in some strategically important ways. (Barney&Clark, 2007 p.116).

A forma forte de confiança entre parceiros é aquela que apresenta maior possibilidade de gerar vantagens competitivas. A confiança entre parceiros emerge em face de significativas vulnerabilidades nos relacionamentos de troca. No entanto, o comportamento oportunista levaria a violação de valores, princípios e padrões de comportamento que foram internalizados pelos parceiros da troca. Este comportamento é considerado exógeno a um particular relacionamento, mas reflete valores, princípios e padrões que os parceiros trazem para um relacionamento.

Uma vez descobertos os parceiros que não irão adotar comportamentos oportunistas nos relacionamentos será possível às organizações obter todas as vantagens da troca, sem os custos de governança. Ou seja, é possível que um agente econômico reduza conscientemente os custos de transação em relacionamentos de troca, sem a utilização de formas de governança hierarquizadas – integração vertical.

Esta é uma hipótese não considerada na economia dos custos de transação, mas que tem importância crescente em redes de inovação.

A economia dos custos de transação sugere que em face de relacionamentos de troca que criam valor, mas apresentam vulnerabilidades, parceiros de troca irão optar por uma forma de governança hierárquica e utilizar a imposição gerencial – *managerial fiat*- como forma de gerenciar os problemas de confiabilidade.

Desta maneira, Barney sugere que tendências oportunistas variam. A descoberta de parceiros que não irão adotar comportamentos oportunistas permite a redução consciente dos custos de governança das transações.

“Also where transactions cost theory assumes either that all potential exchange partners are equally likely to behave opportunistically and those that will not behave opportunistically, this analysis suggests that potential exchange partners opportunistic tendencies may vary and that these differences can be discovered. Discovery of exchange partners that will not engage in opportunistic behavior enables firms to gain all the advantages of trade, without the cost of governance.” (Barney&Clark, 2007 p. 116)

4. A Visão Baseada em Recursos e Capacitações Organizacionais

4.1 A Natureza das Organizações segundo a VBR

A concepção de organização utilizada nesta tese é aquela encontrada na visão baseada em recursos (VBR). O trabalho seminal desta visão foi escrito em 1959: a Teoria do Crescimento da Firma, de Edith Penrose.

O pensamento de Penrose apresenta uma matriz fundamentalmente schumpeteriana por duas razões. A primeira considera a criação de novos conhecimentos, resultantes dos esforços de P&D, como o elemento central que possibilita as mudanças técnicas e a criação de vantagens competitivas.

“As relações entre a concorrência nos mercados e a oferta interna de serviços produtivos possuem um significado particular em todos os casos nos quais a firma deve manter-se a par de novos desenvolvimentos técnicos para poder competir com sucesso, e nos casos em que sua contínua lucratividade estiver associada às possibilidades de inovação. O resultado de tais condições competitivas tem sido a adoção quase universal por grandes firmas dos laboratórios de pesquisas industriais, que aumentam consideravelmente a velocidade da criação de serviços produtivos e de novos conhecimentos dentro da firma.” (Penrose, 2006, p. 171)

De maneira específica, a autora torna clara a ideia da concorrência schumpeteriana, ainda dentro da primeira razão.

“Em sociedades caracterizadas por um difundido ‘espírito empresarial’ e por tecnologias altamente desenvolvidas, as ameaças competitivas de novos produtos, novas técnicas, novos canais de distribuição, novas maneiras de influenciar a demanda dos consumidores exercem uma maior influência no comportamento dos produtores existentes do que qualquer outro tipo de concorrência. O principal efeito dessas ameaças é o de forçar as firmas desejosas de se manter no mercado de determinados

produtos a procurarem aprender tudo o que for possível a respeito dos produtos em questão, dos mercados deles, e particularmente acerca da tecnologia relevante, e a se esforçarem para antecipar as inovações de outras firmas”. (Penrose, 2006, p. 181-182)

A segunda razão se refere à possibilidade de recombinação dos fatores de produção para a criação de novos produtos e serviços à medida que aumenta o estoque de conhecimento disponível à firma:

“As possibilidades de utilizar serviços mudam com as alterações nos conhecimentos. Tornam-se disponíveis mais serviços; outros, anteriormente não utilizados, passam a ser usados; e serviços antes usados deixam de sê-lo na medida em que aumentam os conhecimentos sobre as características físicas dos recursos sobre as maneiras de usá-los ou sobre produtos lucrativos que poderiam ser gerados a partir deles. Conseqüentemente, há uma intensa conexão entre o tipo de conhecimentos do pessoal da firma e os serviços obteníveis de seus recursos materiais.” (Penrose, 2006, p. 132)

Penrose argumenta que o elemento central de distinção entre uma organização e o mercado é o caráter coesivo, infundido pela administração, que busca atingir os propósitos das organizações por meio do uso que faz destes recursos.

Em uma passagem muito conhecida, Penrose assim define uma firma:

“Desse modo, uma firma representa mais do que uma unidade administrativa; trata-se também de um conjunto de recursos produtivos cuja disposição entre diversos usos e através do tempo é determinada por decisões administrativas.” (Penrose, 2006, p. 81)

Esta visão da organização, como um conjunto de recursos cujos diversos usos são determinados por decisões administrativas, é o cerne da visão baseada em recursos.

Penrose faz uma distinção clara entre os recursos e os serviços prestados por estes recursos, que definem a forma de utilização destes. A autora justifica a não utilização da expressão “fatores de produção” em função de seu mau uso na literatura econômica.

“Em termos estritos, nunca são os recursos em si que constituem os insumos do processo produtivo, mas apenas os serviços que eles podem prestar. Os serviços proporcionados pelos recursos são função do modo pelo qual eles são utilizados, com exatamente o mesmo recurso podendo ser usado para diversos fins ou de modos diferentes, e em combinação com vários tipos ou várias quantidades de outros, podendo proporcionar diferentes serviços ou conjunto de serviços”. (Penrose, 2006, p. 62-63)

4.2 Rotinas e Capacitações Organizacionais

Capacitação foi o termo cunhado por Richardson, em um artigo de 1972, denominado “*The Organization of the Industry*”, para se referir a aquilo que as organizações fazem para realizar seus propósitos. O autor associa ao termo a ideia de especialização e de vantagens comparativas. Em sua visão, as organizações tenderão a se especializar nas atividades nas quais suas capacitações oferecem alguma vantagem comparativa.

Em primeiro lugar, Richardson questionou a principal ferramenta analítica dos economistas: a definição das fronteiras das organizações. A dicotomia ente organização e mercado tem sido a principal forma de análise econômica desde suas origens. Richardson questionou esta dicotomia organização/mercado apontando para a existência de três meios de coordenação: a direção, a cooperação e a coordenação de mercado. As redes organizacionais também foram analisadas por Richardson, que apontava o fato de as redes inter-organizacionais tornarem indistintas as fronteiras entre elas.

Para Richardson, o simples fato de uma organização comprar qualquer insumo, repetidas vezes, de um mesmo fornecedor já representa um questionamento da clara separação entre organizações por meio de uma fronteira.

Em seu artigo de 2002, *The organization of the Industry, re-visited*, Richardson diz:

“I have argued that the cost and difficulty of planned coordination will increase disproportionately with its scope, and that, for this reason, a firm will commonly find it advantageous to replace stages of production, where possible, through the purchase of appropriate intermediate goods.”(Richardson, 2002, p. 13)

Para Richardson, as organizações não são ilhas num mar de transações. Ao contrário, as organizações fazem parte de uma rede constituída por diversas outras organizações, incluindo concorrentes, fornecedores, clientes e até governos. O artigo original relata, de maneira interessante, estas possibilidades e indaga: como devemos diferenciar a cooperação, de um lado e as transações de mercado de outro?

Grant (1996) apresenta claramente a ligação dos conceitos de rotinas e capacitações: capacitações são rotinas integradas de determinadas maneiras. Existe uma hierarquia entre capacitações. As capacitações de elevado nível hierárquico são conseguidas por meio da integração de capacitações de níveis inferiores.

Capacitações envolvem atividades organizadas e o exercício da capacitação é tipicamente repetitivo em grande parte. Rotinas são unidades ou conjuntos de atividades organizadas com carácter repetitivo. Assim, é bem sabido que rotinas constituem fundamentos das capacitações – embora rotinas não sejam somente os fundamentos das capacitações. Por exemplo, uma capacitação em *marketing* pode requerer uma base de dados de clientes, o que não é uma rotina nem se assemelha a uma rotina, considerando a forma como o funcionamento da base de dados ocorre. A base de dados é, em vez disso, um requisito contextual de algumas rotinas organizacionais que dão suporte às capacitações.

Seguindo a discussão acima, deve estar claro que a ideia de capacitação é aquela de uma grande unidade de análise, que tenha propósitos reconhecíveis expressos em termos de resultados significativos que ela deve propiciar, e que são moldados por decisões conscientes na concepção, no desenvolvimento e em sua aplicação.

Estas características distinguem capacitações de rotinas organizacionais, considerando o sentido deste termo na teoria das organizações e na economia evolucionária. Em geral, no entanto, a noção de rotina não envolve o comprometimento com relação à dimensão – grandes rotinas são tipicamente conjuntos estruturados de rotinas de dimensão média, e assim por diante. Não envolve qualquer pressuposto relativo a propósitos evidentes. Outra noção referente ao conceito de rotina se refere ao fato de serem associadas a contextos específicos.

Habilidades individuais, por sua vez, estão entre os fundamentos das rotinas. O que normalmente pensamos como habilidades pessoais são os componentes quase-modulares das rotinas; seus nomes são úteis em expressar, por exemplo, a ideia de que a função executada por um operador habilidoso pode ser desempenhado por outro. No entanto, saber o trabalho envolve saber coisas que estão relacionadas – envolvendo outros participantes – específicos das organizações. É por isso que o operador habilidoso ainda precisa aprender sobre o trabalho quando se junta a um ambiente organizacional não familiar para operar sistemas que lhe são familiares - e por que alguém que seja perfeitamente adaptado para operar sistemas pode não aprender o trabalho. Alguns dos conhecimentos não modulares requeridos são como habilidades, não importando a forma como são chamados. No entanto, estas habilidades podem ser aprendidas apenas por meio da experiência adquirida por meio da interação com a organização específica.

4.3 Capacitações Dinâmicas

No artigo de Prahalad e Bettis (1986) o compartilhamento de ativos intangíveis foi chamado de lógica dominante de uma organização. Eles definiram a lógica dominante como:

“ a mindset or a worldview or conceptualization of the business as the administrative tools to accomplish goals and make decisions in that business.” Prahalad & Bettis (1986), p 491.

Claramente, os autores utilizam o conceito de lógica dominante como uma justificativa econômica para a diversificação corporativa, enfatizando as bases cognitivas e intangíveis para esta diversificação.

Prahalad e Hamel (1990) estenderam o conceito de lógica dominante em um artigo extremamente influente que popularizou o termo competência central.

Os autores definem a competência central como:

“the collective learning in the organization, especially how to coordinate diverse production skills and integrate multiple streams of technologies.” (Prahalad e Hamel, 1990, p. 82)

O artigo destaca 2 pontos:

1. As grandes corporações têm múltiplas competências centrais (5 ou 6 no máximo, eles sugerem, não 20 ou 30 – tampouco 1)
2. As competências são fundamentais para estabelecer força competitiva dinâmica às firmas, dando coerência estratégica para uma linha de novos e melhores produtos que devem surgir em períodos posteriores.

Chegamos então à ideia de que uma corporação bem sucedida extrai força competitiva da excelência em poucos *clusters* de capacitações onde pode sustentar a posição de liderança ao longo do tempo.

Isto se aproxima muito do conceito de capacitações dinâmicas proposto por Teece (1986,1994,1997), entendido como a habilidade de integrar, construir e reconfigurar competências internas e externas em face de ambientes que mudam rapidamente.

O modelo de Teece é baseado em três pontos principais: os processos, o posicionamento e a dependência da trajetória.

Os processos são responsáveis por quatro funções da organização: coordenação/integração, rotinização, aprendizagem e reconfiguração. O posicionamento refere-se à posse de ativos especializados, incluindo ativos de conhecimento e ativos complementares a estes. Tais ativos definem a vantagem competitiva da organização em determinado tempo. A dependência da trajetória refere-se à forma de expansão da firma e enfatiza que sua história progressiva tem importância. A dependência da trajetória é um conceito não aceito pela corrente dominante em economia. Para a ortodoxia, as organizações têm infinitas possibilidades de tecnologia, e a partir da combinação de um determinado conjunto de tecnologias elas definem em que mercado elas devem atuar. Mudanças de produtos ou de preços dos fatores serão respondidas instantaneamente, com as tecnologias sendo usadas, ou não, de acordo com os critérios de maximização. Apenas no curto prazo as irreversibilidades são consideradas: “*Bygones are Bygones*”

A noção de dependência da trajetória reconhece que a história tem importância. Portanto, investimentos prévios e seu repertório de rotinas (sua história) restringem o comportamento futuro da organização. As oportunidades de aprendizagem são próximas às atividades anteriores e, portanto, são específicas dos esforços produtivos e transacionais executados pela organização. Teece argumenta que o processo de aprendizagem é marcado pela tentativa, pelo *feed-back* e pela avaliação. Caso muitos parâmetros mudem, simultaneamente, a capacidade de a organização conduzir experimentos é atenuada, pois não existe, neste caso, estrutura cognitiva que permita o estabelecimento das relações de causa e efeito.

O conceito de capacitações dinâmicas visa a mostrar como as organizações aprendem e como evoluem.

Eisenhardt e Martin (2000) fazem a ligação entre capacitações dinâmicas e rotinas organizacionais previamente existentes. A geração de estratégias criadoras de valor depende

das rotinas e estratégias prévias, por meio das quais os gerentes alteram sua base de recursos, adquirindo e liberando recursos, integrando-os e recombinando-os de diferentes maneiras.

Capacitações dinâmicas são frequentemente descritas como “rotinas para aprender rotinas”, sendo muito criticado como uma afirmação tautológica, infinitamente recursiva e não operacional.

Em função destas críticas, Winter escreve em 2003, “*Understanding Dynamic Capability*”, no respeitado *Strategic Management Journal*.

O autor começa definindo capacitações organizacionais:

“An organizational capability is a high-level routine (or collection of routines) that together with its implementing input flows, confers upon an organization’s management a set of decision options for producing significant outputs of particular type”. (Winter 2003, p. 991)

Para Winter as rotinas são comportamentos aprendidos, altamente padronizados, quase-repetitivos, fundamentados em conhecimentos tácitos que são específicos para determinados objetivos.

O autor argumenta que é necessária a definição de um nível zero, o qual chamou de capacitações ordinárias. A este nível zero, ele associa as capacitações que permitem a sobrevivência das firmas no curto prazo; e define capacitações dinâmicas como aquelas que operam para estender, modificar e criar capacitações ordinárias.

O autor chama a atenção para o fato de a capacitação dinâmica determinar a taxa de mudança da capacitação ordinária. E seguindo o exemplo do cálculo diferencial, podem existir capacitações de capacitações dinâmicas de segunda e terceira ordem, estabelecendo uma hierarquia de capacitações tecnológicas.

Colocando-se de lado as questões constantes e tecnológicas, pode-se dizer, em qualquer situação, que toda derivada possui sua integral e a que a integral pode ser derivada.

Desta maneira, o desenvolvimento de um novo produto, como praticado por muitas organizações, é o exemplo típico de uma capacitação dinâmica de primeira ordem. Para um instituto de P&D, desenvolver um novo produto é o nível zero, sua capacitação ordinária que permite a sua sobrevivência no curto prazo.

4.4 Inovação Arquitetônica e Capacitações em Integração de Sistemas

Tradicionalmente, considera-se a inovação como radical e incremental. A inovação radical caracteriza-se por uma mudança qualitativa de disciplinas científicas e tecnológicas, proveniente de invenções de grande magnitude. Exemplos clássicos são o laser, a fusão atômica, a estrutura do DNA, o efeito transistor. Via de regra, estas mudanças qualitativas definem novos paradigmas tecnológicos (Dosi, 1988). Em ampla analogia com a definição de paradigma científico de Kuhn (1995), Dosi define paradigma tecnológico como padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados, derivados das ciências naturais, e em tecnologias materiais selecionadas.

Thomas Samuel Kuhn deve sua fama à publicação do livro *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Este livro, publicado em 1962, pela Enciclopédia Internacional da Ciência Unificada, teve grande repercussão no mundo científico uma vez que propõe, através de visão evolucionária da ciência, uma forma muito influente de explicar a metodologia científica. A teoria de Kuhn utilizou e ampliou diversos conceitos introduzidos por Michael Polanyi no campo da filosofia da ciência. Por exemplo, o conceito de comunidade científica, ampliando-o para diversas comunidades científicas. O conceito de *Gestalt*: pesquisadores que seguem diferentes paradigmas percebem a realidade de formas diferentes, sob óticas distintas. E também o conceito de conhecimento tácito – importante para explicar a existência de pesquisadores que seguem diferentes regras, mas têm suas pesquisas orientadas por um paradigma. A palavra paradigma tem sua origem na língua grega *paradeikynai*, e quer dizer

“mostrar lado a lado”. Kuhn (1995) propõe que os esforços de pesquisa científica podem ser divididos em três períodos. Períodos de “ciência normal”, de “ciência extraordinária” e um período, prévio a ambos, denominado “pré-paradigmático”, em que há uma procura desordenada de teorias que sirvam como resposta a anomalias recorrentes do paradigma anterior. Enquanto a pesquisa normal sofre o efeito da cumulatividade, invenções de novas teorias têm um impacto revolucionário sobre os especialistas de um setor, na medida em que provocam um “deslocamento na rede conceitual através da qual os cientistas vêem o mundo”, sendo, portanto, um evento não-cumulativo.

O que Kuhn define como ciência normal, Dosi (1988), mantendo a analogia, define como trajetória tecnológica. Isto é, o padrão da atividade normal de resolução de problemas, tendo como pano de fundo um paradigma tecnológico. A metáfora da pesquisa científica normal como “resolução de quebra-cabeças” também pode ser aplicada à trajetória tecnológica. Desta maneira uma trajetória tecnológica é moldada por um conjunto de compromissos – “conceituais, teóricos, metodológicos e instrumentais” - dos pesquisadores de determinada especialidade, que definem as regras que permitirão o progresso técnico. Em ambos os casos, a evolução ocorre por meio da resolução de problemas. É o paradigma tecnológico que define as regras metodológicas ou prescrições sobre as direções de mudança técnica (trajetórias tecnológicas) que devem ser investigadas e direções que devem ser evitadas. Estas trajetórias tecnológicas são definidas por sequências de inovações incrementais, que caracterizam seu progresso técnico.

Os paradigmas tecnológicos possuem poderoso efeito de exclusão: os esforços de pesquisa e o fomento à imaginação dos engenheiros e das organizações, às quais eles pertencem, tendem a focar trajetórias tecnológicas, ou seja, possíveis direções de inovações incrementais que devem ser seguidas em determinado ritmo. Estes ritmos serão determinados por variáveis tecnológicas e econômicas. Fronteira tecnológica é definida como o mais alto

nível alcançado em relação a uma dada trajetória tecnológica, considerando-se as variáveis tecnológicas e econômicas relevantes. Da mesma maneira que a ciência normal, as trajetórias tecnológicas sofrem os efeitos da cumulatividade. Ou seja, a probabilidade de futuros avanços na fronteira tecnológica também se relaciona com a posição que uma organização (ou país) ocupa vis-à-vis a fronteira tecnológica existente.

Uma inovação radical caracteriza uma mudança de paradigma tecnológico. Este novo paradigma tecnológico surge de oportunidades econômicas geradas pela mudança de paradigmas científicos. Os conceitos de “janela de oportunidade” desenvolvidos por Freeman e Peres (1988), ocorrem nos períodos de mudança de paradigma. Quando um paradigma é total ou parcialmente substituído ocorrem episódios de desenvolvimento não-cumulativos.

Henderson e Clark (1990) popularizaram outros dois tipos de inovação, em relação às tradicionalmente consideradas, radical e incremental: inovação arquitetônica e modular. No artigo publicado, no *Administrative Science Quarterly*, Inovação Arquitetônica: a reconfiguração de tecnologias de produtos existentes e a falência de firmas estabelecidas, Henderson e Clark, mostraram que a mudança na forma de interação entre as tecnologias de um produto traziam consequências drástica para as organizações estabelecidas. Em termos de manutenção de posições competitivas de uma organização, a inovação arquitetônica representa desafios mais sutis e preocupantes, uma vez que não há necessidade de mudanças em sua base de conhecimentos científicos e tecnológicos, como na inovação radical, mas apenas mudança na forma de interação entre tecnologias existentes.

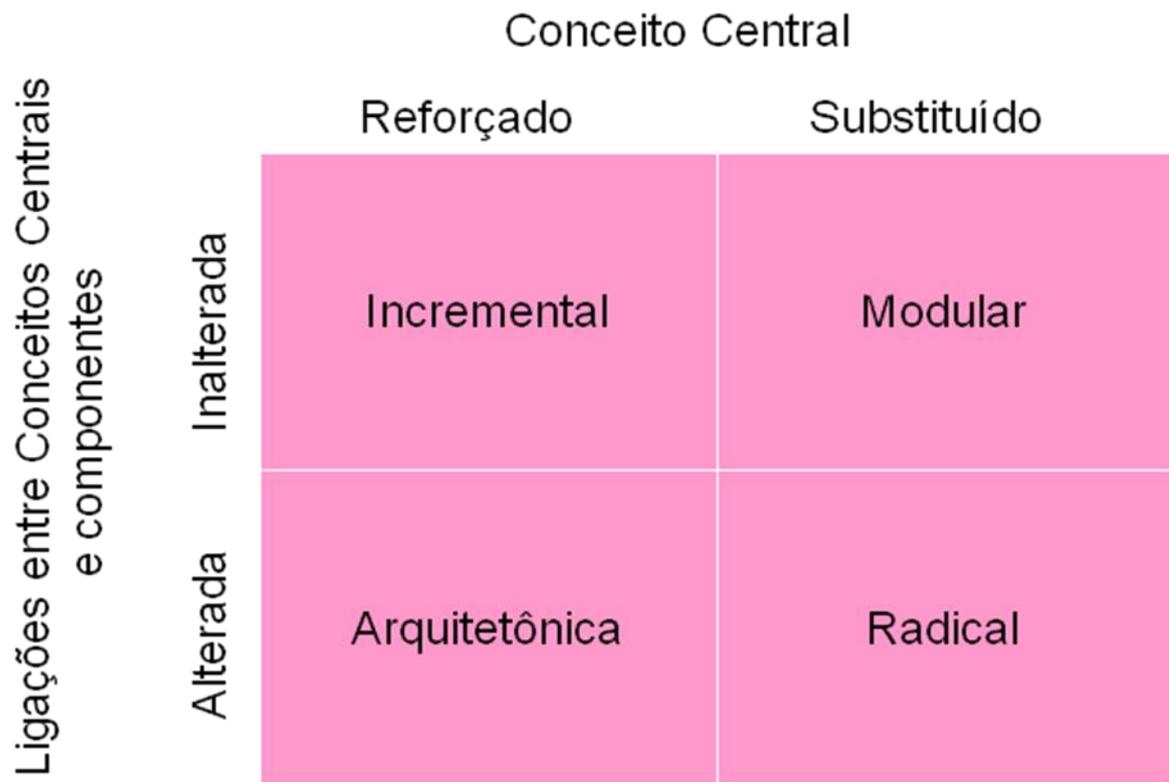


Figura 5: Tipos de inovação,

Fonte Henderson & Clark (1990)

As redes modulares de produção consideraram intensamente o tipo de inovação modular que pode ser desenvolvido por um conjunto de novos módulos integrados em determinada arquitetura. O crescente uso do conceito de modularidade, baseado na redução possível do acoplamento entre módulos e na concentração da coesão em um mesmo módulo, visa a permitir que módulos de uma arquitetura de produto possam ser desenvolvidos por organizações diferentes e finalmente integrados no produto final. A possibilidade de organizações extremamente flexíveis capazes de lançar diversos produtos inovadores em curtos intervalos de tempo, por meio da gestão da combinação exponencial de novas inovações modulares foi defendida por Sanches e Mahoney (1996).

Este conceito ficou conhecido como *Mixing and Matching*, passando a falsa impressão de que a inovação seria uma atividade que requer pouco esforço organizacional, e que o

desacoplamento de funções de módulos de um produto, por meio da modularização, implica desacoplamento de rotinas entre as organizações produtoras destes módulos.

A noção de “*learning before doing*” de Pisano (1996) é análoga à de *Mixing and Matching*, partindo ambas de uma hipótese equivocada: a de que é possível prever com acurácia como a interação entre subsistemas e partes de um sistema irá ocorrer. Como será argumentado a seguir, em sistemas complexos, que desempenham inúmeras funcionalidades simultaneamente, uma característica marcante, e de importância crescente, é o fenômeno das propriedades emergentes que só poderão ser efetivamente avaliadas quando este sistema estiver em uso.

Em sentido oposto, Leonard-Barton (1992), seguindo a tradição da visão baseada em recursos, apresentava as dificuldades em se alterar rotinas estabelecidas em organizações. As organizações, embora reconheçam a necessidade de mudanças em suas capacitações centrais, apresentam grande dificuldade em se adaptar a mudanças bruscas e constantes em suas rotinas.

Hobday (1998) propõe, por meio da contraposição de dois modelos ideais de inovação, uma forma muito original de se entender a inovação em bens de capital de elevada complexidade. Os modelos são o de produção em massa e o de sistemas complexos. Os modelos de inovação enfocam com frequência as indústrias de produção em massa e de produção contínua, tais como a automobilística, a farmacêutica, a eletrônica, a química e a petroquímica. Isto se explica pela visibilidade destas indústrias, pelo impacto que têm no dia-a-dia das pessoas e pelo expressivo volume de P&D nelas gastos.

Estes modelos fundamentaram grande parte das teorias evolucionárias sobre mudança técnica, além de influenciar diversas abordagens de administração. Por isso, uma versão extrema destes modelos é identificada como de produção em massa e é denominado de modelo convencional. Embora seja raramente notado, o modelo convencional tende a

identificar claramente organizações e mercados. No modelo convencional, a unidade básica de agregação, para fins de análise competitiva, é a organização. Produtos e tecnologias seguem ciclos de vida que vão da fase fluída à fase madura. Estes ciclos se estendem por longos períodos de evolução gradual. De acordo com Utterback (1996) o evento central do processo de inovação ocorre quando um projeto dominante (*dominant design*) se estabelece. Este projeto dominante torna-se referência para todo o mercado e define a direção das trajetórias tecnológicas futuras. Neste modelo, as barreiras à entrada variam, de acordo com a fase do ciclo de inovação. Tipicamente, as barreiras nas fases iniciais estão associadas a bases de conhecimento, enquanto nas fases finais está relacionada a capacitações que permitam a exploração de economias de escala.

Em contraposição ao modelo convencional, é proposto o modelo de sistemas complexos, com características de produto e produção, processos de inovação tecnológica, coordenação industrial, estratégias competitivas distintas.

As principais variáveis propostas por Hobday são mostradas na tabela 2.

	Sistemas Complexos (CoPs)	Produção em Massa
Características dos Produtos	Interfaces Complexas, Multi-função Propriedades Emergentes	Interfaces Simples Poucas Funções
Característica Produção	Projeto/ Pequenos Lotes	Gds Lotes/Contínua
Processo de inovação	<i>Craft-based</i> Trajetória da inovação acordada <i>ex-ante</i>	Formalizada, Codificada Trajetória da inovação mediada pelo mercado
Coordenação Industrial	Aliança Multi-firmas Estabilidade de longo-prazo no nível de integração	Firma única <i>Design</i> Dominante <i>Shakeout</i> da Indústria
Estratégias Competitivas	Gestão de alianças Multi- firmas com base em projetos Capacitações em Int. Sistemas	Foco em uma Firma Capacitação em Produção de alto volume

Tabela 2: Inovação e Organização da Indústria: Produtos e Sistemas Complexos (CoPs) X Bens de consumo de produção em massa.

Fonte: Hobday, 1998

O modelo de sistemas complexos – chamado por Hobday de CoPS – apresenta, pelo menos, cinco características relacionadas que o diferenciam drasticamente em relação ao modelo convencional.

A primeira característica refere-se ao produto. Ele é um sistema hierárquico, que desempenha inúmeras funções, sendo comum a ocorrência do fenômeno de propriedades emergentes não planejadas. A segunda característica refere-se à produção. Ela tem como base o projeto, ou é um sistema de produção de pequenos lotes, envolvendo mais de uma organização. Frequentemente, nota-se muitas organizações trabalhando cooperativamente. Outra característica refere-se ao processo de inovação, que é definido *ex-ante* pelas organizações, por meio de esforços cooperativos, e com a presença de usuários relatando suas necessidades. Desta forma, a coordenação da indústria se dá por meio de alianças temporárias entre organizações, com base em projetos. Finalmente, as estratégias competitivas estão relacionadas com a gestão de relacionamentos entre diversas organizações. Com base em

projetos, estas organizações têm como compromisso principal o desempenho competitivo de seus produtos, conseguido por meio das capacitações em integração de sistemas.

A questão de inovação arquitetônica é particularmente relevante em indústrias em que não se estabelece um *design* dominante. À medida que se eleva a complexidade dos produtos, nota-se que as capacitações em integração de sistemas tornam-se progressivamente mais importantes para o desempenho competitivo das organizações.

O impacto da arquitetura de um sistema nas rotinas das organizações fica muito bem representado por meio do estudo feito por Rechtin (2000).

No início dos anos 1960, a jovem Agência de Projetos de Pesquisa Avançada – Advanced Research Projects Agency (ARPA) – do Departamento de Defesa – Department of Defense (DoD) – foi incumbida de desenvolver uma série de satélites para propósitos militares. Estes satélites eram de comunicação, navegação, previsão do tempo, sensoriamento remoto, exploração do espaço e inteligência e vigilância estratégica. Para o *design* e construção foram contratadas de um conjunto de importantes organizações da indústria aeroespacial americana: The Boeing Company, General Electric, Hughes Aircraft, McDonnell Douglas, Rockwell International e Thompson – Ramo – Wooldridge (TRW).

Todos estes satélites cumpriram suas missões. Mais do que isto, em aproximadamente uma década de operação, todas as companhias excederam às expectativas sobre o que os produtos por elas produzidos poderiam gerar. Presidentes do EUA aclamaram os satélites, ressaltando que estes se pagaram muitas vezes por meio da redução dos custos de segurança nacional. Em posse de informações claras e geradas em tempo adequado, líderes podiam planejar seus programas e recursos de maneira adequada. A vida útil em órbita destes satélites foi de aproximadamente 10 anos. Duas ou três vezes mais que a vida útil planejada, reduzindo, portanto, o custo por missão.

Um quarto de século mais tarde o governo americano resolveu substituir estes sistemas, considerando as novas tecnologias disponíveis. Solicitações de propostas – *Request for Proposals* (RFP) para cada tipo de satélite foram distribuídas para todas as organizações envolvidas com a nova e promissora indústria de satélites. A análise das propostas foi feita de maneira escrupulosamente honesta e justa.

Após a análise das primeiras propostas foram recebidas, avaliadas e o vencedor anunciado, a organização que fez a primeira geração de satélites daquele tipo, perdeu o contrato para outra organização, que não estava envolvida com a primeira geração de satélites, o que foi uma grande surpresa.

Da mesma maneira, um segundo processo de seleção indicou como vencedora a proposta de uma organização que previa uma arquitetura de satélite diferente da arquitetura da primeira geração como melhor opção entre as propostas que participavam da concorrência. Novamente, a organização que havia feito a primeira geração deste satélite não foi a vencedora da concorrência. Aparentemente não existia qualquer conexão entre as duas surpresas.

Após a sexta derrota, em sequência, de organizações que haviam feito as primeiras gerações de satélites, tornou-se suficientemente óbvio que algum fato fundamental, mas não percebido, estava acontecendo de forma recorrente. Todas as aparentes razões foram elencadas: política, conflito de interesse, orçamentação inadequada, mau gerenciamento do processo de compra.

No entanto, os resultados em órbita confirmaram a adequação dos julgamentos dos processos de compra. As arquiteturas selecionadas eram melhores em diversas dimensões que aquelas apresentadas pelas primeiras gerações.

Ficou evidente que todas as organizações usaram uma evolução de sua primeira geração de satélites como base para a proposição da segunda geração. As mudanças em

termos de rotinas organizacionais, e da forma de integração entre estas rotinas, seriam tão drásticas com a proposição de uma nova arquitetura, que as pessoas destas organizações não deram curso às possibilidades criadas por arquiteturas diferentes. A tendência natural foi a de privilegiar as formas de integração entre rotinas então estabelecidas. A evolução do produto, mantendo a mesma arquitetura, de uma geração para outra, era a “trajetória natural” a ser seguida por estas organizações.

Ao contrário, uma organização que não possuía o conhecimento daquele tipo de arquitetura procurou, a partir dos esforços de seu departamento de pesquisa e desenvolvimento, imaginar uma determinada combinação de tecnologias, definindo outra arquitetura que atendesse aos requisitos da RFP, de maneira mais efetiva.

Assim, as arquiteturas exercem um efeito de exclusão, os compromissos existentes entre pesquisadores, definidos por estas arquiteturas, moldam os esforços e a imaginação dos recursos das organizações em direções previamente existentes. As novas possibilidades de combinações tecnológicas, que exigirão que as rotinas organizacionais sejam integradas de maneiras distintas, seguindo a lógica definida por outra arquitetura de sistema, dificilmente serão consideradas por estes recursos.

