

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS

Curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica da
Ciência e da Tecnologia em Institutos Públicos de
Pesquisa

**“Capacidade Tecnológica e Indicadores de
desempenho na Divisão de Operações do
CPTEC/INPE”**

2010

Waldenio Gambi Almeida

**Capacidade Tecnológica e Indicadores de desempenho na Divisão
de Operações do CPTEC/INPE**

Coordenador: Paulo Negreiros Figueiredo

Orientador: Klauber N. Brito

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Gestão Estratégica da Ciência e Tecnologia em Institutos Públicos de Pesquisa de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV in company requisisto para a obtenção do título de Especialista.

INPE

São José dos Campos – SP

2010

O Trabalho de Conclusão de Curso

**Capacidade Tecnológica e Indicadores de desempenho na Divisão de
Operações do CPTEC/INPE**

Elaborado por Waldenio Gambi de Almeida e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para obtenção certificado do Curso de Pós-Graduação *lato senso*, Nível de Especialização, do Programa FGV in Company

Data da aprovação: _____ de _____ de _____

Paulo Negreiros Figueiredo

Klauber N. Brito

Resumo:

Nos últimos anos a Previsão Numérica de Tempo têm adquirido importância econômica e estratégica, e o domínio destas tecnologias é relevante para uma nação como o Brasil. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foi criado em 1994 para “Prover o país com o *estado-da-arte* em previsões de tempo e clima”.

Sendo assim, a questão é se esta meta está ou não sendo atingida. O CPTEC/INPE é uma organização que está acompanhando o desenvolvimento internacional e o passo das inovações no setor ou está estagnada, sem atingir a proposta e missão institucional ? Aqui o papel da inovação tecnológica é essencial, pois a Previsão Numérica está em rápido desenvolvimento, e a incorporação de novas técnicas é necessária para que os produtos se mantenham competitivos e atendam às novas demandas que se apresentam.

Esta é a questão que este trabalho busca endereçar. A resposta não é simples, mas passa por mensurar e controlar a capacidade tecnológica da organização e o seu desenvolvimento ao longo do tempo. É com base em sua capacidade tecnológica que as empresas podem realizar suas atividades de produção e de inovação, e no caso de uma instituição intensiva em conhecimento como o CPTEC/INPE, a capacidade tecnológica não só é essencial, mas também o ativo mais importante da organização. A proposta deste trabalho é criar uma métrica para mensurar a capacidade tecnológica de alguns setores do CPTEC/INPE, assim como um conjunto de indicadores, necessários para identificar a posição atual da organização em relação aos líderes internacionais do setor.

É uma forma interessante para posicionar o centro dentro de um contexto histórico maior, e pode ser uma ferramenta importante para orientar os investimentos necessários assim como estratégias gerenciais. É um método que pode servir para mostrar de uma forma objetiva se o centro está ganhando ou perdendo capacidade em relação às referências no setor. A métrica apresentada neste trabalho pode servir de modelo para trabalhos futuros, esta metodologia pode ser uma ferramenta para facilitar a administração e acompanhamento da capacidade tecnológica da organização, assim como avaliar se a instituição está atingindo os objetivos estabelecidos em sua missão.

Sumário

1	Introdução.....	5
2	Aprendizagem e Capacidade Tecnológica	7
2.1	Acumulação de Capacidade Tecnológica	10
2.2	Uma Métrica de Capacidade Tecnológica	12
2.3	A Trajetória de acumulação de capacidade tecnológica	13
3	A Previsão Numérica de Tempo	15
3.1	O Contexto Internacional	16
3.2	A Formação do CPTEC/INPE	18
3.3	Aprendizagem tecnológica no CPTEC/INPE	21
4	Mensurando a Capacidade Tecnológica do CPTEC/INPE	23
4.1	Construindo uma Métrica	24
4.2	Atividades na Previsão Numérica de Tempo	25
4.3	Uma Métrica para os Modelos Numéricos	27
4.4	Uma métrica para Gestão de Projetos	29
4.5	Aplicação da Métrica e avaliação dos resultados.	31
4.6	Indicadores, evolução temporal e comparações	32
4.7	Um indicador para Processamento de Dados Meteorológicos	33
5	Discussão e Conclusões	40
6	REFERÊNCIAS	43

1 Introdução

O processo de Previsão Numérica de Tempo utiliza as condições presentes da atmosfera para alimentar modelos matemáticos a fim de prever as condições de tempo no futuro. Apesar dos primeiros esforços nesse sentido terem sido feitos ainda na década de 1920, foi apenas após os anos 70 que esta atividade passou a ser factível em tempo-real, graças à disponibilidade de supercomputadores, necessários para manipular a quantidade de dados e executar os cálculos complexos.

Nos últimos anos, graças a novos computadores e à disponibilidade de dados de satélites, os resultados dos modelos numéricos de previsão de tempo têm ganho precisão e confiabilidade, e conseqüentemente, maior importância econômica e estratégica. Hoje estes resultados são importantes para áreas estratégicas como a agropecuária, a navegação, a produção de energia (especialmente a hidroelétrica), operações aeroportuárias, entre outras.

Não é preciso argumentar muito para concluir que o domínio das tecnologias de Previsão Numérica de Tempo é algo estratégico para uma nação de dimensões continentais como o Brasil. Essa importância estratégica se torna ainda mais evidente quando se constata que, embora os serviços de previsão de tempo sejam executados pela iniciativa privada em todo o mundo, os trabalhos de Previsão Numérica ficam a cargo de organizações governamentais, devido ao volume de investimentos necessários para montar e manter estes serviços. As empresas provedoras de serviços hidrometeorológicos ou climáticos são usuárias dos produtos disponibilizados pelos centros nacionais de Previsão Numérica.

O Setor de Previsão Numérica de Tempo é uma área onde a inovação tecnológica desempenha um papel muito forte, e reúne engenharia de software, pesquisa aplicada e técnicas industriais, pois é preciso garantir que a produção ocorrerá sem falhas. Aqui o papel da inovação é essencial, pois a Previsão Numérica está em rápido desenvolvimento, e a pesquisa e implantação de novas técnicas é algo necessário para que os produtos se mantenham competitivos e atendam às novas demandas que se apresentam.

Assim, se podemos concluir que o setor é estratégico para a nação e que ele deve ser mantido e desenvolvido por organizações governamentais, concluímos também que o Brasil está seguindo um rumo acertado, pois possui desde 1994 um centro dedicado a estas funções, subordinado ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Por outro lado, o centro precisa funcionar de forma eficiente e ser eficaz em suas ações, a fim de efetivamente dominar as tecnologias críticas a fim de prover a nação. Assim, é preciso enfrentar as dificuldades e desafios

inerentes ao serviço público nacional. Esta não é uma questão menor, pois o serviço público e o seu regime trabalhista vêm sendo criticado como uma solução de baixa eficiência e eficácia na história recente da nação.

Assim chegamos às questões que este trabalho busca endereçar. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foi criado em 1994 para "Prover o país com o estado-da-arte em previsões de tempo e clima e ter a capacidade científica e tecnológica de continuamente melhorar as previsões, para benefício da sociedade". Sendo assim, a grande questão é se esta meta está ou não sendo atingida.

O CPTEC/INPE é uma organização que esteve e está se desenvolvendo com eficiência e eficácia ou a organização caminha uma rota de ineficiência como advogam os críticos do serviço público ? A instituição está acompanhando o desenvolvimento internacional e o passo das inovações no setor ou está estagnada, sem atingir a fronteira da técnica de acordo com a proposta e missão institucional ? Esta questão é de grande importância para o INPE, pois se o INPE não estiver cumprindo sua missão com eficiência, por um lado a nação será prejudicada, mas por outro pode abrir espaço para que esta responsabilidade seja concedida a outras organizações, representando uma perda estratégica para o INPE.

A resposta não é simples, pois o ciclo completo da Previsão Numérica de Tempo é formado por vários setores e sub-setores, cada qual com a sua própria tecnologia. A organização pode estar muito desenvolvida num determinado setor, mas deficiente em outro. Mesmo um setor que se desenvolveu satisfatoriamente pode perder agilidade ao longo do tempo, e não ser capaz de acompanhar o ritmo das inovações internacionais. As próprias equipes de trabalho podem perder lideranças, o que pode resultar em perda de disciplina e motivação, levando à estagnação dos setores e à perda da capacidade tecnológica.

Assim, o problema a ser abordado neste trabalho é como mensurar e controlar a capacidade tecnológica atual da organização e o seu desenvolvimento ao longo do tempo, assim como a eficiência e eficácia dos trabalhos e operações necessários para que a instituição atinja os objetivos estabelecidos em sua missão.

A proposta é criar uma métrica para a capacidade tecnológica de alguns setores operacionais do CPTEC/INPE. Para cada atividade será criado um conjunto de indicadores, necessários para identificar a posição atual da organização em relação aos líderes internacionais do setor. Esta é uma forma de mensurar como a capacidade tecnológica tem evoluído ao longo do tempo, e de compará-la com outros centros de referência. É uma forma

interessante para posicionar o centro dentro de um contexto histórico maior, e pode ser uma ferramenta importante para orientar os investimentos necessários assim como estratégias gerenciais. É um método que pode servir para mostrar de uma forma objetiva se o centro está ganhando ou perdendo terreno dentro de um contexto mais amplo em relação às referências no setor, que são os principais centros de previsão numérica de tempo do mundo, como o Centro Europeu de Meteorologia (ECMWF), o NCEP dos Estados Unidos, e os centros da Coreia do Sul, Japão, China, Alemanha, França e Canadá.

Com relação à contribuição deste trabalho para o INPE, é possível argumentar que, em geral, o INPE é uma organização que possui grande proficiência técnica e facilidade para dominar novas tecnologias. Isso é até natural, visto que é uma organização de cunho científico administrada por pesquisadores. Porém, no que se refere a trabalhos de ordem mais administrativa ou gerencial, o INPE não possui a mesma proficiência.

Seguindo o modelo atual o INPE pôde atingir vários objetivos e construir uma posição com capacidade tecnológica de destaque na América Latina. Porém, é preciso considerar se o modelo atual será suficiente para alcançar patamares tecnológicos mais elevados ou uma posição de maior destaque no cenário internacional.

Estes pontos se tornam mais importantes para as áreas operacionais ou de produção, como muitas das desenvolvidas no CPTEC. Isso porque, se para os trabalhos científicos a contribuição mais importante vem do trabalho individual dos pesquisadores, para as atividades de produção a contribuição vem das equipes de técnicos e engenheiros, que necessitam de um gerenciamento mais elaborado do que o trabalho do cientista.

Uma vez que o INPE carece de procedimentos administrativos mais elaborados para a gestão de trabalhos de cunho tecnológicos, este trabalho com uma métrica de mensuração mais objetiva da presente capacidade tecnológica de um dos setores críticos para o INPE é uma iniciativa que pode ser útil não apenas para facilitar a administração e acompanhamento do próprio setor, mas também servir de exemplo ou modelo para trabalhos semelhantes em outros setores do INPE.

2 Aprendizagem e Capacidade Tecnológica

Costuma-se entender aprendizagem tecnológica em dois sentidos. O primeiro refere-se à trajetória de acumulação de capacidade tecnológica. Essa trajetória pode mudar com o

tempo: podem-se acumular capacidades tecnológicas em diferentes direções e a diferentes velocidades. O segundo sentido diz respeito aos vários processos pelos quais conhecimentos técnicos (tácitos) de indivíduos são transformados em sistemas físicos, processos de produção, procedimentos, rotinas e produtos e serviços da organização. O termo aprendizagem é aqui entendido neste último sentido. Entenda-se por aprendizagem o processo que permite à empresa acumular capacidade tecnológica ao longo do tempo.

Várias são as definições de capacidade tecnológica encontradas na literatura. As mais antigas dizem respeito a uma “atividade inventiva” ou ao esforço criativo sistemático para obter novos conhecimentos em nível da produção (Katz, 1976). A capacidade tecnológica também inclui as aptidões e os conhecimentos incorporados nos trabalhadores, nas instalações e nos sistemas organizacionais, visando mudanças tanto na produção quanto nas técnicas utilizadas (Bell, 1982; Scott-Kemmis, 1988).

Lall (1982, 1987) define capacidade tecnológica como um “esforço tecnológico interno” para dominar novas tecnologias, adaptando-as às condições locais, aperfeiçoando-as e até mesmo exportando-as. Dahlman e Westphal (1982) formularam o conceito de “domínio tecnológico”, concretizado através do “esforço tecnológico” para assimilar, adaptar e/ou criar tecnologia. Tal definição é análoga à “capacidade tecnológica” de Bell (1982) e Scott-Kemmis (1988). Aprimorando o conceito, Westphal et al. (1984:5) definem capacidade tecnológica como a “aptidão para usar efetivamente o conhecimento tecnológico”. Todas essas definições estão claramente associadas aos esforços internos das empresas no sentido de adaptar e aperfeiçoar a tecnologia por elas importada. Tais esforços estão ligados aos aprimoramentos em termos de processos e organização da produção, produtos, equipamentos e projetos técnicos.