5. Explorando as Interações entre Formas de Aprendizagem

Tecnológica

5.1 Introdução

Todas as organizações aprendem. A aprendizagem pode ocorrer por meio de processos conscientemente estruturados, ou não. Algumas organizações expandem deliberadamente a aprendizagem organizacional, criando e exercitando capacitações que sejam consistentes com seus propósitos e objetivos. Outras não realizam esforços adequados e focados, mantendo rotinas inadequadas ao bom desempenho competitivo. Outras ainda não se atêm às possibilidades de novas combinações de rotinas que potencializariam suas capacitações. O fato é que todas as organizações aprendem, e processos de aprendizagem adequados à organização constituem-se em requisito fundamental para sua existência sustentável.

Peter Drucker, falando sobre a mudança de significado de riqueza econômica ao longo dos séculos, apresenta, de forma sucinta, sua visão dos novos determinantes de riqueza econômica da seguinte forma:

“Today, wealth is no longer best defined as ownership of land, goods, capital, or labor. It is knowledge and knowing how to use it.”

A riqueza econômica, desta forma, está relacionada com o conhecimento e com o uso prático deste conhecimento por meio de novas formas de combinação dos fatores de produção que convirjam para a criação de valor econômico para seus *stakeholders*. Organizações podem tornar-se rapidamente ricas criando, adquirindo, ou incorporando conhecimento e descobrindo novas formas de como integrar e explorar este conhecimento por meio de usos práticos.

A expressão *knowing* utilizada por Drucker na passagem acima – saber como utilizar o conhecimento – foi muito empregada pela escola do pragmatismo americano. Em especial, John Dewey em seu livro clássico *The Quest for Certainty*, de 1929, chamava a atenção para

necessidade de se considerar o conhecimento teórico e o conhecimento aplicado, por meio de ações práticas, como categorias epistemológicas distintas, que interagem de maneira complementar, permitindo a evolução de ambos.

“The notion that thought, apart from action, can warrant complete certitude as to the status of supreme good, makes no contribution to the central problem of development of intelligent methods of regulation”.(Dewey, 1960, p. 36.)

Isto é, para Dewey, a expansão do entendimento da realidade, traduzida por meio do conhecimento, não pode estar dissociada da ação. O desenvolvimento de métodos inteligentes que visam à expansão do conhecimento existente deve conjugar o conhecimento objetivo adquirido por um indivíduo, ou grupo de indivíduos, com ações práticas. Em linha com os métodos de regulação de Dewey, o conceito de evolução de Herbet Simon (1981) está relacionado a dois conjuntos de processos básicos: os processos geradores e os processos de testes. Os processos geradores devem criar variedade, novas formas (de conhecimento) previamente inexistentes. Os processos de testes servem para escolher as novas formas geradas, de modo que somente as formas adaptadas ao ambiente (físico-social) serão mantidas.

Simon Kuznets em *Modern Economic Growth* (1966) ressalta que o traço distintivo das modernas sociedades industrializadas é seu sucesso na aplicação do conhecimento sistemático à esfera econômica, conhecimento este derivado da pesquisa científica. Já foi compreendido em grande parte que o estoque de conhecimentos úteis, derivados da pesquisa científica, e suas aplicações práticas, por meio de tecnologias, constituem a essência do crescimento de uma organização. No entanto, entender a tecnologia, utilizada por uma organização para a produção de bens e serviços, como uma mera aplicação do conhecimento científico preexistente limita e distorce profundamente nosso entendimento sobre os processos de aprendizagem organizacional, que constituem a base da inovação tecnológica. Como

ressalta Freeman (1997), é preferível a expressão tecnologia relacionada com ciência – *sicence-related technology* – à expressão tecnologia baseada em ciência. Desta maneira, reduz-se a ideia simplista de relacionamento causal entre avanços do conhecimento científicos que levam a avanços tecnológicos. Para entendermos os processos de aprendizagem das organizações é necessário ter bem claro que avanços de conhecimentos científicos e tecnológicos interagem e se auxiliam mutuamente, embora estes avanços ocorram de formas distintas, seguindo dinâmicas próprias dos domínios científicos e tecnológicos.

Os tipos de conhecimentos requeridos para o refinamento de uma inovação tecnológica e aqueles gerados a partir dela exercem uma poderosa influencia sobre os processos de aprendizagem organizacional.

Em particular, iremos analisar organizações envolvidas com a criação de sistemas complexos, caracterizados por uma base tecnológica ampla, constituída de diferentes disciplinas científicas e tecnológicas, que avançam em ritmos diferenciados, e por propriedades emergentes que se manifestam quando todos os subsistemas interagem entre si e com o ambiente físico e social no qual opera.

5.2 Projetos, Capacitações e Sistemas Complexos

Em função dos elevados custos, riscos e amplitude de base tecnológica, necessários à criação de um sistema complexo, o processo de inovação tecnológica destes sistemas ocorre por meio de projetos, envolvendo a alianças temporárias de diversas organizações. Embora, há muito tempo, se reconheça que a natureza da inovação difere significativamente de indústria para indústria (Pavitt, 1994), muito do que se escreve sobre inovação enfoca a explicação da dinâmica evolucionária de bens de consumo de produção em massa, sejam estes padronizados ou customizados. De fato, a literatura acadêmica assume, com frequência, que modelos de inovação e seus conceitos podem ser aplicados de maneira irrestrita para qualquer organização ou setor. No entanto, conceitos e modelos tradicionais de inovação, tais como

descontinuidade tecnológica, que caracteriza as inovações radicais, e a abordagem de ciclo de vida do produto de Utterback (1996), que supõem a existência de um projeto dominante, não podem ser aplicados a inovações em sistemas complexos.

O modelo aqui proposto procura identificar as principais formas de aprendizagem, considerando as características das inovações em sistemas complexos.

Inicialmente, é necessário introduzir uma nova unidade de análise em relação aos estudos tradicionais de inovação, que utilizam duas unidades de análise em seus esforços de pesquisa: o produto e a organização. Esta terceira unidade é o projeto. As razões que motivam a introdução desta nova unidade são, fundamentalmente, três.

A primeira considera o fato de que a introdução de um produto inovador de qualquer organização ocorre por meio de um projeto, ou de um conjunto de projetos; a segunda razão se refere à constatação de que os processos de aprendizagem organizacional, que fundamentam a inovação tecnológica, ficam mais bem caracterizados quando o projeto é considerado como unidade de análise e as rotinas envolvendo diversas organizações necessárias para a criação de um novo produto são definidas por meio de processos no nível do projeto, ficando a interação entre estes processos mais claramente representadas no nível de projetos; a terceira razão se refere ao fato de que as análises concernentes à economicidade de uma organização, gerada a partir do exercício das capacitações necessárias para a exploração de sistemas complexos – capacitações em integração de sistemas – têm como unidade de análise o projeto. Estas economias são definidas como economias de repetição e de recombinação (Davies e Hobday, 2005), em analogia às economias de escala e escopo chandlerianas, para bens de consumo.

Desta maneira, o projeto como unidade de análise, complementar às outras duas, fecha uma importante lacuna nos estudos de inovação em sistemas complexos. Assim, uma breve descrição das unidades de análise consideradas no modelo é apresentada a seguir.

1. O produto. Para explorar as relações entre as características do produto e o estoque de conhecimentos científicos e tecnológicos que suportam a definição, desenvolvimento e operação de um sistema complexo, o produto será caracterizado por uma base tecnológica ampla e por uma arquitetura de sistema, que defina sua partição em módulos, com importantes implicações na definição das rotinas internas e entre organizações, ao longo do seu ciclo de vida.

2. O projeto. Para definir os processos responsáveis pela integração intra e interorganizacionais que permitam a definição, desenvolvimento e operações de sistemas complexos. Existem processos orientados a produtos e processos orientados a gerenciamento de projetos, que interagem e se superpõem ao longo do ciclo de vida do projeto. Portanto, não há sentido separar as questões técnicas das questões de gerenciamento, quando se fala em capacitações de integração de sistemas. As duas questões são necessária e significativamente interdependentes.

3. A organização. Para identificar as capacitações em integração de sistemas requeridas para estabelecer e liderar redes de parceiros, com base em projetos, visando a melhorar a qualidade de seus projetos. Entendendo que a qualidade do projeto se refere ao grau com que este atende aos seus requisitos, tanto de sistemas existentes quanto da combinação de novos conhecimentos e necessidades de *stakeholders*, que permitirão a criação de novos produtos.

5.3 Modelo

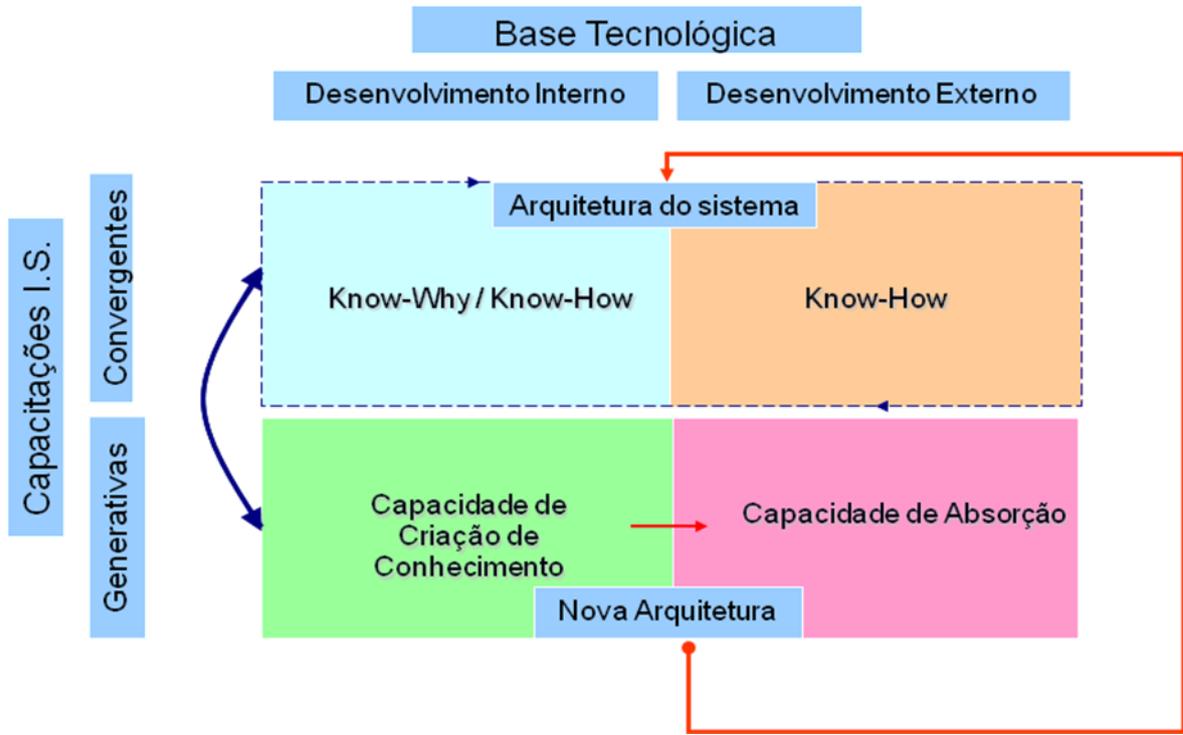


Figura 6: Explorando as interações de diferentes aprendizagens tecnológicas

Fonte: Autor

Base tecnológica

A base tecnológica de uma organização se refere ao conjunto de conhecimentos e habilidades requeridas para a execução de pesquisa, desenvolvimento, atividades produtivas e atividades operacionais relacionadas com algum campo tecnológico específico.

O processo de especialização da base tecnológica deriva da especificidade do campo tecnológico considerado. Desta maneira, os desenvolvimentos da eletrônica e do software ocorrem em indústrias tão diversas como a bancária, a engenharia genética, a aeronáutica ou a espacial, mas existem especificidades ligadas a cada uma destas indústrias que condicionam estes desenvolvimentos. Estas especificidades vão se tornando progressivamente mais claras à medida que a tecnologia considerada vai se conformando ao produto final ao qual será

incorporada, tendo em vista as necessidades dos usuários finais e o ambiente de operação do produto. Para ficar com o exemplo de nosso estudo de caso, na indústria espacial existe um conjunto de requisitos - funcionais e não funcionais - que dizem respeito exclusivamente às necessidades operacionais dos sistemas espaciais: os sistemas devem ser robustos ao ponto de suportar as intensas vibrações, choques e esforços de lançamento e colocação do sistema em órbita. Devem apresentar alta disponibilidade e confiabilidade. Devem resistir à radiação, ao vácuo e a intensas variações de temperatura. Devem apresentar condições adequadas para a operação e manutenção remota, etc. Estes requisitos vão moldando a configuração da base tecnológica da organização, pois são as condições com as quais ela deve lidar no seu dia-a-dia, e severas penalidades econômicas acontecerão caso estes requisitos não sejam atendidos.

Os sistemas complexos são caracterizados por uma base tecnológica extremamente ampla, isto é, por um número elevado de disciplinas científicas e tecnológicas que evoluem e, em determinado momento, são integradas para a definição de um sistema que consiga satisfazer as necessidades de seus *stakeholders*.

A amplitude e profundidade do estoque de conhecimentos e habilidades, normalmente, variam de maneira significativa de organização para organização, de acordo com o ritmo e direção dos esforços cumulativos de pesquisa e desenvolvimento e da experiência passada adquirida nos esforços coletivos de definição, desenvolvimento e operação de sistemas complexos. Como o conhecimento tecnológico é muito menos bem articulado que o científico, grande parte do avanço do conhecimento tecnológico decorre de experiências e habilidades de seus recursos, apresentando forte caráter idiossincrático.

Em organizações sediadas em países de industrialização recente, é significativa a quantidade de gaps tecnológicos que demandam grandes esforços de pesquisa e desenvolvimento, e, conseqüentemente, tempo e investimento, para serem fechados. É por meio do fechamento destes gaps tecnológicos que se cria a base cognitiva necessária para a

definição de sistemas que atendam a necessidade de seus *stakeholders* e, ao mesmo tempo, não apresentem características de obsolescência tecnológica.

Capacitações em integração de sistemas

Sistemas são, na maioria das vezes, definidos como um conjunto de elementos conectados de maneira estruturada que desempenham funções que servem a um propósito previamente definido. Desta definição, se infere que a integração - conexão estruturada - do conjunto de elementos é que permitirá ao sistema atender ao seu propósito. Quando se utiliza em integração de sistemas, o termo capacitação, os sistemas que se integram estão relacionados tanto ao produto quanto às organizações envolvidas.

O conceito de capacitação em integração de sistemas vem sendo desenvolvido para permitir o melhor entendimento do comportamento das organizações envolvidas com inovações de sistemas complexos. Sapolsky (2003) identificou as origens da integração de sistemas nos Estados Unidos após a 2ª Guerra Mundial quando o governo americano aplicou a Integração de Sistemas para acelerar a renovação de tecnologias bélicas durante a guerra fria e, assim, conseguir manter sua superioridade militar frente à União Soviética. Para tanto, os militares americanos tiveram que desenvolver uma abordagem multidisciplinar que aliasse novas formas organizacionais, e que permitissem a combinação de tecnologias complexas em sistemas de armamento, com o estabelecimento de uma linguagem comum entre diversas especializações tecnológicas.

Johnson (1997, 2003) identifica a criação de novas disciplinas tecnológicas para fazer face à extraordinária demanda de criação e operação de sistemas complexos em ritmo acelerado. Os engenheiros criaram a engenharia de sistemas e os administradores o gerenciamento de projetos. Cada disciplina refletia os esforços de uma específica comunidade para lidar com a complexidade de grandes sistemas tecnológicos. Estas disciplinas tiveram

extraordinárias condições de desenvolvimento dentro do Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos e de seus contratados. Por meio delas, se coordenava o esforço de diferentes grupos de trabalho e se desenvolveram processos organizacionais para controlar as inter-relações entre análise, *design* e testes.

A maioria das ferramentas utilizadas por estas disciplinas já existiam anteriormente e eram aplicações de práticas de eficácia comprovada para a resolução de novos problemas. Algumas técnicas antigas foram renomeadas quando utilizadas em aplicações específicas, tais como probabilidade e estatística para confiabilidade e garantia da qualidade, equações diferenciais para simulação e teoria de rede para programação e orçamentação de projetos. A importância destas disciplinas não está, no entanto, em suas ferramentas emprestadas, mas sim nas funções que desempenhavam nos laboratórios de pesquisa e desenvolvimento. Cada uma destas disciplinas se especializou em um tipo de conhecimento processual com vistas à emergência de sua utilização prática. A gestão de projetos impôs novas formas organizacionais e processos de controle, envolvendo esforços provenientes de diversas organizações. Engenharia de sistemas criou uma nova função de engenharia devotada a processos de comunicação e documentação multidisciplinar.

Uma abordagem de gestão de projetos que se tornou extremamente influente para a disciplina como um todo e, em particular, para suas aplicações em indústrias de alta tecnologia é a *Faster, Better and Cheaper* (FBC). Embora a ideia FBC tenha sido originada no DoD, foi a partir de sua utilização pela NASA que esta abordagem ganhou grande visibilidade, Johnson (2003). Seguindo o desafio proposto por Daniel Goldin, em 1992, esta abordagem tinha como objetivo principal, adequar a NASA às constantes restrições orçamentárias. Tendo sido um executivo da Thompson – Ramo – Wooldridge (TRW), Goldin estava acostumado a gerenciar projetos constituídos por equipes menores que aquelas normalmente utilizadas pela NASA. Ao assumir a direção da NASA seu problema principal

era como compatibilizar os custos crescentes dos projetos e programas com a relutância do Congresso dos EUA em aumentar as dotações orçamentárias à NASA. Assim o desafio proposto por Goldin era uma tentativa de manter a viabilidade e credibilidade da NASA, aumentando o retorno dos investimentos feitos em pesquisa e desenvolvimento, tornando suas ações mais próximas daquelas ações dos ambientes de negócios de mercado. Para tanto, era necessário tratar os custos e períodos de projetos com a mesma importância dada ao desempenho das missões, mesmo que os riscos das missões aumentassem.

Esta abordagem de gestão de projetos pode ser vista como um segundo impulso em direção à crescente importância das capacitações em integração de sistemas. Em um relatório interno da NASA, em 2000, para a avaliação da abordagem FBC, Tony Spears, o gerente de projetos da Mars Pathfinder, relatou da seguinte forma um dos principais desafios para a manutenção da abordagem FBC na NASA.

“We must remake the NASA institution to match business in the 21st Century Information Age. Importantly, each NASA Center must focus on a few core competencies for which they are worldclass, and rely on other NASA Centers, other government agencies, industry, and academia for other capabilities to paint the full picture. In addition, a long-term stable funding environment must be established to foster these world class centers. This is critical.” (NASA, 2000, p. 5)

O relato acima põe em evidência a necessidade de financiamentos estáveis, de longo prazo, em centros de classe mundial, que enfoquem suas especialidades por meio de algumas tecnologias essenciais e, ao mesmo tempo, a necessidade de contar com parceiros, para a criação de novos produtos que permitirão à NASA atender seus novos requisitos de negócios. E também ressalta que a batalha competitiva será estabelecida entre redes de organizações especializadas trabalhando em conjunto. Finalmente, acrescenta que a manutenção da

capacidade de coordenar redes de organizações especializadas deve ser mantida internamente à NASA, como um importante ativo nacional.

A seguir, serão apresentadas definições de integração de sistemas de pesquisadores de longa trajetória nesta área de pesquisa. Inicia-se por Howard Eisner (2002), na segunda edição de seu livro *Essentials of Project and Systems Engineering Management*

“Systems Integration: the process of bringing together a variety of (possibly disparate) functional elements, subsystems, and components into a larger (meta) system, or system of systems, to provide a highly interoperable and cost-effective solution that satisfies customer needs and requirements, while at the same time managing the overall process and delivery of products in highly effective and efficient manner.” (Eisner, 2002, p. 357)

O autor argumenta que, embora muitas organizações se definam como “integradoras de sistemas” existe muito pouca literatura sobre o assunto. Ele acrescenta que a falta de literatura se deve ao fato de as organizações considerarem suas abordagens próprias em integração de sistemas como uma importante fonte de diferenciação competitiva. Não existindo, portanto, interesse em apresentá-la a concorrentes atuais ou potenciais.

James Palmer, em seu artigo *Systems Integration*, que faz parte do *Handbook of Systems Engineering and Management*, define integrações de sistemas nos níveis táticos e estratégicos de uma organização.

“At tactical level, SI (Systems Integration) is involved with ensuring that specific hardware/software components fit together smoothly in a stated configuration. Indeed, at this level SI is often referred to as configuration management. But at a broader, more strategic level, SI is concerned with interpreting the overall performance needs of a sponsor into technical performance specifications and ensuring that these system requirements are met.” (Palmer, 1999, p. 484)

Hobday, Davies e Prencipe (2005) em *Systems Integration a Core Capability of the Modern Corporation* define capacitações em integração de sistemas em sentido amplo, relativo à integração de sistemas de sistemas, envolvendo diversos agentes econômicos e, em sentido estrito, relativo a uma organização específica.

“In its broad sense, systems integration can be defined as the capabilities which enable firms, government agencies, regulators and a range of other actors to define and combine together all the inputs for a system and agree on a path of future systems development. In the narrower sense of firm capability, system integration is concerned with the way in which firms and other agents bring together high-technology components, subsystems, software, skills, knowledge, engineers, managers and technicians to produce a product in competition with other suppliers. The more complex, high technology, and high cost the product, the more significant systems integration becomes to the productive activity of the firm.” (Hobday, Davies and Prencipe, 2005, p. 1110)

Gholz (2003), em seu artigo sobre a indústria de defesa americana, define três níveis distintos de especialização em que as capacitações em integração de sistemas se tornam relevantes: componente, plataforma e arquitetura. No nível de componente de integração de sistemas a ênfase encontra-se no desenvolvimento de engenharia e na produção de componentes que deverão ser integrados em um subsistema. Exemplos são a Northrop Grumman, Electronic Systems and Raytheon Missiles Systems. No nível de plataforma a ênfase é dada à gestão de sistemas produtivos e à montagem final e testes de sistemas completos, capazes de realizar missões. Exemplos são a Lockheed Martin Aeronautics e a General Dynamics. No nível mais alto, de arquitetura, a ênfase é dada aos estudos de trade-off

e às interfaces de diversos sistemas com seus usuários finais. Exemplos são o MITRE – um spin-off do MIT criado em 1958, para o desenvolvimento de novas tecnologias para o DoD – e a SAIC – Science Applications International Corporation. Estas organizações exercem a função de aconselhamento técnico para questões com impacto de ampla magnitude na sociedade e que envolvem diversas e distintas organizações como firmas com fins lucrativos, agências do governo e órgãos reguladores. Embora tenham iniciado suas atividades no segmento de defesa, hoje atuam também em questões de aeronáutica, energia e meio-ambiente. A definição de integração de sistemas, em sentido amplo, citada acima se refere a organizações desta natureza. Este elevado nível de especialização entre organizações com características de integradores de sistemas é fortemente correlacionado com o tamanho do segmento de defesa da indústria aeroespacial dos Estados Unidos. O DoD dispõe de um volume colossal de recursos orçamentários para o desenvolvimento de tecnologias.

Dois condicionantes tecnológicos impõem importantes desafios à criação de capacitações em integração de sistemas. O primeiro condicionante refere-se ao grau de previsibilidade de interdependências sistêmicas. Durante o período de operação de sistemas complexos, existem propriedades do sistema que emergem da interação entre os subsistemas que não foram previstas inicialmente e podem gerar redução do nível de desempenho de algumas funcionalidades, redução do tempo de vida útil previsto, exposição a riscos não imaginados, e mesmo a acidentes de grande magnitude. O segundo condicionante refere-se à taxa diferenciada de avanço das disciplinas científicas e tecnológicas que fundamentam o produto. Constitui característica dos sistemas o fato de que melhoramentos no desempenho de um subsistema qualquer têm sua significação muito reduzida sem os correspondentes melhoramentos em outros subsistemas interdependentes. À medida que os sistemas crescem em tamanho e complexidade, temos a imposição de um esforço de pesquisa extremamente amplo que deve seguir o ritmo ditado pela disciplina que avança à taxa mais elevada.

O primeiro desafio está mais diretamente relacionado às capacitações convergentes em integração de sistemas, enquanto o segundo às capacitações generativas. Em ambos os casos existe a necessidade de serem conjugados esforços de desenvolvimento coordenados tanto interna quanto externamente à organização.

Capacitações Convergentes em Integração de Sistemas

"... the proposition "firms establish decision rules and apply them routinely over extended periods" is sufficiently significant, obvious, and well documented to deserve a prominent place in theoretical characterizations of firm behavior.

(Winter, 1971, p. 239)

As capacitações convergentes em integração de sistemas estão relacionadas com a definição de uma arquitetura de sistemas que atenda às necessidades de seus *stakeholders*; com a delegação de autoridade para o desenvolvimento do *design* de engenharia de subsistemas para uma rede de fornecedores especializados, considerando regras de partição que agreguem funcionalidade e tecnologias correlatas; e com a assunção da responsabilidade pela integração final e colocação em uso de um produto que convirja para os requisitos de desempenho, custo, tempo e exposição ao risco definidos pelo projeto. Há de se ressaltar que requisitos mudam. Esta mudança se dá segundo as necessidades dos *stakeholders* do projeto, ao longo de seu ciclo de vida. A mudança de requisitos é inerente à gestão de projetos, e é originária tanto de alterações das necessidades de negócio como da mudança técnica. Desta maneira, é através da gestão de requisitos que se mantém a congruência entre três aspectos do projeto: aquele de negócio, aquele das estimativas de custo e tempo expressos no orçamento e cronograma, e aquele técnico. Em função da necessidade de manutenção da congruência,

costuma-se definir a gestão de requisitos por meio da interseção entre a gestão de projetos e a engenharia de sistemas.

Para iniciar esta discussão é bom ter em mente que integração em sistemas complexos refere-se à sucessiva combinação e teste de hardware, software, componentes e tarefas de operadores para progressivamente provar o desempenho e compatibilidade de todas as entidades de um sistema. Verificação é a prova de atendimento das especificações. Validação é a prova de satisfação do usuário final. Desta maneira, o que importa na validação é a satisfação do usuário, mesmo que o sistema não atenda às especificações. Verificações complexas podem levar a um aumento excessivo de custos e tempos de desenvolvimento e é um fator determinante quando se consideram conceitos de decomposição de arquiteturas.

Arquitetura do Sistema: *Design* Conceitual

“Without very careful effort at developing an appropriate architecture for a system, there will be little hope of integration” (Sage e Lynch, 1998, p. 176)

Desenvolver o *design* de qualquer novo sistema moderno sem contar com o conhecimento acumulado é uma tarefa essencialmente impossível. A ciência é absolutamente importante, mas o que precisa ser reconhecido, de maneira clara, é que a maioria das inovações, em geral, e, de maneira particular, de sistemas complexos, é feita com o conhecimento disponível já na cabeça das pessoas que pertencem à organização que está fazendo o trabalho, e de maneira menos intensa, com outras informações prontamente disponíveis para elas. É somente quando estas fontes de informações não forem mais capazes de resolver os problemas é que existe necessidade de pesquisa para completar uma dada inovação. Desta maneira, a noção de que a inovação é iniciada pela pesquisa está errada na maioria das vezes.

Uma característica marcante destes sistemas é a elevação do número de funcionalidades que devem ser compatibilizadas a partir da integração de um número crescente de subsistemas, aumentando significativamente suas complexidades. Existe amplo consenso de que os desafios técnicos e gerenciais, para a produção de sistemas complexos são muito maiores que aqueles enfrentados na produção de sistemas simples. Este enorme desafio vem atraindo a atenção de importantes pesquisadores de diferentes campos do conhecimento, tais como o ganhador do premio Nobel em química de 1977, Ilya Prigione. Gleick e Waldrop têm empregado significativos esforços na consolidação da teoria do caos. O ganhador do premio Nobel de economia de 1978, Herbet Simon, trata dos processos de tomada de decisão em organizações complexas. O conceito de arquitetura de sistemas das organizações, desenvolvido por Rehtin (2000), trata das organizações que concebem desenvolvem e produzem sistemas complexos. Nesta discussão iremos utilizar os conceitos destes dos dois últimos pesquisadores.

Para lidar de maneira efetiva com sistemas complexos, Hebert Simon (1981) introduziu a ideia *near decomposable systems*, ou sistemas aproximadamente decomponíveis. Esta ideia está fundamentada no fato que podemos distinguir entre interações que ocorrem entre subsistemas e interações que ocorrem dentro de subsistemas, isto é, entre as partes do subsistema. A arquitetura do sistema será definida, fundamentalmente, com relação às decisões de alocação de funcionalidades do sistema, as quais serão desempenhadas por subsistemas. A decomposição funcional é uma etapa fundamental da definição da arquitetura de um sistema. Se a decomposição funcional estiver inadequada, a arquitetura do sistema será provavelmente inconsistente. Nesse momento o que se procura é a decomposição de funções tais que exista reduzida interação entre funções concomitantes.

O resultado da decomposição é a estrutura hierárquica do sistema, isto é, um sistema que é composto de subsistemas inter-relacionados. Cada um dos quais, por sua vez, apresenta

uma estrutura hierárquica até que se chegue à menor entidade considerada do subsistema, que varia de projeto a projeto. Neste modelo está se considerando dois níveis, o de sistema e o de subsistema, para fins de análise dos conhecimentos e habilidades que devem ser integrados permitindo a elaboração do *design* conceitual, ou arquitetura do sistema. Como a caracterização de um sistema, é variável, dependendo do nível hierárquico considerado, deve-se trabalhar com diferentes níveis, de acordo com o objeto de análise.

Está-se utilizando aqui o termo *design*, para evitar a confusão com o termo projeto (*project*), pois em português, utiliza-se projeto para se referir aos dois conceitos: *design* e *project*. Portanto, no modelo, têm-se dois níveis de *design*, o de arquitetura que se refere ao sistema, que chamamos de arquitetura do sistema, e o de subsistema, que chamaremos *design* de engenharia do subsistema. A arquitetura do sistema é considerada um *design* de alto nível que irá estabelecer as condições determinantes para o sucesso ou falha do projeto do ponto de vista econômico. O sucesso ou falha do projeto será determinado por sua criação de valor econômico. Ou seja, o benefício percebido do produto – o valor que os *stakeholders* extraem do produto, e em especial os usuários finais – subtraído dos custos totais do projeto. Os custos totais englobam os custos fixos e variáveis, mas também, os custos de oportunidade dos recursos alocados no projeto. O valor econômico criado é a diferença entre o benefício percebido do produto e seus custos totais.

Todo produto apresenta três períodos distintos ao longo de seu ciclo de vida: definição do conceito, desenvolvimento e operações. Não serão consideradas em detalhes questões do ciclo de vida do produto, pois a ênfase do modelo refere-se aos principais processos de aprendizagem, que podem ser representados pelos três períodos do ciclo de vida do produto. Além do mais, existe uma grande variabilidade de ciclos de vida, de uma indústria para outra, e mesmo entre organizações que pertencem a uma mesma indústria.

Seguindo Rechtin (2000), a arquitetura de sistema complexo deve ser definida segundo o balanceamento entre quatro tensões conflitantes:

- (1) desempenho previsto do sistema em seu ambiente de operação;
- (2) nível de risco ao qual a organização estará exposta ao escolher a arquitetura do sistema;
- (3) estimativa de custo para a realização do projeto;
- (4) o tempo necessário para o desenvolvimento do projeto.

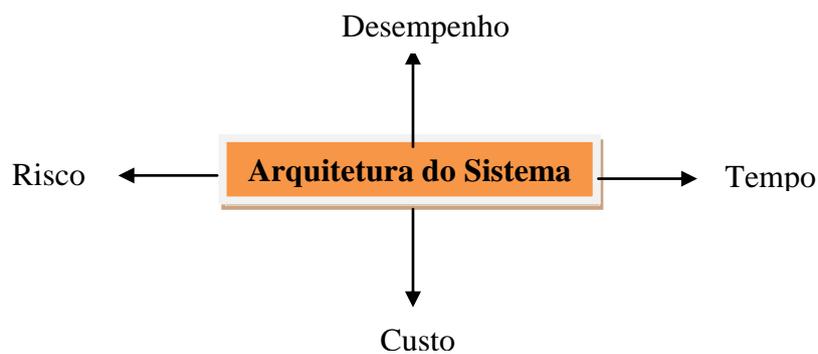


Figura 7: Processo de tomada de decisão da arquitetura do sistema - balanceamento entre tensões de projeto

fonte: Autor - Adaptado de (Rechtin, 2000, p. 127)

Vale ressaltar que se utiliza o critério de balanceamento, para a escolha da arquitetura no nível de sistema, o que está plenamente de acordo com o conceito de heurística dos processos de tomada de decisões econômicas significativas, (Nelson e Winter, 2005) utilizado na economia evolucionária. O processo de tomada de decisão que melhor representa a escolha de uma arquitetura é aquele do satisfício. Este termo foi cunhado por Herbert Simon e não pode ser associado a maximização nem a otimização. Satisfício – junção das palavras

satisfação e sacrifício - refere-se à definição do que é suficientemente bom, do que é capaz de atender aos mais importantes requisitos do projeto, e então procurar meios para atingi-lo.

Rechtin diz:

“... architecting a system – a product – is to decide on a combination of needs and feasible elements that can yield a satisfactory solution; that is an overall architecture. This process may well change the statement of the problem until a satisfactory combination emerges. A matter of scoping, partitioning, aggregating, and assessing a satisfactory, not optimum, structure able to carry out the most important objectives of the product.” Rechtin, 2000, p. 146

O autor ressalta o caráter iterativo e interativo inerente ao processo de decisão da arquitetura de um sistema: a arquitetura do sistema é o resultado de uma combinação entre as necessidades de *stakeholders* e uma base disponível de conhecimentos tecnológicos - elementos viáveis - capaz de produzir uma solução satisfatória. Diversas iterações devem ocorrer visando à convergência entre o que se espera do desempenho do produto em seu ambiente de operação e a base cognitiva que permitirá sua criação considerando os requisitos de custo, tempo e exposição ao risco da organização. A base cognitiva poderá ser complementada com o estabelecimento de parcerias que permitam o compartilhamento dos custos e riscos do projeto ao mesmo tempo em que permite a redução de seu tempo de desenvolvimento. Ao longo destas iterações, caso não seja possível a convergência entre a necessidade dos *stakeholders* e a base de conhecimentos tecnológicos, pode ser necessária uma redefinição do escopo do projeto permitindo a convergência entre as necessidades dos *stakeholders* e a base cognitiva que fundamenta o produto. Este novo escopo poderá exigir uma nova partição de funcionalidades até que se convirja a uma solução satisfatória.

Vale ressaltar que as iterações que levam à convergência entre as necessidades dos *stakeholders* e a base cognitiva disponível para a definição de uma determinada arquitetura de

sistema são determinantes para o sucesso do projeto. Embora este esforço iterativo ocorra normalmente num nível estratégico da organização, com custos relativamente baixos, envolvendo um número reduzido de pessoas se comparado ao esforço de desenvolvimento, as consequências em termos de comprometimento do orçamento total do projeto são drásticas, como mostra a figura 8.

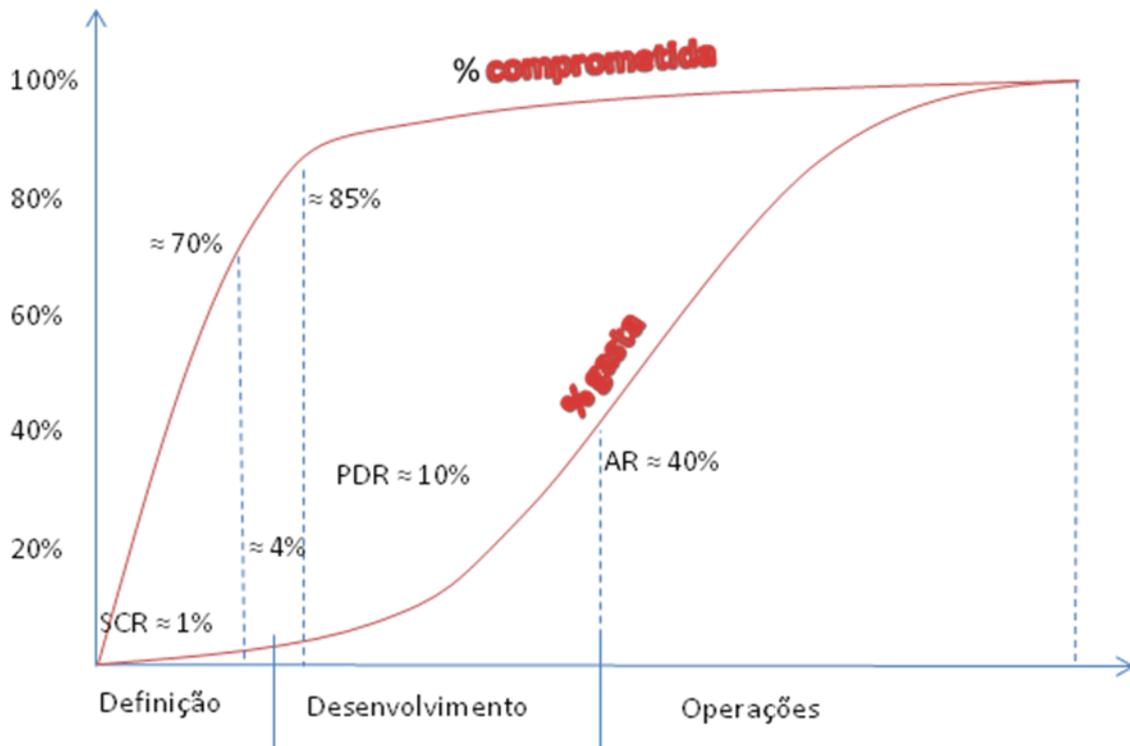


Figura 8: Perfil de Gasto Típico: % Comprometida X % Gasta

Fonte: Autor - Adaptado de Forsberg, 2005 p. 90

Ao fazer-se a revisão do conceito do sistema – *System Concept Review (SCR)* -, os gastos projetados para o produto são da ordem de 1% dos gastos totais previstos, enquanto o comprometimento estimado dos gastos totais é da ordem de 70%. Portanto, uma importante causa de falha em projetos é a inadequada atenção dada às oportunidades e dificuldades que surgirão nos períodos de desenvolvimento e operações do produto.

No período de desenvolvimento dos subsistemas, outra revisão importante é conhecida como revisão preliminar de projeto – *Preliminary Design Review (PDR)*. Nesta revisão

define-se como o *design* de engenharia do subsistema deverá ser feito. Em linhas gerais, nesta revisão os gastos acumulados do projeto chegam a 10%, enquanto o comprometimento do orçamento é da ordem de 85%.

Considerando que devemos ter um ponto de início para a definição do sistema, os requisitos são o ponto lógico de início. Não se tem todos os requisitos no início deste esforço, muitos deles precisam ser determinados ao longo do esforço de desenvolvimento (*To Be Determined* – TBD). Quando a quantidade de TBD é muito elevada, os riscos do projeto se elevam drasticamente, pois não se conseguem realizar estimativas de custo e tempo de desenvolvimento com níveis de precisão adequados, assim como a capacidade de predição do desempenho do futuro sistema fica muito comprometida. Outros requisitos apresentam problemas de definição, e exigem um refinamento de sua definição. Desta maneira a estimativa é feita já com uma reserva que permita a resolução do problema de definição.

Embora o enfoque de Rechtin seja na arquitetura do sistema, ele coloca ênfase sobre a integração de maneira implícita quando diz que a natureza da arquitetura é comunicar a estrutura do sistema para aqueles que irão se encarregar do desenvolvimento do projeto. De acordo com Rechtin uma arquitetura deve:

1. Prover uma visão conceitual do sistema;
2. Garantir a validade e consistência entre o conceito original e os requisitos dos usuários;
3. Controlar a complexidade;
4. Estar atenta a defeitos de interface; e
5. Dar suporte à detecção de problemas e ao seu diagnóstico.

A arquitetura de sistemas define o que deve ser feito do ponto de vista técnico, tendo em vista os requisitos de custo, tempo e risco do projeto. Esta definição leva em consideração a base de conhecimento disponível da organização. A partir deste ponto, inicia-se um

exercício constante e antecipado de integração de sistemas. Isto é, ao longo de todas as fases que compõem o período de desenvolvimento tem-se a constante preocupação com a integração final do sistema. O esforço de integração da arquitetura de sistemas ocorre ao longo de todo seu ciclo de vida. Este esforço é caracterizado por ações de adequação, balanceamento e acerto (*fit, balance and compromise*) entre as interfaces do sistema, que afetam o sistema como um todo. Isto é, o enfoque é nas inter-relações entre os subsistemas que constituem o sistema.

Decomposição e alocação começam no nível do sistema, onde os requisitos derivam diretamente da missão e prosseguem através dos níveis de segmento, subsistema e componentes. Este processo precisa garantir que a integração dos subsistemas permitirá que o sistema atenda aos requisitos de projeto. Isto é conhecido como fechamento, e significa que satisfazer requisitos de um nível mais baixo garante o desempenho no nível acima.

Sendo responsável pelo desenvolvimento do sistema como um todo, os arquitetos de sistemas atribuem autoridade de desenvolvimento dos subsistemas a unidades organizacionais descentralizadas, no entanto podem (e precisam) interferir no desenvolvimento do subsistema sempre que surjam questões que irão interferir no sistema como um todo.

Em função dos altos custos e longos períodos de desenvolvimento e dos elevados riscos associados ao desenvolvimento de um sistema complexo, nota-se de maneira crescente a utilização de parcerias que permitam o compartilhamento de custos e riscos e a redução dos períodos de desenvolvimento. Estas parcerias se dão com a divisão dos trabalhos de desenvolvimento dos subsistemas, enquanto a definição da arquitetura do sistema e todas as questões relacionadas ao seu desenvolvimento são feitas conjuntamente. Depois da partição do sistema, tem-se a divisão do trabalho dos subsistemas entre parceiros. Como é comum em questões de alta tecnologia, existem, frequentemente, restrições entre a troca de informações sobre os *designs* de engenharia dos subsistemas. Portanto, é necessária a divisão entre

desenvolvimento interno e externo. Mais relevante é a questão de organizações que apresentam falhas na constituição de sua base tecnológica, tanto nos aspectos relativos à amplitude quanto nos aspectos relativos à profundidade dos conhecimentos e habilidades tecnológicas. Nestes casos, a decisão entre coordenação interna ou externa é relativa à viabilidade do projeto, ao menos no nível de risco tolerado pela organização para um projeto de magnitude.

Em termos econômicos vão-se analisar alguns fatores que vêm moldando a economia da inovação, especialmente em produtos complexos. Em primeiro lugar, o crescimento vertiginoso dos custos de desenvolvimento, principalmente nos casos em que se espera um significativo ganho de desempenho. Associado a esta elevação de custos estão os riscos e os tempos de desenvolvimento. Conforme salientado por Hobday (1998), as inovações em sistemas complexos ocorrem por meio de organizações temporárias, compostas por diversos parceiros e com base em projetos.

No entanto, é quem elabora o *design* de engenharia do subsistema, a partir da derivação dos requisitos de sistema, que tem a autoridade para propor uma solução técnica capaz de atender aos requisitos do subsistema. Os requisitos em áreas críticas devem ser documentados de maneira flexível, permitindo o ajuste fino da solução trazida pela autoridade do *design* de engenharia com o resto do sistema.

Em projetos desta natureza, vem sendo utilizada de maneira progressiva a compra de componentes críticos, ou mesmo equipamentos, de soluções prontas - *Commercial of the Shelf* – COTS - de fornecedores especializados, em vez de serem desenvolvidas especificamente para o projeto.

Delegação de Autoridade: *Design* de Engenharia

A definição da arquitetura é uma questão crítica quando se fala em sistemas complexos, pois existe uma hipótese, comumente aceita, que a autoridade deve ser compatível

com a responsabilidade. Esta hipótese, no entanto, é válida somente para situações extremamente simples, onde as relações de causa e efeito podem ser claramente identificadas. Portanto, à medida que se eleva o grau de complexidade de um sistema, mais difícil se torna a superposição dos conceitos de autoridade e responsabilidade.

No entanto, a descentralização de autoridade por meio da delegação é uma condição necessária para o crescimento de uma organização. A passagem abaixo, de Penrose, apresenta esta ideia para uma firma integrada verticalmente.

“...enquanto a autoridade pode ser dividida de várias maneiras, a responsabilidade só pode ser delegada parcialmente. Um diretor pode delegar a responsabilidade de executar um trabalho, mas ele ainda mantém a responsabilidade de verificar se ele foi realizado. É esta complicação, mais do que qualquer outra, que torna tão difícil a delegação. Isso deve ao fato de a mais alta direção ser plenamente responsável pela verificação de tudo o que ocorre abaixo dela, e por tudo que possa afetar o sucesso da empresa.” (Penrose, 2006, p.98 – nota de rodapé).

E acrescenta,

“Essa progressiva descentralização de autoridade e de responsabilidade, a qual deixa intocada o acúmulo de responsabilidade final, constitui condição necessária para o crescimento continuado de uma firma...” (Penrose, 2006, p. 98-99)

Em função da elevada especialização necessária para o desenvolvimento dos subsistemas, ocorre com frequência a descentralização de funções técnicas e administrativas, via de regra, para unidades organizativas descentralizadas, e, mais recentemente, de maneira crescente para outras organizações. No entanto, a responsabilidade, permanece centralizada, acumulando-se nos escalões superiores da organização que promove o empreendimento. No caso de sistemas complexos, desenvolvidos por meio de projetos, tem-se a criação da equipe de arquitetos responsável pelo sistema como um todo, enquanto a autoridade pelo

desenvolvimento do *design* de engenharia dos subsistemas é delegada a unidades organizacionais descentralizadas ou outras organizações.

Em função da desintegração da produção – atribuição da autoridade do desenvolvimento do *design* de engenharia de subsistemas a outras organizações –, o conceito de modularidade do sistema vem sendo utilizado de maneira crescente. Modularidade representa um conceito geral de sistemas e está relacionado ao nível de acoplamento entre subsistemas ou, em nível inferior, ao nível de acoplamento entre componentes. Isto é, a modularidade se relaciona com o nível de dependência entre subsistemas, ou com a sua complexidade. É elucidativo imaginar um espectro de variação contínua entre um sistema completamente integrado e um sistema completamente modular. A definição deste nível de modularidade é definida pela arquitetura do sistema. É a definição da arquitetura do sistema que irá condicionar as possíveis recombinações de subsistemas, permitindo o maior número possível de usos finais. O conceito de plataforma de produto tem aí seu fundamento. O número de possíveis configurações que um sistema poderá ter é determinado pela sua arquitetura. É comum imaginar que a arquitetura de sistema define as regras que o *design* de engenharia de subsistemas deverá seguir – *design rules* (Baldwin and Clark, 2000) – e também as formas possíveis de recombinação dos subsistemas.

A modularidade está relacionada com a definição de ”interfaces limpas, definitivas e trabalháveis”. O que está relacionado com o desejo de estabelecer regras de *design* tão simples quanto possível. Isto é, definir conexões entre módulos tão simples quanto possíveis. No contexto de descentralização da produção, isto significa facilitar a comunicação entre as organizações, uma vez que a interface entre subsistemas será também a interface entre as organizações. Desta maneira, simplificar as regras de *design*, significa simplificar a comunicação entre organizações.

O período de desenvolvimento tem início depois da definição da arquitetura. Para avançar no desenvolvimento deve-se considerar o *design* de entidades de níveis inferiores da hierarquia. Neste caso, os subsistemas. Requisitos, conceitos, arquiteturas e finalmente as especificações de *design* são desenvolvidas para o subsistema. A colaboração, entre o integrador de sistemas e a autoridade de *design* de engenharia do subsistema, é necessária para garantir a compatibilidade de interfaces e facilitar a futura integração e verificação do sistema. Uma vez definido como será feito o *design* de engenharia do subsistema procede-se uma revisão, a PDR.

A construção dos subsistemas é autorizada por meio de uma revisão de *design*, chamada revisão crítica – *critical design review* – CDR. Ao contrário da PDR, a CDR ocorre do subsistema para o sistema, e nesta revisão deve-se trazer evidencias que ao integrar os subsistemas conforme o *design*, o desempenho do sistema ocorrerá de acordo com o previsto.

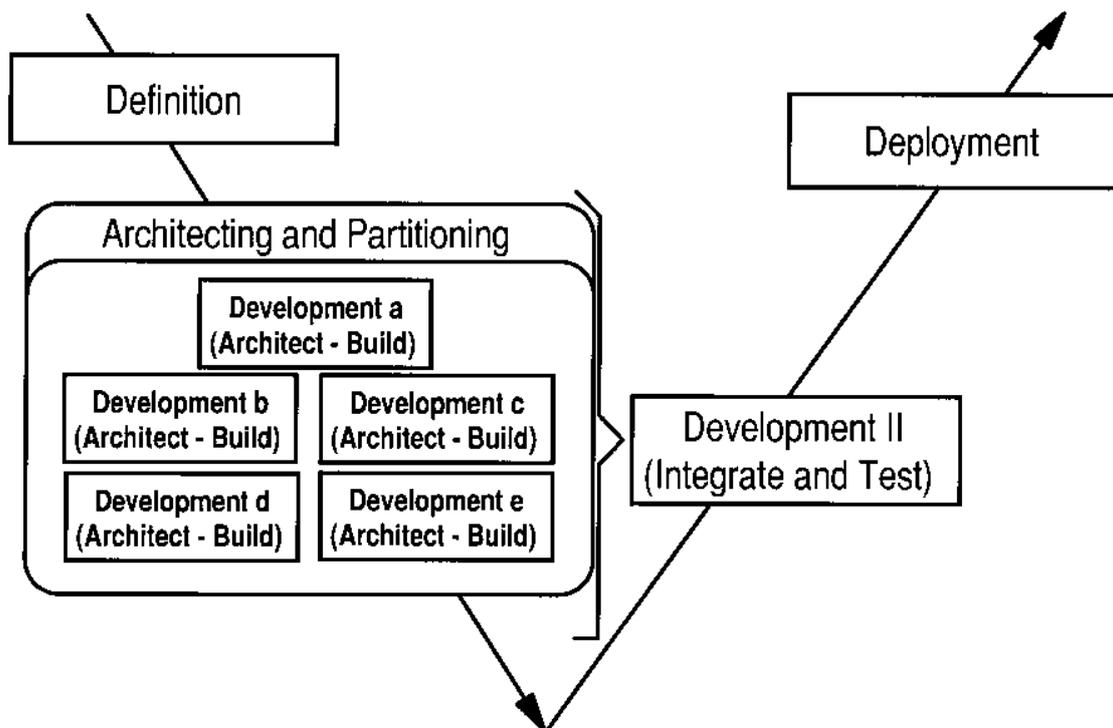


Figura 9: Modelo de Integração de sistemas com engenharia simultânea

Fonte: Sage and Lynch: 1998, p. 186

A figura acima representa a ideia do desenvolvimento do *design* de engenharia dos subsistemas ocorrendo de acordo com as regras de partição, ou regras da arquitetura do sistema.

Know-why: coordenação interna

O *know-why* refere-se à capacidade de formulação e avaliação de problemas contextualizados e a proposição de *designs* de engenharia que sejam adequados à resolução destes problemas. Estes problemas contextualizados virão sob a forma de um conjunto de requisitos que foram derivados dos requisitos do nível do sistema.

A elaboração progressiva é uma característica de projetos desta natureza. Desta maneira, ao assumir o compromisso de desenvolvimento de um subsistema, existe uma tomada de decisão relativa à percepção que se tem sobre o sucesso do desenvolvimento do subsistema. Muitas vezes esta percepção é baseada em conhecimentos tácitos, que somente com a progressiva materialização do sistema, resultado decorrente do aumento da especificidade – de um subsistema e de sua interação com os outros – do que está sendo exigido, é que será possível a sua codificação no *design*.

A partir das regras do *design* conceitual, são estabelecidas as interfaces entre subsistemas. Em termos cognitivos a definição da arquitetura exige a compreensão dos princípios tecnológicos envolvidos no conjunto de tecnologias que fundamentam um sistema ou subsistema – *know-why*. O *know-why* servirá de guia para a progressiva elaboração do *design*, que é, em última análise, um processo de busca, visando a encontrar a melhor forma de integrar diversas tecnologias em um subsistema, considerando as regras definidas pela arquitetura do sistema.

A teoria de sistemas enfatiza a interação entre as partes do sistema. A ideia central desta teoria, que o sistema é maior que a soma de suas partes, tem aí seu fundamento. Em

alguns tipos de sistemas, no entanto, dependendo do nível hierárquico considerado, alguns subsistemas apresentam uma quantidade de interfaces relativamente maior.

Sustenta-se que estes subsistemas têm uma função estruturante nos processos de inovação tecnológica, na medida em que alterações nestes subsistemas têm efeitos em cascata sobre os outros subsistemas, e, em última análise, sobre o sistema como um todo. São alterações que não podem ser encapsuladas no próprio subsistema em função da grande quantidade de interfaces. Exemplos destes são os subsistemas mecânicos na maioria dos sistemas complexos. Estes subsistemas definem o peso, o volume, o centro de gravidade do sistema além de dar sustentação a diversos subsistemas. A probabilidade de alterações ocorrerem nestes subsistemas, provenientes de outros subsistemas, é muito alta. Para absorver estas alterações e comunicar os seus efeitos em outros subsistemas, durante o processo de desenvolvimento, é necessário que se tenha domínio sobre os princípios envolvidos nas tecnologias utilizadas.

As tecnologias que fundamentam estes subsistemas variam de acordo com sua aplicação final. Podendo ser tecnologias maduras, caracterizadas por um baixo ritmo de mudança técnica. O concreto armado utilizado em grandes construções, como usinas hidrelétricas é um bom exemplo. Neste caso, já existem muitas aplicações práticas das tecnologias, permitindo que se estabeleçam relações de causa e efeito mais claras, embora ainda contextualizadas, reduzindo os riscos do projeto e melhorando a precisão das estimativas de custo e tempo de desenvolvimento. Mas também podem ser tecnologias emergentes, caracterizadas por um elevado ritmo de mudança técnica, como os materiais compósitos utilizados no 787 da Boeing. Nestes casos, em que o desempenho do sistema é fundamental para o estabelecimento de diferenciais competitivos. Os desafios tecnológicos são consideravelmente maiores e, por consequência, também será maior, a exposição ao risco a que fica submetida a organização responsável pelo projeto, aqui denominada de integradora

de sistemas. As estimativas de custo e tempo de desenvolvimento apresentam níveis de imprecisão extremamente elevados. Na fase de definição do conceito, existe grande dificuldade de se refinar as estimativas de tempo e custo de desenvolvimento assim como dificuldade de se prever o comportamento do sistema depois da integração deste subsistema com os outros. Ou seja, a dificuldade de fazer o projeto convergir para os requisitos de desempenho, custo, tempo e risco tornam as capacitações em integração de sistemas mais significativas. E para aumentar estas capacitações o domínio sobre os princípios tecnológicos do subsistema torna-se uma condição fundamental. Isto é, *know-why*.

A organização pode delegar a autoridade do *design* de engenharia destes subsistemas, mas como a responsabilidade sobre do sistema como um todo – *design* conceitual – não pode ser delegada, a probabilidade de se ter sucesso no projeto passa pela manutenção da capacidade de adaptação ao longo do período de desenvolvimento, possibilitando que o projeto convirja para seus requisitos. Portanto, mesmo que se delegue a elaboração do *design* de engenharia do subsistema e sua respectiva construção, a coordenação destes esforços de desenvolvimento tende a ser mantida internamente à organização. As decisões entre fazer ou comprar, tão utilizadas pela economia dos custos de transação, devem ser consideradas sobre dois espectros diferentes. O primeiro é aquele da produção e integração de artefatos e o segundo é o da produção e integração de conhecimentos especializados de determinadas disciplinas (Brusoni, Prencipe e Pavitt, 2001). A produção e integração de conhecimentos especializados, focados e sistemáticos, estabelece processos de aprendizagem que levam ao domínio dos princípios tecnológicos: *know-why*.

Know-how: coordenação externa

No caso de subsistemas que desempenham funcionalidades específicas podem ocorrer situações, nas quais, em função do elevado nível de especialização, as organizações não consigam manter internamente todo o estoque de conhecimentos úteis que permitam realizar

aplicações na fronteira tecnológica, de maneira competitiva. Desta maneira, tende-se a delegar a autoridade do *design* de engenharia do subsistema e sua construção para uma organização especializada. As regras do *design*, que dão suporte à estruturação do problema, os custos e prazos estimados, assim como a interface deste subsistema com os outros subsistemas são previamente definidos. O que a autoridade do *design* deve fazer é encontrar a solução para o problema, que atenda a todas estas condições. Existe obviamente um nível mínimo de conhecimento sobre as tecnologias necessárias para a criação do subsistema que devem fazer parte da base tecnológica da organização responsável pelo projeto como um todo. Este nível mínimo de conhecimento deve compreender a capacidade de negociar o desempenho do subsistema, que permita um satisfatório desempenho do sistema, considerando os requisitos de custo e tempo assim como o nível de risco envolvido com o desafio proposto para a organização que irá receber a delegação de autoridade. Caso a organização já tenha um precedente na execução destes subsistemas, este risco tende a diminuir. Embora, a organização possa não ter o domínio sobre os princípios tecnológicos do subsistema, ela deve também ser capaz de identificar e negociar as alterações que ocorrerão no período de desenvolvimento, provenientes de outros subsistemas. E mesmo julgar os pedidos de relaxamento de requisitos (*request for waiver – RFW*) que podem ocorrer ao longo do período de desenvolvimento. Chamamos este conjunto de conhecimentos de *know-how*. A definição tradicional de *know-how* envolve as habilidades requeridas para a operação de bens de capital para fins de processos produtivos de bens de consumo (Manual Frascati, 1970). Estas habilidades são normalmente relacionadas com o conhecimento tácito. Neste caso, este conhecimento é ao mesmo tempo tácito e explícito, na medida em que os requisitos são formalizados e são derivações de um *design* conceitual também formalizado; e também tácito na medida em que estes conhecimentos são resultado da interação de diversos especialistas.

Portanto, o entendimento de *know-how* no desenvolvimento de bens de capital é uma definição de trabalho.

Knowing: aprendizagem pelo uso

“...systems approach... tries to focus on the whole of a system, attempting to take into account interrelationships between parts of the system, whether inadvertent or intentional. These are sometimes called interactions and interfaces, and empirical data support the notion that rather than devil being in the details, it’s in interaction and interfaces. Interactions that we have not fully accounted for can cause complex system to fail, at times catastrophically.”(Eisner, 2005 p. 152)

Quando o sistema entra em operação outros processos de aprendizagem têm início. O principal deles é aquele derivado da experiência prática, da observação do sistema em seu ambiente de operação, quando todos os subsistemas interagem e diversas funcionalidades do sistema são desempenhadas real e simultaneamente. Estas funcionalidades normalmente são observadas e controladas por diferentes pessoas. Estes processos de aprendizagem levam a um tipo de conhecimento aplicado, derivado de ações práticas de um sistema sócio-técnico. Como ressaltado por Dewey, e mais recentemente por Cook e Brown (1999), este tipo de conhecimento deve ser considerado como uma classe epistemológica distinta, e não pode ser confundido com o conhecimento tácito ou explícito. Com base nas ideias dos autores acima citados, sustenta-se que este tipo de conhecimento – *knowing* – é um processo de aprendizagem de importância crescente em sistemas complexos.

Na realidade ele completa um ciclo de aprendizagem como representa a figura abaixo:

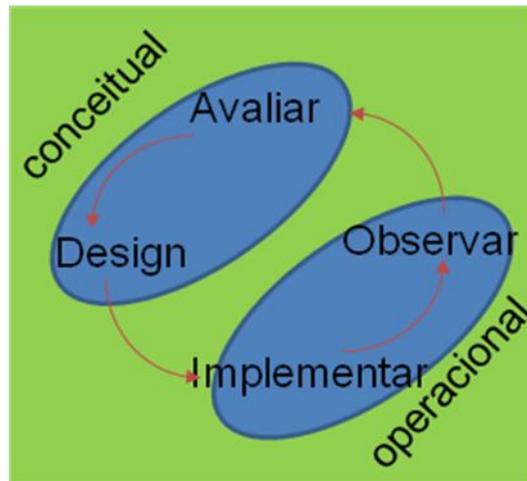


Figura 10: Ciclo de Aprendizagem individual

Fonte: Kim (1993)

Começa-se com o conhecimento disponível e faz-se a primeira estimativa de um *design* arquitetônico que possa ser gerenciável, considerando as restrições de custo e tempo de desenvolvimento, o desempenho que deve ser alcançado e a exposição ao risco que a organização esta disposta a assumir. Buscam-se parceiros com propósitos comuns que estejam interessados no compartilhamento de riscos e custos e na redução dos tempos de desenvolvimento de um futuro sistema, considerando um desempenho esperado. Procede-se então a divisão do trabalho do sistema o *design* de engenharia e sua construção. Integra-se o sistema, incorpora-se aprendizagem, faz-se *redesign* de engenharia dos subsistemas, incorpora-se aprendizagem, definem-se novos requisitos de projeto, e repete-se o projeto com a introdução de subsistemas atualizados tecnologicamente, e com a introdução e/ou supressão de módulos. A questão central é apresentar um projeto arquitetônico suficientemente robusto e flexível para permitir a exploração destas economicidades, derivadas dos processos de aprendizagem. O teste final de uma boa arquitetura é representado por sua duração no tempo, permitindo melhoramentos que atendam às expectativas dos *stakeholders*.

As esferas azuis representam os tipos de conhecimento: conceitual e operacional. A capacidade de avaliação de um problema e a proposição de um *design* que o resolva é

entendida como conhecimento conceitual. A capacidade de colocar em operação e observar o que acontece com a operação é entendido como um conhecimento operacional.

Enquanto o conhecimento conceitual é relacionado com suposições e com situações ideais do que se supunha sobre o comportamento do sistema em seu ambiente de operação o conhecimento operacional gera outro tipo de conhecimento que é dinâmico, concreto e relacional. Para o fechamento do ciclo é, necessário que esta observação ocorra considerando as expectativas de desempenho do sistema com relação ao desempenho real.

O conceito de sistemas aproximadamente decomponível, de Simon, é válido do ponto de vista estrutural para definir a hierarquia do sistema. No entanto, do ponto de vista funcional o sistema não é decomponível. As propriedades emergentes, não planejadas e negativas, são decorrência de interações entre subsistemas, ou componentes de subsistemas, que não foram previstas inicialmente. Muitas vezes estas propriedades só são perceptíveis quando se está em um nível hierárquico acima. Isto é, quando o sistema é analisado como parte de um sistema maior. Muitos dos testes de integração final visam a simular estas condições. No entanto, prever todas as possíveis combinações de interações é um desafio extraordinário, além de envolver custos e tempos que muitas vezes os projetos não dispõem. Em oposição à ideia de reducionismo, existe também a ideia de expansionismo, que se refere à consideração do sistema como parte de um conjunto de sistemas.

Com o fechamento do ciclo é que se consegue aprofundar no entendimento dos fenômenos envolvidos. O fechamento do ciclo leva a dois tipos de aprendizagem: no nível de sistema e no nível de subsistema. No nível de sistema, a aprendizagem permite a tomada de decisões de maneira efetiva a respeito do *design* conceitual, o que normalmente é conhecido como aprofundamento do conhecimento arquitetônico. A exploração da economicidade arquitetônica depende deste processo de aprendizagem e está relacionada às economias de repetição e recombinação. O equivalente das economias de escala e escopo dos bens de

consumo. E atua também no nível de subsistemas, considerando que as soluções de engenharia podem explorar todo o potencial de certos melhoramentos tecnológicos. Como se esta falando de subsistemas, pode-se ter diferentes combinações de propriedades mecânicas, elétricas e químicas, que devem ser entendidas, e, mais, entendidas segundo as necessidades funcionais que o subsistema deverá desempenhar.

Este ciclo vale tanto para o nível de sistema como para o nível de subsistema.

A aprendizagem pelo uso envolve uma experiência que tem início quando se termina o período de desenvolvimento. Ela representa uma fonte importante de aprendizagem tecnológica derivada da experiência real com o uso de produtos caracterizados por elevado grau de interdependência sistêmica. Esta forma de aprendizado não é normalmente reconhecida, e, por consequência, é muito pouco explorada. Não é comum em organizações encontrar alocação de recursos destinada à exploração da aprendizagem pelo uso. Uma possível explicação para esse baixo reconhecimento é o fato desta forma de aprendizagem estar relacionada com inovações tecnológicas de baixa magnitude. Apesar de serem consideradas como inovações incrementais estas aprendizagens podem ter consequências econômicas importantes. É bastante comum em estudos de inovação o enfoque nas questões tecnologicamente espetaculares. Não se pode fazer qualquer objeção a este fato, desde que isso não obscureça as inovações de menor visibilidade, mas que têm grande significação econômica.

As características relacionadas à aprendizagem pelo uso parecem estar associadas a um alto grau de complexidade sistêmica. Esta complexidade demanda períodos mais longos para a determinação do *design* e dos procedimentos operacionais de manutenção adequados, que normalmente só são encontrados após a aprendizagem pelo uso. Algumas vezes após um longo período de uso.

Viu-se que a integração de sistemas refere-se à melhor forma de estruturar e integrar o conhecimento de diversos especialistas, e que os projetos são a forma pela qual se permite que esta integração ocorra. O elemento complementar para a criação da capacitação está relacionado ao propósito comum entre estes elementos, de modo a orientar os esforços dos especialistas para uma direção única. A integração convergente de sistemas se refere justamente a isto: a definição de um propósito comum entre diversas organizações para integrar cooperativamente seus conhecimentos especializados. Este propósito comum envolve o produto final e a melhor forma - para as partes envolvidas – para que se consiga realizar esta empreitada.

Os processos organizacionais têm a função principal de servir como mecanismo de coordenação das ações efetuadas pela organização. As formas clássicas de coordenação – hierarquia e o sistema de preços do mercado – não captam as particularidades de relações de longo prazo estabelecidas entre organizações. Conforme discutido acima, mostrou-se o quão inadequado é a utilização das fronteiras da firma, por meio da dicotomia hierarquia/mercado, para a análise econômica. Richardson (1972) propõe três mecanismos de coordenação: a direção, a cooperação e a coordenação por meio do sistema de preços de mercado.

A importância crescente de cooperação inter-organizacional para a realização de inovações tecnológicas de sucesso é amplamente aceita. Em processos de cooperação de longo prazo, caracterizados pela definição de rotinas inter-organizacionais, a definição das fronteiras da organização torna-se muito obscura.

A questão da integração é consequência da fragmentação das tarefas que devem ser realizadas pela organização. A segmentação organizacional permite que subsistemas da organização enfoquem problemas e tarefas particulares. No entanto, para conseguir realizar seu propósito geral, estes subsistemas devem ser integrados. Diversas linhas de pesquisa sobre

organizações ressaltam que a integração entre diferentes tarefas e atividades, frequentemente, determina a eficiência e eficácia com que os objetivos organizacionais são atingidos.