De um ponto de vista mais restrito, Pack (1987) entende que a capacidade tecnológica está incorporada em um grupo de indivíduos (p. ex., gerentes, técnicos e engenheiros). Porém, tal definição se mostra demasiado limitada, ignorando o contexto organizacional onde se desenvolvem tais recursos. Para Enos (1991), a capacidade tecnológica envolve o conhecimento técnico (reunido em engenheiros e operadores) e a instituição. Todavia, essa definição, assim como a de Pack, sugere que a capacidade tecnológica reside nas pessoas, e que as instituições somente as agregam, mas não as incorporam.

Bell e Pavitt (1993, 1995) formularam uma definição mais ampla, segundo a qual a capacidade tecnológica incorpora os recursos necessários para gerar e gerir mudanças tecnológicas. Tais recursos se acumulam e incorporam aos indivíduos (aptidões, conhecimentos e experiência) e aos sistemas organizacionais. Essa definição parece basear-se

em outras formuladas anteriormente (p.ex., Katz, 1976; Lall, 1982, 1987; Dahlman & Westphal, 1982; Bell, 1982; Westphal et al., 1984; Scott-Kemmis, 1988). Além disso, a capacidade tecnológica é de natureza difusa. A partir da “abordagem baseada nos recursos específicos da firma” (Penrose, 1959) e valendo-se de evidências empíricas, Bell (1982) faz distinção entre dois tipos de recursos: os que são necessários para “usar” os sistemas de produção existentes e os que são necessários para “mudar” os sistemas de produção. Estes últimos não devem ser tomados como um conjunto distinto de recursos especializados; por serem de natureza difusa, estão amplamente disseminados por toda a organização.

Em outras palavras, a capacidade tecnológica de uma empresa (ou de um setor industrial) está armazenada, acumulada, em pelo menos, quatro componentes (Lall, 1992; Bell & Pavitt, 1993, 1995; Figueiredo, 2001): (a) sistemas técnicos físicos – referem-se à maquinaria e equipamentos, sistemas baseados em tecnologia de informação, software em geral, plantas de manufatura; (b) conhecimento e qualificação das pessoas – referem-se ao conhecimento tácito, às experiências, habilidades de gerentes, engenheiros, técnicos e operadores que são adquiridos ao longo do tempo, mas também abrangem a sua qualificação formal. Esta dimensão tem sido geralmente denominada de “capital humano” da empresa ou país; (c) sistema organizacional – refere-se ao conhecimento acumulado nas rotinas organizacionais e gerenciais das empresas, nos procedimentos, nas instruções, na documentação, na implementação de técnicas de gestão, nos processos e fluxos de produção de produtos e serviços e nos modos de fazer certas atividades nas organizações; (d) produtos e serviços – referem-se à parte mais visível da capacidade tecnológica, refletindo conhecimento tácito das pessoas e da organização e os seus sistemas físicos e organizacionais; por exemplo, nas atividades de desenho, desenvolvimento, prototipagem, teste, produção e parte da comercialização de produtos e serviços, estão refletidos os outros três componentes da capacidade tecnológica.

Logo, existe uma relação inseparável entre esses quatro componentes. Capacidade tecnológica, portanto, possui uma natureza abrangente. Ademais, a capacidade tecnológica é intrínseca ao contexto da firma, região ou país onde é desenvolvida (Penrose, 1959; Dosi, 1988a, 1988b). Logo, por causa da natureza tácita e ampla da tecnologia – e da capacidade tecnológica –, a dimensão organizacional é, de fato, um componente da tecnologia. Por isso, não se faz aqui distinção entre capacidade tecnológica e organizacional – ou entre tecnologia e organização –, já que a última é parte integrante da primeira. Porém, há uma tendência a se negligenciar a dimensão organizacional (e gerencial) da capacidade tecnológica.

Ou seja, enquanto grande ênfase costuma ser dada ao “capital humano” como fonte de desenvolvimento tecnológico, inadequada atenção tem sido dedicada ao “capital organizacional”. Essas perspectivas limitadas de capacidade tecnológica podem ter implicações práticas importantes para a implementação de estratégias de inovação industrial. Por exemplo, uma das causas de resultados pífios, em termos de desempenho inovador e/ou técnico-econômico da tecnologia importada para a empresa receptora é a “compra” de tecnologia limitada aos sistemas físicos e técnicos.

Em outros casos, ainda que forte atenção possa ser dada ao desenvolvimento de “capital humano” para absorver a tecnologia importada, a dimensão organizacional é normalmente negligenciada. Por exemplo, em atividades de trabalho de campo para pesquisa é comum encontrar gerentes que afirmam que, a despeito da presença de máquinas avançadas e de engenheiros e técnicos altamente qualificados, não se consegue obter inovação em produtos e serviços e não se consegue melhorar o desempenho técnico da empresa. Ou seja, falta uma “organização” para integrar esses elementos. Isso parece refletir a ausência ou inadequação de esforços para aprimorar o tecido organizacional e gerencial onde a capacidade tecnológica da empresa é acumulada.

2.1 Acumulação de Capacidade Tecnológica

A Acumulação de Capacidade Tecnológica é uma tarefa crítica para organizações em economias emergentes. Uma das características de empresas que operam no contexto de economias emergentes – ou de industrialização recente – é que normalmente iniciam o seu negócio a partir da tecnologia que adquiriram de outras empresas em outros países. Estas organizações, ao iniciarem as suas atividades, não dispõem sequer das capacidades tecnológicas básicas. Para tornarem-se competitivas e aproximarem-se de empresas da “fronteira tecnológica internacional”, elas têm que se engajar em um processo de aprendizagem para construir e acumular sua capacidade tecnológica.

Adicionalmente, essas empresas enfrentam outros tipos de desvantagem inicial ao tentar competir em mercados de exportação (Hobday, 1995): (a) estão normalmente deslocadas das principais fontes internacionais de tecnologia e de pesquisa e desenvolvimento (P&D), ou seja, a infra-estrutura de tecnologia e inovação em torno da empresa pode possuir carências em termos de recursos físicos, humanos e financeiros; as universidades locais são, geralmente, pouco desenvolvidas; (b) estão geralmente deslocadas dos principais mercados

internacionais para os quais elas desejam fornecer; localizadas em um país em desenvolvimento, essas empresas precisam construir externamente as suas redes de fornecedores e clientes a partir de suas capacidades tecnológicas.

Portanto, uma vez que empresas em economias emergentes geralmente iniciam em condição de não-competitividade no mercado mundial (“infância industrial”), o problema básico da maturidade industrial é acumular capacidade tecnológica para tornar-se e manter-se competitivo nesse mercado (Bell et al., 1984). Tal acumulação envolve uma seqüência evolutiva e cumulativa – de estágios mais simples a complexos (Katz, 1985; Lall, 1992; Bell & Pavitt, 1995). Empresas que operam em economias emergentes parecem seguir uma trajetória diferente das empresas tecnologicamente inovadoras que operam em economias industrializadas: a acumulação de capacidade tecnológica tende a inverter a seqüência “inovação-investimento-produção” – típica de empresas inovadoras de economias industrializadas –, ao seguir trajetória do tipo “produção-investimento-inovação” (Dahlman et al., 1987).

Essa perspectiva alinha-se ao modelo desenvolvido em Kim (1997) que ilustra como esse tipo de empresa segue uma trajetória baseada num modelo de três estágios: aquisição, assimilação e aprimoramento. Durante seu estágio inicial, a ênfase técnica recai sobre a engenharia e, em menor parte, sobre o desenvolvimento e pesquisa.

A assimilação bem-sucedida de tecnologia de produção e ênfase crescente em promoção de exportação, juntamente com a crescente capacidade científica e tecnológica local, conduz ao gradual aprimoramento da tecnologia. Ao proceder, ao longo dessa trajetória de aquisição, assimilação e aprimoramento, empresas em economias emergentes invertem a seqüência de P,D&E de países tecnologicamente avançados

A história nos dá evidências espetaculares sobre o dinamismo tecnológico de empresas e países. Por exemplo, em um passado distante a China exportava tecnologia para a Europa. No século passado, países antes considerados tecnologicamente atrasados tornaram-se líderes tecnológicos mundiais, tais como, a Alemanha, os Estados Unidos, o Japão, a Coreia do Sul e a Finlândia em indústrias como a de semicondutores, química, farmacêutica, eletrônica de consumo, biológica, automobilística, aço, tecnologia de informação e telefonia móvel.

Logo, é possível começar com o mais baixo nível de capacidade tecnológica e evoluir para níveis muito avançados. Mas isso exige esforços em aprendizagem tecnológica para acelerar a acumulação de capacidades inovadoras, ou seja, capacidades para gerar e gerir mudança tecnológica: das atividades de absorção, adaptação, aprimoramento de tecnologias

existentes à geração de tecnologia própria via engenharia, pesquisa e desenvolvimento (E,P&D).

A fronteira tecnológica move-se sempre, isto é, é um “alvo” de grande dinamismo. Por isso, uma tarefa crucial para empresas que operam em economias emergentes é acumular capacidade tecnológica a uma velocidade (taxa) mais rápida do que a das empresas que já operam na fronteira tecnológica internacional. Logo, não basta entender apenas se e como o desenvolvimento de capacidade tecnológica ocorre em empresas de economias emergentes, mas, principalmente, como acelerá-lo.

2.2 Uma Métrica de Capacidade Tecnológica

No que concerne à identificação e mensuração da capacidade tecnológica em empresas ou setores industriais, o que é importante é não apenas identificarmos se esta existe, mas qual a sua natureza e seu nível de desenvolvimento.

Indicadores relativos à P&D e patentes têm sido extensivamente usados para medir a capacidade tecnológica de empresas, setores industriais e países. Isso normalmente envolve a avaliação de capacidades tecnológicas através de pessoal alocado em laboratórios de P&D, gastos em P&D e da intensidade da atividade de patentes internacionais através de patentes registradas nos Estados Unidos como parâmetro para inovações internacionalmente reconhecidas.

Porém, como argumentado em Lall (1992), Bell e Pavitt (1993, 1995), Dutrénit (2000), Ariffin (2000) e Figueiredo (2001, 2003a, 2003b), há situações em que algumas dessas medidas têm suas próprias limitações e são menos relevantes. Assim, baseando-se nos estudos de Katz (1987), Dahlman et al. (1987) e Lall (1987; 1992; 1994) desenvolveram um modelo no qual as capacidades tecnológicas de uma empresa são categorizadas por funções. Tal modelo sugere que a acumulação se processa das categorias mais simples para as mais complexas.

O princípio dessa métrica começou a ser desenvolvido pelo clássico estudioso russo Alexander Gerschenkron (ver Gerschenkron, 1962). Depois, outro avanço significativo foi feito em Lall (1992) e, mais tarde, refinada em Bell e Pavitt (1995). Em Figueiredo (2001), esse modelo foi empiricamente adaptado para auxiliar na explicação de diferenças entre empresas de aço em termos da maneira e da taxa de acumulação de capacidade tecnológica e, por sua vez, em termos de aprimoramento de desempenho técnico-econômico.

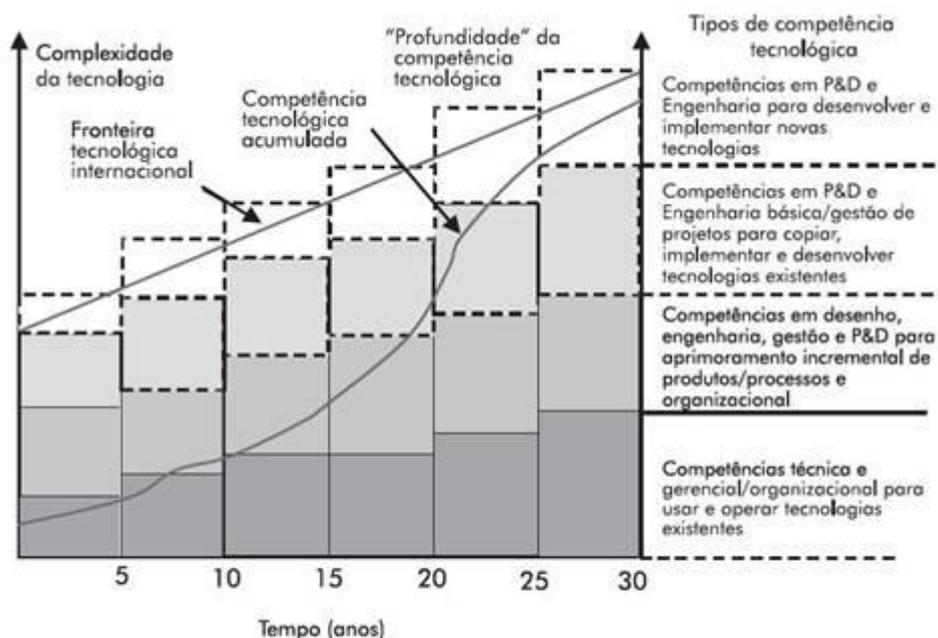
Em outras palavras, o modelo permite identificar e medir capacitação tecnológica com base em atividades que a empresa é capaz de fazer ao longo de sua existência. Com base nesse modelo, é possível distinguir entre: capacidades rotineiras, isto é, capacidades para usar ou operar certa tecnologia, e capacitações inovadoras, isto é, capacidades para adaptar e/ou desenvolver novos processos de produção, sistemas organizacionais, produtos, equipamentos e projetos de engenharia, isto é, capacidades para gerar e gerir a inovação tecnológica.