O trabalho sobre integração de Laurence & Lorsch (1967) sustenta que a forma apropriada de integração depende do grau de diferenciação entre unidades organizacionais. Thompson (1967) sustenta que o tipo de interdependência entre as tarefas desempenhadas pelas unidades organizacionais determina o tipo de integração adequada. Ele categorizou os tipos de integração em concentrada, sequencial e interdependência recíproca. Quando cada tarefa contribui de alguma forma para o todo, mas de maneira independente, tem-se a forma concentrada. Quando os resultados de uma tarefa são os insumos de outra, tem-se a integração sequencial. Quando os resultados de cada tarefa tornam-se insumos de outras, ocorre a interdependência recíproca. Ele também resalta que quando as interdependências entre tarefas organizacionais passam da forma concentrada para a forma recíproca, a integração de tarefas por meio de regras e procedimentos não é mais suficiente, e mecanismos de participação, como o ajuste mútuo são necessários.

Dentro da teoria das organizações, os estudos de integração são focados em mecanismos de integração entre diferentes partes de estruturas organizacionais permanentes, mais precisamente entre unidades organizacionais formais e departamentos funcionais.

Projetos, ao contrário, têm durações limitadas de tempo, e de orientações de ações. Conseqüentemente, os requisitos de integração de organizações temporárias são diferentes dos requisitos de integração de organizações permanentes. Dentro desta linha, o trabalho de (Brusoni, Prencipe e Pavitt, 2001) propõe uma taxonomia para mecanismos de integração em redes organizacionais produtivas. Por meio de uma matriz 2x2 eles avaliam os mecanismos de coordenação segundo duas variáveis: a diferença entre as taxas de mudança técnica das disciplinas que fundamentam o produto e o nível de previsibilidade das interdependências entre os subsistemas. Se a taxa de mudança técnica e o nível de interdependência são baixos,

podem-se utilizar os mecanismos de mercado. Se as duas variáveis têm alta influência, a coordenação deve ser feita por meio de integração vertical. E nos outros dois casos, quando uma das variáveis tem influência elevada e outra baixa influência, o mecanismo de coordenação é a integração de sistemas.

Capacitações Generativas em Integração de Sistemas

“A tecnologia moldou a ciência de maneiras importantes, por que adquiriu primeiro algumas formas de conhecimento e forneceu dados que, por sua vez, se tornaram os *explicanda* dos cientistas, que tentam interpretá-las ou codificá-los em nível mais profundo.”

(Rosenberg p.223, 2006)

Hobday, Davies e Prencipe, 2005 definem as capacitações em integração de sistemas em termos de posicionamento estratégico na cadeia de valor de uma dada indústria. Assim, as organizações com base no valor agregado que as atividades geram, escolhem entre aquilo que será feito internamente, por meio de integração vertical e aquilo que será feito externamente, por meio de mecanismos de mercado.

O contexto desta definição, no entanto, é aquele dos países centrais do capitalismo, com mercados de alta tecnologia posicionados próximos à fronteira tecnológica. Esta situação não se verifica em países de industrialização recente, que se posicionam aquém da fronteira tecnológica, e com muitos *gaps* tecnológicos que impõem grandes desafios à criação de sistemas complexos.

Em alguns casos, o aprofundamento do conhecimento operacional por meio da aprendizagem pelo uso permite a construção de relações de causa e efeito e a aquisição de princípios tecnológicos contextualizados às situações de operação. Com esforços complementares de P&D, pode-se expandir estes conhecimentos, chegando ao *know-why*.

Assim, sustenta-se que as capacitações em integração de sistemas, em países aquém da fronteira tecnológica, proporcionam não só a possibilidade de um posicionamento estratégico em cadeias de valor industriais, mas também a possibilidade de fechamento de *gaps* tecnológicos por meio de processos de aprendizagem que ocorrem por meio do uso. Para uma análise mais detalhada é preciso aprofundar o entendimento sobre os processos de aprendizagem.

Da necessidade de interação entre ciência e tecnologia surgem as exigências da capacitação generativa em integração de sistemas, reunindo as comunidades centradas em desenvolvimento tecnológico e aquelas centradas no desenvolvimento científico.

As capacitações generativas em integração de sistemas estão relacionadas com a co-evolução das tecnologias e das necessidades dos *stakeholders*. Elas se referem ao que deve ser feito para que a organização se desenvolva favoravelmente. Elas se referem à criação de conhecimento novo para a resolução de problemas que surjam durante o desenvolvimento de um produto ou ao surgimento de novas oportunidades tecnológicas para o atendimento das necessidades dos *stakeholders*.

A gestão de P&D da organização não se limita aos projetos da próxima geração de produtos. A preocupação fundamental da organização é dispor das capacitações necessárias à realização de seus projetos da próxima geração de produtos, na medida em que grande parte de seus recursos está aí alocada. Para tanto, a gestão de P&D, deve se preocupar em fornecer repostas aos problemas que surgem durante os esforços da próxima geração de produtos.

Os esforços de pesquisa requeridos por estes projetos seguem a dinâmica imposta por suas restrições de custo, tempo e exposição ao risco para se conseguir o desempenho acordado com os *stakeholders*. Os esforços de pesquisa requeridos para avançar e manter-se a par da evolução das disciplinas científicas e tecnológicas que formam a base tecnológica da indústria apresentam uma dinâmica muito distinta. Na realidade, cada disciplina apresenta uma

dinâmica própria, e as capacitações generativas dependem tanto do estoque de conhecimentos previamente existente como do fluxo de conhecimentos gerados pelos esforços de pesquisa.

Estes novos conhecimentos são de natureza tanto científica e quanto tecnológica, e a criação de capacitações na organização se dá de maneira crescente com base em projetos envolvendo redes de organizações comprometidas com o avanço e a progressiva maturação de uma determinada disciplina, ou conjunto de disciplinas. As capacitações provenientes destes projetos servem de apoio aos projetos da próxima geração de produtos nas resoluções de problemas. No entanto, o resultado da diferente dinâmica entre estes projetos é que a resolução do problema não se dá “*just in time*”, de acordo com as restrições do projeto de próxima geração de produtos.

A diferença entre as dinâmicas destes projetos sugere que estes devam ser analisados segundo categorias analíticas distintas, e por consequência, sugere-se a separação entre capacitações em integração de sistemas nas categorias convergentes e generativas.

Como bem observou Sapolski (2003), os arquitetos responsáveis pelos projetos da próxima geração de produtos estão comprometidos com o desenvolvimento e operação do sistema, de acordo com os requisitos acordados com os *stakeholders*, e não com desenvolvimento, ou nível de maturação, das tecnologias que servirão de base ao sistema. Seguindo uma argumentação similar, Dierickx & Cool (1989), observam que a gestão de P&D é caracterizada, frequentemente, por deseconomias de compressão de tempo (*time compression diseconomies*). Isto é, projetos de P&D, que têm suas atividades aceleradas em função da necessidade de apresentar resultados, apresentam baixa efetividade. Os autores argumentam que as deseconomias de compressão de tempo se expressam por meio de um mecanismo fundamental em economia, a lei de retornos decrescentes, quando se tem um dos fatores mantido constante. Neste caso, o tempo.

“In the case of R&D, the presence of time compression diseconomies implies that maintaining a given rate of R&D spending over a particular time interval produces a larger increment to the stock of R&D know-how than maintaining twice this rate of R&D spending over half the time interval. Empirically, this does indeed seem to be the case (see, e.g., Scherer 1967; Mansfield 1968). ‘Crash’ R&D programs, for example, are typically less effective than programs where annual R&D outlays are lower but spread out over a proportionally longer period of time.” (Dierickx & Cool p. 165-166, 1989).

As capacitações generativas estão relacionadas tanto com a resolução de problemas de uma dada arquitetura de sistema quanto com a co-evolução das disciplinas tecnológicas, que fundamentam o produto, e das necessidades dos *stakeholders*, que criarão as condições para a proposição de uma nova arquitetura de sistemas. Em termos de aprendizagem organizacional, March (1991), propõe uma taxonomia para o entendimento de dois conjuntos de processos de aprendizagem organizacional, que concorrem pelos mesmos recursos escassos: “exploration” e “exploitation”. Cabe aqui ressaltar que, estes termos, na língua portuguesa, estão associados a conceitos relacionados com exploração, representando, este fato, uma dificuldade adicional para aqueles não familiarizados os estudos de aprendizagem organizacional.

O balanceamento entre a alocação de recursos para a “exploration” e “exploitation” é apresentado por meio da distinção entre refinar uma determinada tecnologia e a invenção de uma nova tecnologia.

“In evolutionary models of organizational forms and technologies, discussions of the choice between exploration and exploitation are framed in terms of balancing the twin processes of variation and selection. Effective selection among forms, routines, or practices is essential to survival, but so also is the generation of new alternative practices, particularly in changing environment.” (March, p. 72, 1991).

A nova arquitetura de sistemas que está sendo analisada deve considerar tanto a redefinição de funcionalidades entre os subsistemas como a possibilidade de integração de novas funcionalidades, visando a criação de valor econômico para seus *stakeholders*. O nível de exposição ao risco de uma organização ao propor uma nova arquitetura de sistemas é muito maior que aquele representado por uma arquitetura de sistemas, já testada por inúmeras versões. A nova forma de divisão de funcionalidades e o incremento de outras requer novos processos organizacionais para a concepção, desenvolvimento e operação da nova arquitetura.

O impacto da nova arquitetura de sistemas na organização é bastante significativo no que tange à forma de integração entre rotinas e também à redefinição destas rotinas. Novas formas de interação serão estabelecidas formal e informalmente.

A este respeito, Drucker (1993), enfatiza a necessidade de uma nova unidade organizacional para projetos inovadores, que exigem esforços empreendedores, em organizações de qualquer dimensão. Para que negócios existentes sejam capazes de inovar, é necessária a criação de uma estrutura que permita que as pessoas empreendam, recompensando e não punindo o espírito empreendedor. Sua argumentação centra-se em duas razões. A primeira delas,

“This means, first, that the entrepreneurial, the new, has to be organized separately from the old existing. Whenever we have tried to make an existing unit the carrier of the entrepreneurial project, we have failed.” (Drucker, 1993, p. 161).

O novo, quando comparado à realidade do negócio já existente, mostra-se frágil e pouco promissor.

Além disso, o negócio atual deverá prover as condições para o esforço inovador. Desta maneira, o negócio existente será sempre tentado a postergar ações relacionadas ao projeto inovador, até que seja tarde demais. A unidade existente pode ser capaz de estender, modificar

ou adaptar o que já existe, mas não é capaz prover as condições para uma inovação que altere suas rotinas.

A segunda razão liga-se à necessidade de apoio estratégico para o esforço inovador, para criar as condições necessárias para o florescimento da variação, sem os condicionamentos impostos pela estrutura existente.

“This means also that there has to be a special locus for the new venture within the organization, and it has to be pretty high up. Even though the new projects, by virtue of its current size, revenues, and markets, does not rank with existing products, somebody in top management must have the specific assignment to work on tomorrow as an entrepreneur and innovator.” (Drucker, 1993, p. 162).

A mudança das regras de *design*, ou arquitetura de sistemas, tem um impacto importante na redefinição da forma de aprendizagem organizacional na medida em que altera as formas de integração de suas rotinas.

Capacidade de criação de conhecimento

“Os conhecimentos crescentes se apresentam de duas maneiras: sob a forma de conhecimentos adquiridos e como mudanças da capacidade de utilizar os conhecimentos. Não há distinções rígidas entre essas duas formas, pois, em considerável medida, a capacidade de usar antigos conhecimentos depende da aquisição de novos.” (Penrose 2006, p. 101)

A capacidade de criação de novos conhecimentos utilizáveis possibilita a ampliação da base tecnológica de uma organização, e refere-se ao seu processo de aprendizagem. Conforme definido, a aprendizagem é entendida como a capacidade de tomar decisões efetivas. Esta

aprendizagem se dá tanto no nível individual quanto no nível organizacional. As organizações podem aprender independente de qualquer indivíduo específico, mas não podem aprender independentemente de todos os indivíduos que com ela se relacionam. A ênfase de capacitações generativas em integração de sistemas visa a melhorar os processos de aprendizagem, com base em projetos, coordenados interna e externamente à organização.

Assume-se que as organizações investem em pesquisa e desenvolvimento com o propósito de produzir bens e serviços que permitam a criação de valor econômico. No caso de organizações privadas, a preocupação é com a apropriação efetiva deste valor criado. No caso de organizações públicas a questão é mais complicada. Como existe também a preocupação do bem estar social, pode ser conveniente que o valor econômico criado ocorra por meio de transferência de tecnologia para outras organizações da sociedade, liberando recursos para a criação de novos conhecimentos que permitam a reconfiguração da base cognitiva da organização. Obviamente, neste caso, supõe-se que as tecnologias já tenham atingido um grau suficiente de maturidade para serem aplicadas em bens e serviços finais.

Em sistemas complexos é comum que disciplinas científicas e tecnológicas devam ser consideradas em grupos para executar determinadas funcionalidades. Para ficar, com o exemplo do estudo de caso, o desenvolvimento e construção de subsistemas de imageamento exige que se tenha domínio tecnológico sobre as disciplinas: óptica, microeletrônica, mecânica de precisão e software embarcado. Estas disciplinas devem ser integradas em determinado tempo, respeitando as condições de seu ambiente de operação. A evolução destas disciplinas não ocorre de maneira uniforme, impondo desafios importantes às capacitações generativas em integração de sistemas. Além destas disciplinas específicas o sistema como um todo só terá um desempenho melhor se os outros subsistemas – subsistema que lida com os dados de bordo, subsistema de controle de atitude e órbita, subsistema mecânico,

subsistema de geração de energia, subsistema térmico, etc – avancarem em ritmos compatíveis com o destas disciplinas.

O que hoje chamamos de pesquisa e desenvolvimento é na realidade um conjunto amplo de processos de aprendizagem na geração de novas tecnologias. A pesquisa básica envolve a aquisição de conhecimento a respeito das leis da natureza. Uma parte destes conhecimentos adquiridos mostra potencial para ser utilizada de maneira prática por meio de produtos inovadores. Esta potencialidade justifica maiores esforços de pesquisa tendo em vista a possibilidade de elevados retornos da pesquisa. Estes retornos podem ser financeiros ou sociais, dependendo da perspectiva de análise: privada ou pública. Vale ressaltar que um grande avanço tecnológico assinala o início de uma série de outros desenvolvimentos importantes, e a busca constante de melhoramentos de *design*. Neste estágio estamos mais próximos do valor econômico criado pela inovação. Assim é necessário entender da melhor maneira possível as necessidades de seus *stakeholders*, incorporando-as num novo *design* de arquitetura ou num novo *design* de subsistemas.

Os processos de aprendizagem em organizações que se envolvem com concepção, desenvolvimento e operação de sistemas complexos apresentam características distintas dos bens de consumo, conforme já apresentado anteriormente. Em particular, os problemas apresentam grande dificuldade de estruturação, e as possibilidades de replicação de desempenho obtido por sistemas existentes são raras, em função da especificidade do conhecimento acumulado em cada organização.

Existe um amplo consenso de que a inovação tecnológica venha aumentando progressivamente sua dependência em relação à ciência. No entanto, se considerarmos uma perspectiva histórica mais ampla, persiste a controvérsia se a ciência dependeu mais dos avanços tecnológicos ou se as inovações tecnológicas dependeram dos avanços da ciência. Se as inovações tecnológicas, e, especialmente, as inovações tecnológicas de sistemas complexos

forem analisadas imaginando a existência de um encadeamento causal entre ciência e tecnologia, o entendimento sobre inovação tecnológica será extremamente confuso. Na realidade a relação de causalidade atua nos dois sentidos. Tanto a ciência permite desenvolvimentos tecnológicos, quanto os desenvolvimentos tecnológicos criam novas disciplinas científicas que irão permitir outros melhoramentos tecnológicos, ou o desvendamento de novos campos científicos e tecnológicos.

Um caso muito citado na literatura sobre historia da tecnologia industrial é aquele da máquina a vapor, em que diversos pesquisadores sustentam que a ciência da termodinâmica deveu mais a maquina a vapor do que a maquina a vapor deveu à ciência da termodinâmica. Quase meio século após Watt ter inventado a máquina a vapor, o esforço de Carnot ao tentar sistematizar o entendimento dos determinantes da eficiência de maquinas a vapor criou a ciência da termodinâmica. A ciência da metalurgia surgiu para explicar o comportamento dos metais produzidos pela tecnologia Bessemer (Rosenberg, 2006). Pasteur criou a ciência da baracteologia procurando entender a fermentação de vinhos (Stokes, 2005). Um exemplo mais recente, refere-se ao esforço de L. Prandtl para a sistematização da análise de problemas com fluxos de fluidos em asas de avião, que deu origem a um novo campo de pesquisa da matemática, chamado de teoria das perturbações assintóticas (Kline & Rosenberg, 1986).

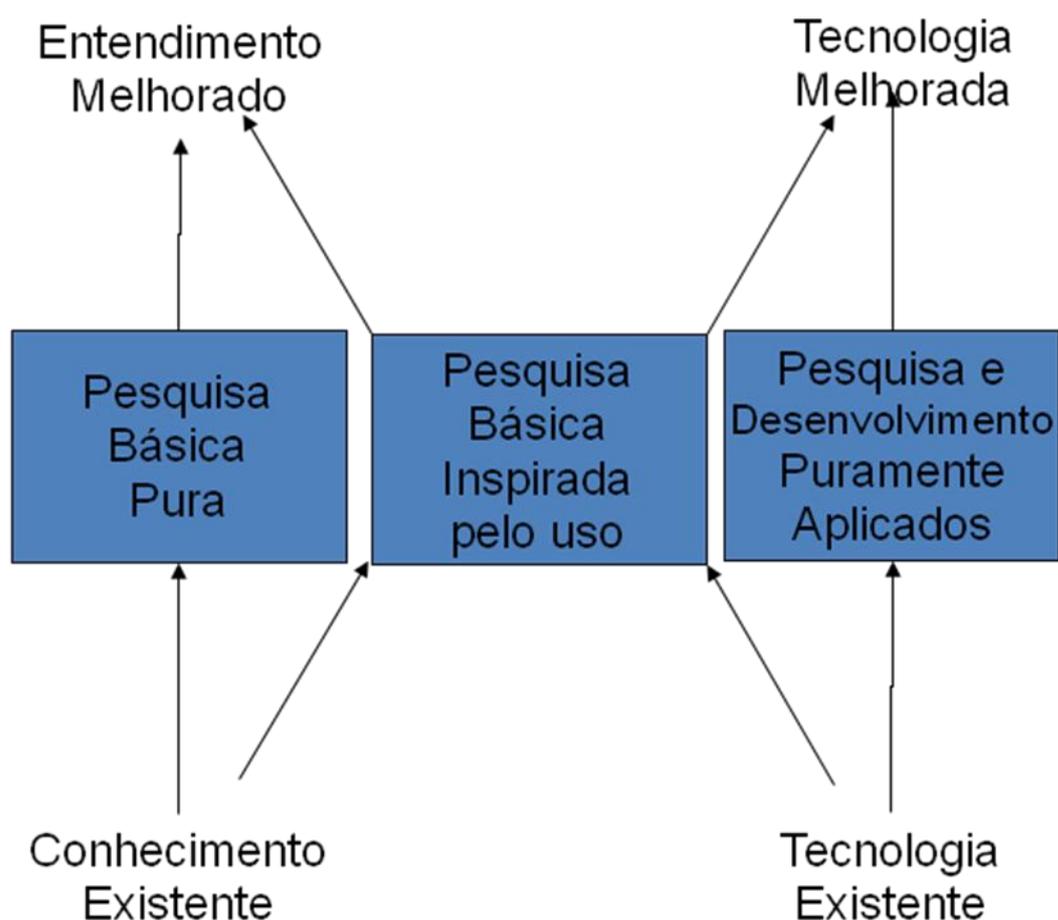


Figura 11: Interação entre conhecimento científico e tecnológico: um modelo dinâmico revisado

Fonte: Stokes p.138, 2005

Analisando os exemplos acima, é possível inferir que é possível um conhecimento científico de grande generalidade ter sua origem em uma pesquisa intencionada, inicialmente, em resolver um problema prático, de escopo reduzido e contexto limitado. Esta é uma característica ubíqua da atividade de pesquisa, a incerteza e a imprevisibilidade de seus resultados. Se considerarmos esta última afirmação seriamente, torna-se difícil distinguir a pesquisa básica da pesquisa aplicada, pois a partir do esforço de busca por soluções de problemas práticos pode levar entendimentos fundamentais e genéricos da realidade.

No dizer de Stokes, é possível conciliar a força de seu compromisso em estender as fronteiras do entendimento fundamental com a força do compromisso dirigido, de maneira estreita, à resolução de problemas práticos e contextualizados. O autor propõe que este tipo de pesquisa deva ser enquadrado como pesquisa estratégica, na medida em que concilia entendimento de fundamentos desconhecidos com necessidades sociais claramente definidas, sendo, portanto facilmente justificável o seu financiamento tanto público quanto privado.

Em projetos deste tipo, os requisitos se alteram de maneira mais intensa, segundo a dinâmica do esforço de pesquisa. É comum a redefinição do escopo, e as estimativas de custo e prazo são muito variáveis. As organizações devem normalmente ser mais tolerantes ao risco em projetos desta natureza.

Schumpeter (CSD): o avanço tecnológico vai se tornar mais rotineiro em função dos avanços da ciência. Isto é algo que não ocorreu. Mas sim o fato de aspectos genéricos das novas tecnologias se tornarem um conhecimento comum às comunidades profissionais interessadas.

A sabedoria convencional define a ciência como um corpo de entendimentos e a tecnologia, um conjunto de práticas. Mas, a tecnologia não pode ser caracterizada como um simples corpo de práticas. Isso está incluído, mas a tecnologia também envolve um conjunto de noções genéricas sobre como as coisas funcionam, as variáveis-chave que afetam o desempenho de produtos e processos, a natureza das principais oportunidades e dos obstáculos atualmente existentes, e as prenunciadoras maneiras de removê-los. É possível que tais noções tenham apenas um limitado embasamento em qualquer ciência fundamental, ficando assim, de certa forma, em grande medida instaladas sobre sua própria base cognitiva. Isso não equivale exatamente ao que os filósofos da ciência tendem a chamar de ciências.

Desta maneira, a criação de conhecimentos novos refere-se tanto a conhecimentos científicos quanto tecnológicos. Os tecnológicos se justificam quase que automaticamente,

pois são necessários para a resolução de problemas práticos que viabilizam técnica e/ou comercialmente a inovação tecnológica. Os conhecimentos científicos se justificam, fundamentalmente, pela possibilidade de melhor entendimento da realidade por meio de leis e teorias generalizáveis que guiam os esforços da resolução específica de problemas práticos. Dependendo do grau de maturidade deste conhecimento científico, um estado preditivo, por exemplo, os custos de desenvolvimento podem ser reduzidos drasticamente.

Cabe aqui ressaltar que a falta de conhecimento científico não é um obstáculo insuperável. Assim, pode ocorrer que o conhecimento tecnológico aproveitável seja atingido antes de um nível mais profundo de entendimento científico. Isto quer dizer que a tecnologia não é meramente uma aplicação de conhecimentos científicos. Trata-se de um conhecimento de técnicas, ferramentas, métodos e *designs* que apresentam resultados de sucesso em circunstâncias determinadas e com consequências previsíveis, mesmo que não exista uma explicação genérica que possa ser utilizada em todas as circunstâncias.

O que deve ser ressaltado é que a criação de novos conhecimentos científicos é um processo cumulativo e interativo, sendo comum a passagem do domínio tecnológico para o domínio da ciência e de volta para a evidência empírica trazida pela tecnologia, antes que se concretize um novo conhecimento sistemático e geral sobre qualquer assunto.

Em suma, sustenta-se que a ideia que os conhecimentos científicos e tecnológicos se reforçam mutuamente, e a interação destes conhecimentos facilita a criação de conhecimento novo.

O aprofundamento do conhecimento arquitetônico – guiado por considerações técnicas e mercadológicas – de certos melhoramentos tecnológicos identifica e define os limites de novos melhoramentos, o que, por sua vez orienta o esforço de pesquisa – científica e tecnológica - subsequente. Normalmente, a superação de certos patamares de desempenho só pode ser atingida com um melhor entendimento do sistema em seu ambiente de operação.

Isto é, o sistema leva a um melhor entendimento de certas dimensões dos ambientes físico e social ressaltadas pelo tipo de interação que o sistema tem com estes ambientes. É o conhecimento derivado da ação prática – *knowing* – que gera conhecimentos explícitos e tácitos, para serem usados em novos produtos.

Capacidade de absorção

Duas considerações precisam ser feitas inicialmente com relação à capacidade de absorção. Primeira, a maioria absoluta das inovações tecnológicas ocorre nos países centrais do capitalismo. Em especial podemos falar da tríade: Estados Unidos, Europa e Japão. Se quisermos ser mais específicos podemos falar de cinco países: Estados Unidos, Japão, Alemanha, França e Inglaterra. O volume de financiamento privado e público, para P&D nestes países afluentes é imensamente superior ao do resto do mundo, embora os valores da China tenham crescido de maneira consistente nos últimos anos. Assim, torna-se uma questão quase natural, preocupar-se com a capacidade de absorção, que está relacionada com a localização, identificação e compreensão de corpos de conhecimentos científicos e tecnológicos, desenvolvidos extramuros, e relevantes para uma determinada organização. Portanto, nos países de industrialização recente, as inovações em sistemas complexos têm início, com alguma frequência, no desenvolvimento de um estoque de conhecimentos sistematizados que define as bases cognitivas necessárias para o desenvolvimento da capacidade de absorção de novas tecnologias aplicadas a novos sistemas. Isto é, a constituição de uma base comum dos profissionais de uma área na qual tende a emergir uma maneira sistemática de descrever e comunicar tais conhecimentos.

De um modo considerável, o que é público e genérico depende do grau em que as disciplinas científicas e de engenharia de um campo construíram um corpo de conhecimentos gerais transcendendo suas aplicações específicas. Na maioria das tecnologias, “o que funciona e por quê” não chegam e a ser perfeitamente compreendidos.

A segunda consideração refere-se especificamente ao nível de complexidade da tecnologia, ou conjunto de tecnologias, que precisa ser absorvida. É fato comprovado por diversas pesquisas empíricas que o aprendizado ocorre de maneira localizada e requer a existência de estruturas cognitivas prévias para o seu avanço. Portanto, o esforço exigido para que se atinja a capacidade de absorção em sistemas complexos é sempre considerável. Esta segunda consideração ressalta o fato de que estes processos de aprendizagem não ocorrerem de maneira automática e passiva. Ao contrário, exigem um esforço consciente, deliberado e crescente.

Pavitt (1994) e Rosenberg (2006) argumentaram persuasivamente que boa parte das técnicas produtivas vigentes é de pouca utilidade fora das firmas que as empregam, envolvendo uma sintonia com seus produtos e processos. E muitas técnicas produtivas que funcionam num estabelecimento só podem ser transferidas para outro a um custo considerável, mesmo se o operador original estiver aberto e for prestativo. A eficiente operação de técnicas complexas constitui, em numerosos casos, muito mais uma questão de experiência com produtos, maquinaria e organização específicos, e de uma prática finamente sintonizada a estes, do que de um entendimento mais geral e do acesso a manuais e outros documentos. Em tais casos, a 'transferência tecnológica' pode ser tão cara e consumir tanto tempo quanto uma P&D independente.

A capacidade de absorção está relacionada com a possibilidade de incorporação à base tecnológica da organização de transbordamentos de conhecimentos de concorrentes da indústria, ou de conhecimentos gerados por outras organizações fora da indústria.

A capacidade de absorção refere-se à quantidade de conhecimentos extramuros que são utilizados pela organização. A questão central é que esta utilização de conhecimentos não ocorre sem esforço interno. Ao contrário, o que enfatizam os criadores desta expressão, Cohen & Levinthal, é que a capacidade de absorção depende do próprio esforço de P&D. Isto

significa que a empresa é incapaz de absorver passivamente o conhecimento transbordado. Ou seja, para utilizar o resultado da P&D de outras organizações, as firmas investem em sua capacidade de absorção, por meio da condução de P&D realizado internamente. Obviamente, que os fatores que afetam os incentivos a aprendizagem (a facilidade de aprendizagem e a quantidade de conhecimento disponível) influenciam as condições de apropriabilidade e oportunidade tecnológica.

5.4 Conclusão

O modelo proposto sustenta que é da interação entre as capacitações convergentes e generativas que surgirão oportunidades para um melhor posicionamento na cadeia de valores de indústrias de sistemas complexos. Por meio de conjugação de interesses de desenvolvimento de novos produtos e novos conhecimentos especializados, podem-se estabelecer processos por meio de rotinas interorganizacionais que facilitem a absorção e integração de conhecimentos dentro de uma organização. Conforme ressaltado no modelo, estes esforços, envolvendo diversas organizações com base em projetos, podem ser coordenados tanto interna como externamente à organização. Desta maneira, as desvantagens em termos de posicionamento em uma cadeia de valor podem ser superadas se houver compromissos com os processos de aprendizagem organizacional que enfoquem a criação de valor econômico, considerando uma arquitetura de sistema. As desvantagens de retardatários, dos países de industrialização recente, podem ser superadas com o efetivo uso destas capacitações. Quando as taxas de aprendizagem com uma arquitetura forem decrescentes, as pressões para a criação de uma nova arquitetura que melhor atenda às expectativas dos *stakeholders* irão se tornar mais intensas dentro da organização. Deve-se ressaltar que toda arquitetura de sistema é condicionada, inerentemente, a limites técnicos de desempenho. A estrutura, que estabelece a forma de ligação entre subsistemas definindo a arquitetura,

restringe a evolução do sistema. Para que as mesmas funcionalidade possam ter um desempenho superior, uma nova arquitetura deverá ser encontrada.

A criação de uma nova arquitetura exige uma mudança substancial nas rotinas organizacionais. Deve-se moldar um novo conjunto de processos coerente com a nova arquitetura. Muitas vezes, é necessário que se crie uma nova unidade organizacional adequada às novas rotinas. Por meio do estabelecimento de novas arquiteturas atraentes, é possível posicionar-se favoravelmente na cadeia de valor da indústria, através da reconfiguração adequada de sua base tecnológica. A nova arquitetura definirá novas regras de *design*, que por sua vez definirá novas regras para a integração de rotinas organizacionais.

Pode-se representar os processos de aprendizagem que levam à evolução de um sistema, a partir de arquitetura definida por meio de um ciclo de aprendizagem simples. O ciclo de aprendizagem duplo implica a mudança de arquitetura, que irá redefinir a forma de integração entre rotinas organizacionais.

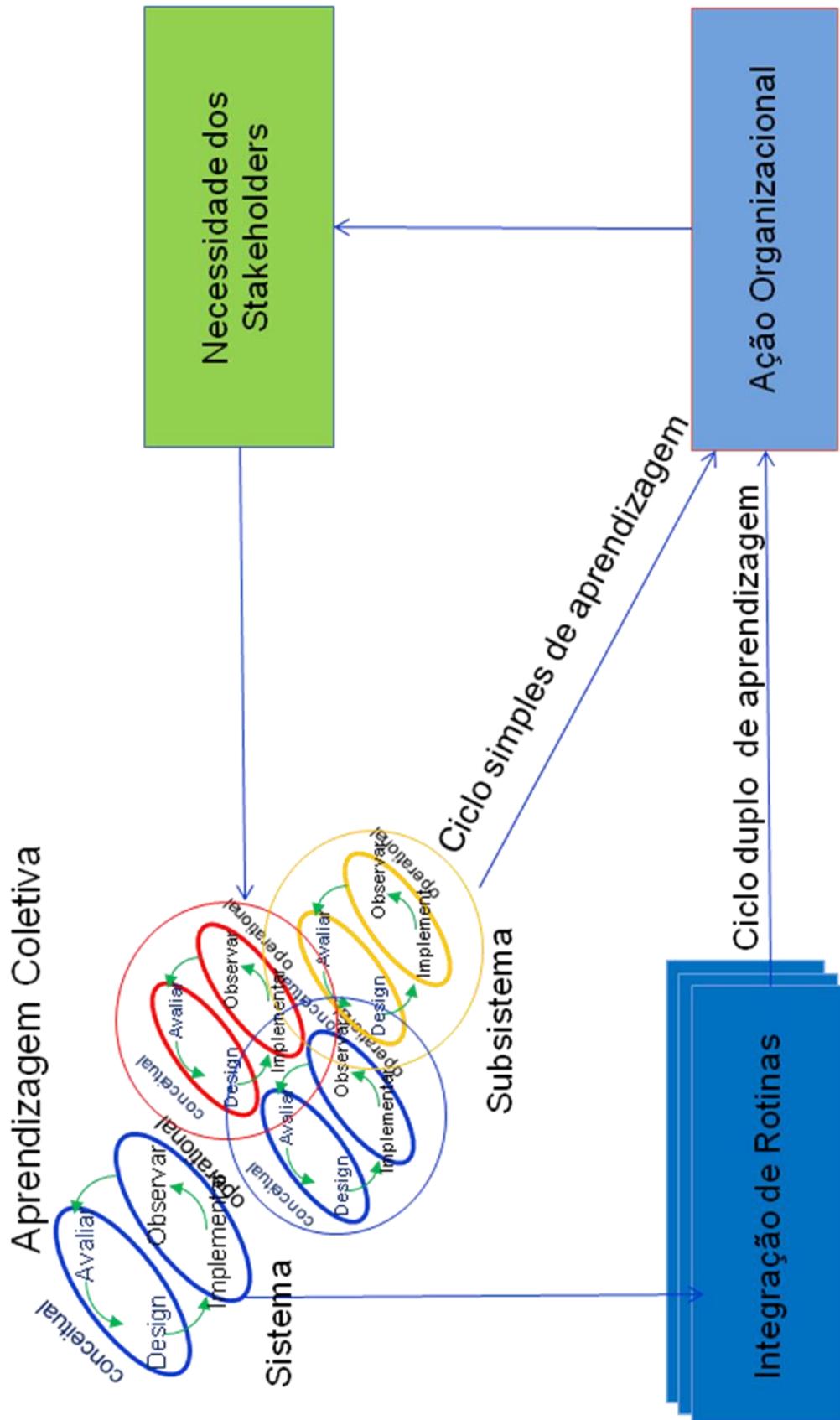


Figura 12: Ciclos de aprendizagem: simples e duplo

Fonte: Autor

Economias de repetição e recombinação

“Os melhoramentos tecnológicos fazem mais do que gerar necessidades de tipos específicos de conhecimentos. O avanço do conhecimento frequentemente só se dá por meio da experiência real com uma nova tecnologia em seu ambiente operacional.

(Rosenberg, p.225 2006)

As economias de repetição e recombinação estão fortemente associadas a um tipo de conhecimento que se pode chamar de arquitetônico. É a familiaridade com as interações entre subsistemas e componentes que leva ao estabelecimento de relações de causalidade. No caso de mudanças, a partir de novos *inputs* consegue-se prever, com razoável segurança, quais serão os *outputs*. Ocorre assim porque a aprendizagem é localizada. As relações de causalidade são construídas progressivamente, a partir da existência de uma estrutura cognitiva prévia.

A acumulação de conhecimento sobre o comportamento do sistema em seu ambiente de operação e de habilidades, associadas a este conhecimento, permite o progressivo ajuste de *design*, construção e integração, de subsistemas. O efeito desta cumulatividade nas rotinas organizacionais idiossincráticas gera inúmeras oportunidades para o lançamento mais efetivo de novos produtos. Estes podem ser versões atualizadas em termos de atualizações tecnológicas dos subsistemas, ou a integração de novos módulos, mantendo a arquitetura do sistema como referencial básico.

Esta maior efetividade pode ser expressa através do estabelecimento de requisitos de projeto mais exigentes, tanto no que se refere ao desempenho técnico do sistema quanto no esforço necessário para obtê-lo: custos e tempo de desenvolvimento.

O crescimento de organizações envolvidas com inovação em sistema complexo está intimamente ligado à interação entre suas capacitações em integração de sistemas:

1. as convergentes, que permitirão o atendimento de requisitos do projeto e a exploração de economias de repetição e recombinação de uma dada arquitetura de sistema;
2. as generativas, referentes a projetos que visam ao aprofundamento e à reconfiguração de sua base tecnológica, por meio da progressiva maturação de novas tecnologias e do fechamento de *gaps* tecnológicos, atendendo a evolução das necessidades dos *stakeholders*.

6. Estudo de Caso

6.1 Introdução

A criação de capacitações em integração de sistemas vem sendo analisada em contrapartida à crescente onda de terceirização das atividades produtivas nas organizações. No entanto, como exposto neste trabalho, as capacitações em integração de sistemas não representam apenas a contrapartida da terceirização das atividades produtivas, mas também as capacitações necessárias para estabelecer parcerias estratégicas de cooperação entre organizações que permitam a associação de capacitações tecnológicas e organizacionais complementares.

Tendo como fundamento capacitações funcionais – engenharia de sistemas – e capacitações em projetos – gestão de projetos e aprendizagem organizacional -, as capacitações em integração de sistemas permitem que uma organização busque um posicionamento estratégico favorável, em termos de captura de valor, dentro da cadeia de fornecimento de uma indústria, a cada geração de produto. (Hobday, Davies e Prencipe, 2005).

Baseado no estudo de caso do programa sino-brasileiro de sensoriamento remoto (CBERS) o objetivo desta pesquisa é expandir a compreensão sobre a criação de capacitações em integração de sistemas em produtos caracterizados por sua interdependência sistêmica. Em particular, é analisado como estas interdependências geram propriedades emergentes em sistemas, e como taxas diferenciadas de mudanças técnicas de componentes desequilibram sistemas interdependentes. Embora a pesquisa tenha como foco a integração de sistemas do satélite, serão abordados outros dois níveis de integração de sistemas: subsistemas e sistema de sistemas. Apresentam-se também solicitações de inovação feitas por usuários de imagens do lado brasileiro do programa, e argumenta-se que o atendimento destas solicitações permite que o progresso tecnológico incorporado nos satélites se difunda pelo sistema econômico.

6.2 Histórico do Programa CBERS

Desde o restabelecimento das relações diplomáticas do Brasil com a China, em 1974, notava-se um interesse, crescente e recíproco, de aprofundamento dos relacionamentos de cooperação partindo de diversos segmentos das sociedades brasileira e chinesa.

Em 1982, foi firmado o Acordo Quadro entre a República Federativa do Brasil e a República Popular da China formalizando a intenção de cooperação científica e tecnológica entre os dois países. Em maio de 1984, durante visita oficial do presidente brasileiro à China, foi firmado o Termo de Ajuste Complementar ao Acordo Quadro, ratificando a intenção de cooperação e elegendo áreas prioritárias de cooperação, entre elas a espacial.

A aproximação entre os dois países em desenvolvimento foi ocorrendo progressivamente lastreada pela expectativa de ganhos mútuos de uma possível cooperação. Um fato que merece destaque, para o tema tratado nesta tese, foi o lançamento, em abril de 1984, de um satélite de telecomunicações em órbita geoestacionária, com tecnologia chinesa desenvolvida endogenamente. Embora viesse lançando satélites desde 1970, os satélites de comunicação chamavam a atenção pelas possibilidades de desfrute econômico imediato da tecnologia. Estes lançamentos colocavam a China no restrito grupo de países que dominavam todo o ciclo da tecnologia espacial, desde a fase de concepção até a operação, incluindo as facilidades da base de lançamento, o veículo lançador de satélites, os satélites propriamente ditos e as facilidades terrestres necessárias para a operação do sistema, como, por exemplo, as estações de rastreamento e controle. As demonstrações de domínio de todo ciclo fez com que o interesse brasileiro pela cooperação espacial aumentasse.

Por outro lado, a China saía de um longo período de isolamento e via no Brasil a possibilidade de ter acesso a uma matriz industrial diversificada e, em diversos setores, mais desenvolvida que a chinesa. Além disso, por meio de um acordo de cooperação com o Brasil via a possibilidade de ter acesso a componentes críticos, principalmente eletrônicos,

produzidos pelos países desenvolvidos, recursos humanos treinados também nestes países e, acima de tudo, a capacitação adquirida por meio da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB).

Estas complementaridades foram fundamentais para o aumento do interesse e para que os dois países levassem adiante o plano de cooperação na área espacial.

Em 1988, foi assinado, o “Protocolo sobre aprovação de Pesquisa e Produção de satélite de recursos da terra, entre o Governo da República Federativa do Brasil e o Governo da República Popular da China” onde são designados o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) como agências responsáveis pela execução do projeto de pesquisa e produção dos satélites sino-brasileiros de recursos da terra. Logo em seguida, foi assinado o "Acordo de Cooperação sobre o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres entre a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST) da China e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil”.

O custo total da produção de dois satélites foi estimado em US\$ 150 milhões, incluindo dois lançamentos por foguetes Longa Marcha a partir da base de Taiyuan. Os custos foram divididos da seguinte forma: 70% China e 30% Brasil.

O domínio da tecnologia espacial, além dos benefícios próprios gerados sobre um sistema econômico, é considerado estratégico em função de sua capacidade de arraste sobre outros setores indústrias. De maneira particular, os segmentos de defesa e aeronáutica apresentam ampla comunalidade de aplicações tecnológicas e os *spin-offs* se dão rapidamente, razão pela qual existe grande restrição à transferência de conhecimentos pelos países que dominam esta tecnologia.

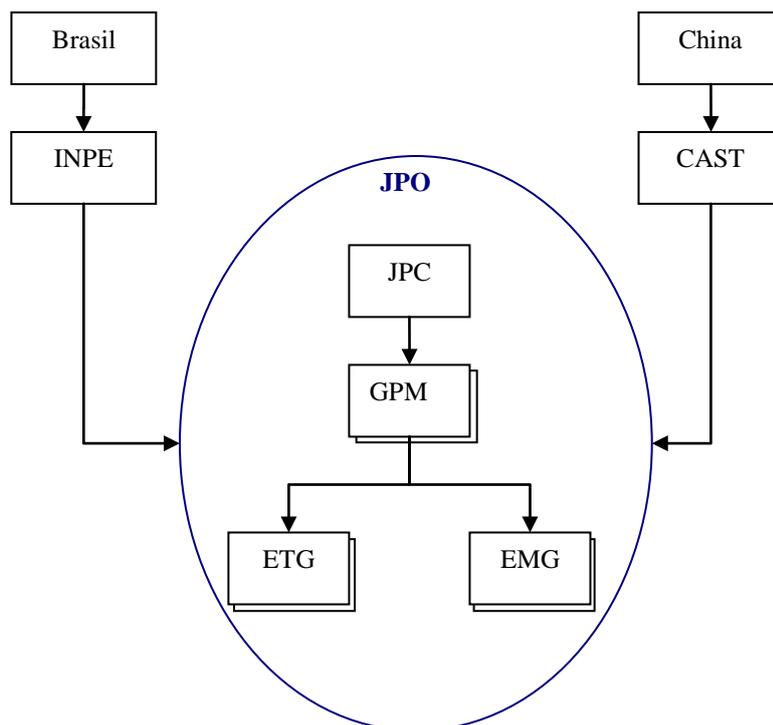
Sob esta ótica, o CBERS se constitui em um programa de cooperação de caráter inovador entre dois países em desenvolvimento, que decidiram unir recursos financeiros e tecnológicos para o desenvolvimento de tecnologia de sensoriamento remoto. Vale ressaltar

que o programa de desenvolvimento foi firmado num cenário em que existia dúvida sobre a continuidade de fornecimento de dados de sensoriamento remoto pelos países que já dominavam esta tecnologia.

Um grande desafio enfrentado pelo programa era a diferença, em termos de cultura tecnológica e de experiência prática acumulada, entre as equipes brasileiras e chinesas. Estas diferenças foram detectadas desde o início dos entendimentos que culminaram no acordo. Para superar esta dificuldade, o acordo de cooperação impôs procedimentos de alto nível baseados em padrões internacionais, os quais estavam previstos em seus 8 apêndices. Estes apêndices contemplavam os seguintes aspectos. 1. Requisitos técnicos de alto nível: definiam as características gerais do sistema. 2. Plano de desenvolvimento do CBERS. 3. Organização do Programa. 4. Rastreamento, Telemetria e Comando (TT&C) e Gerenciamento Operacional. 5. Divisão do Trabalho. 6. Participação Financeira. 7. Regulamentos para Intercâmbio de Pessoal. 8. Garantia do Produto.

Organização do programa

Para conduzir o desenvolvimento do programa foi estabelecida uma organização que abrigasse representantes, técnicos e gerenciais do INPE e da CAST que representassem as partes brasileira e chinesa. Esta organização denominada Joint Project Organization (JPO) é a responsável pelo desenvolvimento e produção dos satélites.



JPC – *Joint Project Committee*

GPM – *General Projects Managers*

ETG – *Engineering Technical Group*

EMG – *Engineering Management Group*

Figura 13: Constituição da *Joint Project Organization* – JPO

Fonte: Chagas Junior (2006a)

A figura 13 acima mostra a constituição da JPO. Dentro da JPO, o JPC é o responsável final pelo sucesso do programa. É também responsável pela definição de suas políticas de caráter geral, pela aprovação de seu plano de gerenciamento e pela tradução das necessidades dos usuários em especificações de alto nível dos sistemas, sendo composto por representantes brasileiros e chineses.

Existe um GPM brasileiro e um chinês. Estes gerentes são os responsáveis gerais pela execução do programa. Da mesma forma, o ETG e o EMG são constituídos pelos corpos técnicos brasileiros e chineses. O ETG é o responsável técnico pelas atividades no nível de sistema incluindo a definição da missão, a definição das arquiteturas mecânica e elétrica e

pelas atividades de montagem, integração e teste – assembly, integration and test – (AIT). Neste grupo, a engenharia de sistemas é claramente a disciplina dominante. O EMG é responsável pelas atividades de gerenciamento no nível de sistema, incluindo os controles de cronograma, custos, contratos de desenvolvimento de subsistemas com fornecedores e garantia do produto. Neste grupo, a gestão de projetos é claramente a disciplina dominante.

Reuniões técnicas das duas equipes são programadas regular e alternadamente no Brasil e na China para estabelecer especificações do sistema, requisitos de subsistemas, configurações de interfaces e elaborar planos de gerenciamento do programa e outros documentos.

Os técnicos do ETG definem a arquitetura do satélite e suas especificações. São responsáveis também pelas especificações abaixo do nível de sistema, que definem os desempenhos, interfaces e outros requisitos técnicos com grau suficiente de detalhe para permitir que se faça o projeto preliminar, detalhado e em seguida a produção de subsistemas e equipamentos para os modelos dos satélites.

O INPE efetua contratação das atividades de projeto e produção relativas aos equipamentos e subsistemas sob sua responsabilidade. Estas contratações se dão por meio de licitações. Nos editais das licitações constam as descrições detalhadas de trabalho (DDT), ou *statement of work* (SOW), elaboradas, a partir das especificações, pelos engenheiros que se responsabilizarão pelo acompanhamento técnico das fases dos contratos.

Estas fases são estabelecidas por meio de marcos contratuais que permitem ao corpo técnico do INPE acompanhar a progressiva materialização das entregas. As transições de fases apresentam os seguintes marcos, característicos tanto da engenharia de sistemas como da gestão de projetos: *system concept review* (SCR); *preliminary design review* (PDR) e *critical design review* (CDR). Juntamente com a CDR ocorre a entrega dos modelos de engenharia dos equipamentos. As próximas fases marcam as entregas dos modelos de

qualificação e modelos de vôo. Uma breve explicação sobre as funções destes modelos será feita na abaixo.

Estas entregas são feitas formalmente aos técnicos que pertencem à JPO, que são os responsáveis pela aceitação destas entregas. Caso as entregas não sejam aceitas, são gerados os itens de ação, que são anotações de correções de diversas naturezas que a empresa contratada precisa atender antes do evento contratual ser considerado aceito.

Vale ressaltar que no modelo de cooperação estabelecido entre o Brasil e a China foram envolvidas capacitações técnicas e gerenciais complementares, sem o compromisso formal de transferência de tecnologia entre as partes. Em muitos casos, no entanto, a interação entre as equipes se encarrega de promover a troca de conhecimentos entre as equipes, notadamente nos subsistemas com participação das duas partes no fornecimento de equipamentos, como será visto na seção abaixo que apresenta a divisão de responsabilidade em termos de subsistemas entre o INPE e a CAST.

6.3. Criação de capacitações em integração de sistemas

Os satélites CBERS são mais complexos que aqueles que haviam sido produzidos até então pelo INPE. Para se ter uma ideia desta diferença, pode-se considerar um fator multiplicativo de ordem 10 entre algumas variáveis do satélite, como massa e potência gerada, entre os satélites da MECB e os CBERS. Portanto, os desafios técnicos e gerenciais enfrentados pelas equipes do INPE foram muito grandes, tanto no desenvolvimento do sistema como um todo, com a equipe da CAST, como nos subsistemas e equipamentos sob sua responsabilidade, possibilitando o aumento do nível de maturidade de sua equipe em programas desta magnitude.

Inicialmente, será analisada a primeira etapa do programa: o desenvolvimento, produção e operação de dois satélites de sensoriamento remoto.

Como resultado do sucesso dos dois primeiros satélites, CBERS 1&2, um segundo acordo foi firmado entre as partes para dar continuidade ao programa, prevendo o desenvolvimento e produção da segunda geração de satélites, os CBERS 3&4. Posteriormente, foi verificado que haveria um período de tempo sem fornecimento de imagem entre o fim da vida útil do CBERS 2 e o início de operação do CBERS 3, razão pela qual os dois países decidiram desenvolver o satélite CBERS 2B. Este satélite cobrirá este período de tempo e será integrado basicamente com equipamentos e subsistemas reservas do programa original.

Na segunda etapa do programa, participação do Brasil passou de 30% para 50%. Para o CBERS 2B a participação do primeiro acordo foi mantida.

6.3.1 CBERS 1&2

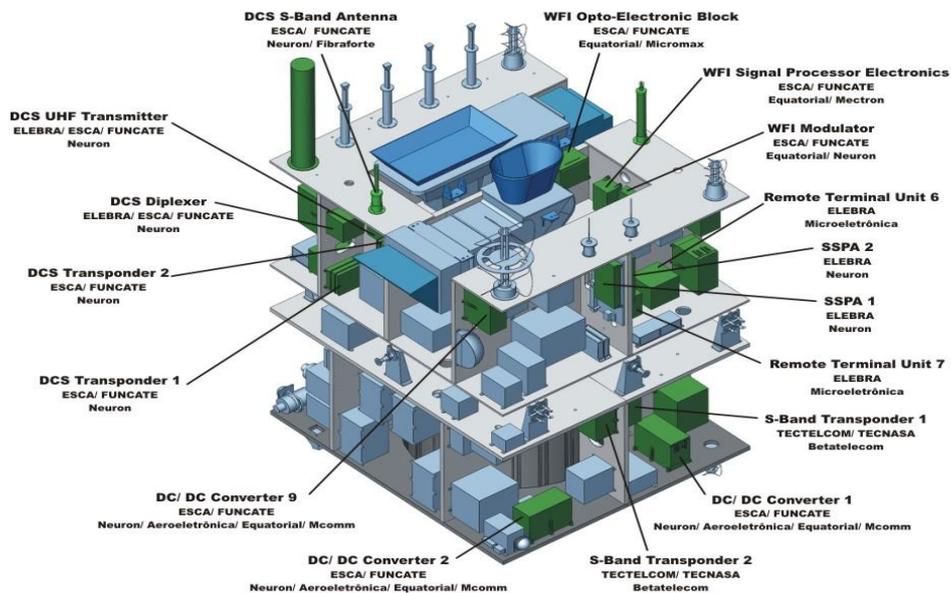
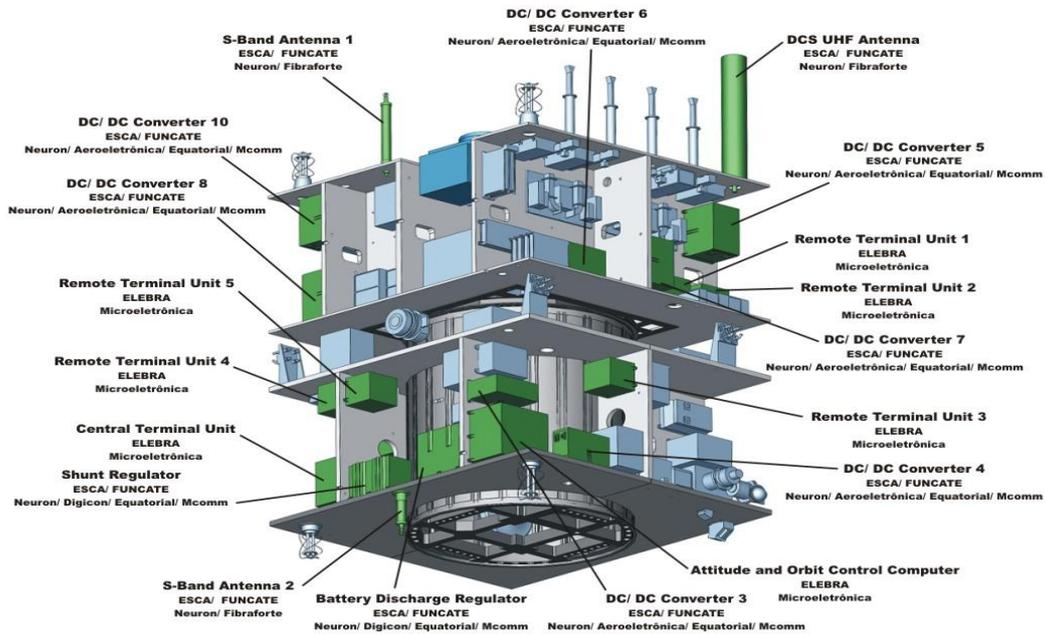
Quando o Brasil estabeleceu o acordo de cooperação, a China já havia iniciado um projeto para a produção de um satélite de sensoriamento remoto, que estava na transição entre as fases conceitual e de desenvolvimento. Apesar disso, não houve impedimentos para que diversas modificações fossem introduzidas por influencia da equipe do INPE durante a fase de definição preliminar do projeto, estabelecida depois da entrada do Brasil no programa. Estas modificações ocorreram em diversos níveis: desde aquelas com impacto sobre todo o programa, como a implantação do método sistêmico de gerenciamento e de garantia da qualidade do produto, até aquelas de natureza mais específica, como a introdução do subsistema de imageamento de amplo campo de visada – Wide Field Imager (WFI) –, concebido para os satélites da MECB.

Alguns aspectos, de relevância para a criação de capacitações em integração de sistemas, foram objetos de preocupação pelo lado brasileiro na fase de preparação do acordo. Entre estes aspectos, destacam-se as atividades de montagem, integração e testes (AIT) de um modelo de vôo no Brasil e a operação dos satélites feitas pelo lado brasileiro. Como quem dominava todo o ciclo era a parte chinesa, estes aspectos entraram no acordo como anseios da parte brasileira, sujeitos a resolução posterior.

O lançamento ocorreu com atrasos em relação à programação original. Da parte brasileira, modificações importantes no Ministério da Ciência e Tecnologia, ao qual o INPE é subordinado, as turbulentas intervenções econômicas do plano Collor, incluído cortes orçamentários no setor espacial, e o processo falimentar da empresa ESCA, contratada para fornecer diversos equipamentos de subsistemas sob responsabilidade brasileira, foram importantes causadoras destes atrasos.

No caso da ESCA, a solução encontrada foi a assunção destes contratos pela FUNCATE – Fundação de Ciência de Aplicações e Tecnologia Espacial -, em caráter emergencial.

Nas figuras abaixo são apresentadas duas vistas do satélite aberto com seus equipamentos.



Figuras 14 e 15: duas vistas do satélite aberto e as empresas fornecedoras brasileiras de equipamentos dos CBERS 1&2

Fonte: INPE

Os equipamentos verdes são de responsabilidade brasileira e os azuis de responsabilidade chinesa.

Nas figuras 2 e 3, na primeira linha está indicado o nome do equipamento. Na segunda linha estão as empresas contratadas diretamente pelo INPE e na terceira linha, as subcontratadas por estas empresas.

Na tabela abaixo são apresentadas as características gerais dos CBERS 1&2.

Características Gerais	
Massa total	1450 kg
Potência gerada	1100 W
Dimensões do corpo	(1,8 x 2,0 x 2,2) m
Dimensões do painel	6,3 x 2,6 m
Altura da órbita hélio-síncrona	778 km
Propulsão a hidrazina	hidrazina
Estabilização	3 eixos
Supervisão de bordo	Distribuída
Telecomunicação de Serviço	UHF e banda S

Tabela 3: Características gerais dos CBERS 1&2

Fonte: INPE

Para o CBERS 1&2, dos recursos empregados pela parte brasileira, 29% corresponderam à contratação de fornecedores nacionais de equipamentos da indústria espacial. Os 71% restantes, foram empregados da seguinte forma: 32% em contratações de serviços feitas no exterior, 20% em compras de insumos e equipamento para serem usados pelo próprio INPE e seus contratados, 11,8% em recursos humanos e despesas de outras áreas

do INPE e 7% para viagens à China ao longo de 14 anos de trabalho (Furtado e Costa Filho, 2001).

Em nível de subsistemas, a divisão de responsabilidades ocorreu da forma apresentada na tabela 2 abaixo.

Módulo	Subsistema	Responsabilidade
Módulo de Serviço	Estrutura	Brasil
	Controle Térmico	China
	Controle de Órbita e Atitude	China
	Cablagem	China
	Suprimento de Energia	Brasil
	Supervisão de Bordo	China
	Telecomunicações de Serviço	Brasil/China
Módulo de Carga Útil	Câmera CCD	China
	Câmera IRMSS	China
	Câmera WFI	Brasil
	Transmissor de Dados Imagem	China
	Sistema de Coleta de Dados	Brasil
	Monitor de Ambiente Espacial	China

Tabela 4: Divisão de trabalho entre subsistemas, CBERS 1&2

Fonte: Adaptado de INPE

Embora a responsabilidade fosse claramente definida em nível de subsistemas, houve subcontratação de equipamentos efetuada entre os dois países. Estas subcontratações cruzadas ocorreram em virtude das capacitações de cada país, relativas a desenvolvimentos específicos, o que reduzia a incerteza tecnológica do programa. Podem-se citar como exemplos os seguintes subsistemas do módulo de serviço:

- Estrutura: a China desenvolveu o projeto técnico e forneceu o mecanismo de acoplamento no Veículo Lançador;
- Suprimento de energia: a China forneceu as células solares e baterias;
- Supervisão de Bordo: o Brasil fabricou as unidades terminais centrais e remotas (CTU e RTU);
- Controle de órbita e atitude: coube ao Brasil fornecer os computadores de controle de órbita e atitude.

Em termos de capacitação, o Brasil encontra-se hoje em condições de desenvolvimento autônomo de todos os subsistemas mencionados na tabela 2, com exceção do subsistema de controle de órbita e atitude. Neste subsistema, existe grande preocupação quanto ao controle de informações, pois esta tecnologia é considerada sensível devido às possibilidades de uso militar. Como consequência, este é o subsistema onde as capacitações tecnológicas brasileiras continuam relativamente baixas, existindo grande dependência de fontes externas para o seu desenvolvimento, embora se consiga fazer as especificações em nível de sistema.

No que tange aos componentes para produção dos equipamentos dos subsistemas, o Brasil ainda é dependente de importação dos mesmos, principalmente aqueles eletrônicos, pois a indústria nacional ainda não é capaz de produzi-los com qualidade espacial. Ou seja, componentes qualificados para operar sob condições de vácuo e variações intensas de

temperatura apresentando alto nível de confiabilidade. Normalmente, estes componentes, são de alto valor agregado.

6.3.1.1 A integração dos CBERS 1& 2

O CBERS 1 foi integrado na China, conforme previsto no acordo original. Quanto ao CBERS 2, em 1993 foi assinado um termo complementar, que atendeu dois aspectos dos anseios brasileiros. Um destes aspectos foi a realização da montagem, integração e testes (Assembly, Integration and Test) - do modelo de vôo 2 (Flight Model 2 - FM2) nas instalações do INPE. O outro aspecto foi a operação do satélite feita pela equipe brasileira.

O laboratório de integrações e testes (LIT), concebido em 1978, efetuou diversas melhorias para que se pudessem realizar as atividades de integração e testes em um satélite do porte e complexidade do CBERS.

No entanto, e apesar das melhorias efetuadas, o teste de termo-vácuo exigiu que os módulos de serviço e carga útil fossem separados, visto que a câmara vácuo-térmica não comportava um satélite das dimensões do CBERS. Os módulos foram testados separados fisicamente, mas conectados na parte elétrica permitindo que fossem avaliados os efeitos de um módulo sobre o outro. Além disso, o teste de vibração acústica não pode ser realizado no Brasil, pois a câmara acústica reverberante não estava pronta na época (Lino, Loureiro e Vertamatti, 2002).

Os testes duraram 14 meses e contaram com uma equipe de técnicos da CAST. No final de 2001, o FM2 foi enviado para a China para a realização dos testes acústicos e preparação da campanha de lançamento.

6.3.1.2 Os lançamentos

O CBERS 1 foi colocado em órbita em 1999 pelo foguete chinês Longa Marcha 4b a partir do centro de lançamento de Taiyuan. O lançamento do CBERS-2 foi feito por meio do foguete Longa Marcha 4B em outubro de 2003 a partir do mesmo centro.

A vida útil dos CBERS- 1 & 2 era prevista para dois anos, com 60% de confiabilidade. Para o caso do CBERS 1 a vida útil foi de 4 anos, e o CBERS 2 previsto para sair de operação em outubro de 2005, continua operando até o presente momento.

6.3.1.3 Propriedades Emergentes

Quando em um sistema existe necessidade de integração de diferentes tecnologias, que desempenham diversas funções que não podem ser completamente desacopladas, este sistema fica sujeito ao que se convencionou chamar de propriedades emergentes.

Em operação, isoladamente, estes equipamentos e subsistemas não apresentam nenhuma disfunção, mas quando integrados, a interdependência de um equipamento ou subsistema sobre o restante, ou o acoplamento de um equipamento sobre o sistema gera propriedades não previstas, ou emergentes. Existem técnicas de partição, ou decomposição da arquitetura do sistema que procuram evitar o acoplamento entre as suas funções. Na realidade, as capacitações em integração de sistemas têm suas origens na especialização de organizações em conceber a arquitetura de um sistema, decompô-la em subsistemas, os quais serão atribuídos a fornecedores ou parceiros que irão desenvolvê-los e produzi-los, e então integrá-los a jusante do processo.

Em sistemas complexos, como é o caso do CBERS, a quantidade de funções executadas após sua integração é muito grande e diversificada e os fenômenos de acoplamento são inevitáveis. Por mais elaboradas que sejam as técnicas de decomposição das

arquiteturas, algumas propriedades emergentes somente são identificadas com o uso. Uma vez identificadas são efetuadas as análises de causa-efeito possíveis. Ressalta-se que este processo de análise se dá por tentativa e erro, pois as causalidades não são diretas. Ao contrário, em função da interdependência entre as partes, existe forte cumulatividade de efeitos.

O caso de acoplamento que será apresentado a seguir pode ser enquadrado nesta categoria. Em função da experiência adquirida com a operação do CBERS-1, foram detectados acoplamentos entre subsistemas. Será feito uma descrição sucinta desta propriedade emergente.

A câmera IRMSS – imageador por varredura de média resolução - opera com um espelho que fica oscilando de forma a fazer a varredura da imagem sobre os diversos sensores ópticos, por isso fala-se em scanner da câmera. O movimento desse espelho provocou certas vibrações e, através de acoplamentos mecânicos entre os subsistemas, fez com que o espelho da câmera CCD – imageador de alta resolução – entrasse em ressonância e, conseqüentemente, o espelho da CCD também vibrava, culminando na perda de nitidez da câmera. Para o CBERS 2, foram realizados outros testes e a análise conjunta de técnicos que trabalham com as imagens e técnicos de AIT permitiu que as causas acoplamento fossem identificadas e removidas. Neste caso não houve necessidade de alterações de projeto. No entanto, na maioria das vezes, estas propriedades exigem alterações de projeto.

6.4.Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas

Com a decisão de fornecimento gratuito das imagens do CBERS-2 ocorreu um aumento significativo de usuários interessados em fazer uso das mesmas. Abaixo serão apresentados alguns dos principais usuários das imagens geradas pelos satélites CBERS e os usos que fazem destas imagens.

PETROBRÁS. Principais usos: mapeamento geológico, mapas de sensibilidade ambiental, avaliação de impactos, logística do controle de contingências, monitoramento de movimentos de massa, monitoramento de regeneração ambiental.

SMA-SP - Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Pesquisas visando à geração de conhecimento voltado à gestão ambiental; conservação, manejo e ampliação das florestas; planejamento e educação ambiental; licenciamento ambiental de atividades potencialmente degradadoras / poluidoras; proteção aos mananciais da Região Metropolitana da Grande São Paulo. A SMA destacou que a atualização das bases para os levantamentos que faz sistematicamente era feita a cada 3 ou 4 anos, e que depois do CBERS, essas atualizações passaram a ser anuais e que é possível obter imagens atualizadas a qualquer momento.

CEFET-GO – Centro Federal de Ensino Tecnológico de Goiás. A partir de 1999, o CEFET-GO passou a oferecer 2 novos cursos da área de Geomática: Tecnólogo em Agrimensura e Tecnólogo em sensoriamento Remoto/ Geoprocessamento. Observou que o mercado de trabalho para essas áreas cresceu muito a partir da entrada em operação dos satélites brasileiros de sensoriamento remoto. Destacou a importância da disponibilidade frequente e gratuita das informações de sensoriamento Remoto para cursos como Geologia, Geografia, Agronomia, Agrimensura, Arquitetura e Urbanismo, Cartografia, Engenharia civil, etc

SEFAZ-GO – Secretaria da Fazenda de Goiás. Arrecadação fiscal com auxílio do CBERS.

Na década de 90, houve um incremento do uso de tecnologias no campo e do crescimento do número de pivôs de irrigação no Estado. Em 99/2000, decidiu-se utilizar imagens de sensores orbitais para previsão da safra no Estado de Goiás. Objetivos: aumentar a arrecadação direta dos produtos agrícolas ainda tributados; aumentar a arrecadação nas etapas seguintes do ciclo direto do ICMS – agroindústria e distribuição – em consequência do maior

controle no produto primário. Atualmente, no Estado de Goiás, 2000 produtores são monitorados, os quais são responsáveis por 90% da produção do segmento.

IBGE. Atualização do mapeamento temático do Projeto RadamBrasil (Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação).

INCRA. Utilização do CBERS em processos de Reforma Agrária. As imagens são utilizadas para fins de mapeamento do uso da terra e subsidiam a elaboração do mapa de capacidade de uso, com vistas a definição do ante-projeto de parcelamento.

EMBRAPA. Mapeamento da cobertura de solos do Cerrado. 29,4% dos Centros da Embrapa utilizam imagens CBERS.

ANA – Agência Nacional das Águas. A agricultura irrigada é uma das principais atividades fiscalizadas e o sensoriamento remoto é uma ferramenta importante no processo de fiscalização, permitindo o cotejo das outorgas e identificação de áreas não outorgadas. Além disso, as imagens do CBERS são importantes para mapeamento dos reservatórios existentes em todo o território nacional. Coloca como grande vantagem do CBERS em relação a outros sensores orbitais a rapidez na aquisição das imagens e o fato de não haver custo na aquisição.

PROJETO DETER. Detecção de queimada em Tempo Real na Amazônia Legal.