Eis as razões pelas quais utiliza-se aqui essa definição ampliada de capacidade tecnológica, que é subjacente ao modelo comentado acima: seu sentido está incorporado às características da empresa que opera em uma economia emergente e, portanto, é mais adequado do que aquele adotado na literatura de empresas que operam na fronteira tecnológica internacional; seu sentido é suficientemente amplo para atender ao objetivo de examinar o processo de acumulação tecnológica levando-se em conta tanto as dimensões técnicas quanto as organizacionais da capacidade tecnológica.

A aplicação empírica mais sofisticada desse modelo permite ainda examinar a velocidade (ou taxa) de acumulação, isto é, o número de anos que uma empresa leva para alcançar certo nível de capacidade para funções tecnológicas específicas. Também é possível identificar quanto tempo certa organização permaneceu estacionada em certo nível de capacidade tecnológica. Exemplos de medições de velocidade de acumulação de capacidade tecnológica aparecem em Figueiredo (2001, 2002, 2003a), enquanto que um método e sua aplicação empírica sistemática na indústria eletroeletrônica são desenvolvidos em Ariffin (2000). Essa preocupação em medir o tempo de acumulação tecnológica, presente nesses dois estudos, embora crucial para empresas de economias emergentes, ainda é uma questão negligenciada em estudos empíricos e em estratégias de inovação industrial.

2.3 A Trajetória de acumulação de capacidade tecnológica

Segundo o modelo de “escada tecnológica”, como descrito em Bell (1977) e Figueiredo (2001), uma organização segue uma “trajetória” ou caminho ao longo de um gráfico como o colocado na figura 1. Neste modelo há uma distinção entre *capacidades de produção* e *capacidades de inovação*. E cada uma destas capacidades é dividida em níveis de acordo com a sua complexidade tecnológica. Segundo este modelo, uma organização iniciaria com o nível mais básico da capacidade de produção, e através do aprendizado tecnológico alcançaria a fronteira dos níveis internacionais de inovação.



Fonte: Bell (1997). Ver aplicação empírica em Figueiredo (2001, 2003b)

Figura 2.1: Trajetória de acumulação de capacidade tecnológica: um modelo ilustrativo.

A fronteira internacional de inovação está sempre em movimento, graças ao constante desenvolvimento tecnológico. Isso transparece nesta figura, que se trata de uma série histórica. Se uma organização que esteja na liderança do setor perder capacidade inovadora, logo ela não estará mais na liderança, pois será alcançada e superada pelas concorrentes.

A linha curva dentro do gráfico representa a trajetória de acumulação de capacidade tecnológica de uma organização como o CPTEC/INPE. Esta trajetória se inicia quando as outras organizações já acumulam um respeitável estoque de capacidade tecnológica. Assim, no início há uma diferença apreciável entre a capacidade destas organizações, mas que através do processo de aprendizado tecnológico vai diminuir ao longo do tempo.

Organizações que, como o CPTEC/INPE, operam em contextos de forte competitividade e almejam posições de liderança a nível internacional, precisam estar engajadas num esforço sistemático de acumulação de capacidade tecnológica tanto em nível de *produção* como de *inovação*.

3 A Previsão Numérica de Tempo

A previsão de tempo convencional é uma ciência basicamente observacional, baseada nas observações das variáveis meteorológicas tanto na superfície como nos altos níveis da atmosfera. Os valores observados são manualmente representados em mapas meteorológicos, e a partir destes dados os previsores prognosticam o movimento dos sistemas meteorológicos utilizando a sua experiência e algumas metodologias simples. A confiabilidade dessas previsões tem um prazo máximo de 36 horas.

A atmosfera, como sistema físico, é regida por um sistema de equações matemáticas que deriva da segunda lei de Newton e do desenvolvimento do cálculo diferencial (século XVIII). Porém, o sistema de equações que determina o movimento da atmosfera é muito complexo e não pode ser resolvido de forma exata e analítica. No início do século houve uma tentativa de resolver estas equações manualmente: milhares de pessoas demoraram mais de 48 horas para fazer uma previsão de 24 horas, obtendo resultados desastrosos.

Com a invenção do computador na década de 50 surgiram os primeiros “modelos atmosféricos”, que produziram as primeiras previsões numéricas de tempo. Os primeiros modelos eram muito simples, mas com o desenvolvimento de computadores mais rápidos e eficientes, os modelos numéricos se tornaram mais precisos e completos.

A cadeia de produção de previsão numérica de tempo, consiste basicamente em 4 etapas distintas, cada uma alimentando a seguinte com seus produtos, a fim de chegar no produto final, que é a previsão feita pelo meteorologista após analisar as saídas dos modelos numéricos e outras informações. As quatro etapas são:

- 1) Aquisição, armazenamento e processamento de dados observacionais e de satélite.
 - Existe uma rede de estações de observação meteorológica em torno do globo, suplementada por observações feitas em navios, aviões, aeroportos, e através de satélites. Toda essa variedade de dados é distribuída para os membros da organização meteorológica mundial, e precisa ser processada a fim de alimentar as etapas subseqüentes da previsão numérica.
- 2) O processo de "Assimilação de Dados".
 - Esta etapa consiste em usar modelos matemáticos para gerar campos tridimensionais a partir dos dados observados. Estes campos tridimensionais são necessários para alimentar os modelos matemáticos de previsão.

- 3) Modelos numéricos de previsão de tempo
 - São os modelos matemáticos que simulam o comportamento futuro da atmosfera a fim de estimar qual será o estado no futuro.
- 4) Geração de produtos finais e avaliações.
 - A partir dos resultados dos modelos matemáticos, é preciso gerar figuras e diagramas, escrever boletins e publicar análises. Esta etapa é necessária para que os usuários ou o público possam tomar ciência dos resultados do ciclo de previsão numérica de tempo.

Os modelos de previsão numérica de tempo são programas complexos e possuem dezenas de milhares de linhas de código. Eles se propõem a simular através de equações matemáticas os movimentos da atmosfera (a parte dinâmica), e também precisam levar em conta outros processos, como a formação de nuvens, a precipitação, o balanço hídrico, a radiação solar, a turbulência atmosférica, a influência do solo e da vegetação, a interação com a superfície do oceano, etc. Assim, para executar um sofisticado modelo atmosférico de previsão de tempo é necessário manipular um grande volume de informações e resolver trilhões de operações aritméticas, e isso deve ser feito rapidamente, ou o resultado só estará disponível quando não tiver mais utilidade. Por este motivo é preciso um supercomputador que atenda aos requerimentos de memória, velocidade de cálculo e armazenamento de informação. Quando o desempenho dos supercomputadores aumenta, os centros também aumentam a resolução e a complexidade dos modelos numéricos, de forma que a Ciência Meteorológica é um dos maiores usuários dos serviços de supercomputação no mundo, e está longe de ficar satisfeita com os recursos atuais.

3.1 O Contexto Internacional

No que se refere ao desenvolvimento do setor, temos que nos últimos 30 anos ele tem sido um setor competitivo e inovador. Uma organização que perca o passo no ritmo atual das inovações vai assistir aos próprios produtos perderem o valor para a comunidade de usuários.

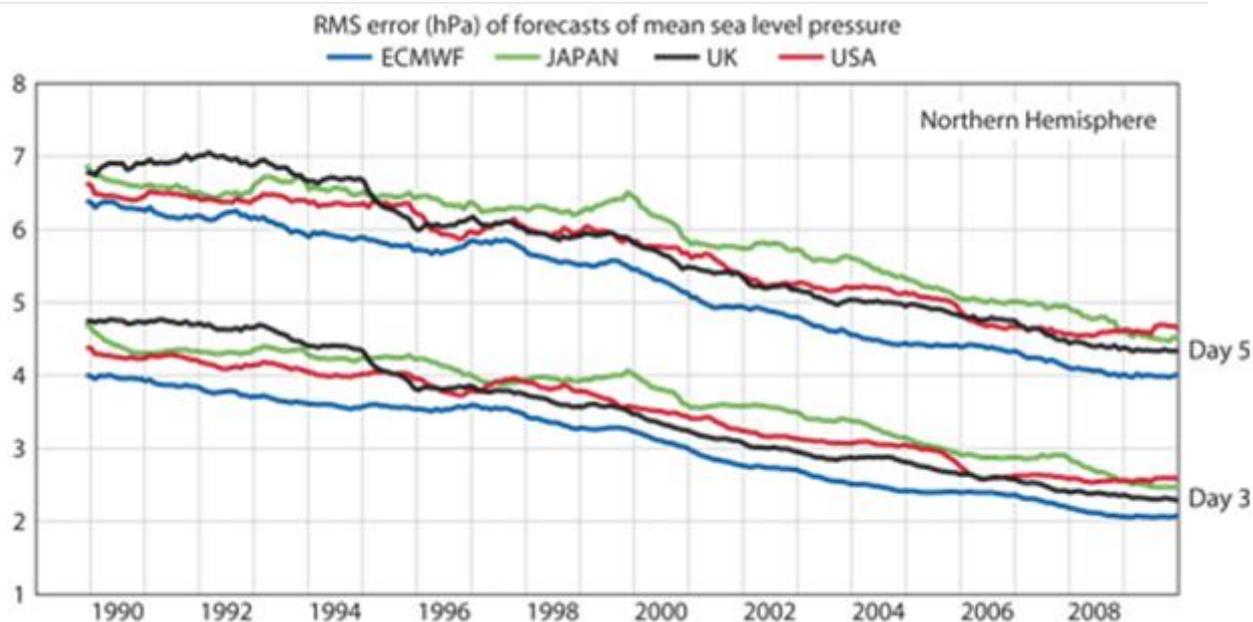


Figura 3.1: Evolução do Erro Quadrático Médio (RMS) dos principais modelos numéricos internacionais de previsão de tempo ao longo dos últimos 20 anos.

A figura 2 é uma boa forma de mostrar essa realidade. Nessa figura temos o nível de erro dos modelos numéricos de previsão dos principais centros internacionais, representados pelo erro quadrático médio (*Root Mean Square Error - RMS*). Há duas famílias de curvas neste gráfico, uma com os erros para as previsões feitas com três dias de antecedência e outra para previsões feitas com cinco dias de antecedência. O gráfico mostra claramente a evolução da acurácia dos modelos numéricos dos principais centros durante os últimos 20 anos. Temos que a acurácia das atuais previsões para cinco dias é comparável à acurácia das previsões de três dias feitas em 1990, e que este desenvolvimento continua.

Ainda analisando esta figura, temos que em 1990 os Estados Unidos tinham resultados melhores para as previsões numéricas do que o Reino Unido e o Japão, mas que ao longo das duas últimas décadas essa liderança foi perdida, de forma que neste momento este país tem resultados ligeiramente piores do que os demais três países. Essa constatação ilustra bem a situação em que, apesar do desenvolvimento dos Estados Unidos no setor ter sido comparável ao dos demais países, ele ainda assim perdeu posições no setor.

3.2 A Formação do CPTEC/INPE

Na década de 70 a Europa e os Estados Unidos já possuíam modelos relativamente sofisticados, mas no Brasil a previsão de tempo ainda era feita de forma subjetiva, com a diferença que já se utilizavam as informações de modelos numéricos produzidos em países estrangeiros. Essa realidade só começou a se modificar a partir de 1994, com a criação do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). A idéia e o projeto do Centro foi concebido no Departamento de Meteorologia do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), instituição que já existia, concentrando pesquisadores e professores de pós-graduação desta área.

Este centro se equipou de infra-estrutura computacional e modelos numéricos, e passou a executar estes modelos numéricos de previsão de forma operacional, isto é, diariamente e de forma rotineira, distribuindo os resultados para diversas empresas e instituições meteorológicas nacionais. Esses resultados passaram a subsidiar as previsões e conclusões dos meteorologistas no seu trabalho diário, servindo como alternativa aos resultados fornecidos por instituições de países estrangeiros.

A existência de um centro de previsão de tempo exige a operação de vários sistemas computacionais e uma infra-estrutura capaz de realizar as previsões em tempo hábil para que as mesmas sejam utilizadas dentro de seu prazo de validade. Um destes sistemas computacionais é o modelo de previsão do tempo, e na época o Brasil não possuía capacidade técnica para desenvolvê-lo. Assim, através de um acordo de cooperação com o COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies) um grupo de pesquisadores do INPE foi aos Estados Unidos para um treinamento de seis meses com o modelo de previsão do COLA. Como resultado este grupo pôde trazer e instalar tal modelo de previsão do tempo no CPTEC em Cachoeira Paulista, que passou a rodar de forma pré-operacional já ao final de 1994.

Entretanto, outros sistemas computacionais são necessários para que se tenha um centro de previsão de tempo completo que independa de outros para realizar suas previsões. Incluindo o modelo de previsão, tais sistemas são: Pré-processamento de Dados, Assimilação de Dados, Modelo de previsão, Pós-Processamento, Geração de Produtos e Disseminação. Aqui começam os pontos: foi feita a escolha de que utilizar os outros sistemas cedidos por outros centros. A exemplo: O Pré-Processamento foi o cedido pelo ECMWF (Centro Europeu de Previsão de Médio Prazo) ; o sistema de assimilação de dados foi o da Agência de Meteorologia do Japão. O sistema de Geração de Produtos e Disseminação teve a escolha de ser desenvolvido em conjunto pelo DPI/INPE em cooperação com o ECMWF. Obviamente

que o uso de sistemas de diversas origens pode trazer complicações para o funcionamento do conjunto todo. Este realmente é um ponto desfavorável da opção adotada, visto que para uso efetivo destes sistemas é necessário um grande trabalho de desenvolvimento de interfaces para a comunicação de resultados entre os diversos sub-sistemas.

Há que se explicar que esta abordagem de obter um sistema de um centro e outro de outro, foi tomada devido às restrições, não só orçamentárias, mas principalmente por alguns centros negaram-se a colaborar integralmente, fornecendo seus sistemas completos, o que seria naturalmente a melhor opção. É claro que tal negativa não se deve somente a um fator, mas devido a uma conjunção. Em alguns Centros os sistemas estavam em pleno desenvolvimento e não seria oportuno esperar uma versão estável para se começar o uso no CPTEC. Em outros casos, dado a acordos anteriores firmados entre outros Centros, seria muito custoso politicamente que um dado sistema fosse cedido, pois exigira a concessão por parte de terceiros.

Uma vez que o Brasil só investe mais fortemente no setor a partir de 1994, temos uma situação similar ao de empresas de economias emergentes como a descrita por Figueiredo (2004) e outros autores. No que se refere à Previsão Numérica de Tempo, o Brasil é um "latecomer", isto é, um país que começa o processo tardiamente, e da mesma forma que as empresas em situação semelhante, o CPTEC/INPE e outras organizações nacionais iniciam um processo de trazer e implantar tecnologias e soluções cedidas pelos demais centros internacionais através de convênios e parcerias, ao mesmo tempo que equipes começam a ser treinadas e a infra-estrutura necessária vai sendo estabelecida aos poucos. Inicia-se assim um processo de acumulação de "capacidade tecnológica" que visa o controle da cadeia completa de previsão numérica de tempo, um objetivo estratégico nacional, definido dentro da política de ciência e tecnologia do governo federal brasileiro.

Por ser um "latecomer", e por já existirem produtos intermediários disponíveis, o CPTEC pôde adotar o que pode ser chamada de "estratégia inversa", isto é, ao invés de construir a cadeia de produção "a partir do começo", isto é, a partir da aquisição e processamento de dados para alimentar os processos subsequentes, o CPTEC priorizou as etapas finais do processo, gerando primeiro os produtos finais a partir de produtos intermediários recebidos de outros centros, para então procurar substituí-los com produtos intermediários gerados localmente. Um processo que tem semelhanças às políticas de "substituição de importações" dos anos 70.

Por outro lado essa estratégia "invertida" na implantação dos processos da cadeia de produção guarda semelhanças com a realidade encontrada pelas empresas de países em

desenvolvimento tal qual identificado por Dahlman et al. (1987). Isto é, ao invés da acumulação tecnológica seguir uma seqüência evolutiva e cumulativa, indo de estágios mais simples aos mais complexos, a trajetória seguida inverte a seqüência "inovação-investimento-produção" para "produção-investimento-inovação".

Porém, a adoção desta estratégia "invertida" não significa que as etapas iniciais da cadeia de produção foram relegadas ao esquecimento, pelo contrário, sempre houve investimento institucional na capacitação destes setores. Mas o fato que se revelou é que, no caso da previsão numérica de tempo, foi mais fácil desenvolver a estrutura das etapas finais da cadeia do que a das etapas iniciais. Os dois principais motivos identificados foram:

- a) O custo das etapas iniciais é maior. Como há a tendência de distribuir alguns recursos de forma equitativa entre diferentes setores, alguns naturalmente irão de desenvolver melhor, pois proporcionalmente recebem recursos maiores.
- b) As etapas finais geram produtos que revertem em valor para os usuários finais. Isso acaba por, naturalmente, dar maior visibilidade a esses trabalhos, além de permitir a obtenção de recursos e financiamentos extras, alimentando um circuito que favorece o desenvolvimento e o aumento da capacidade tecnológica dos setores empenhados nos processos finais.

Por questões organizacionais e administrativas, os ganhos obtidos pelos setores que geram os produtos finais raramente são compartilhados com os setores que os alimentam com produtos intermediários e infra-estrutura, o que, historicamente, leva a um desequilíbrio que favorece o desenvolvimento mais rápido dos setores finais da cadeia de produção.

Porém, se por um lado o domínio das etapas finais da cadeia é o que dá os melhores retornos em termos de produtos, oportunidades e mesmo financeiros, fato que explica o porquê das empresas privadas normalmente trabalharem exclusivamente neste nicho, por outro lado o país tem motivos e benefícios para dominar a cadeia completa de produção.

Um dos motivos principais é geopolítico. Se, por exemplo, o primeiro setor da cadeia, que é a aquisição e processamento de dados, depender de fontes externas, toda a cadeia produtiva instalada no país pode estar sujeita a incertezas de ordem política internacional. Um bom exemplo foi o episódio da guerra das ilhas Malvinas entre Argentina e Inglaterra na década de 80. Durante o conflito, a disponibilização de vários dados e produtos derivados de satélites foram bloqueados para toda a América do Sul, a fim de garantir que a Argentina não tivesse acesso a informações militarmente estratégicas, ainda que a partir dos países vizinhos.

3.3 Aprendizagem tecnológica no CPTEC/INPE

O processo de aprendizagem se iniciou durante o planejamento do CPTEC, quando alguns dos poucos pesquisadores desta área fizeram visitas aos Centros operacionais de previsão do tempo de referência mundial a época, no início da década de 1990. Naquela ocasião foram visitados os centros Americanos (NMC, hoje NCEP; COLA e NCAR), Europeu (ECMWF) e ao Japonês. Com essa visita, além de conhecer os sistemas e as instalações foi dado início a negociações para a aquisição dos sistemas sob a forma de colaboração.

O modelo de previsão do tempo foi fornecido pelo centro americano COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies), do qual também foi originário o modelo usado pelo NMC (National Meteorological Center), agora NCEP (National Center for Environmental Prediction), através de um convênio de colaboração. Através deste convênio um grupo de pesquisadores e tecnólogos do CPTEC, fizeram um estágio naquele Centro em 1994, tanto para aprenderem como se utilizar de tal sistema, quanto para adaptá-lo às necessidades do CPTEC.

Então este grupo de pesquisadores e tecnólogos teve o contato inicial com o modelo de previsão, que é composto de diversas rotinas de códigos em linguagem computacional. Essas rotinas geram o modelo das leis físicas que governam a atmosfera em uma forma que o computador é capaz de realizar as simulações futuras de acordo com tais leis. Para que se tenha uma idéia da dimensão do aprendizado necessário para se realizar adequadamente esta incumbência de se ter um modelo de previsão e desenvolvê-lo, é necessário dizer que as leis simuladas no modelo englobam toda física clássica, termodinâmica, radiação e dinâmica dos fluidos. Neste estágio a equipe do CPTEC interagiu com a equipe de especialistas daquela instituição. A equipe conseguiu adquirir os conhecimentos necessários para iniciar no Brasil a previsão numérica do tempo, e posteriormente o desenvolvimento (inovação, melhorias) do código de tal modelo. Tal equipe foi pioneira nesta área.

Como pode ocorrer em tais situações, esta equipe de pioneiros sofreu perdas com o passar dos anos, seja pela migração de alguns para outras áreas ou para outros locais. Houve transferências para Universidades, também para o setor privado. Em parte pelos baixos salários que afetou o setor público federal do executivo por uma grande parte do período de 1994 até o momento. Por outro lado, observamos que em parte da equipe restante houve um efeito de superestimação do pioneirismo, com eventualmente alguns se sentindo como se “proprietários” dos subsistemas. Estes dois aspectos são pontos negativos das práticas

adotadas neste processo de acumulação de conhecimento, que são muito concentradas nos pesquisadores individuais.

Do lado positivo, tal experiência de aquisição de conhecimento trouxe ao Brasil a possibilidade de iniciar a formação de jovens pesquisadores e tecnologistas nesta área. A pós-graduação em Meteorologia do INPE passou a formar mestres e doutores que desenvolveram suas pesquisas no estudo e aprimoramento das características e capacidades do modelo de previsão do tempo do CPTEC. Este fator fez germinar as sementes nas quais a equipe de pioneiros se tornou. Além disso, o estágio de aprendizado no exterior abriu diversas possibilidades de cooperações efetivadas ao decorrer dos anos. Como diversos pesquisadores, tanto do CPTEC quanto do exterior, realizaram estágios, tanto de curta duração quanto de longa duração (doutorado, doutorado sanduíche, pós-doutorado) em instituições parceiras, isso não só acelerou o desenvolvimento do CPTEC, tanto no modelo de previsão quanto nos outros sistemas do conjunto, mas também tornou o centro mundialmente conhecido.

Ao revermos o histórico descrito acima, fica logo claro que o CPTEC/INPE se assemelha a outras organizações de países em desenvolvimento. São empresas que precisam gerir e construir suas capacidades tecnológicas para conquistar um papel ativo e competitivo no plano global. O CPTEC foi criado com a missão de prover o país com o Estado-da-Arte em previsão numérica de tempo, e como este é um campo em rápido desenvolvimento, para atingir esta meta é necessário estar perto da fronteira do conhecimento. A grande questão que se colocou para os gestores do CPTEC nesta fase inicial foi: “Como aprender a fazer atividades de previsão numérica de tempo e clima e chegar próximo da fronteira internacional de inovação ? “.

Como muitas empresas de países em desenvolvimento, o CPTEC/INPE pode ser classificado como um “*latecomer*”, isto é, uma organização que inicia suas atividades quando líderes globais já estão estabelecidos há muitos anos. Assim como ocorre nestas empresas, o CPTEC iniciou os trabalhos utilizando tecnologia adquirida de outros países. O curioso aqui é que os centros dos países líderes no setor são, ao mesmo tempo, concorrentes e colaboradores. Concorrentes, pois são o “*benchmark*” contra o qual são feitas as comparações, e também colaboradores, pois fornecem tecnologia e treinamento através de colaborações sem maiores exigências.

O início das operações também se caracterizou pela carência de capacidades tecnológicas das mais básicas e a partir daí inicia-se um processo acelerado de aprendizado e acumulação de capacidades. Naturalmente que, tendo sido criado a partir de um núcleo já existente dentro do INPE, o CPTEC já iniciou com um estoque de capacidades tecnológicas,

mas estas estavam concentradas no setor de pesquisa, e as capacidades operacionais (ou de produção) tiveram que ser adquiridas a partir do zero.

4 Mensurando a Capacidade Tecnológica do CPTEC/INPE

No capítulo 1 desta monografia vimos uma discussão sobre o conceito de capacidade tecnológica, assim como sobre o processo de acumulação de capacidade dentro de uma organização, o que foi definido como aprendizagem. Também discutimos como uma métrica pode ser estabelecida a fim de mensurar o nível de capacidade de uma organização, e como situar esta organização em relação a outras, através de comparações. Por fim, discutiu-se a trajetória da capacidade tecnológica de empresas em economias emergentes no que se refere à sua acumulação, um processo que guarda semelhanças com a formação do CPTEC/INPE dentro do contexto maior do setor de Previsão Numérica de Tempo no cenário internacional, como foi discutido no capítulo 2. Agora cabe discutir como a metodologia discutida no capítulo 1 pode ser aplicada ao CPTEC/INPE, a fim de situá-lo no contexto internacional e auxiliar como ferramenta gerencial para alcançar a sua missão institucional.