GEOAMBIENTE. Empresa sediada em São José dos Campos, que atua desde 1995 com concepção e implantação de soluções, que envolvam informações geográficas. Para a indústria de minérios, por exemplo, fornece um modelo digital de elevação para suporte à pesquisa mineral. A Votorantim Metais é um de seus clientes. Coloca como desafio a obtenção de imagens de alta resolução para atender o mercado privado de uso do sensoriamento remoto, ou seja, vislumbra uma fatia de mercado que pode ser atingida a partir da melhoria das imagens dos satélites.

IMAZON. Monitoramento da Exploração Madeireira na Amazônia com imagens CBERS.

Deste conjunto de usuários, a PETROBRAS, a EMBRAPA e o INCRA solicitaram melhorias da qualidade das imagens geradas pelo CBERS de acordo com as necessidades específicas de suas aplicações. Conforme salientado por Lundvall (1985) esta interação usuário-produtor é um item fundamental em processos de inovação tecnológica. Neste caso, temos potenciais aumentos de produtividade e melhoria de qualidade de produtos que poderão advir do progresso técnico incorporado nos satélites.

Atuando como um fornecedor de meio de produção para diversas indústrias, o INPE, ao atender às solicitações de inovação feitas por seus usuários faz com que a tecnologia incorporada em seus satélites se difunda no sistema econômico (Rosenberg, 1976). Esta difusão pode resultar em aumento de produtividade de fatores de produção das indústrias a jusante deste processo, ou na melhoria da qualidade de bens ou serviços produzidos por estas indústrias, ou ainda, em uma combinação de aumento da produtividade e melhoria da qualidade.

Ao atender às necessidades dos usuários, a integração de sistemas está sendo considerada em um outro nível, na medida em que a preocupação deixa de ser o desenvolvimento de um satélite que apresente um bom desempenho, e passa a ser o fornecimento de imagens para seus usuários. Sob esta perspectiva, a preocupação recai sobre as condições de geração, captura e transformação dos dados, provenientes do sensoriamento remoto, em imagens, ou seja, deve-se considerar a arquitetura de um conjunto de sistemas, ou sistema de sistemas.

6.4.1 CBERS 2B

O CBERS 2B foi lançado em setembro de 2007, e desde então está em operação. Sua montagem, integração e teste neste mês teve início em junho de 2006. Em virtude da grande importância e esforço de integração em um satélite, o desenvolvimento do mesmo é dividido

em três etapas: fabricação do modelo de engenharia, onde o conceito funcional do satélite deve ser provado por meio de testes funcionais eletrônicos e mecânicos; fabricação do modelo de qualificação, que é desenvolvido com o objetivo de verificar se o satélite resiste a vibração, a choques térmicos, a solicitações estruturais ainda mais rigorosos que as condições de operação, além de avaliar as condições de interferência e compatibilidade eletromagnética. E a fabricação do modelo de vôo, que será efetivamente lançado.

Estes testes são realizados em laboratórios especializados com equipamentos que simulam as condições que o satélite estará sujeito quando em operação. O CBERS 2B como herdeiro sistêmico dos CBERS 1&2, terá somente o modelo de vôo, pois o sistema já havia sido qualificado anteriormente.

A nova câmara vácuo-térmica estará pronta para os testes de termo-vácuo do CBERS 2B, não sendo necessário a separação entre módulos como ocorreu no CBERS 2. Com esta câmara pronta, bem como com aquela de acústico-reverberante, o LIT estará apto a oferecer a matriz completa de testes necessários para simular as condições a que um satélite será submetido, desde o lançamento até as condições adversas da fase de operação, e se torna o único laboratório do hemisfério sul com capacitações para realizar todas as atividades da fase de AIT para a indústria espacial.

Em relação aos CBERS 1&2, no 2B houve uma substituição da câmara IRMSS – imageador de varredura de média resolução - por uma câmara imageadora de alta resolução, High Resolution Camera (HRC) resolução espacial é de 2,7 m. As imagens geradas pelas três câmeras – CCD, WFI e HRC – suportam uma ampla gama de usos que já estão em curso, e diversos outros potenciais, como, por exemplo, para fins de gerenciamento urbano, incluindo planejamento, tributação, e controle do uso do solo urbano.

6.4.2 CBERS 3&4

A segunda geração de satélites CBERS ocorre com a participação brasileira passando de 30% para 50%, e obedecerá à subdivisão de subsistemas apresentada na tabela 3 abaixo.

Módulo	Subsistema	Responsabilidade
Módulo de Serviço	Estrutura	Brasil
	Controle Térmico	China
	Controle de Órbita e Atitude	China
	Suprimento de Energia	Brasil
	Cablagem	China
	Supervisão de Bordo	China
	Gravador Digital de Dados	Brasil
	Telecomunicações de Serviço	Brasil
Módulo de Carga Útil	Câmera PAN	China
	Câmera MUX	Brasil
	Câmera IRS	China
	Câmera WFI	Brasil
	Transmissor de Dados da PAN e da IRS	China
	Transmissor de Dados da MUX e da WFI	Brasil
	Sistema de Coleta de Dados	Brasil
	Monitor de Ambiente Espacial	China

Tabela 5: Divisão de trabalho entre subsistemas, CBERS 3&4

Fonte: Elaboração do autor

Para os satélites CBERS 3&4, a participação de fornecedores brasileiros da indústria espacial, por meio da contratação de serviços para os subsistemas que ficaram a cargo do Brasil, corresponderá a 52 % do total de recursos empregados pelo país. Importante lembrar que este aumento percentual de participação da indústria espacial brasileira se refere aos 50% do Brasil, enquanto que os 29% dos CBERS 1&2 se referem à participação de 30% do total.

Em paralelo ao esforço de desenvolvimento da segunda geração de satélites, está ocorrendo a definição da terceira geração de satélites: CBERS 5&6, entre as equipes de arquitetos do INPE e da CAST. Outra parceria entre o INPE e a CAST poderá ocorrer visando à produção de satélites utilizando tecnologias de radar para o sensoriamento remoto, o CBERS – SAR.

6.4.3 Taxa de mudança técnica

Em função da evolução das necessidades dos usuários, brasileiros e chineses, novos requisitos funcionais foram considerados no desenvolvimento da segunda geração de satélites CBERS. Embora a arquitetura funcional tenha sido mantida nesta segunda geração, as soluções de engenharia adotadas não foram as mesmas, principalmente no módulo de carga útil. Para atender aos novos requisitos funcionais, foi necessário o desenvolvimento de novas câmeras com maior resolução. A câmera CCD foi substituída por duas câmeras: a Pancromática multiespectral (PAN) de resolução 5 e 10 metros e a Multiespectral (MUX) de resolução 20 metros. A IRMSS foi substituída pela IRS e a resolução passou de 80/160 para 40/80 metros. A WFI, antes em versão experimental, passou a uma versão operacional e a resolução passou de 260 metros para 64 metros. As tabelas 4 e 5 abaixo apresentam as diferenças entre resoluções e as consequentes taxas de dados brutas geradas por estes subsistemas.

O satélite não fotografa como nossas máquinas fotográficas convencionais. As câmeras imageadoras possuem uma barra detectora para cada banda espectral. Cada barra detectora é composta de centenas de detectores coupled charged device (CCD) montados em linha. Cada detector CCD, capta as diferentes radiações de cada ponto da terra. Cada detector corresponde a 1 pixel, que por sua vez representa a resolução da câmera imageadora. A radiação detectada por cada detector CCD (pixel) é quantizada em vários níveis de tensão. O valor quantizado da radiação detectada é transformado em uma palavra binária. A soma de todas estas palavras binárias de todos os detectores que compõe a linha da barra de detectores CCD determina, grosso modo, a taxa de dados de imagem que deverá ser transmitido para a estação receptora de imagens.

Características das câmaras do CBERS 3&4				
	PAN	MUX	IRS	WFI
Bandas espectrais	0,51 - 0,75 μm	0,45 - 0,52 μm	0,50 - 0,90 μm ;	0,45 - 0,52 μm
	0,52 - 0,59 μm	0,52 - 0,59 μm	1,55 - 1,75 μm	0,52 - 0,59 μm
	0,63 - 0,69 μm	0,63 - 0,69 μm	2,08 - 2,35 μm	0,63 - 0,69 μm
	0,77 - 0,89 μm	0,77 - 0,89 μm	10,40 - 12,50 μm	0,77 - 0,89 μm
Resolução	5 m/10 m	20 m	40 m/ 80 m	64 m
Largura da faixa imageada	60 km	120 km	120 km	866 km
Quantização	8 bits	8 bits	8 bits	10 bits
Taxa de dados bruta	140 Mbit/s 100 Mbit/s	68 Mbit/s	16 Mbit/s	50 Mbit/s

Tabela 6: Características das câmaras CBERS 3& 4

Fonte: Adaptado de INPE

Características das câmaras do CBERS 1&2			
	CCD	IRMSS	WFI
Bandas espectrais	0,51 - 0,73 μm	0,50 - 1,10 μm	0,63 - 0,69 μm
	0,45 - 0,52 μm	1,55 - 1,75 μm	0,77 - 0,89 μm
	0,52 - 0,59 μm	2,08 - 2,35 μm	
	0,63 - 0,69 μm	10,40 - 12,50 μm	
	0,77 - 0,89 μm		
Resolução	20 m	80 x 80 m (160 x 160 m)	260 x 260 m
Largura da faixa imageada	113 km	120 km	890 km
Quantização	8 bits	8 bits	6 bits
Taxa de dados Bruta	2 x 53 Mbit/s	6,13 Mbit/s	1,1 Mbit/s

Tabela 7: Características das câmeras CBERS 1&2

Fonte: Adaptado de INPE

Estes dados são captados e transformados em imagens. Estes aumentos de resolução só se tornaram viáveis em função da elevada taxa de mudança técnica dos equipamentos de informação e telecomunicação relacionados com a geração, captação e transmissão de dados.

A criação destas capacitações se viabilizou após assinatura do termo complementar ao acordo, de 1993. Neste caso, o balanceamento do sistema se refere ao conjunto de sistemas necessários para inventariar, gerenciar e monitorar os recursos terrestres de usuários com atividades tão distintas quanto agricultura, geologia, meteorologia, meio ambiente e florestas, hidrologia etc. A expressão “sistema de sistemas” vem sendo usada de maneira crescente para se referir a este conjunto, pois neste caso o satélite seria um dos sistemas considerados.

6.3.4 Interdependência sistêmica

Como vimos acima, o aumento da resolução gera um aumento da taxa de dados. Ocorre que o aumento da taxa de dados bruta implica um sistema de transmissão de dados mais complexo, com o aumento da potência elétrica consumida pelo transmissor de dados e, por conseguinte, da potência térmica dissipada, além do aumento de massa. O aumento da potência elétrica consumida tem impacto no subsistema de suprimento de energia. O aumento da potência térmica dissipada impacta no subsistema de controle térmico do satélite. A massa maior tem impacto no subsistema estrutural. A maior resolução também implica alteração no controle de órbita e atitude em função dos requisitos de precisão necessários para manter o foco da imagem. Em suma, a alteração na resolução, a princípio relacionada com as câmeras imageadoras, solicitada pelos usuários, gera alterações em todos os outros subsistemas do módulo de serviço.

Como consequência, a massa total do CBERS 3&4 deverá ser de 2000 Kg e a potência gerada de 1500 W. Para o CBERS 1& 2, estes valores eram 1450 Kg e 1100 W (ver tabela 1).

7. Análise

7.1 Acumulação de estoque de conhecimento e estrutura organizacional

Nas inovações, em sistemas complexos, caracterizadas por elevado grau de interdependência sistêmica e domínio de uma base tecnológica ampla, composta por diversas disciplinas, que avançam em diferentes velocidades, um fator fundamental é a forma como a integração de equipes de especialistas ocorre. As organizações envolvidas com inovações deste tipo são submetidas a diferentes dinâmicas de adaptação que alteram, com muita frequência, suas estruturas organizacionais. Desta maneira, o comportamento destas organizações, que atribuem grande ênfase a flexibilidade, se aproxima do comportamento das estruturas orgânicas, para permitir sua adaptação às condições do ambiente, onde estão inseridas. Nestas organizações, o conhecimento especializado é extremamente reconhecido e valorizado. Como consequência, as tomadas de decisão são descentralizadas e, muitas vezes, não seguem procedimentos formalizados, mas sim o aconselhamento entre equipes de especialistas envolvidas com determinada questão.

Em função da alta frequência de alterações sofridas por estas organizações, Mintzberg (1994) a elas se refere como *Adhocracias* de uma sociedade. É nestas organizações que ocorre o verdadeiro florescimento da noção de estratégia emergente. As lideranças envolvidas tendem a privilegiar a criação de condições para a formação de estratégias que estejam alinhadas com os objetivos da organização, e não suas formulações e implementações. Isto não quer dizer que as estratégias sejam puramente emergentes, o que implicaria abdicação da necessidade de liderança, de definição e propósito de atingir objetivos estratégicos. O que se ressalta é a necessidade de fomento à criação de condições que permitam a aprendizagem contínua, por meio de esforços de pesquisa já em curso, e por meio de esforços de pesquisa

especulativa que levam à variação organizacional, através de novas formas de integração de suas rotinas.

É comum, em organizações envolvidas com inovações que ocorrem por meio de refinamentos sucessivos, a existência de certa informalidade na gestão de processos organizacionais. A organização deve delegar poder aos especialistas, cujas habilidades e conhecimentos são desenvolvidos por meio de treinamentos formalizados, que exigem longos períodos de maturação. Esta forma de coordenação ocorre basicamente de acordo com as necessidades de integração de habilidades e conhecimentos especializados de diferentes grupos funcionais da organização, com vistas a atender aos requisitos de projetos de inovação.

De acordo com as necessidades específicas de cada problema e por meio de ajustes mútuos entre especialistas, a estrutura que permite a coordenação de projetos, através de diferentes formas de integração de equipes multidisciplinares, é a matricial.

A estrutura organizacional do INPE é matricial, pois o elevado número de especializações funcionais, que devem ser integradas, com base em projetos, para a resolução de problemas específicos, que se alteram com elevada frequência, exige esta estrutura. A estrutura matricial do INPE é balanceada, e alguns projetos, de grande visibilidade e elevada importância estratégica, dispõem de gerentes com dedicação exclusiva a estes projetos.

No caso específico do programa CBERS, existe uma organização com base em projetos, composta por equipes do INPE e da CAST, a *Joint Project Organization* (JPO), como mostrado na figura 13. Os responsáveis finais pelo sucesso dos projetos são os membros do *Joint Project Committee* (JPC), que definem as missões e as políticas que devem ser seguidas nos projetos do programa. A execução destas cabe aos gerentes gerais dos projetos – General Project Manager (GPM). Existe um GPM pelo lado do INPE e um pelo lado da CAST. Hierarquicamente, abaixo destes gerentes estão as equipes técnicas e de gestão, os arquitetos, que traduzem as necessidades das missões em requisitos e propõem as

soluções para atendê-los no nível do sistema. Com base na partição do sistema, faz-se a divisão do trabalho em termos de desenvolvimento de subsistemas, que deverão ser integrados, de acordo com a arquitetura inicialmente prevista. A segunda geração de satélites – CBERS 3&4 – manteve a mesma arquitetura da primeira geração – CBERS 1&2 e CBERS 2B.

No esforço de planejamento estratégico, recentemente, promovido pelo INPE, um Grupo de Trabalho realizou levantamento das estruturas organizacionais desde sua criação – gestão Fernando Mendonça – até a configuração atual – gestão Gilberto Câmara. Neste trabalho, foram identificados 27 organogramas desde o primeiro organograma formalizado, datado de 06 de janeiro de 1972. A documentação sobre estratégias de alteração e atualização destas estruturas organizacionais é quase absolutamente ausente, segundo o relatório do grupo, datado de 22 de fevereiro de 2007. Tal variabilidade e a ausência de documentação são consistentes com a dinâmica da inovação em sistemas complexos.

Uma grande vantagem do INPE é a manutenção, dentro de sua estrutura organizacional, dos cursos de pós-graduação. Criados em 1968, estes cursos foram fundamentais para a formação de recursos humanos que não existiam no país. A formação de recursos humanos foi necessária para a criação de massa crítica, relacionada ao segmento espacial, que o Brasil não dispunha. Esta formação de mão de obra especializada não representa uma atividade fim da organização, mas uma atividade que visa a fornecer programas de treinamento formalizados, de longa duração, para a formação de especialistas em diversas áreas que a organização considera como necessárias. Estes pesquisadores especialistas, complementados por outros, de diferentes universidades e institutos de pesquisa tanto do Brasil como das economias centrais, são alocados nos esforços de pesquisa científica e tecnológica de departamentos funcionais e de projetos e programas, que visam a atender aos seus propósitos e missões.

Os esforços de pesquisa científica e tecnológica estão agrupados nas seguintes áreas: Ciências Espaciais e Atmosféricas, Engenharia e Tecnologia Espacial, Observação da Terra, Rastreamento e Controle de Satélites, Laboratório de Integração e Testes, Previsão do Tempo e Estudos Climáticos e os Laboratórios Associados, que, por sua vez, são compostos por Laboratórios de Sensores e Materiais, Computação e Matemática Aplicada, Plasma, Combustão e Propulsão. Algumas destas áreas tendem a estar mais próximas da pesquisa básica, como as Ciências Espaciais e Atmosféricas, que estudam fenômenos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera e no espaço. Outras áreas, como a Engenharia e Tecnologia Espacial e o Laboratório de Integração e Testes, realizam projetos com características próximas às de pesquisa aplicada. Outras ainda exigem a conciliação de projetos de pesquisas aliados a operações como a Previsão do Tempo e os Estudos Climáticos, a Observação da Terra e o Rastreamento e Controle de Satélites.

Uma importante missão do INPE tem sido a observação da terra por meio de programas de desenvolvimento tecnológico em sensoriamento remoto. A estrutura matricial propicia as condições para a integração de diversas especialidades nestes programas, envolvendo projetos e operações interdependentes que ocorrem paralela e sequencialmente. Desta maneira, diversos especialistas podem trabalhar conjuntamente, em equipes multidisciplinares estabelecidas de acordo com as necessidades dos projetos e operações relacionadas.

A figura 16 representa as principais áreas de pesquisa, e a necessidade de interação entre elas, para produção do estoque de conhecimentos necessários à efetiva produção desta tecnologia até seus usuários finais.

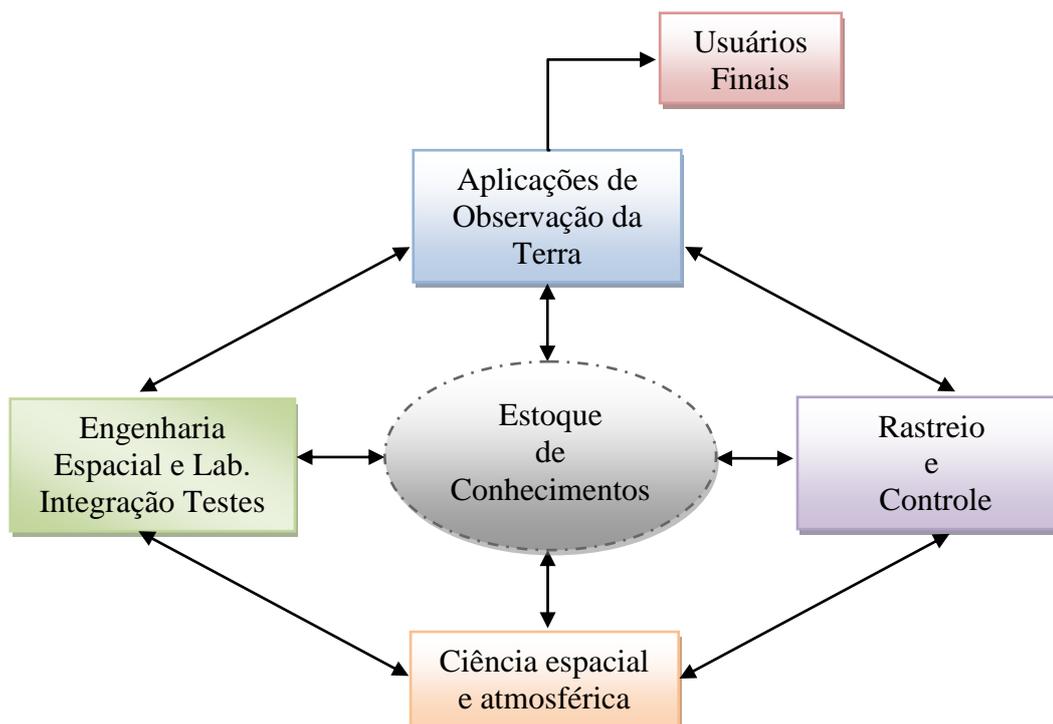


Figura 16: Interação entre áreas de pesquisa: tecnologia de sensoriamento remoto

Fonte: elaborado pelo autor

O modelo de interação entre as principais áreas de pesquisa apresentado na figura 16 visa a representar a necessidade de criar um estoque de conhecimentos mínimo, que depende do nível de outros estoques de conhecimento, para que a tecnologia possa ser desenvolvida. Cada uma destas áreas é composta por diversas disciplinas científicas e tecnológicas. A exigência de massa crítica em todas as áreas mostradas na figura 16 representa um desafio importante para o domínio da tecnologia de sensoriamento remoto. Para a criação e evolução da tecnologia, estas áreas devem estabelecer conexões recíprocas permitindo seu balanceamento, desde sua criação, tornando o desafio ainda maior. Desta maneira, a unidade útil para a composição do estoque de conhecimento é extremamente reduzida, em função do caráter idiossincrático do desenvolvimento tecnológico. A compra de soluções prontas ou a

imitação de soluções já propostas em outros contextos, muitas vezes, criam mais problemas de balanceamento com outras áreas que o desenvolvimento de solução autóctone, que já leva em consideração às especificidades das outras áreas.

Assim, a acumulação de estoque de conhecimento mínimo que permite a criação de sistemas complexos, exige o balanceamento entre massas críticas, ou estoques de conhecimentos, das diversas áreas tecnológicas que fundamentam estes sistemas. Estas diversas áreas podem requer esforços de pesquisa e respectivos tempos de maturação distintos. Desta maneira, um importante item a ser considerando na formulação de uma estratégia de desenvolvimento de tecnologia complexa é o volume de investimento em P&D com vistas à acumulação de massa crítica requerida pela tecnologia nas diferentes áreas que a fundamentam.

No caso do programa CEBRS, existe uma superposição de esforços para a criação de satélites de sensoriamento remoto, envolvendo, fundamentalmente, a área de engenharia espacial e os laboratórios de integração e testes. Existe uma divisão do trabalho entre subsistemas e também um esforço conjunto entre as duas partes no desenvolvimento de subsistemas específicos, por meio do fornecimento cruzado de equipamentos, que representam grandes desafios tecnológicos para o programa, como foi visto na seção 5.3.1.

7.2 Criação de Valor Econômico

Brazil has set an important precedent by making its Earth-observation data available, and the rest of the world should follow suit. This is more than a matter of common courtesy. It will foster the kinds of checks and balances and independent analysis that must necessarily

underpin a viable carbon market. (NATURE n.452, p. 127-128 (Março 2008).

A passagem da condição de operador de tecnologias estrangeiras – o INPE começou a receber e distribuir imagens de satélites em 1973 – para a condição produtor de veículos espaciais teve início com o a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) que construiu os Satélites de Coleta de Dados 1 e 2 (SCD1 e SCD2). Estes foram os primeiros satélites concebidos, desenvolvidos e operados pelo INPE. O SCD1 foi lançado em 1993 e o SCD2 foi lançado em 1998. Com vida útil estimada em 1 e 2 anos, respectivamente, estes satélites ainda estão em operação, com desempenho altamente satisfatórios, provendo informações relevantes a diversos setores da sociedade. Esta missão foi aprovada pelo governo federal em 1979, e previa o lançamento de 5 satélites sob responsabilidade do INPE, 3 de coleta de dados e 2 de sensoriamento remoto.

O SCD3 deverá ser lançado em 2010 e, além da missão de coleta de dados, deverá testar um subsistema de controle de órbita e atitude estabilizado em três eixos. Este subsistema é fundamental para o progressivo refinamento de diversos subsistemas do satélite e se constitui em importante desafio para o INPE, como será descrito na seção 6.4. Os dois satélites de sensoriamento remoto SSR1 e 2 foram alterados em relação à concepção inicial. Estes satélites devem ser lançados através da “plataforma multimissão” (PMM). A PMM possibilita a definição de diversas configurações de satélites, que atendem a diferentes missões espaciais. Esta plataforma é um conceito moderno em termos de arquitetura de satélite, na medida em que, visa à exploração de economias de repetição e recombinação, por meio de uma sequência de projetos. A ideia central é produzir módulos de serviços – que provêm as funções necessárias à vida do satélite - que sirvam a diferentes módulos de cargas úteis. Isto é, uma arquitetura de satélite centrada no conceito de plataforma que poderá ser

facilmente adaptável a diversos clientes, de acordo com suas necessidades, incluindo diferentes condições de órbita e atitude.

O gerente da PMM, entrevistado nesta pesquisa, revela que já existem 6 potenciais missões para a plataforma, inclusive missões fora do Brasil. As economias de repetição revelam-se intensas entre projetos. O valor da primeira unidade é estimado em US\$ 50 milhões, e a estimativa da segunda unidade é de US\$ 15 milhões.

A MECB foi proposta pela Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), organização vinculada ao Estado-Maior das Forças Armadas (EMFA), que também possuía a responsabilidade de coordenar o programa espacial brasileiro. Em 1985 foi criado o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao qual o INPE passa a pertencer como organização autônoma, sendo o maior instituto de pesquisa deste ministério. Em 1994, foi criada a Agência Espacial Brasileira (AEB), em substituição à COBAE, também vinculada ao MCT, que tem a finalidade é promover o desenvolvimento das atividades espaciais brasileiras de forma descentralizada. A AEB atua na coordenação do Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais que tem a responsabilidade de formular a Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE) e de formular e implementar o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), cujas atividades são executadas por outras instituições governamentais que compõem o sistema, incluindo o INPE. Como relatado no capítulo anterior, a MECB contribui de maneira importante para o estabelecimento do programa CBERS.

O CBERS é hoje um dos principais programas de sensoriamento remoto em todo o mundo, ao lado do norte-americano Landsat, do europeu Envisat e do indiano ResourceSat.

A partir do lançamento do segundo satélite, da primeira geração, o CBERS-2 ocorreu uma redefinição na política de distribuição das imagens geradas pelos satélites da família CBERS, que permitiu ao INPE estabelecer uma nova relação com a sociedade brasileira. As

imagens geradas pelo satélite tornaram-se disponíveis a usuários finais, gratuitamente. O número de usuários finais cresceu vertiginosamente, tendo atingido um patamar de 100.000 imagens distribuídas por ano.

Para se fazer uma comparação com os USA - uma sociedade tecnologicamente avançada, que faz intenso uso de tecnologias de informação disponíveis -, o número de imagens distribuídas neste país é da ordem de 18.000 imagens/ano. O valor cobrado por cada imagem é US\$ 500, o que gera uma receita de US\$ 9 milhões/ano.

No entanto, estes programas são estimados na casa de centenas de milhões de dólares. Assim, o preço cobrado pelas imagens é muito inferior ao necessário para se cobrir o custo total médio de um projeto como um satélite de sensoriamento remoto.

A situação descrita corresponde a de bens escassos artificialmente, na medida em que conjuga as condições de excludível e não-rival no consumo. A exclusão do consumo refere-se ao fato de se cobrar um preço pelo consumo do bem, e somente as pessoas com disposição a pagar por este bem têm acesso a ele. A não rivalidade se refere ao fato de o custo marginal, ao permitir que uma pessoa a mais tenha acesso às imagens, ser praticamente zero, principalmente, se comparada ao custo fixo de produção de imagens. Um produtor privado destes bens deveria cobrar pelo acesso às imagens um valor que fosse ao menos igual ao custo total médio para produzir o bem, o que explica porque estes bens são produzidos por organizações governamentais.

Como o bem é não-rival, o preço cobrado pelas imagens, socialmente eficiente, deve ser igual a zero, pois, caso contrário, resulta em uma grande perda por peso morto. Isto se deve à grande elasticidade-preço da demanda por imagens geradas por satélites, um fato que só foi constatado depois da definição da política de gratuidade das imagens, ocorrida na gestão de Luiz Carlos Miranda e Leonel Perondi.

A política de acesso gratuito às imagens fez com que um bem que era artificialmente escasso se tornasse um bem público. Isto é, um bem que conjuga as condições de não-excluível e não-rival no consumo. Esta passagem de bem artificialmente escasso, para bem público, através do acesso gratuito às imagens, fez com que o benefício percebido pela sociedade – igual à soma dos benefícios individuais percebido por todos os consumidores – fosse aumentado, significativamente, como mostra a figura 17.

No caso específico da geração de imagem, a cada passagem do satélite sobre as estações que recebem seus sinais gera-se uma unidade de benefício social, que é igual à soma dos benefícios individuais percebidos de todos os usuários destas imagens. Como todos estes usuários interessados em obter as imagens podem consumir, simultaneamente, uma mesma unidade de benefício social, este bem é não-rival e como basta ter interesse para se ter o acesso às imagens, este bem é também não-excluível.

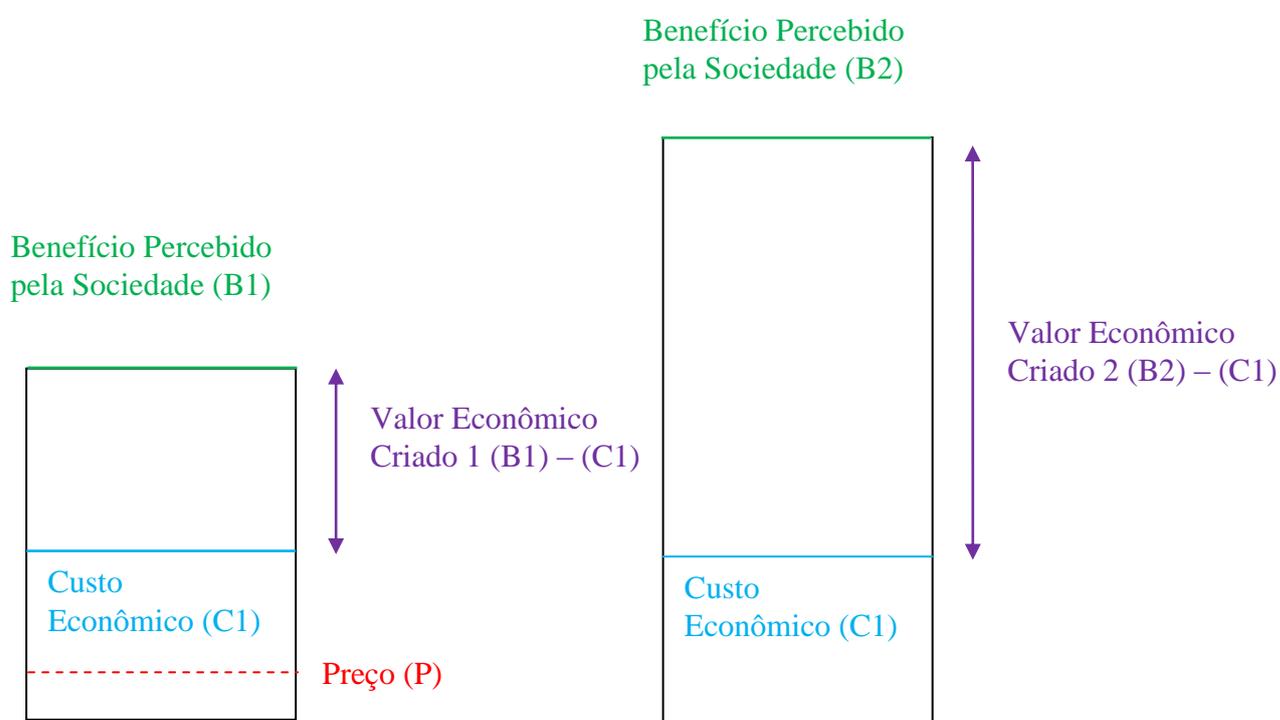


Figura 17: Criação de valor econômico para a sociedade, com e sem a cobrança da imagem gerada pelos satélites da família CBRES.

Vê-se assim que a criação de valor econômico, proporcionada pelo INPE, à sociedade de uma maneira geral, e aos *stakeholders* de maneira particular, cresceu significativamente, na medida em que diversos novos *stakeholders* começaram a perceber e desfrutar de benefícios trazidos pelo acesso às imagens.

A definição de valor econômico, abaixo apresentada, torna claro este aumento do valor econômico criado aos *stakeholders*, antes e depois, da gratuidade das imagens geradas pelos satélites da família CBERS.

“The Economic Value Created by an enterprise in the course of providing a good or service is the difference between the perceived benefits gained by purchasers of the good and the economic cost of the enterprise” (Peteraf and Barney, 2003:314)

A criação de valor econômico refere-se à diferença entre os benefícios percebidos pelos *stakeholders* e o custo econômico total da organização para produzir um bem ou serviço. Na medida em que os custos na geração de imagens foram pouco alterados, antes e depois da definição da política de gratuidade das imagens, e o número de *satkeholders* que podem desfrutar deste benéfico cresceu vertiginosamente, tem-se um aumento significativo na criação de valor econômico, como é mostrado na figura 16.

Após o lançamento do CBERS -2B, em setembro de 2007, este número de imagem cresceu ainda mais, principalmente, as imagens geradas pela câmera de alta-resolução espacial (HRC).

A citação da revista *Nature*, do início desta seção, ressalta que esta política deveria ser seguida em outros países, na medida em que fomenta o estabelecimento de um mercado de controle ambiental, formado por analistas independentes, envolvidos com o monitoramento do mercado potencial relacionado com a contabilização da captura de carbono. Este é somente uns dos exemplos que podem acontecer, com relação ao aumento da criação de valor econômico, por meio da geração e distribuição de imagens dos satélites. Outro exemplo,

significativo e interessante, refere-se à prestação de serviços por meio da geração de imagens para o controle e combate ao desmatamento no território nacional, feita para o governo federal: o programa DETER.