A solução passa por identificar as atividades da Previsão Numérica de Tempo dentro do CPTEC/INPE, para então construir uma métrica de capacidade tecnológica para cada uma. Feito isso, o próximo passo seria identificar fatos e indicadores que permitam identificar a posição do CPTEC dentro dos diferentes níveis de capacidade tecnológica. A evolução temporal do processo de acumulação, isto é, a velocidade do processo de aprendizagem, seria obtida a com a identificação do tempo que foi necessário para a organização atingir cada um dos níveis ao longo de sua história. Por fim, ao comparar estes resultados com um trabalho semelhante aplicado em outras organizações de referência internacional, teríamos um quadro muito claro e preciso do sucesso ou não do processo de atingir o "*estado-da-arte*" em previsão numérica de tempo, como estabelece a missão institucional.

Longe de pretender ser uma palavra final no assunto, a proposta deste trabalho é mostrar como uma metodologia semelhante pode ser aplicada no CPTEC/INPE, e os benefícios que podem ser obtidos. Hoje, no que se refere ao gerenciamento do processo de acumulação de capacidade tecnológica no CPTEC/INPE, verifica-se que há um planejamento e uma coordenação centralizada, mas ela se baseia em avaliações subjetivas e em relatórios das diferentes equipes. Não raro surgem surpresas, como quando as chefias e coordenações "descobrem" que, ao contrário do senso geral, um determinado setor não domina

adequadamente certas tecnologias que eram tidas como assimiladas pela organização. Uma vez que a maior parte destes conhecimentos está na forma tácita, também é difícil para novas chefias obterem um panorama do estado da instituição, mesmo porque para compreender a situação em sub-áreas específicas é preciso um conhecimento detalhado sobre as especificidades de cada uma, o que não é trivial.

Assim, na proposta deste trabalho, a construção de uma métrica de capacidade tecnológica para o CPTEC/INPE também provê um "mapeamento" das tecnologias necessárias para atingir a missão institucional, assim como uma base para mensurar a situação da instituição no cenário internacional e mesmo avaliar se a evolução ao longo do tempo está se comportando de forma positiva ou negativa. Com um ferramental mais objetivo para a avaliação, torna-se mais evidente a identificação de setores deficientes ou prioritários, e mais concreta a avaliação dos resultados alcançados ao longo do tempo. A Utilização de uma métrica objetiva com indicadores auditáveis como apoio gerencial representaria um divisor de águas no que se refere à gestão do CPTEC/INPE. A conclusão é de que uma avaliação sob essa ótica é um interessante subsídio para uma avaliação estratégia das metas e necessidades da organização, pois se pode gerenciar melhor o que pode ser medido.

4.1 Construindo uma Métrica

A capacidade tecnológica em nível organizacional envolve um conjunto de recursos que podem ser tangíveis, como equipamentos e programas de computador, ou intangíveis, como rotinas organizacionais, valores e normas de trabalho. Na métrica proposta neste trabalho adotamos uma distinção entre capacidade tecnológica para operar e usar tecnologias e sistemas já existentes, o que referenciamos como “capacidades tecnológicas rotineiras”, e a capacidade para inovar tecnologias e sistemas, o que chamamos de “capacidades tecnológicas inovadoras”. A distinção dessas duas “classes” de capacidades, as rotineiras e as inovadoras, é particularmente importante para examinar o grau de capacidade tecnológica da instituição. Definimos assim um conjunto de *atividades* técnico-organizacionais que são executadas de maneira independente, e dividimos estas atividades em tipos e níveis, de forma que podemos classificar as atividades num nível de dificuldade crescente. Assim, o modelo proporciona uma base para a descrição da capacidade tecnológica da organização desde um nível básico, onde estão presentes as atividades de rotina, até níveis de inovação e desenvolvimento tecnológico. De forma geral, a métrica termina por ser apresentada numa tabela, onde as

colunas se referem às atividades técnico-organizacionais, e as linhas se referem aos diferentes níveis dessas atividades, ordenadas das mais simples para as mais complexas.

Porém, construir uma métrica para cada área e sub-área da Previsão Numérica de Tempo é um volume de trabalho razoável. Ele exige não apenas um processo de estudo e análise de cada sub-área da Previsão Numérica de Tempo, mas também discussões e interações com os diversos grupos e especialistas, dentro e fora do CPTEC. Por razões de ordem prática, um trabalho desta envergadura está fora do escopo deste trabalho de conclusão de curso. Assim, este trabalho se limitará a discutir a metodologia, relacionar algumas atividades relacionadas à Previsão Numérica de Tempo, e definir, ainda que de forma incompleta, uma métrica e alguns indicadores para mensurar a capacidade tecnológica da instituição para apenas alguns setores escolhidos.

4.2 Atividades na Previsão Numérica de Tempo

Como já foi rapidamente descrito anteriormente, a cadeia de produção da previsão numérica de tempo consiste basicamente de quatro grandes etapas distintas:

- Processamento de dados meteorológicos;
- Assimilação de dados;
- Modelos numéricos de Previsão;
- Geração de produtos e avaliação.

Infelizmente, quando nos propomos a identificar as atividades necessárias para controlar o ciclo de produção, concluímos que o quadro não é tão simples assim. Não é possível dividir as funções existentes no CPTEC em apenas quatro atividades, pois o desenho acima ignora várias etapas de cunho mais técnico que são essenciais para o processo. Assim, cada uma destas atividades precisa ser subdividida numa gama maior de atividades. Por exemplo, na atividade maior de "Processamento de Dados Meteorológicos", é possível incluir várias outras atividades:

- Aquisição de dados
- Armazenamento e recuperação de dados

-
- Processamento e decodificação dos dados
 - Controle de Qualidade
 - Acesso e Visualização

E teríamos que considerar também algumas atividades de apoio importantes como:

- Gestão de Projetos e Engenharia de Software
- Controle dos processos operacionais

Ora, à primeira vista poder-se-ia argumentar que estes itens seriam comuns a diversas áreas dentro do CPTEC/INPE, e de fato são, isto é, elas são necessárias para diversas áreas e atividades. Porém, uma vez que a organização interna da instituição é muito descentralizada e os diferentes grupos agem com grande independência, acaba que estão em diferentes níveis nestas três áreas, e estas diferenças podem ser muito grandes, mesmo para equipes que são vizinhas de sala. Por este motivo, conclui-se que é necessário avaliar e mensurar estes itens individualmente para cada uma das grandes atividades do CPTEC.

Seguindo a mesma argumentação, uma análise da atividade "Modelos Numéricos" se reorganizou em várias atividades relacionadas:

- Assimilação de dados
- Modelos Numéricos (uso e desenvolvimento)
- Geração de Produtos
- Disseminação (distribuição) de resultados

- Gestão de Projetos e Engenharia de Software
- Controle dos processos operacionais

Como já discutido, não se pretende esgotar o assunto nesta monografia, mas apenas apontar um método. Assim, neste trabalho vamos realizar um exercício de mensuração limitado à análise de duas capacidades tecnológicas: o uso e desenvolvimento dos modelos numéricos de previsão de tempo, e a gestão dos projetos e técnicas de engenharia de software. Passemos assim à construção dessa métrica.

4.3 Uma Métrica para os Modelos Numéricos

Para a atividade relacionada ao uso e desenvolvimento de modelos numéricos, identificamos como capacidade básica de rotina o uso de modelos existentes. Seguindo a mesma tabela, continuamos para as capacidades de rotina, mas agora num nível mais avançado. Para o trabalho de modelagem identificamos a capacidade de *configurar e ajustar os modelos para as condições locais*, uma capacidade que poucos centros conseguem atingir em comparação com a quantidade dos que são capazes de simplesmente *usar* os modelos existentes. Que fique claro de que essa atividade não inclui a modificação do código-fonte do modelo, mas que as configurações devem levar à uma melhoria da performance e/ou dos resultados. Agora passamos para as capacidades tecnológicas inovadoras. No caso de modelagem numérica de tempo isso é naturalmente identificado como o desenvolvimento e aprimoramento destes, uma atividade onde os pesquisadores de diversas organizações trabalham com afinco e dedicação. Assim, o nível básico corresponde a modificações simples nos códigos dos programas, como por exemplo, nas modificações para alterar as saídas e/ou variáveis, ou mesmo nos dados de entrada. Já o nível intermediário corresponde a modificações maiores nos códigos a fim de implementar novas funcionalidades. As funcionalidades em si não são inovadoras, mas os resultados são competitivos e devem ser uma contribuição inovadora. Um exemplo seria a reescrita de códigos a fim de otimizar a performance para determinados supercomputadores. Já no nível de inovação avançado temos o desenvolvimento de *funcionalidades inovadoras*. Estas necessariamente serão não apenas competitivas, mas estarão na fronteira do conhecimento e serão relevantes para outros centros de qualidade internacional.

Tabela 4.1: Níveis de capacidades tecnológicas para o uso e desenvolvimento de Modelos Numéricos de Previsão de Tempo.

Níveis de Capacidade Tecnológica	Desenvolvimento de Modelos Matemáticos de Previsão de Tempo
<i>Capacidades Tecnológicas de Rotina</i>	
Básico	Utilização de Modelos preexistentes.
Avançado	Ajustes e configurações de Modelos para as particularidades regionais e necessidades locais. Ganho de qualidade nos resultados.
<i>Capacidades Tecnológicas Inovadoras</i>	
Básico	Modificações simples nos códigos-fonte dos modelos matemáticos adaptando-os para condições e necessidades locais.
Intermediário	Modificação dos modelos para adicionar novas funcionalidades, com resultados competitivos.
Avançado	Desenvolvimento interno de novas e inovadoras funcionalidades que são adicionadas aos modelos, com resultados relevantes no plano internacional.

4.4 Uma métrica para Gestão de Projetos

Na gestão de projetos de desenvolvimento de software, a capacidade básica de rotina seria a utilização de métodos informais e soluções improvisadas, o que é uma prática comum no setor. Já a utilização de técnicas de engenharia de software como controle de versões e documentação padronizada seria uma capacidade tecnológica avançada. Isso pode parecer pouco em se tratando de engenharia de software, mas é relevante num universo onde prevalece a improvisação e informalidade. Com relação às capacidades inovadoras na gestão de projetos, os resultados não são tão claramente definidos. Entendemos que a inovação aqui é ser capaz de utilizar não apenas as capacidades de rotina, mas também algumas técnicas mais avançadas de engenharia de software, *com a comunidade que trabalha no desenvolvimento de modelos numéricos*. Isso se esclarece ao lembrarmos que esta é uma área onde prevalece a informalidade e a improvisação. No quadro temos uma distribuição gradativa das dificuldades das atividades.

Tabela 4.2: Níveis de capacidades tecnológicas para Gestão de Projetos de Desenvolvimento de software

Níveis de Capacidade Tecnológica	Desenvolvimento de Modelos Matemáticos de Previsão de Tempo
<i>Capacidades Tecnológicas de Rotina</i>	
Básico	Práticas de gestão de projetos informais
Avançado	Utilização de ferramentas para controle de versões e padronização da documentação. Aplicação de conceitos de engenharia de software.
<i>Capacidades Tecnológicas Inovadoras</i>	
Básico	Gestão de projetos complexos envolvendo áreas de especialização tecnológicas complementares
Intermediário	Gestão de projetos com análise de risco e métricas quantitativas e qualitativas
Avançado	Gestão de projetos de classe mundial, integração com diversos Centros Meteorológicos no desenvolvimento de projetos

4.5 Aplicação da Métrica e avaliação dos resultados.

O CPTEC/INPE possui numerosos modelos numéricos em operação e em desenvolvimento. Infelizmente não será possível, pelo menos neste momento, fazer uma análise completa para todos os modelos. Isso se deve não apenas à sua quantidade, mas também ao fato de que cada modelo precisa ser analisado separadamente, e que cada um deles se encontra num estágio diferente de desenvolvimento. Enquanto alguns estão na instituição há vários anos e existem equipes de profissionais trabalhando em seu desenvolvimento, outros estão ainda no nível mais básico de implementação.

Assim, nos detivemos em identificar exemplos que caracterizam a colocação da instituição como detentora de capacidade tecnológica em cada um dos níveis, e tentamos identificar o tempo que foi necessário para atingir aquele nível. Os resultados estão descritos abaixo.

O CPTEC foi criado em 1987 pelo Presidente José Sarney, e a partir daí se iniciaram os processos para a criação da infra-estrutura necessária como a construção do prédio e dos computadores. O supercomputador só entrou em operação em 1994, e através de uma parceria com o COLA – Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies foi possível implantar o modelo global daquela instituição em Cachoeira Paulista. Com isso atingimos o nível básico para o modelo global, o que necessitou de 7 anos. Já para o modelo regional o trabalho foi mais rápido, pois a infra-estrutura computacional já era operacional. O modelo regional ETA entrou em operação em 1996, necessitando de apenas 2 anos para atingir o nível básico após o início dos trabalhos. O modelo global logo passou a receber modificações, de forma que hoje ele é chamado de COLA-CPTEC ou simplesmente modelo global do CPTEC, pois está muito distante do modelo original. É relevante notar que ambos os modelos foram modificados para rodar com eficiência no supercomputador NEC-SX6, e que esse trabalho foi executado por uma equipe formada para esse fim, o grupo de PAD (Grupo de Processamento de Alto Desempenho). Essa realização colocaria ambos os modelos no nosso nível intermediário de inovação. O grupo de PAD também passou a utilizar técnicas de engenharia de software, e todos os trabalhos estão armazenados num servidor para controle de versões, além da padronização da documentação. É difícil avaliar como estão as colaborações com instituições externas para definir o nível inovador na gestão dos projetos, mas seguramente o nível avançado de rotina já foi atingido.

O outro trabalho que merece ser notado é o do Modelo CATT-BRAMS, que incorporou a modelagem da química da atmosfera e dispersão de poluentes. Esse trabalho recebeu prêmios internacionais e uma menção por parte do NOAA. Este é seguramente um bom exemplo de nosso nível inovador avançado, que só foi atingido em 2008.

Assim, chegamos a duas conclusões após esta análise: uma é que o CPTEC/INPE se encontra no nível inovador intermediário para os modelos de previsão global e regional, e no inovador avançado para o modelo de dispersão de poluentes, enquanto que na gestão de projetos de desenvolvimento de software estaria no nível rotineiro avançado. A outra conclusão é que mesmo para a avaliação da sub-área de modelos numéricos, ela não pode ser feita globalmente, mas precisa ser fracionada nos diversos modelos individuais. Por exemplo, aqui analisamos os modelos de previsão global, o regional e o de dispersão de poluentes, mas não abordamos os modelos oceânicos, de ondas, e o acoplado atmosfera-oceanos. Estes modelos todos estão em estágios diferenciados no que se refere à capacidade tecnológica do CPTEC, e mais uma vez, esse fato mostra que essa avaliação deve ser muito mais complexa do que a proposta nesta monografia.

4.6 Indicadores, evolução temporal e comparações

Temos ainda outra discussão que precisa ser abordada, que está relacionada à qualidade dos resultados alcançados. Se este fator não for levado em conta, corre-se o risco de obter resultados enganosos com a utilização da métrica proposta. De forma mais específica, um determinado setor pode ter desenvolvido os sistemas necessários para a sua atividade, e com isso se avaliar que ele estaria no nível inovador avançado. Mas a questão que se coloca é: o ferramental desenvolvido atende às necessidades e produz resultados competitivos com os sistemas equivalentes utilizados nos centros de referência ? Isto é, um setor pode ter atividades inovadoras, mas os resultados podem ser piores do que se simplesmente optasse por utilizar tecnologias já prontas, o que o situaria no nível rotineiro básico. Da mesma forma, a gestão de projetos pode estar utilizando ferramentas para controle de versões e de configuração, mas pode estar utilizando esse ferramental de forma tão inadequada, que não poderíamos considerar a sua utilização como evidência de capacidade tecnológica.

Tratar estas questões não é algo trivial, além de ser algo sujeito à uma avaliação subjetiva e conflitos de opinião. A conclusão é que uma métrica de capacidade tecnológica

não pode ser aplicada sem que existam indicadores objetivos, mensuráveis e auditáveis, a fim de avaliar se determinada capacidade tecnológica realmente foi ou não dominada pela organização. A construção e o acompanhamento destes indicadores, assim como a sua comparação com indicadores semelhantes de outros centros, acaba por criar instrumentos muito mais visíveis do que a métrica de capacidade tecnológica, mas eles não podem existir isoladamente, mas serem criados dentro do contexto da métrica de capacidade tecnológica e das estratégias de aprendizado institucional.

No caso dos modelos numéricos de previsão, um bom indicador já foi apresentado na figura que compara a evolução do erro quadrático médio dos modelos globais de previsão de tempo de diversos centros internacionais. Esse indicador revela o resultado de diversas atividades, que vão desde o desenvolvimento dos modelos até o controle dos processos operacionais. Infelizmente, neste momento não disponho dos dados necessários para adicionar o modelo global do CPTEC ao gráfico a fim de avaliar como esta atividade se situa em relação aos demais centros. Levantar estas informações a fim de fazer tal comparação é uma boa sugestão para os futuros trabalhos de gestão no CPTEC.

Porém, possuo informações que permitem a construção de um indicador para a atividade de processamento de dados meteorológicos. Embora não seja possível mensurar toda a complexidade envolvida na aquisição e processamento de todos os tipos de dados meteorológicos necessários para a previsão numérica de tempo, e apesar de não ter construído uma métrica de capacidades tecnológicas para esta atividade, a análise deste indicador é suficiente para mostrar a utilidade da técnica, assim como as vantagens para os processos de gestão no CPTEC.

4.7 Um indicador para Processamento de Dados Meteorológicos

Seguindo a argumentação do trabalho, vamos avaliar um indicador para o processamento de dados meteorológicos do CPTEC/INPE, e comparar a sua evolução com indicadores semelhantes do Centro Europeu de Meteorologia (ECMWF – *European Center for Medium-Range Weather Forecasts*), uma organização mantida pela união europeia, e com o NCEP (*National Centre for Environmental Prediction*), uma organização vinculada ao NOAA (*National and Oceanic Atmospheric Administration*) nos Estados Unidos.

O indicador escolhido é a contagem dos dados meteorológicos disponibilizados pelos sistemas do CPTEC. Como no caso dos modelos numéricos, essa contagem é um indicador

que encerra os resultados combinados de diversas atividades independentes, como a atividade de aquisição e armazenamento de dados, e o uso, desenvolvimento e manutenção dos sistemas de decodificação e visualização, entre outras. Mas se considerarmos que a quantidade de dados meteorológicos disponibilizados pelo setor de processamento de dados é um bom indicador de sua capacidade tecnológica como um todo, temos também uma boa forma para comparar o desenvolvimento deste setor em relação aos centros internacionais, pois estas quantidades são rotineiramente disponibilizadas por vários centros.

Ao contrário do senso comum, levar a tarefa de processamento de dados não é trivial, pois existem inúmeros detalhes a serem tratados por diversos sistemas e programas necessários para o processamento. O resultado prático é que para disponibilizar a quantidade de dados meteorológicos é necessário possuir uma capacidade tecnológica que poucos centros possuem.

Devemos ainda considerar que é preciso avaliar não apenas a quantidade de dados, mas também os seus diferentes tipos. Isto é, as contagens devem ser feitas para cada tipo individual, e deve existir outra que relacione o número de tipos de dados sendo processados no centro. Não se trata portanto de um indicador, mas de vários.

Mais uma vez, não estão disponíveis informações necessárias para construir este conjunto completo de indicadores, de forma que os dados apresentados a seguir vão se restringir à apenas três tipos de dados convencionais: *METAR*, que são observações com fins aeronáuticos disponibilizadas pelas estações meteorológicas de aeroportos; *SYNOP*, que são observações das estações meteorológicas feitas nos horários sinóticos de acordo com as normas da Organização Meteorológica Mundial; e as observações provenientes de bóias oceânicas, também com fins meteorológicos. Estes três conjuntos são apenas alguns dos muitos utilizados para alimentar os processos de assimilação de dados, que por sua vez alimentarão os modelos numéricos de previsão.

Uma informação que precisa ser colocada é que o CPTEC passou a contar com um sistema de processamento de dados a partir de 1995, e que este sistema vem sendo mantido em operação desde então. Na figura 3.1 temos sob a identificação de “BDM” a quantidade de dados do tipo *SYNOP* disponibilizada por este sistema de processamento. Neste gráfico podemos ver o ganho obtido a partir no ano 2000, quando a equipe responsável começou a fazer pequenas modificações em componentes do sistema, a fim de adequá-lo.

Não obstante o esforço da equipe responsável, a partir de 2002 ficou claro que o sistema possuía algumas deficiências, e que várias demandas da instituição não estavam sendo atendidas. Como resultado, novos sistemas e soluções foram incorporados ao ferramental do

CPTEC a partir de 2002. Um resultado imediato é visível já em 2002, quando novas soluções para o processo de aquisição de dados garante um fluxo maior de informações.

A incorporação de uma nova solução para o processamento de dados também foi um processo relativamente lento, que exigiu o treinamento de pessoal e a compra de novos equipamentos. Assim, foi só a partir de 2005 de o centro passou a contar com um sistema mais robusto. A partir de 2009 o novo sistema foi utilizado para um reprocessamento geral dos dados antigos que estavam armazenados em fitas, e na figura 3.1 temos os resultados deste trabalho, referenciados com “GEMPAK”, em comparação com os dados disponibilizados pelo sistema anterior (BDM), apenas para os dados do tipo SYNOP. A figura mostra que, à parte das perdas no sistema de arquivamento que ocorriam entre 2003 e 2004, o novo sistema é consistentemente melhor do que o sistema original. Dessa forma, ao incorporar um sistema de processamento mais eficiente, o CPTEC obteve um ganho na capacidade tecnológica.

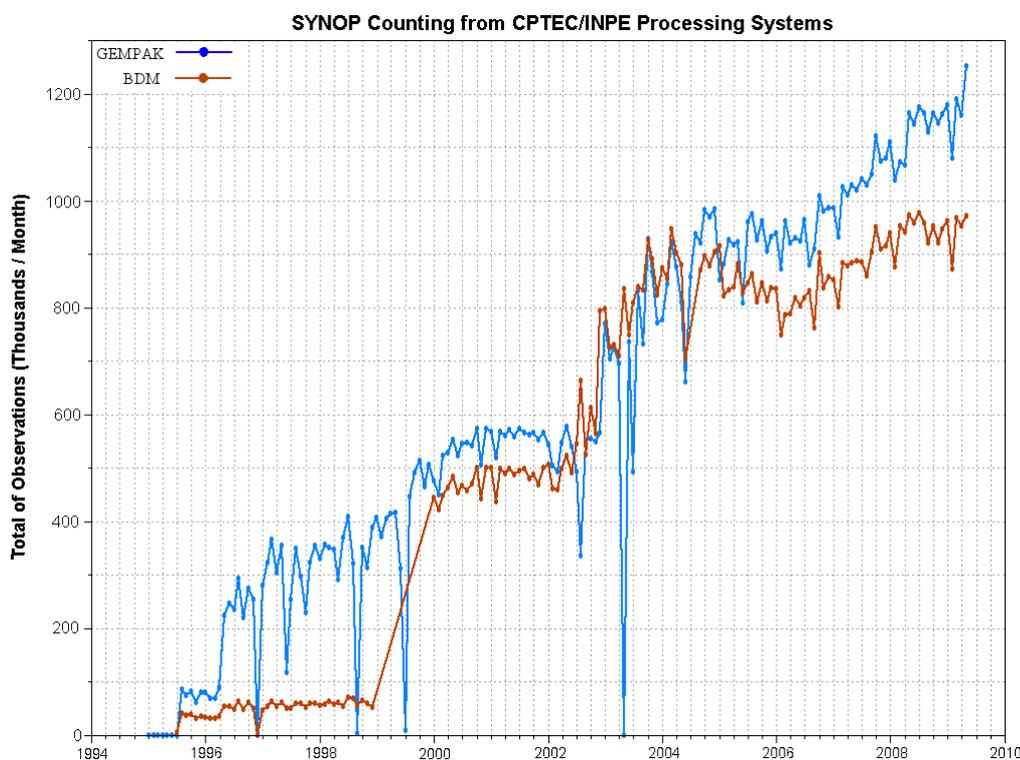


Figura 4.1: Total mensal de observações do tipo SYNOP disponibilizados pelos dois sistemas de processamento do CPTEC/INPE.

Mas mostrar que os sistemas do CPTEC melhoraram não é o suficiente. É preciso compará-los de alguma forma com os resultados de sistemas equivalentes dos centros internacionais de referência, o que fazemos a seguir. Mas essa comparação não é trivial, pois se existem informações que, por razões de ordem política, não são disponibilizadas na América do Sul, a mera comparação das contagens totais de observações sinóticas não servirá para avaliar se os sistemas de processamento estão funcionando com eficiência comparável.

Sendo assim, na figura 3.2 foi feita uma comparação parcial das contagens do CPTEC com o ECMWF. Aqui contaram-se apenas as observações provenientes da região IV da OMM (América do Norte, Central e Caribe). Não dispomos das contagens do ECMWF anteriores a 2008, e é fácil concluir que o ECMWF não recebe alguns dados da região, mas apesar disso podemos verificar o ganho de capacidade a partir de 1999 e a recorrência de falhas operacionais até 2003, quando o sistema do CPTEC se torna mais estável e menos sujeito a falhas, apresentando resultados comparáveis ao do ECMWF.