O programa governamental DETER é o acrônimo de Detecção de Desmatamento em Tempo Real. O DETER tornou-se um instrumento no programa governamental de combate ao desmatamento em todo o território nacional. O programa Deter utiliza imagens geradas com dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dos satélites Terra e Aqua da NASA e do Sensor WFI dos satélites CBERS-2 e 2B. O DETER foi lançado em 2004 e é um importante instrumento utilizado pelo governo na prevenção e controle do desmatamento, principalmente, na Amazônia Legal.

Entre outros benefícios importantes do programa, podem-se citar a transferência de tecnologia para outras empresas, como será visto na seção 6.4; o surgimento de *spin-offs*, que podem ter sua significância aumentada em razão da Lei da Inovação Tecnológica; a popularização do sensoriamento remoto e o fomento do mercado de geoinformação brasileiro. Este último benefício é um caso claro do fenômeno de externalidade de rede, comum nos setores econômicos intensivos em informação. O potencial surgimento de um mercado de carbono, acima descrito, é também um fenômeno de externalidade de rede, que em presença de retroalimentação positiva pode propiciar o *take-off* desta indústria.

Desta maneira, as vantagens tecnológicas, que são específicas de uma organização, trazidas pelos benefícios cumulativos da inovação, podem ser ciclos virtuosos de desenvolvimento econômico. Estes ciclos podem ser extensivos a indústrias, a regiões ou mesmo a países inteiros, dependendo da capacidade de multiplicação dos benefícios extraídos da inovação.

7.3 *Knowing*, Rotinas e Capacitações em Integração de Sistemas

A associação entre paradigma científico e tecnológico será analisada nesta seção, para ressaltar o caso de propriedades emergentes em sistemas complexos associando-a aos desafios da pesquisa normal para determinação de fato significativo.

Como relatado acima, o estabelecimento de um paradigma - científico ou tecnológico – define um período em que os pesquisadores estão comprometidos com a resolução e quebra-cabeças. A resolução de quebra-cabeças requer a definição de regras - ou “concepção prévia”. No caso de sistemas complexos, as regras são definidas pela arquitetura do sistema, e seu refinamento progressivo, por meio de *designs* de engenharia de seus subsistemas, define a direção e a taxa de mudança técnica de sua trajetória tecnológica. As regras limitam o conjunto de soluções aceitáveis, e quais elementos que devem ser relacionados para atingi-las. São regras estáveis que permitem ao pesquisador utilizar os conhecimentos existentes para solucionar “problemas esotéricos”.

As propriedades emergentes, aqui analisadas, referem-se à não conformidade entre o comportamento esperado do sistema e o comportamento real, quando o sistema em operação interage com seu ambiente físico-social. Isto é, quando todos os subsistemas que o compõem, bem como outros sistemas integrados a este e seus operadores interagem para gerar o resultado da missão.

O conhecimento conceitual, *know-why*, por meio da avaliação do conjunto de requisitos de alto nível do sistema, possibilitou a definição de uma arquitetura de sistema capaz de atender a este conjunto de requisitos, permitiu que fosse estabelecida determinada expectativa com relação ao desempenho do futuro sistema. A progressiva elaboração do projeto refinou estas expectativas, através de sucessivas verificações e validações, feitas por uma ampla quantidade de testes desde o nível de componentes até o nível ambiental, que simulam as condições em que o sistema irá operar. No entanto, a observação do sistema em

seu ambiente operacional constatou que existia divergência entre o desempenho esperado e aquele que, de fato, ocorre.

No caso considerado, existia uma divergência entre a qualidade esperada da imagem e aquela gerada pelo principal imageador do satélite, a câmera CCD, quando em operação. A qualidade da imagem conseguida, quando os dados gerados pela câmera eram recebidos pelo sistema rastreamento e controle e convertidos em imagem por meio de aplicativos, apresentava atributos inferiores aos previstos nos requisitos de funcionais do subsistema. No início da investigação sobre as possíveis causas da divergência, pensava-se em limitação de desempenho do próprio subsistema, a câmera CCD. Duas das disciplinas tecnológicas – óptica e microeletrônica – se acusavam mutuamente quanto às possíveis causas do limitado desempenho do imageador. Esta característica define a situação de ambiguidade causal. Muitas vezes não se consegue estabelecer as condições de causalidade entre eventos. As condições de implementação do sistema aliada à repetida observação dos fatos, que é analisado por uma equipe multidisciplinar, comprometida com a resolução do problema, cria as condições para o desenvolvimento de um conhecimento operacional, *know-how*, que com base no conhecimento conceitual, indica algumas possíveis causas para o problema.

Deve ser ressaltado que a origem dos fatos analisados dependia das equipes que produziram e lançaram o satélite, das equipes que controlavam sua órbita e atitude e daquelas equipes que convertiam seus dados em imagens. A interação entre estas equipes, que utilizavam em sua investigação os conhecimentos operacionais e conceituais disponíveis, cria as condições para a descoberta da causa da divergência entre o comportamento previsto e o aquele que, de fato, era constatado. Esta interação, dinâmica, concreta e relacional – *knowing* –, permite o fechamento de um ciclo de aprendizagem, que ao mesmo tempo é baseada em conhecimentos conceituais e operacionais e gera outros conhecimentos conceituais e operacionais. Desta maneira, a aprendizagem, propiciada por este tipo de conhecimento,

requerido para o refinamento da inovação, e que depende da integração de fluxos de informações e conhecimentos, de diversas fontes, apresentam forte caráter idiossincrático.

A dependência da trajetória fica claramente identificada por meio da interação, de *single looping* entre as capacitações convergentes e generativas. Estes novos conhecimentos gerados, como resultado da pesquisa tecnológica “normal”, que são novos para a organização, têm como fundamento o estoque de conhecimento previamente existente na organização. O conhecimento gerado se estrutura a partir do previamente existente, a partir de regras, ou arquiteturas de sistemas previamente definidas.

No caso analisado, a autoridade sobre o *design* de engenharia dos subsistemas envolvidos diretamente com o fenômeno da propriedade emergente era da CAST. Portanto, coordenado externamente ao INPE. No entanto, a capacidade de absorção das equipes do INPE, permitiu uma ativa atuação no esforço de pesquisa para diagnosticar e sanar o problema. No lançamento do CBERS 2, o elemento que entrava em ressonância por apresentar a frequência similar ao do scanner da câmera IRMSS foi retirado, embora o *design* de engenharia do subsistema não tenha sido alterado. Isto aconteceu porque o subsistema já havia sido produzido. Na realidade, quando o problema foi detectado, o projeto do CBERS 2 estava em sua fase final de integração e testes. Este conhecimento foi incorporado ao *design* de engenharia da câmera CCD do CBERS 3. Neste projeto, a autoridade sobre o *design* de engenharia da câmera equivalente à CCD – chamada agora de câmera MUX – passou para o lado brasileiro, por meio de uma empresa contratada pelo INPE: a OPTO.

A incorporação deste novo conhecimento ao *design* de engenharia do subsistema também representa uma característica típica da trajetória tecnológica: sua cumulatividade. Os esforços de pesquisa que permitem o estabelecimento dos ciclos de aprendizagem (avaliação – *design* – implementação – observação) se acumulam ao longo de determinada trajetória, seguindo as regras determinadas pela arquitetura do sistema. As possibilidades incrementais

de melhorias do sistema são fortemente condicionadas a formas de percepção, compartilhadas pelas equipes de projetos, que são compatíveis com a arquitetura do sistema. E neste sentido, o efeito de exclusão causado pelo conhecimento arquitetônico fica claro.

Os efeitos da cumulatividade são também ressaltados por meio da interação entre as capacitações convergentes e generativas. Os ciclos de aprendizagem que se estabelecem por meio da interação entre as capacitações convergentes e generativas fazem com que o conhecimento requerido para a melhoria do sistema venha sob a forma de “soluções de quebra-cabeças”. Este exemplo representa a situação em que a pesquisa tecnológica normal é específica das organizações, e diretamente relacionada com a realização da pesquisa, por meio de suas rotinas organizacionais. O resultado destes esforços de pesquisa, considerados sequencialmente, define uma trajetória tecnológica.

Propriedades emergentes de sistemas complexos diminuem a capacidade preditiva de desempenho dos sistemas em seu ambiente de operação. Isto ocorre porque o número de interações entre componentes do sistema aumenta exponencialmente com o número de componentes, possibilitando muitos novos e sutis tipos de comportamento emergentes.

Interações que não tenham sido completamente consideradas podem levar à falha do sistema. Interações concorrentes são potencialmente geradoras de fenômenos de propriedades emergentes. No caso analisado, observou-se o acoplamento mecânico entre as câmeras IRMSS e a CCD. Este acoplamento era devido a frequência de vibração do scanner ser aproximadamente igual a frequência de ressonância do mecanismo de sustentação do espelho da CCD.

Em termos de criação de valor econômico, estas inovações são extremamente significativas. À medida que a economicidade da tecnologia, traduzida por oportunidades crescentes de usos produtivos se estabelece, o financiamento do esforço inovador torna-se mais facilmente justificável.

CBERS 1: Entendimento do comportamento do sistema

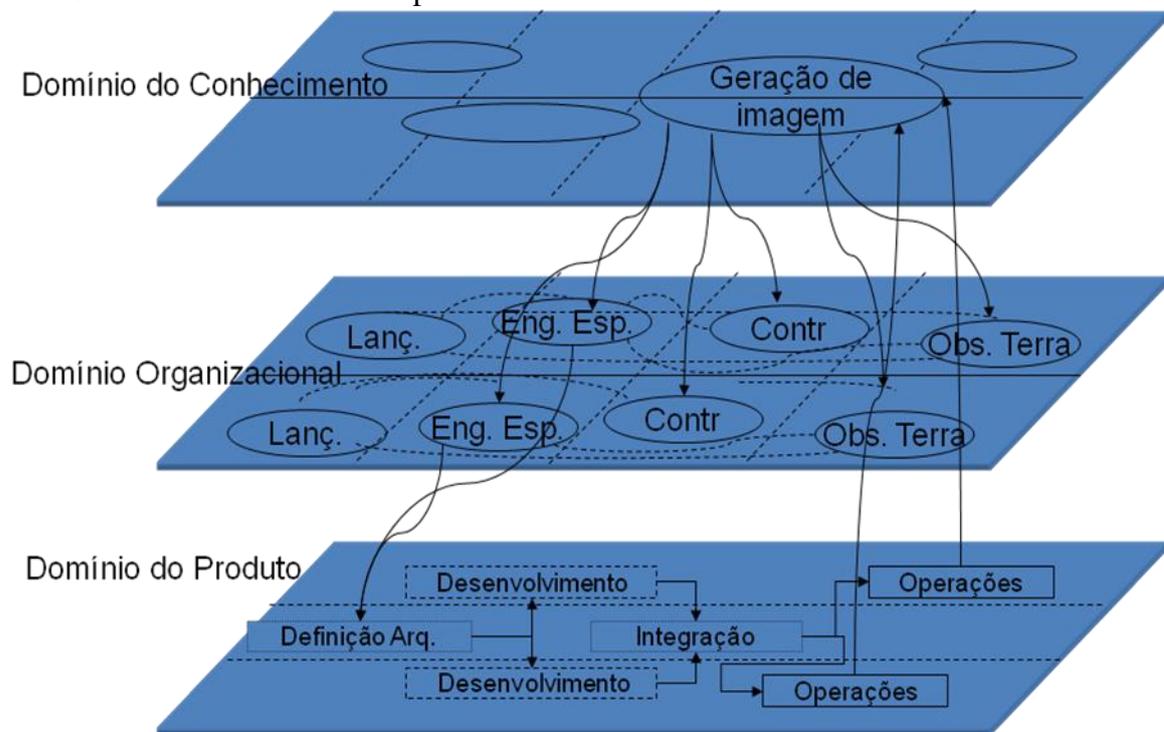


Figura 18: Domínios do Produto, da Organização e do Conhecimento – Entendimento do comportamento do sistema em seu ambiente de operação

Fonte: Autor

CBERS 2: Integração de Rotinas e Estabelecimento de Feedback: a partir da integração de rotinas que permitiram a compreensão do comportamento do sistema em seu ambiente de operação detectou-se a propriedade emergente de acoplamento entre as câmeras.

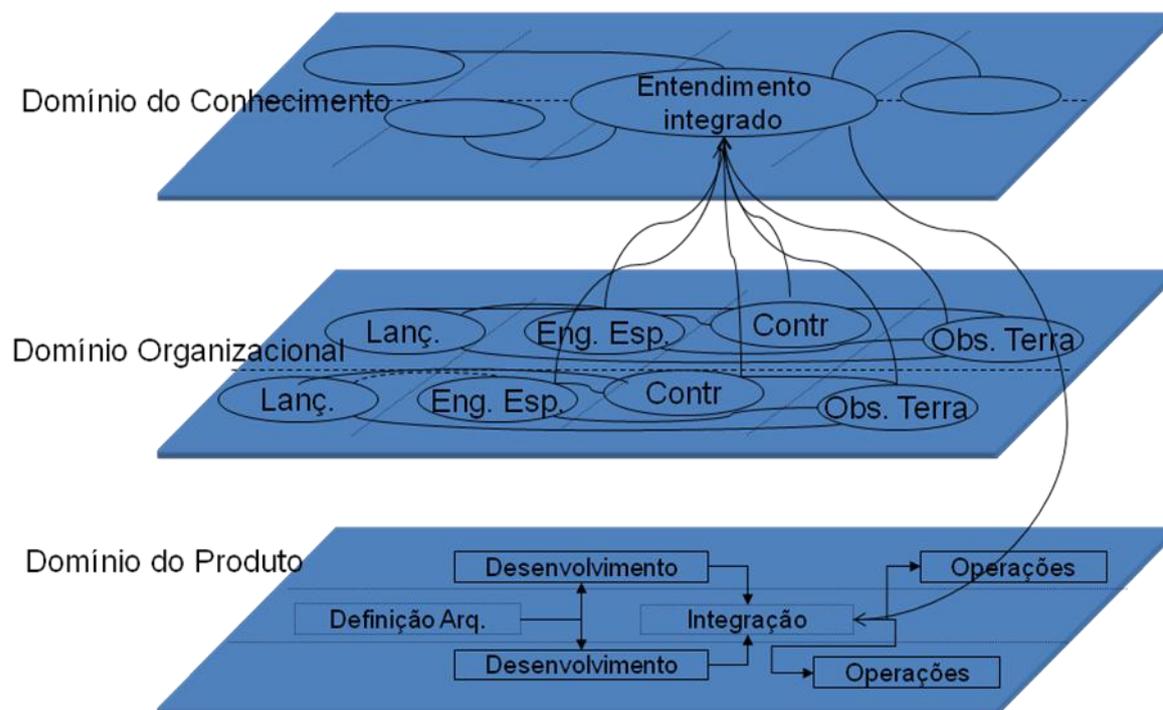


Figura 19: Domínios do Produto, da Organização e do Conhecimento – Ciclo de aprendizagem simples: a partir da integração entre rotinas organizacionais, evitou-se o acoplamento mecânico entre subsistemas no domínio do produto.
Fonte: Autor

As figuras 18 e 19 apresentam as capacitações de integração de sistemas como integração de rotinas no nível organizacional. Como acima descrito, quando nos referimos a capacitações em integração de sistemas, sistemas referem-se tanto à integração do produto quanto à integração organizacional. Em face de propriedades emergentes, o entendimento integrado do sistema, em seu ambiente de operação, requer a integração de rotinas organizacionais. Somente quando as rotinas organizacionais foram integradas num esforço orientado à resolução do problema, a causa raiz do fenômeno da propriedade emergente foi diagnosticada, e o problema superado. O *knowing*, aprendizagem pelo uso, exige que ocorra a integração de diversos conhecimentos especializados, conceituais e operacionais. A forma predominante de coordenação, por meio do qual estas rotinas são integradas, é o ajuste mútuo. Isto não significa que o estabelecimento do ciclo de aprendizagem em nível organizacional propiciado pelo *knowing*, ligando os conhecimentos conceituais e operacionais, levará a um

completo entendimento. Como argumenta Dewey (1960), o entendimento completo é uma situação ideal, algo que se aproxima assintoticamente, e que nunca será atingido. Na realidade, o esforço de pesquisa visando ao entendimento de anomalias, aqui entendidas como propriedades emergentes não planejadas, pode abrir novos campos de pesquisa científica e tecnológica.

É por meio de interações informais, entre membros de diferentes equipes, que se estabelecem os fluxos bidirecionais de informações e conhecimentos, os quais utilizam suas próprias visões para o entendimento dos problemas enfrentados por estas equipes.

As organizações, na definição de seus processos, devem considerar a necessidade destes tipos de integração de rotinas organizacionais e criar as condições de flexibilidade requeridas para a coordenação, por meio de ajuste mútuo, de diversos conhecimentos especializados.

7.4 A necessidade de conhecimento conceitual e operacional

"(1) What makes science an effective part of the modern industrial system is the integration of research, applied science, and technology into a single system with a flow of ideas and information in both directions, from technology to applied science, applied science to research, research to applied science; (2) this integrated system is the result of a very large research and development effort and the involvement of the state in science; (3) it is extremely difficult for developing countries to develop such a system for themselves, owing to the small industrial base,

the ties between domestic industry and international economy, the lack of domestic technical manpower, but above all the fragmentation of their research, development and technological efforts" (Stepan 1976, p. 170)

O livro de Stepan analisa o que ocorreu em termos de política de pesquisa para a erradicação da febre amarela no Brasil no período de 1890 a 1920. A autora ressalta a necessidade de integração do esforço de pesquisa e desenvolvimento, entendendo que este esforço deve ser tratado como um sistema, com fluxos bi-direcionais entre a pesquisa básica e a tecnológica, passando pela pesquisa aplicada. Este sistema integrado é resultado de um esforço de P&D auxiliado pela presença do Estado.

Tanto no caso descrito pela autora como no estudo de caso, objeto desta pesquisa, é fundamental a presença de políticas (*policy*) científicas e tecnológicas que se efetivem por meio de programas tecnológicos e que funcionem como elementos catalisadores dos esforços de pesquisa de uma sociedade. Estes programas tecnológicos permitem a criação de recursos especializados, a ampliação da base industrial e, acima de tudo, a integração da pesquisa básica com suas aplicações práticas por meio de um fluxo bi-direcional de ideias, informações e conhecimentos.

A existência do conhecimento operacional, caracterizado pela implementação de uma solução e sua observação operacional, sem o conhecimento conceitual, caracterizado pela avaliação de um problema e proposição de solução por meio de um *design*, faz com que os ciclos de aprendizagem não se fechem. Nos países de industrialização recente, fora da fronteira tecnológica, que se envolvem em inovações sofisticadas, é natural que os ciclos de aprendizagem tenham seu início por meio de operações feitas com sistemas importados. Este é o caso do INPE. O INPE começou a receber e distribuir imagens de satélites para sociedade

Brasileira em 1973. As duas áreas mais envolvidas, a observação da terra e o rastreo, atuavam basicamente por meio de operações, na recepção de imagens geradas por satélites estrangeiros. Em paralelo iniciou-se os esforços para a formação de recursos que permitissem ao INPE completar seu estoque de conhecimentos que permitissem a organização sair da condição de operador de tecnologias importadas.

Vinte anos depois, em 1993, com o sucesso do projeto SCD1 da MECB, o Brasil passa à condição de produtor de veículo espacial. Em 1988, o INPE estabelece o programa de cooperação com a CAST, para o desenvolvimento de um sistema de maior complexidade, que representava um desafio tecnológico muito grande para ambas as organizações. Com o acordo complementar de 1993, estabeleceu-se que o INPE iria operar e se responsabilizar pela integração final do satélite. Duas atividades fundamentais para a aquisição de conhecimento tecnológico em suas três formas: *know-why*, *know-how* e *knowing*.

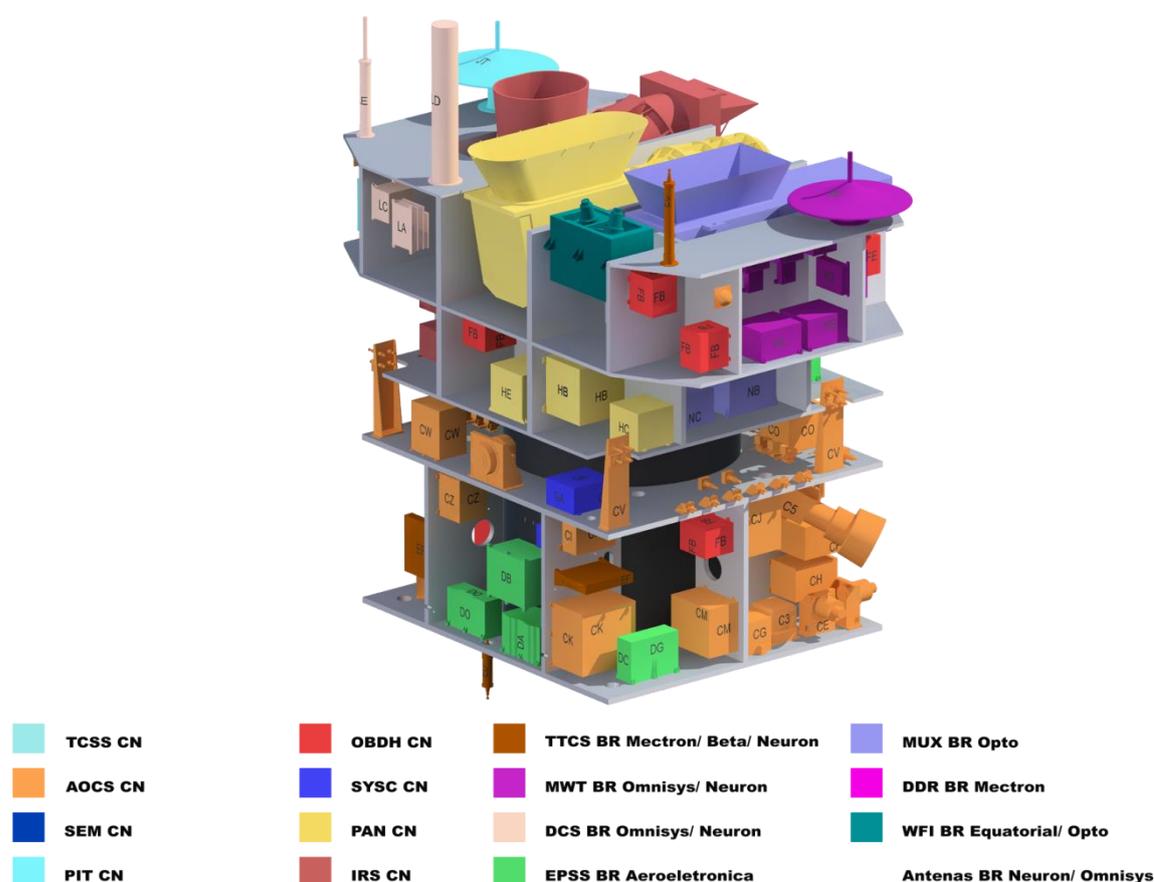
Vale ressaltar que o acordo visa somente a produção dos satélites. O rastreamento e controle dos satélites é feito de maneira autônoma entre as partes, assim como o recebimento e processamento de dados para a geração das imagens. Estas duas atividades no INPE são realizadas por departamentos que fazem parte da organização, a observação da Terra e o rastreo e controle. No caso da China, a CAST produz parte dos satélites de acordo com o previsto em cada projeto do programa de cooperação tecnológica. O recebimento e processamento de dados para a geração das imagens é feito por uma outra organização a CRESDA. O lançamento, o rastreo e o controle são feitos pela *China Satellite Launch and Tracking General* uma organização de natureza militar ligada à comissão de ciência, tecnologia e indústria para a defesa nacional (COSTIND).

Serão agora analisados dois subsistemas do programa CBERS 3: câmera WFI e o subsistema de controle de órbita e atitude (AOCS).

7.4.1 Subsistema WFI

A WFI do CBERS 3 deverá apresentar desempenho significativamente superior à WFI da primeira geração de satélites, como pode ser visto nas tabelas 6 e 7. O WFI foi inicialmente concebido para ser usado no SSR1 da MECB e é um conceito inovador de câmera de sensoriamento remoto, muito adequado às necessidades brasileiras de controle de extensas áreas de difícil acesso. Na primeira geração de satélites CBERS, a câmera WFI entrou como experimento, sem redundância, para evitar o consumo de energia e reduzir o peso do satélite, e teve o seu conceito validado.

A WFI da segunda geração de satélites CBERS terá 4 bandas espectrais - 2 a mais que as da primeira geração – uma resolução espacial de 64 m - em vez de 260 m. A taxa bruta dados passa de 1,1 Mbit/s para 50 Mbit/s.



Figuras 20: vista do satélite aberto mostrando subsistemas e sua divisão de trabalho, CBERS 3&4

Fonte: INPE



Figura 21: duas vistas do satélite aberto mostrando subsistemas e sua divisão de trabalho, CBERS 3&4

Fonte: INPE

Estas características impuseram desafios de grande magnitude ao consórcio - formado pela OPTO e EQUATORIAL – que representam a autoridade do *design* de engenharia do subsistema.

A sequência de figuras, 22, 23 e 24 representa a progressiva elaboração deste subsistema em três revisões do projeto: a revisão para definir o conceito do sistema (SCR), a revisão para definir como o seu *design* será executado (PDR), e a revisão para autorizar a construção do sistema (CDR). A progressiva elaboração do projeto exige a interação entre as capacitações

convergentes e generativas em integração de sistemas. O sistema deve convergir para os requisitos de desempenho, custo, tempo e risco, os quais também evoluem de acordo com a materialização do projeto. No período de concepção, tem-se um entendimento genérico destes requisitos, no nível de sistema. À medida que se derivam os requisitos para o nível de subsistema, os problemas se tornam mais específicos e soluções criativas são necessárias para atender a estes requisitos. São necessárias capacitações generativas que podem ser desenvolvidas interna ou externamente à organização, de acordo com o subsistema em questão.

A figura 22 apresenta o que foi acordado na definição do conceito do sistema (SCR). Isto é, o que a organização responsável pelo projeto – *Joint Project Organization (JPO)* – imaginava como uma possível solução para atender aos requisitos deste subsistema. Foi acordado na JPO o que se imagina para cada subsistema em termos de peso, volume, potencia consumida e radiação de calor dados de interface com outros subsistemas e no caso das câmeras as características funcionais que deverá atender quando em operação, descritas na tabela 7.

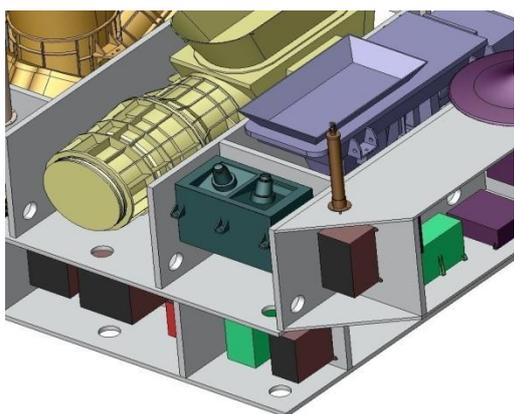


Figura 22: Detalhe da WFI após a SDR
Fonte: INPE

O cerne do subsistema WFI é o CCD, como explicado na seção 6.4.3. O CCD e filtro são componentes críticos importados diretamente pelo INPE segundo sua especificação. Desta maneira, antes do processo de contratação do desenvolvimento do subsistema o INPE já tem

uma linha geral, de alto nível, que permite a avaliação e o endereçamento do problema. A contratação é feita por meio de uma descrição detalhada de trabalho (DDT ou *statement of work* – SOW). No entanto, no detalhamento do problema e sua solução deve ser feita pela organização contratada, neste caso o consórcio. Ao longo do desenvolvimento do subsistema ocorre a transferência de tecnologia para a organização contratada, por meio da elaboração do *design* de engenharia do subsistema. No caso de uma câmera como esta, as disciplinas tecnológicas fundamentais são óptica, microeletrônica, mecânica de precisão e softwares embarcados. Em entrevista com a equipe que lidera o desenvolvimento do subsistema na OPTO, foi confirmada a transferência de tecnologia em todas estas disciplinas tecnológicas.

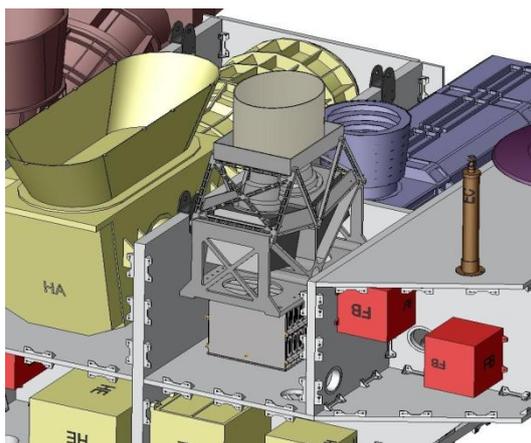


Figura 23: Detalhe da WFI após a PDR
Fonte: INPE

A figura 23 apresenta o que foi apresentado pelo consorcio que venceu a licitação referente ao desenvolvimento do subsistema, tornando-se a autoridade de *design* do subsistema. As soluções apresentadas pelo consorcio estavam distantes das exigências impostas pelos requisitos do subsistema, gerando efeitos em cascata sobre outros subsistemas e levando à divergência do sistema com relação aos seus requisitos.

O fato de a solução proposta não atender aos requisitos gera uma requisição para o relaxamento de um conjunto de requisitos de maneira formal. A divergência crítica com

relação aos requisitos referia-se à massa do subsistema. Em função desta divergência, há a necessidade de se analisar os impactos da mudança em todos os subsistemas. Neste caso, a DDT definia uma massa de 37 kg para o subsistema e o consórcio, na PDR – a revisão que define como será feito o *design* – previa uma massa de 60 kg. Os arquitetos da JPO se reúnem e para avaliar os impactos desta divergência nos diversos subsistemas e definir quais ações corretivas devem ser tomadas para minimizar o problema e fazer o sistema convergir para seus requisitos. Desta reunião sai a diretiva, solicitando que todos os demais subsistemas economizem massa, pois o *budget* de massa havia sido ultrapassado.

Neste caso um conjunto de soluções foi adotado para fazer o subsistema convergir para o *budget* de massa. Alguns subsistemas foram alterados. A redução mais importante de massa aconteceu no suprimento de energia. Houve mudança de tecnologia que permitiu uma redução significativa de massa. A outra câmara com desenvolvimento coordenado pelo INPE – a câmara MUX - também reduziu massa, mas em menor proporção. Além disso, houve uma importante intervenção por parte dos arquitetos do INPE na solução do subsistema. Outra arquitetura de subsistema foi proposta ao consorcio, como mostrado na figura 24.

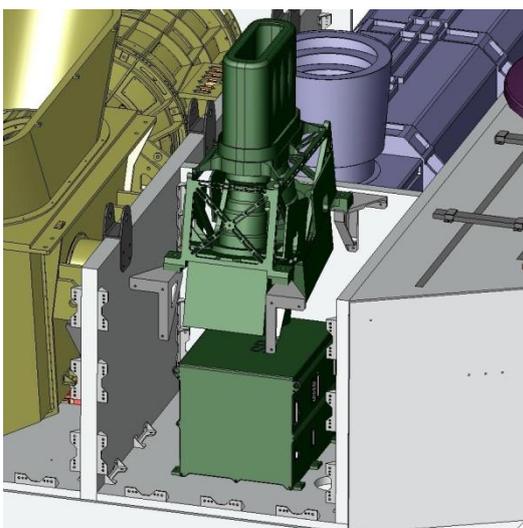


Figura 24: Detalhe da WFI após a CDR
Fonte: INPE

A proposta de solução elaborada pela autoridade de *design* não foi aceita em função da grande divergência entre o que se imaginava como solução e aquela efetivamente apresentada pelo consorcio. Este é de fato o compromisso da JPO, fazer o sistema como um todo funcionar bem, e é sua responsabilidade encontrar os meios para fazê-lo. Por possuir *know-why* do subsistema foi possível avaliar o problema, considerando a situação proposta pelo consórcio durante a revisão da PDR e propor uma alteração de *design* do subsistema, mostrado na figura 24. Desta maneira, o conhecimento conceitual, das disciplinas tecnológicas que fundamentam o subsistema, é necessário para fazer o sistema convergir para os seus requisitos.

Com relação aos níveis de capacitação em integração de sistemas, apresentados na seção 5.3, este envolvimento do INPE na resolução de problema específico de um subsistema traduz a necessidade desta organização suprir as deficiências de um mercado para o setor aeroespacial incompleto. Neste caso o INPE, juntamente com a CAST na JPO, é responsável pela convergência do sistema aos requisitos do projeto. O consorcio deveria ser responsável pela convergência aos requisitos do subsistema, em um nível hierárquico abaixo, com relação ao satélite. O nível de especialização de uma indústria é correlacionado com o tamanho desta. No caso brasileiro, além da indústria aeroespacial ser relativamente pequena com relação às indústrias dos principais países centrais, existe pouca sinergia entre os segmentos que compõem esta indústria: espaço, defesa e aeronáutica. A exploração da economicidade entre os segmentos, em países como os Estados Unidos, França, Inglaterra, Alemanha e Itália representa uma importante forma de desenvolvimento da indústria aeroespacial nestes países.