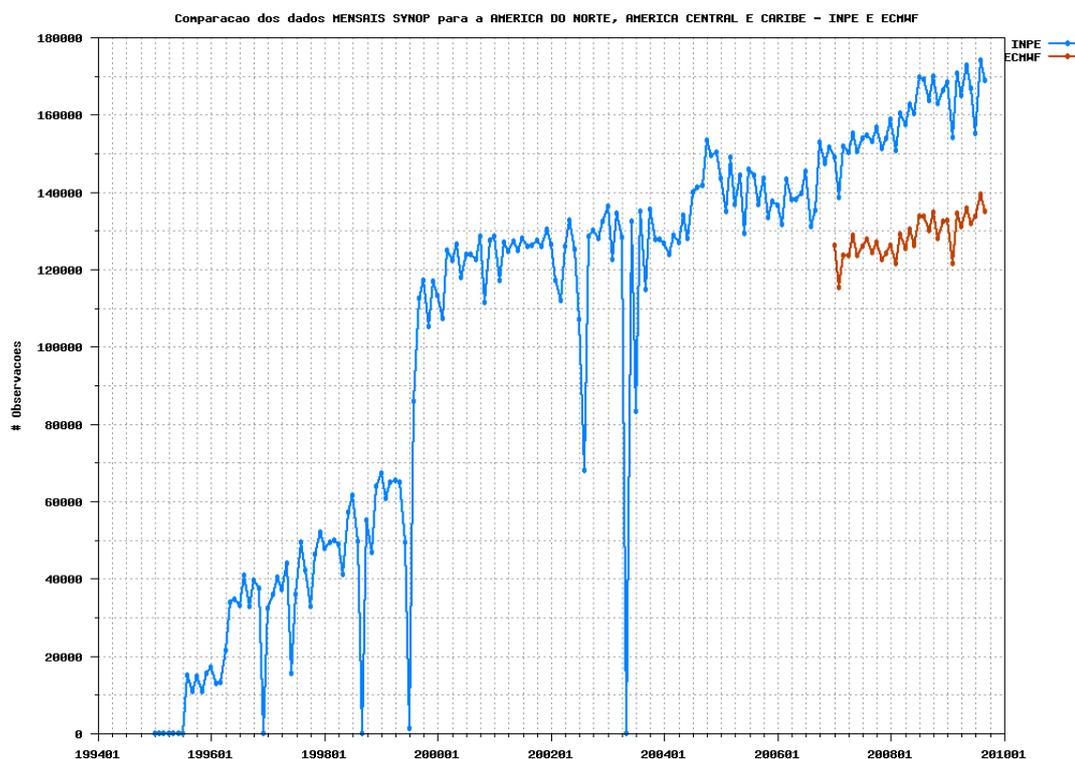


Figura 4.2: Quantidade de dados SYNOP do CPTEC e do ECMWF para a região IV da OMM

Já na figura 3.3 temos a comparação da quantidade de dados de estações meteorológicas (SYNOP) do CPTEC com o ECMWF (Centro Europeu de Meteorologia). Para os dados provenientes da África. Nesta figura temos que o CPTEC só alcança os

resultados do ECMWF em 2009. Uma vez que não houve modificação no fluxo de dados meteorológicos, a conclusão é que esta melhoria reflete o aprimoramento do sistema de processamento de dados do CPTEC/INPE.

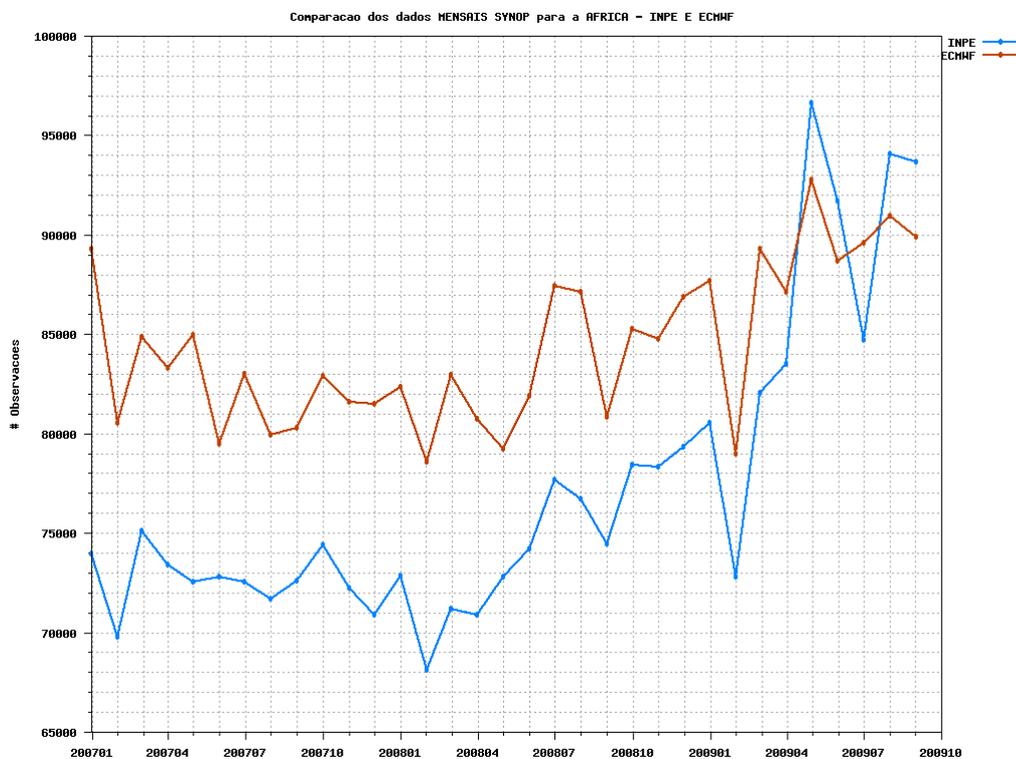


Figura 4.3: Quantidade de dados SYNOP do CPTEC e do ECMWF para a região I da OMM

Temos ainda nas figuras abaixo algumas comparações entre as contagens do CPTEC/INPE e o NCEP, dos Estados Unidos.

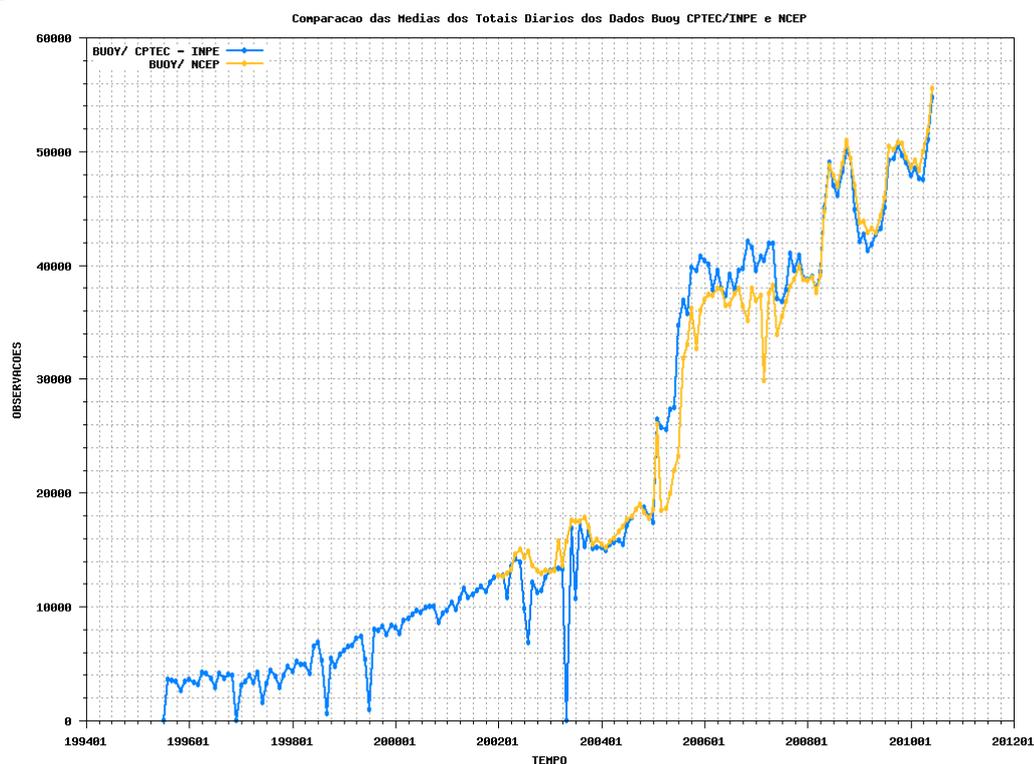


Figura 4.4: Média mensal da quantidade diária de observações de bóias oceânicas disponibilizadas pelo sistema do CPTEC e do NCEP

Na figura 3.5 temos a comparação entre as contagens dos dados de aeroportos (METAR) do CPTEC/INPE com as do NCEP (Estados Unidos). São visíveis os ganhos ocorridos a partir de 2002, 2004 e 2006, que refletem momentos de incorporação de novas tecnologias ou equipamentos no centro. Percebe-se que a diferença entre as contagens dos dois centros vai se reduzindo gradativamente, apesar do CPTEC ainda não ter atingido o patamar ideal. Os quatro "picos" observados antes de 2003 se referem a falhas no histórico de dados que foram supridos com dados cedidos pelos Estados Unidos, e revelam o patamar em que os dados deveriam estar para estes períodos.

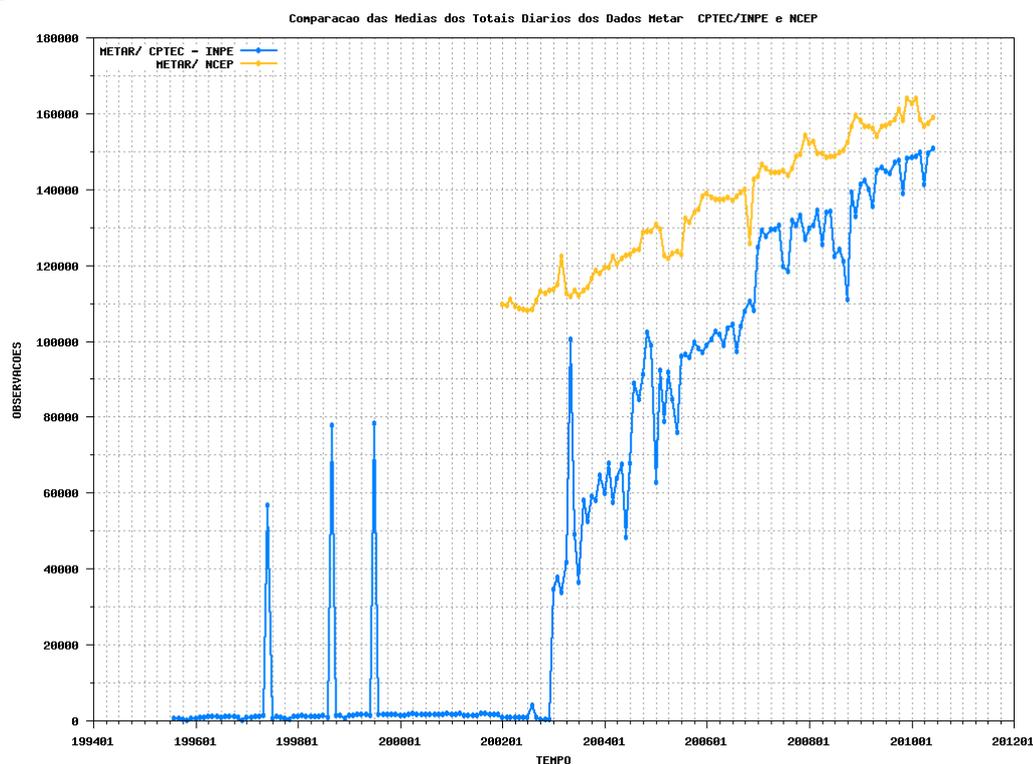


Figura 4.5: Total mensal da quantidade diária de observações do tipo METAR disponibilizadas pelo sistema do CPTEC e do NCEP.

Novamente, sem procurar esgotar este assunto aqui, os exemplos mostram que houve um ganho de capacidade tecnológica no CPTEC/INPE a partir de 2002, e outro a partir de 2004. Mostram também que o patamar internacional foi alcançado para alguns tipos de dados, como é o caso das bóias oceânicas (figura 3.4), mas ainda não o foi para outros tipos, como os dados de aeroportos (METAR). Uma análise mais completa deve incluir os demais tipos de dados convencionais, assim como os dados produzidos por satélites. Mas estes resultados já são suficientes para mostrar os ganhos de capacidade que a atividade alcançou nos últimos anos, e ao mesmo tempo mostrar o quanto ainda precisa ser feito para alcançar os resultados dos centros de referência.