No caso brasileiro, o grande distanciamento entre estes segmentos deveria ser corrigido por meio de políticas de fomento ao desenvolvimento tecnológico que promovessem, com base em projetos e programas, a interação entre estas organizações. Estas políticas já existem. Um exemplo é o projeto envolvendo equipes do INPE e da EMBRAER

para o desenvolvimento de sistema GPS para guiagem de aeronave em tempo real que foi parcialmente financiado pela FAPESP por meio do Programa Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica – PITE. No entanto, grande parte das tecnologias críticas da EMBRAER é fornecida por parceiros estrangeiros, principalmente dos Estados Unidos, que é o seu principal mercado, como pode ser visto em Chagas Junior (2005a).

Projetos para a criação de capacitações generativas em integração de sistemas, com longos períodos de maturação, envolvendo a integração de conhecimentos científicos e tecnológicos, que permitam o desenvolvimento de tecnologias incipientes no país deveriam ser objeto de maior atenção das organizações do setor aeroespacial e dos formuladores de políticas públicas. Esta questão será discutida na seção 7.4.2.

7.4.2 Subsistema AOCS

Ao contrário do subsistema acima analisado, o INPE não contrata o subsistema AOCS com fornecedores locais, pois não existe conhecimento conceitual acumulado na organização em nível suficiente para a realização da contratação de um subsistema como este, estabilizado em três eixos do satélite. Os satélites SCD1 e SCD2 são “*spinnados*” – estabilizados por rotação –, e não estabilizados em três eixos.

Por meio da extensão do acordo de cooperação tecnológica, o INPE pode operar os satélites da família CBERS. Esta operação é independente. O INPE opera o satélite por meio do segmento de rastreamento e controle e também recebe os dados, gerados pelo satélite, e os converte em imagem por meio do segmento de aplicações – observação da Terra. Desta maneira fica clara a existência de conhecimento operacional relacionado com o subsistema que controla a atitude e órbita do satélite. Existe também uma aprendizagem pelo uso – *knowing* - específica dos satélites CBERS. No entanto, esta aprendizagem é parcial, pois não existe conhecimento conceitual suficiente para o desenvolvimento deste subsistema no INPE que permita o estabelecimento de ciclos de aprendizagem que leve à criação de novos

conhecimentos científicos e tecnológicos. Existe uma equipe reduzida no INPE envolvida com este subsistema. O subsistema em si é composto por alguns sensores e alguns atuadores e um software que integra o subsistema, que constitui um importante desafio para o INPE. Esta tese sustenta que a aprendizagem organizacional se dá pela construção incremental de estruturas cognitivas que permitam o progressivo domínio das disciplinas tecnológicas que fundamentam qualquer sistema. Esta construção deve dar-se por meio de experimentos guiados que permitam conjugar o conhecimento teórico já acumulado na organização com a criação de conhecimento prático de caráter tecnológico. A utilização de redes de organizações com base em projetos, envolvendo equipes multidisciplinares, é uma oportunidade que deveria ser fomentada com mais intensidade.

Este é um subsistema crítico, com elevado grau de complexidade, com imbricamento nas funcionalidades de outros subsistemas. Diversas tentativas estão ocorrendo, e já ocorreram, no sentido de desenvolver este subsistema na organização. Dentro do programa CBERS, este subsistema é tratado de maneira especial pelas equipes da CAST, restringindo, mais que em outros subsistemas, o acesso às informações-chave que permitam a criação de condições para o desenvolvimento desta tecnologia dentro do INPE. Vale lembrar que esta tecnologia é comum aos segmentos espacial e defesa.

O programa da PMM estabeleceu um processo licitatório para a aquisição do subsistema de controle de atitude e supervisão de bordo o ACDH (Attitude Control and Data Handling), um subsistema que realiza as funções do AOCS integrado com outro subsistema, o OBDH. Este processo prevê uma contrapartida – *off-set* – por parte da empresa vencedora do processo licitatório em termos de transferência de tecnologia. Como sustentado neste trabalho, para que o processo de transferência de tecnologia ocorra de maneira efetiva é necessária a criação de capacidade de absorção desta tecnologia. Para que o *knowing* tenha sua importância aumentada de maneira significativa uma preparação consciente e intencional para

a absorção da tecnologia é requerida. O subsistema ACDH apresenta complexidade elevada e para que o *off-set* não se restrinja à geração de conhecimento operacional é necessária a construção de bases cognitivas prévias que permitam que a transferência de tecnologia ocorra também no nível de conhecimento conceitual, que permita sua recombinação em outros projetos.

Este é um elemento fundamental para a efetividade desta transferência, tão necessária ao INPE, à indústria aeroespacial e ao país.

7.5 Aprendizagem pelo uso e incompletude de conhecimento conceitual

A visão sistêmica ressalta que o sistema é maior que a soma de subsistemas em função da possibilidade de extração de benefícios que surgem da interação entre as partes destes subsistemas. A capacidade de predição do comportamento do sistema em seu ambiente de operação depende do entendimento destas interações. Esforços de pesquisa de naturezas diferentes são empregados com vistas ao entendimento destas interações. O reducionismo, que procura encapsular a complexidade do sistema em subsistemas, por meio da decomposição hierárquica, define um conjunto de esforços de pesquisa. A capacidade de avaliar o conjunto de requisitos, derivá-los para os subsistemas e elaborar *design* de engenharia capaz de atendê-los é fundamental. No entanto, é também necessário considerar o expansionismo. O esforço de integração final destes sistemas, por meio de testes ambientais que simulam as condições futuras de seu ambiente operacional testa um conjunto de combinações de interações entre estes subsistemas, em diferentes estados do sistema e seus respectivos modos de operação. Este conjunto de combinações possíveis cresce exponencialmente com a complexidade do sistema. Os testes procuram simular as condições a que o sistema estará sujeito, e são também limitados por restrições de tempo e custo. Aqui se tem uma clara manifestação da racionalidade limitada e da elevada incerteza inerente a inovações em sistemas complexos. A previsão de todas as interações entre partes do sistema é

praticamente impossível, principalmente em face das limitações de tempo e orçamento para a realização dos testes. Desta maneira, é somente quando o sistema entra em operação, interagindo com seu ambiente físico-social é que o expansionismo, de fato, ocorre. A observação do comportamento real do sistema, interagindo com seu ambiente físico-social e sua comparação com o comportamento previsto permite o fechamento de um ciclo de aprendizagem.

A interação entre os conhecimentos conceituais – *know-why* – e operacionais – *know-how* – dá início à aprendizagem pelo uso - *knowing*. O *knowing* organizacional utiliza os conhecimentos conceituais e operacionais de diferentes equipes envolvidas com o sistema para indicar possíveis trajetórias de desenvolvimento. Por meio de sucessivos refinamentos de seu *design* torna-se possível a superação de limitações técnicas e a exploração de oportunidades de atendimento de novas necessidades de seus *stakeholders*.

Em situações em que o estoque de conhecimentos das organizações é incompleto para a produção de determinada tecnologia, a busca de parceiros, com necessidades comuns, é um caminho utilizado, de maneira crescente, para a complementação de estoques de conhecimentos. Por meio de esforços conjuntos de pesquisa entre parceiros, é possível o compartilhamento de custos e tempos de desenvolvimento, ao mesmo tempo em que se reduz o nível de exposição ao risco de as organizações produzirem de maneira cooperativa um sistema que satisfaça às expectativas de seus *stakeholders*.

No entanto, sem a presença do *know-why*, o ciclo de aprendizagem iniciado pelo *knowing* não se completa. O fato de a organização poder realizar a operação do sistema constitui importante vantagem para a criação de *know-why*. As equipes envolvidas têm a possibilidade de identificar variáveis-chave de controle do sistema e realizar experimentos que permitam a construção de estruturas cognitivas por meio da correlação entre *inputs* dados a este subsistema e a observação de *outputs* do sistema. No entanto, a capacidade de explorar

a vantagem de operar os sistemas para a criação de *know-why* em subsistemas específicos depende de quatro fatores. O primeiro destes fatores é o grau de desacoplamento possível do subsistema – objeto dos experimentos – com relação ao sistema, em termos funcionais. O segundo fator é decorrência do primeiro, e refere-se ao progressivo estabelecimento de relações de causalidade entre os *inputs* dados ao subsistema e os *outputs* do sistema. O terceiro fator relaciona-se com o custo da realização destes experimentos em suas diferentes configurações. O quarto fator relaciona-se com a possibilidade de realização destes experimentos em diferentes configurações. Muitas vezes estas configurações de experimentos são indesejáveis ou inconsistentes com o regime de operação normal do sistema.

Nas situações em que grau de desacoplamento funcional do sistema é baixo, o desenvolvimento de *know-why* de subsistema pode requerer esforços significativos de pesquisa. Estes esforços de pesquisa para realização de experimentos tecnológicos diferem dos experimentos científicos. Nestes experimentos, as variáveis podem ser selecionadas previamente e visam ao estabelecimento de causalidade entre eventos. Ou seja, os experimentos científicos são bem definidos, pois partem de estruturas cognitivas prévias que norteiam sua elaboração, mesmo aqueles experimentos de caráter especulativos. Em suma, a utilização de *knowing*, para aquisição de *know-why* esta longe de ser uma tarefa trivial. Em face de elevada complexidade funcional, a capacidade de absorção das equipes, relativas às disciplinas tecnológicas que fundamentam o subsistema, é que permitirá a estruturação deliberada e consciente de experimentos que levem ao *know-why*.

Por meio dos exemplos discutidos nas seções 7.4.1 e 7.4.2 nota-se que a inovação nas organizações ocorrem por meio de diversos processos de aprendizagem que se sobrepõe e se retroalimentam. No caso da câmera WFI, tem-se um subsistema que passou por longo período de maturação a partir de esforços autóctones de pesquisa científica e tecnológica. Seu conceito original surgiu na MECB e sua validação ocorreu na primeira geração de satélites

CBERS. A possibilidade de interação entre os conhecimentos conceitual e operacional dá início à aprendizagem pelo uso e estabelece um novo ciclo que permite a expansão dos conhecimentos conceitual e operacional. O fluxo de conhecimento se estabelece por meio da interação entre as capacitações convergentes e generativas. O estoque de conhecimentos conceituais e operacionais define os esforços de pesquisa mais promissores que irão permitir o refinamento do *design* deste subsistema.

Esta expansão dos conhecimentos permite a co-evolução, com base nos avanços das disciplinas tecnológicas que fundamentam o sistema e no atendimento de necessidades de seus *stakeholders*, deste subsistema. Isto é o que deverá ocorrer na segunda geração de satélites CBERS. Este conjunto de conhecimentos permitirá também que este subsistema seja utilizado em outro programa, a PMM, demonstrando as possibilidades de exploração de economias de recombinação.

Esta situação virtuosa de ciclos de aprendizagem, que ocorrem por meio de uma espiral crescente de conhecimentos conceituais e operacionais, não se reproduz no subsistema AOCS em função da base cognitiva organizacional ser incompleta. Há dez anos o INPE opera os satélites da primeira geração CBERS, estabilizados em três eixos. No entanto, a aprendizagem pelo uso limita-se aos aspectos operacionais específicos das condições de uso do sistema e não permite a avaliação de novas condições de contorno e a proposição de *designs* de engenharia pela organização.

8. Conclusões

De maneira geral, à medida que as organizações competem em um mundo crescentemente interconectado, as capacitações em integração de sistemas se tornam mais importantes para que os processos de inovação tecnológica sejam bem sucedidos. Isto inclui o efetivo gerenciamento de relações com outras organizações. De maneira específica, em sistemas complexos, com crescente especialização de diferentes disciplinas científicas e tecnológicas, que fundamentam estes produtos, as capacitações em integração de sistemas são estratégicas, considerando que é por meio delas que se torna possível um posicionamento na cadeia de valor de uma indústria, com vistas à criação de valor econômico. A identificação de parceiros confiáveis, que não irão explorar as vulnerabilidades de um relacionamento de troca econômica, torna-se, cada vez mais, uma condição importante para resultados bem sucedidos de inovação.

O modelo explora as interações entre diferentes formas de aprendizagem tecnológicas, que permitirão a criação e o exercício de capacitações em integração de sistemas. As capacitações convergentes referem-se ao estabelecimento de uma arquitetura de sistemas, ao desenvolvimento de seus subsistemas centrados interna e externamente na organização e à operação do sistema. Por meio de *retrofitting* e produtos derivativos é possível a exploração de economias de repetição e recombinação, criando valor econômico para *stakeholders* de projetos, que levarão ao crescimento da firma. No modelo, isto é representado pela interação entre as capacitações convergentes e generativas em integração de sistemas. As limitações técnicas e as novas necessidades dos *stakeholders* definem as novas agendas de pesquisa, que podem ser coordenadas interna ou externamente à organização. A aprendizagem pelo uso levará à superação de limitações técnicas e pode sugerir novas linhas de pesquisa. Sem a alteração da arquitetura básica do sistema, estes fluxos de conhecimento, entre as capacitações convergentes e generativas, constituem ciclos de aprendizagem simples.

As capacitações generativas em integração de sistemas representam também a definição de uma nova arquitetura, estabelecida a partir da evolução do avanço dos conhecimentos científicos e tecnológicos que fundamentam o produto e que visam ao atendimento de necessidades de *stakeholders* de projeto. Na medida em que outros processos, adequados às novas rotinas, devam ser moldados de maneira coerente, uma nova unidade organizacional pode ser requerida. Estes fluxos de conhecimento constituem o ciclo de aprendizagem duplo, considerando que as capacitações generativas irão definir novas regras de *design*, que implicam grande alteração nas rotinas organizacionais.

A pesquisa lança luz sobre o nível adequado de integração em projetos de sistemas complexos, uma vez que os diferentes ritmos de mudança técnica e as propriedades emergentes impõem desafios de comunicação entre organizações, para que se consiga a convergência entre os requisitos planejados e os que, de fato, são resultados do projeto. Em função destes desafios, não se deve imaginar que a modularidade de produtos implica a modularidade de organizações com progressivas especializações em pesquisa e desenvolvimento. Organizações com capacitações em integração de sistemas são requeridas para lidar com propriedades emergentes e com diferentes ritmos de mudança técnica das disciplinas que fundamentam estes produtos. Além disso, capacitações em integração de sistemas constitui uma efetiva estratégia para o fechamento de *gaps* tecnológicos.

O programa de cooperação estabelecido entre o Brasil e a China, para o desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto, vem permitindo que o INPE crie e exercite capacitações em integração de sistemas. Estas capacitações foram analisadas em três diferentes níveis:

- subsistemas, referente às divisões de responsabilidade com a CAST;
- sistema, referente a concepção, desenvolvimento e operação do satélite;

- sistema de sistemas, referente à configuração e integração de toda a infra-estrutura terrestre necessária para que os dados gerados no sensoriamento remoto pelos satélites sejam transformadas em imagens para os usuários.

O acordo original permitiu a aquisição de capacitações em nível de subsistemas. O termo complementar de 1993 contribuiu significativamente para o desenvolvimento dos outros dois níveis.

No caso de satélites do porte e complexidade dos CBERS estas capacitações em integração de sistemas incluem a gestão de propriedades emergentes e de desequilíbrios do sistema causados por ritmos diferenciados de mudança técnica das disciplinas que fundamentam o produto.

O subsistema de controle de órbita e atitude (AOCS) merece atenção especial, e as capacidades de criação de novos conhecimentos e absorção organizacionais que compõem as capacitações generativas devem ser fomentadas com mais intensidade. Portanto, investimentos nestas capacitações são fundamentais para que o INPE feche o ciclo de aprendizagem tecnológica, por meio da criação de *know-why* que reduzirá a dependência da organização em relação a fontes externas de tecnologia, possibilitando um melhor posicionamento na cadeia de valores da indústria.

As indústrias produtoras de bens de capital estabelecem ligações funcionais com outras indústrias usuárias, e ao incorporar o progresso tecnológico, transmite-o pelo sistema econômico. A interação usuário-produtor é fundamental para que as solicitações de inovação dos usuários sejam incorporadas aos bens de capital, e se transformem em maior produtividade de fatores de produção destas indústrias, assim como em produtos finais de melhor qualidade.

A política de acesso gratuito às imagens geradas pelos satélites CBERS permitiu aumento expressivo na criação de valor econômico, derivada deste esforço inovador, que

pode ser aferida pelo aumento do número de *downloads* de arquivos e de usuários cadastrados. O estabelecimento de preço zero para o acesso às imagens tornou este bem artificialmente escasso em bem público, criando inúmeras novas possibilidades para o seu uso.

Outro fato significativo é o aumento do volume de contratação efetuado com os fornecedores brasileiros, passando de 29 % no CBERS 1&2 para 52% no CBERS 3&4. Este aumento torna-se mais significativo quando se considera que a participação do Brasil passou de 30% para 50%, da primeira para a segunda geração de satélites. Vale também ressaltar que nos CBERS 3&4 a aquisição de componentes críticos dos países desenvolvidos para os subsistemas sob responsabilidade do Brasil foi feita pelo INPE, ao contrário dos CBERS 1&2 que era de responsabilidade dos fornecedores. O que indica que os fornecedores locais estão conseguindo agregar mais valor em suas prestações de serviço.

O sucesso do programa demonstra a viabilidade de acordos desta natureza entre países de industrialização recente, visto que os países desenvolvidos, de maneira geral, se mostram avessos a acordos de cooperação nas indústrias intensivas em tecnologia, notadamente aquelas de bens de capital.

Referências

ARGYRIS, C. **Reasoning, learning, and action: individual and organizational**. San Francisco: Jossey-Bass 1982

BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Managing in an age of modularity. **Harvard Business Review**, v.75, n.2, p.84-93, Sep.- Oct., 1997.

BARNEY, J.; CLARK, D. **Resource-based theory: creating and sustaining competitive advantage**. Oxford: University Press, 2007

BARTELS, W. **Tecnologia aeroespacial e o poder de uma nação**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2002. Palestra proferida na Pós-Graduação.

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.

BUSH, V. **Science, the endless frontier (1945)**. Disponível em: <http://www.nsf.gov/about/history/vbush1945.htm> Acesso em: 14 mar. 2008

CABRAL, A. S. **Análise do desempenho tecnológico da indústria aeronáutica**. 1987. Tese doutorado - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CABRAL, A. S.; DAMIANI, J. H. S.; URBINA, L. M. S. **Strategic analysis of the brazilian aeronautic cluster**: Relatório Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos 2004.

CAMPANÁRIO, M. A.; SILVA, M. M. Fundamentos de uma nova política industrial, in FLEURY, M.T.; FLEURY, A. (eds.). **Política industrial**. São Paulo: Publifolha, V.1 p.13-40 2004

CAMPOS, A. Ciência, Tecnologia e Economia em **Economia da Inovação Tecnológica**, Pelaez e Szmrecsányi Orgs. São Paulo, Editora Hucitec 2006.

CENTRO TECNICO AEROESPACIAL. **Relatório de pesquisa prospectiva na área aeronáutica**. São José dos Campos: CTA, 2002.

CHAGAS JUNIOR, M. F; CABRAL, A. S. Firms integradoras de sistemas, suas capacitações e fontes de tecnologia: o caso da Embraer. In: **SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, PGT** Curitiba, 2004.

CHAGAS JUNIOR, M. F. **A evolução dos modelos de gestão do processo de inovação tecnológica nas firmas: o caso da Embraer..** Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica , São José dos Campos. 2005a

CHAGAS JUNIOR, M. F.; CABRAL, A. S.; CAVALCANTE, M. B. Capacitações em integração de sistemas e a redefinição das fronteiras das firmas: o caso da Embraer e da Siemens Brasil. In: **SEMINÁRIO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA, ALTEC**, Salvador, 2005b.

CHAGAS JUNIOR, M. F. et al. Criação de capacitações em integração de sistemas: o caso do Programa CBERS. In: **SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, ANPAD** Gramado, 2006a.

CHAGAS JUNIOR, M. F. et al. Systems integration capability building: the case of China-Brazil Earth Resource Satellite – CBERS – Program. In: **WORKSHOP ON SYSTEMS INTEGRATION**, Pescara, Itália 2006b.

CHESBROUGH H. **Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology**. Harvard Business School Press, Boston. 2003a

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

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of r&d. **The Economic Journal**, v. 99, p. 569-596, sep., 1989.

COOK, S.; BROWN, J. Bridging epistemologies: the generative dance between organizational knowledge and organizational knowing. **Organization Science**, v.10, n. 4, p.381-400, 1999.

DAVIS A; HOBDAY,M. **The business of projects: managing innovation in complex products and systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

DEMSETZ, H. The Theory of the Firm Revisited, **The Journal of Law, Economics and Organization** 4, 141 – 161, 1988

DESCARTES, R. **Discurso do Método**, São Paulo, Martins Fontes, 1989

DEWEY J. **The quest for certainty**. New York: Putnam, 1960.

DIERICKX, I.; COOL K. Asset stock accumulation and sustainability of competitive advantage. **Management Science**, v.35, n.12, p.1504-1510, 1989.

DOSI, G. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, 26, n.3, p. 1120 – 1171, 1988

DOSI, G. et al. **The economics of system integration: toward an evolutionary interpretation**. Pisa: Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, 2002. ([LEM Papers Series](#); 2002/16). Disponível em: <<http://www.lem.sssup.it/WPLem/files/2002-16.pdf>> Acesso em: 14 nov.2007.

DRUCKER, P. **Modern Prophets: Schumpeter and Keynes?** 1983
http://www.peterdrucker.at/en/texts/proph_01.html Acesso em: 15 jul.2008

DRUCKER, P. **Innovation and entrepreneurship**. [S.l.]: Harper Business Edition, 1993.

EISENHARDT, K. MARTIN, J. Dynamic capabilities: what are they? **Strategic Management Journal**, v. 21, p.1105 – 1121, 2000.

EISNER, H. **Essentials of project and systems engineering management**. New York: John Wiley, 2002.

EISNER, H. **Managing complex systems**. New York: John Wiley, 2005.

FLEURY, M.T.; FLEURY, A. (eds.). **Política industrial**. São Paulo: Publifolha, 2004. v. 1-2.

FRANSMAN, M.; E KING, K. (eds.) **Technological capability in the third world**. London: Macmillan Press 1984.

FREEMAN, C. Networks of innovators: a synthesis of research issues. **Research Policy**, v.20, n.5, p. 499-514, 1991.

FREEMAN, C.; CLARK, J.; SOETE, L. **Unemployment and technical innovation: a study on long waves and economic development**. Londres: Printers Publishers, 1982

FREEMAN, C.; SOETE, L. **The economics of industrial innovation**. 3rd. ed. Cambridge: MIT Press, 1997.

FORSBERG, K. et al. **Visualizing project management: models and frameworks for mastering complex systems**. 3rd.. ed. New York: John Wiley, 2005.

GHOLZ, E. Systems Integration in the US Defence Industry Who does it and Why is it Important? In: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBDAI, M. (Eds). **The business of systems integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

HELPHAT, C. et al. **Dynamic capabilities: understanding strategic change in organizations**. Malden, MA: Blackwell Publishing, 2007.

HENDERSON, R. M.; CLARK, K. B. Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. **Administrative Science Quarterly**, n.35, p. 9-30, 1990.

HOBDAI M. Product complexity, innovation and industrial organisation. **Research Policy**, n. 26, p. 689-710, 1998.

HOBDAI, 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.

JOHNSON, S. B. Three approaches to big technology: operations research, systems engineering and project management. **Technology and Culture**, v.38, n.4, p.891-919, 1997.

JOHNSON, S. B. Systems integration and social solution of technical problems in complex systems. In: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBDAI, M. (Eds). **The business of systems integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

KIM, D. The link between individual and organizational learning. **Sloan Management Review**, Fall, p.37-50, 1993.

KIM, L. **Imitation to innovation: the dynamics of korea's technological learning**. Boston: Harvard Business School Press, 1997.

KIM, L.; NELSON, R. R. **Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências de economias de industrialização recente**. Campinas: Editora Unicamp, 2005.

KLINE, S.J. Innovation is not a linear process. **Research Management**, v. 28, n. 4, p.36-45, jul.-aug. 1985.

KLINE, S.J.; ROSENBERG N. An Overview of Innovation, em Landau, R; Rosenberg, N. (orgs.), **The Positive Sum Strategy**, Washington, DC: National Academy of Press, 1986.

KOSSIAKOFF, A.; SWEET, W. N. **Systems engineering: principles and practice**. New Jersey: Wiley-Interscience, 2004.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**, 3 ed. São Paulo, Editora Perspectiva 1995

KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. (eds.) **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2002.

KUZNETS, S. **Modern economic growth: rate, structure and spread**. Yale: YaleUniveersity, 1966.

LAWRENCE, P. R.; LORSCH J.W. Differentiation and integration in complex organizations. **Administrative Science Quarterly**. 12 1-47, 1967

LEONARD-BARTON, D. Core capabilities and core rigidities: a paradox in managing new product development. **Strategic Management Journal**, v.13, p. 111-125, 1992.

LINO, C.O. LOUREIRO, G. e VERTAMATTI, B. "CBERS – Disclosing a Succesful International Space Cooperation." 53 rd **International Astronautical Congress – IAC-02-IAA.6.1.04.**, 2002.

LOUREIRO, G. **A Systems Engineering and Concurrent Engineering Framework for Integrated Development of Complex Products**, Tese de Phd. Loughborough University, Loughborough, Reino Unido, 1999.

MALERBA F. (ed.) **Economia dell'innovazione**. Roma: Carocci Editore, 2000.

MARCH, J.G. Exploration and exploitation in organizational learning, **Organization Science**, 2/1, p. 71 – 87, 1991.

MILLER, R. Innovation in complex product systems industries: the case of flight simulation. **Industrial and Corporate Change**, v.4, n.2, p. 363-400, 1995.

MINTZBERG, H. **Criando organizações eficazes – estruturas em cinco configurações** São Paulo Editora Atlas 2ª Ed., 2003

NASA. **NASA FBC task final report 2000**. Washington, DC, 2000. Disponível em: <<http://ftp.hq.nasa.gov/pub/pao/reports/2000/fcbriefingpkg1.pdf>> Acesso em: 08 jul. 2007

GROWING pains. **Nature**, v. 452, n. 7154, p.127, mar. 2008. doi:10.1038/452127a
Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v452/n7184/pdf/452127a.pdf> Acesso em : 18 set 2008

MARKETS can save forests. **Nature**, v. 452, n. 7154, p.127, mar. 2008. doi:10.1038/452127b
Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v452/n7184/full/452127b.html>>
Acesso em : 18 set 2008.

ON MESSAGE, off target. **Nature**, v. 452, n. 7154, p.128, mar. 2008. doi:10.1038/452128a
Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v452/n7184/full/452128a.html>>
Acesso em : 18 set 2008.

NELSON, R. R.; WINTER, S.G. **Uma teoria evolucionária da mudança técnica**. Campinas: Editora Unicamp, 2005.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual Frascati**., 1970.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual Oslo**. Brasília: FINEP, 2004.

PALMER, J. Systems integration. In: SAGE, A.; ROUSE, W. B. (orgs) **Handbook of systems engineering and management** Cap. 14. New York: Wiley-Interscience;, 1999.

PAVITT, K. Key characteristics of large innovating firms, in Dodgson, M e Rothwell, R. (orgs.) **The handbook of industrial innovation**, Cheltenham, Edward Elgar, 1994

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. **A teoria do crescimento da firma**. Campinas: Editora Unicamp, 2006.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution. **Technological Forecasting & Social Change**, n.71, p. 5-26, 2004.

PISANO, G. **The development Factory: Unlocking the potential of process innovation**. Boston, MA, Harvard Business School Press, 1996

PORTER, M. **The competitive advantage of nations**. New York: Free Press, 1990

PORTER, M. **Competição**. S. Paulo: Editora Campus, 1999.

PRAHALAD, C. K.; BETTIS, R. A. The dominant logic: a new linkage between diversity and performance. **Strategic Management Journal**, v.7, n.6, p. 485 – 501, 1986.

PRAHALAD, C. K.; HAMEL, G. The core competence of the corporation. **Harvard Business Review**, v.68, n.3, p.79-91, 1990.

PRENCIPE, A. Technological capabilities and product evolutionary dynamics: a case study from the aero-engine industry. **Research Policy**, n. 25, p. 1261-76 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.; DAVIES, A.; HOBDAV, M. (eds.). **The business of system integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

RECHTIN, E. **Systems architecting of organizations: why eagles can't swim**. Boca Raton: CRC Press, 2000

RICHARDSON, G. B. The organization of industry. **The Economic Journal**, v. 82, n. 327 p. 883-896, 1972.

RICHARDSON, G. B. The organization of industry re-visited. In: DRUID SUMMER CONFERENCE ON CREATING, SHARING AND TRANSFERRING KNOWLEDGE, 2003, Copenhagen. (**DRUID Working Papers**, n. 02-15, 2002) Disponível em: < http://www.druid.dk/uploads/tx_picturedb/ds2003-854.pdf> Acesso em: 11 ago.2008

RIOS NETO, A. **Modelando e analisando o processo tecnológico**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Slides de Palestra na Pós-graduação.2003

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

ROSENBERG, N. **Exploring the black box: technology, economics and history**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

ROSENBERG, N. **Por dentro da caixa preta**. Campinas: Editora. Unicamp, 2006.

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

SAGE, A.; LYNCH, C. **Systems integration and architecting: an overview of principles, practices, and perspectives**. New York: John Wiley, 1998.

SAKO, M. **Contracts, prices and trust: how the japanese and british manage their sub-contracting relationships**. Oxford: Oxford University Press, 1992.

SANCHEZ, R.; MAHONEY, J. Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organizational design. **Strategic Management Journal**, v.17, special issue, p.63-76. 1996.

SAPOLSKY, H. Inventing systems integration. In: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBBDAY, M. (Eds) **The business of systems integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003.

SCHMIDT-TIEDEMANN, K.J., A new model of the innovation process, **Research Management**, 25, p. 18–21. 1982.

SCHMOOKLER, J. **Invention and Economic Growth**. Cambridge: Cambridge Harvard University Press, 1966.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito e o ciclo econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1984.

SILLITTO, H. **Some really useful principles: a new look at the scope and boundaries of systems engineering**. In: INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, 2005. Disponível em: <www.incose.org/symp2005/Schedule_Events/Tuesday.pdf> Acesso em: 11 dez. 2007.

SIMON, H. **The science of the artificial**. The MIT Press, 1981

STEPAN, N., **Beginnings of Brazilian Science - Oswaldo Cruz, Medical Research and Policy, 1890-1920** New York, Science History Publications, 1976.

STOKES, D.E. **O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica**. Campinas: Editora Unicamp, 2005.

TEECE, D. J. Profiting from technological innovation: implications for integrating, collaborating, licensing and public policy. **Research Policy**, 15, p285-305, 1986.

TEECE, D. J.; PISANO, G. P. The dynamic capabilities of firms: an introduction. **Industrial and Corporate Change**, n.3, p. 537-56, 1994.

TEECE, D. J., PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal**, v.18, n.7, p. 509-533, 1997.

THOMPSON, J. D. **Organizations in Action**, McGraw-Hill, New York. 1967

UTTERBACK, J.M, **Dominando a dinâmica da inovação**, Qualitymark Editora, Rio de Janeiro 1996

WILLIAMSON, O. Strategy research: governance and competence perspectives. **Strategic Management Journal**, v.20, n.12, p.1087 -1108, 1999.

WINTER, S. Satisficing, selection, and the innovating remnant. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 85, n. 2, p.237-261, 1971

WINTER, S. Understanding dynamic capabilities. **Strategic Management Journal**, v. 85, n. 24, p.991-995, 2003

YIN, R. K. **Case study research - design e methods**. 3rd.ed. Sage Publications, California Thousand Oaks: 2003

ZANDI, I. Science and engineering in the age of systems. In: INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING. **Conference Russell Ackoff University of Pennsylvania 2000**. Disponível em: <http://www.incose.org/delvalley/Zandi_Paper.pdf> Acesso em: 18 jul.2007.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TD	2. DATA 04 de maio de 2009	3. REGISTRO N° CTA/ITA/TD-008/2009	4. N° DE PÁGINAS 206
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Criação e exercício de capacitações em integração de sistemas: explorando interações entre formas de aprendizagem tecnológica - o caso do programa CBERS			
6. AUTOR(ES): Milton de Freitas Chagas Junior			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Inovação tecnológica, Integração de sistemas, Arquitetura de sistemas, Trajetória Tecnológica, Aprendizagem Tecnológica, Cumulatividade, Visão Baseada em Recursos, Gestão de Projetos			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Inovações tecnológicas; Integração de sistemas; Administração de projetos; Pesquisa e desenvolvimento; Aprendizagem; Organização de empresas; Administração			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Área de Produção. Orientador: Arnaldo Souza Cabral. Defesa em 29/04/2009. Publicada em 2009.			
11. RESUMO: A tese tem como referencial teórico a visão baseada em recursos e sua vertente que trata de inovação em sistemas complexos. Propõe-se um modelo cognitivo estilizado, que representa interações entre principais formas de aprendizagem tecnológica, enfocando as organizações que estabelecem e lideram, com base em projetos, redes de fornecedores: de subsistemas e de conhecimentos especializados. O modelo apresenta uma matriz que relaciona esforços de desenvolvimento coordenados interna e externamente à organização e os diferentes efeitos da cumulatividade sobre as rotinas organizacionais, que estão baseadas na arquitetura de um sistema. Para isto, utiliza-se o conceito de capacitações em integração de sistemas fundamentado nas disciplinas: gestão de projetos e engenharia de sistemas, para definir os processos do ciclo de vida de um sistema. A tese tem caráter exploratório e utiliza evidências empíricas extraídas do estudo de caso de uma organização envolvida com a produção de sistemas complexos: o INPE. O estudo é centrado no programa de cooperação tecnológica entre o Brasil e a China para a produção de satélites de sensoriamento remoto. O trabalho sustenta que as capacitações em integração de sistemas constituem um meio efetivo para a criação de valor econômico em uma sociedade, permitindo o <i>catch-up</i> tecnológico.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)