Assim, apesar das limitações, a análise do material aqui exposto mostra que a construção e o uso de indicadores semelhantes resultam em vantagens para os processos de gestão no CPTEC, e podem ser muito úteis para auxiliar no processo de criar capacidade tecnológica a fim de atingir a missão institucional. A recomendação seria investir na construção de métricas e indicadores para mensurar a capacidade tecnológica do

CPTEC/INPE e situá-lo no cenário internacional através da comparação com os centros de referência internacional no setor.

5 Discussão e Conclusões

A capacidade tecnológica é um conjunto ou estoque de recursos que são o conhecimento tecnológico. É com base em sua capacidade tecnológica que as empresas podem realizar suas atividades de produção e de inovação. Ter capacidade tecnológica é uma pré-condição para ser capaz de realizar estas atividades, e no caso de uma instituição intensiva em conhecimento que requer tecnológicos avançados como o CPTEC/INPE, a capacidade tecnológica não só é essencial, mas também o ativo mais importante da organização.

A principal característica da capacidade tecnológica é que esta não pode ser adquirida ou construída com a mesma facilidade que equipamentos ou infra-estrutura. As capacidades tecnológicas são adquiridas através de mecanismos de aprendizagem. Ou seja, enquanto capacidade tecnológica é um estoque de recursos, onde o conhecimento é um dos principais elementos, a aprendizagem é um processo que envolve a captação de conhecimentos tecnológicos e sua transformação em capacidades tecnológicas.

A forma e a velocidade com que uma organização constrói e acumula sua capacidade tecnológica tem impacto na sua capacidade competitiva. Para o caso do CPTEC/INPE, que atua num setor de alta tecnologia em rápida e constante evolução, a perda de competitividade pode se traduzir na perda da própria razão de existência da instituição. Esse fato revela a importância capital que os processos de gestão da capacidade tecnológica têm para o CPTEC/INPE.

O domínio das tecnologias de Previsão Numérica de Tempo é algo estratégico para uma nação de dimensões continentais como o Brasil. Essa importância estratégica se torna ainda mais evidente quando se constata que, embora os serviços de previsão de tempo sejam executados pela iniciativa privada em todo o mundo, os trabalhos de Previsão Numérica ficam a cargo de organizações governamentais. As empresas provedoras de serviços meteorológicos são usuárias dos produtos disponibilizados pelos centros nacionais de Previsão Numérica.

O CPTEC foi criado no INPE pela visão daqueles que, atentos à importância futura do setor para o Brasil, planejaram e se empenharam na criação de um Centro de Previsão Numérica de Tempo. A preocupação nos primeiros anos do centro era formar uma massa

crítica mínima de pessoas capacitadas a operar e desenvolver os modelos numéricos de previsão a fim de superar a dependência inicial da capacidade de centros no exterior.

Ainda que sem existir formalmente um planejamento de longo prazo, mas favorecido pela capacidade de inovação e visão de futuro de pesquisadores plenamente comprometidos com a missão do CPTEC, grandes avanços foram alcançados no desenvolvimento dos modelos, levando o centro a patamares de excelência internacional. Seguindo o modelo atual o CPTEC/INPE pôde atingir vários objetivos e construir uma posição com capacidade tecnológica de destaque na América Latina. Porém, é preciso considerar se o modelo atual será suficiente para alcançar patamares tecnológicos mais elevados ou uma posição de maior destaque no cenário internacional.

O ciclo completo da Previsão Numérica de Tempo é formado por vários setores e sub-setores, cada qual com a sua própria tecnologia. A organização pode estar muito desenvolvida num determinado setor, mas deficiente em outro. Mesmo um setor que se desenvolveu satisfatoriamente pode perder agilidade ao longo do tempo, e não ser capaz de acompanhar o ritmo das inovações internacionais. As próprias equipes de trabalho podem perder lideranças, o que pode resultar em perda de disciplina e motivação, levando à estagnação dos setores e mesmo à perda da capacidade tecnológica já adquirida.

Estes pontos se tornam mais importantes para as áreas operacionais ou de produção, como muitas das desenvolvidas no CPTEC. Isso porque, se para os trabalhos científicos a contribuição mais importante vem do trabalho individual dos pesquisadores, para as atividades de produção a contribuição vem das equipes de técnicos e engenheiros, que necessitam de um gerenciamento mais elaborado do que o trabalho do cientista.

Assim, à medida que o centro cresce, torna-se cada vez mais importante utilizar técnicas e métodos gerenciais mais elaborados, capazes de mensurar e controlar a capacidade tecnológica da organização e o seu desenvolvimento ao longo do tempo, assim como a eficiência e eficácia dos trabalhos e operações necessários para que a instituição atinja os objetivos estabelecidos em sua missão.

Uma vez que o INPE carece de procedimentos administrativos mais elaborados para a gerência de trabalhos de cunho tecnológicos, este trabalho com uma métrica de mensuração mais objetiva da presente capacidade tecnológica de um dos setores críticos para o INPE é uma iniciativa que pode ser útil não apenas para facilitar a administração e acompanhamento do próprio setor, mas também servir de exemplo ou modelo para trabalhos semelhantes em outros setores do INPE.

Como conclusão deste trabalho surgiu a constatação de que uma metodologia de mensuração das capacidades tecnológicas como a utilizada, é um poderoso subsídio para uma avaliação estratégica das metas e necessidades da organização. Os resultados de uma avaliação assim executada servem para fundamentar e clarificar as escolhas e estratégias gerenciais, e é um material para ser utilizado em reuniões ou seminários destinados tanto para os colaboradores e funcionários da própria organização, como para os atores e parceiros externos. Assim, a recomendação seria estender e aprimorar a avaliação de áreas e sub-áreas da organização através de metodologias semelhantes, visando a uma clarificação e estruturação estratégica que comprometa um número maior de colaboradores (internos e externos) da organização.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA,W.G; ARAVÉQUIA,J.A; LOYOLLA,E; SALLES,C.E;SERRA,A.M.,”Estudo da Área de Modelagem Numérica do CPTEC/INPE Utilizando uma métrica de Avaliação de Capacidade Tecnológica”, material não-publicado obtido com o autor. CPTEC/INPE, Divisão de Operações, Cachoeira Paulista, Brasil. Junho de 2009.

AGUNE,R.M., ”Programa de Estímulo à Inovação em Gestão Pública”. I Congresso CONSAD de Gestão Pública, Brasília, 26 a 28 de maio de 2008.

ARAÚJO, R.C., “Capacidades Tecnológicas e suas implicações para Performance Técnica: A experiência de duas empresas de telefonia celular no Brasil”. Dissertação de Mestrado EBAPE, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro. 2005.

ARIFFIN,N.,”The internationalisation of innovative capabilities:the malaysian electronics industry”.Brighton,2000.Thesis (Ph.D) University of Sussex

BALTAR, P.E.A., “Estagnação da Economia, abertura e crise de emprego urbano no Brasil. Economia e Sociedade, Campinas, nº 6. Junho de 1996.

BARZELAY, M., ”Atravessando a Burocracia:Uma Nova Perspectiva da Administração Pública-México: Fundo de Cultura Econômica,1998

BELL, M., “Technological learning and the development of production and innovative capacities in the industry and infrastructure sectors of the least developed countries: what roles for ODA?”. Study prepared for UNCTAD as a background paper for the Least Developed Countries Report 2007. UNCTAD, Geneva. 2007

BELL, M.;PAVITT,K. “The development of technological capabilities.”In:HAQUE, I.U.(Org.)Trade,technology and international competitiveness. Washington:The World Bank,1995

BONATTI, J.P., “Previsão Numérica de Tempo: um breve histórico”. Material não publicado e contato pessoal. CPTEC/INPE, Divisão de Modelagem, Cachoeira Paulista, Brasil. 2008

BRASIL,1996, Lei 9279 de 14 de maio de 1996.Presidência da República. Disponível em: [http:// www.planalto.gov.br/ccivil-03/Leis/ L9279.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil-03/Leis/L9279.htm)

BRASIL.Ministério da Ciência e Tecnologia, “Indicadores: apresentação/histórico”. Disponível em: [http :// www.mct.gov.br/estat/ascavpp/menu 1 page.htm](http://www.mct.gov.br/estat/ascavpp/menu1page.htm). Acessado em 22 jan.2002

CANCHUMANI, R. M. L. “A propósito da Construção de Indicadores de Ciência e Tecnologia (C&T) no Brasil: Aspectos Sociotécnicos”, Gestão do Conhecimento para a sustentabilidade UFRJ ,RJ- 2,3,e 4 de julho de 2009 -ISSN 1984-9354.

CASTELLS,M.” A Sociedade em Rede-A Era da Informação: economia,sociedade e cultura.Volume I. Editora Paz e Terra,1999.

DAHLMAN,C.;WESTPHAL,L.E. “Technological effort in industrial development:na interpretative survey in recent survey”.In:STEWART, F.; JAMES ,J. (Org)
The economics of new technology in developing countries.London:Francis Pinter,1982

DUTRÉNIT, G. “Learning and Knowledge Management in the Firm:from knowledge accumulation to strategic capabilities. Cheltenham: Edward Elgar, 2000.

DOSI, G. Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation. Journal of Economic Literature,v.26,n 3,p 1120-1171,1988.

FIGUEIREDO, P. N., “Gestão da Inovação: Conceitos, Métricas e Experiências de Empresas no Brasil” :LTC, 2009

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

HOLBROOK, J. A.,”Why Measure Science?” (Science and Public Policy, Great Britain,vol.19, n.5,October,pp .262-266) -1992 a.

HOLBROOK, J. A., “Basic Indicators of Scientific and Technological Performance (Science and Public Policy, Great Britain,vol.19, n 5, October, pp 267-273) -1992 b.

KATZ, J. “Importación de tecnologia,aprendizaje y industrialización dependiente.”México:Fondo de Cultura Económica ,1976.

KONDO, E. K., “Desenvolvendo indicadores estratégicos em ciência e tecnologia:as principais questões.” Ciência da Informação, Brasília,DF, v.27, n.2,p. 128-133, maio/agosto.1998.

LALL,S. “Technological learning in the Third World: some implications of the technology exports. “In: STEWART,F; JAMES,J. (Eds) The economics of new technology in developing countries. London:Francis Pinter,1982

LALL,S. “Learning to industrialise : the acquisition of technological capability by [India](#).”[London](#): Mac Millan, 1987

LEONARD-BARTON, D. ”Nascentes do Saber: Criando e Sustentando as Fontes de Inovação,Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas ,1998

MIRANDA, E. C., FIGUEIREDO, P. N., “Dinâmica da Acumulação de Capacidades Inovadoras: Evidências de Empresas de Software no Rio de Janeiro e São Paulo”, R A E, São Paulo, vol 50, n.1 ,Jan/Mar .2010.

NELSON, R., Technical Innovation and National systems. In: NELSON,R.(Ed) National Innovation systems: a comparative analysis. Universidade de Oxford, Nova York,1993.

OCDE . Manual de Oslo: Diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre Inovação .FINEP,2005,

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO.Manual Frascati:Medição de atividades científicas e tecnológicas. João Pessoa:CNPq-IBICT.1978. 150 p. (Cadernos de Informação em Ciência e Tecnologia ,n.2.

PACK,H. “Productivity,technology ,and industrial development: a case study in textiles.New York:Oxford University Press. 1987.

PESSOA,E, “Evolução do Emprego Público no Brasil nos anos 90.”Campinas:IE,Unicamp,mimeo.,(2000)

PRAT, A. M., “Avaliação da Produção Científica com Instrumento para o desenvolvimento da ciência e da Tecnologia : relatos de experiências.”Ciência da Informação ,Brasília.DF,v.27,n.2, p.206-209,maio/agosto.1998.

RICYT;OEA. Manual de Bogotá: Normalización de Indicadores de Innovación Tecnológica em América Latina y el Caribe. Bogotá :marzo 2001

SAGASTI, F. R. “Science and Technology Policy Research for Development: An overview and some priorities from a Latin American” Perspective(Bull.Science.Technology and Society,USA, vol.9,pp.50-60)

SCOTT-KEMMIS,D. “Learning and accumulation of technological capacity in the Brazilian pulp and paper firms.” S.1, World Employment Programme Research,1988.Working paper, n187,p.2-22.

TACLA, C. L., FIGUEIREDO, P. N.,”Processos de Aprendizagem e Acumulação de Competências Tecnológicas:Evidências de uma Empresa de Bens de Capital no Brasil”,RAC, Vol.7, N.3, Jul/Set. 2003.

TIRONI ,L. F. et alii. “ Critérios para Geração de Indicadores de Qualidade e Produtividade no Serviço Público. IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Texto nº238. 1999.

VELHO, L. M.S, “Estratégias para um Sistema de Indicadores de C&T no Brasil. Parcerias Estratégicas, nº 13 ,dez/2001,p. 109-121.