

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA - CEFET/RJ

DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA

DISSERTAÇÃO

ACUMULAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL: METODOLOGIA PARA
ANÁLISE DA CAPACIDADE TECNOLÓGICA EM PROTEÇÃO E CONTROLE DE
SUBESTAÇÕES – O CASO FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS

Roberto Martins Pereira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA.

Ilda Maria de Paiva Almeida Spritzer, D.Sc.
Orientadora

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
ABRIL / 2008

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

SUMÁRIO

	Pág.
INTRODUÇÃO	1
I- SETOR ELÉTRICO: EVOLUÇÃO, TECNOLOGIA E REGULAMENTAÇÃO	14
I.1- A Indústria da Eletricidade: origens e estruturação	14
I.2- Sistemas Elétricos Isolados – Ausência de Regulação	17
I.3- A Intervenção do Estado – Início da Dicotomia: Público <i>versus</i> Privado	19
I.4- Desregulamentação e Privatizações: Terceiro Ciclo do Setor Elétrico Brasileiro	28
I.5- Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico de 2004	40
I.6- Eletricidade: <i>Commodity</i> ou Fator de Crescimento Sustentado	44
I.7- A Empresa FURNAS na Matriz do Sistema Elétrico Brasileiro	47
II- PROTEÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS ELÉTRICOS	56
II.1- Proteção de Sistemas Elétricos de Transmissão em Alta Tensão	56
II.2- Supervisão e Controle de Sistemas: Mudança de Paradigmas e Influências	61
II.3- Automação e Digitalização de Sistemas Elétricos de Potência	71
II.4- Principais Atribuições da Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão de FURNAS	80
II.5- Novos Desafios para a Transmissão: Riscos e Oportunidades	85
III- INOVAÇÃO E ACUMULAÇÃO TECNOLÓGICA	89
III.1- As (R)evoluções Tecnológicas e a Inovação	89
III.2- Inovação Tecnológica e Desenvolvimento	92
III.3- A Era Digital e o ‘Novo Esperanto de Zeros e Uns’	96
III.4- A Inovação nas Economias de Industrialização Tardia	104
III.5- Limitação dos Indicadores Tradicionais de Inovação	111
III.6- Métrica Alternativa Focada no Capital Organizacional	117

IV- ACUMULAÇÃO TECNOLÓGICA: ESTUDO DE CASO SOBRE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS INOVADORAS EM PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO NA EMPRESA FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

IV.1-	Desenho e Metodologia de Pesquisa	130
IV.2-	Capacidades Tecnológicas na Subfunção Planejamento	137
IV.3-	Capacidades Tecnológicas na Subfunção Projeto	141
IV.4-	Capacidades Tecnológicas na Subfunção Especificações	148
IV.5-	Capacidades Tecnológicas na Subfunção Licitações	153
IV.6-	Capacidades Tecnológicas na Subfunção Fornecimentos	156
IV.7-	Capacidades Tecnológicas na Subfunção Novas Tecnologias	161
IV.8-	Níveis de Capacitação Tecnológica Analisadas na Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão de FURNAS	169

CONSIDERAÇÕES FINAIS	177
-----------------------------	------------

APÊNDICES

Apêndice A: Roteiro básico de perguntas	A1
---	----

K99 Pereira, Roberto Martins

Acumulação tecnológica e inovação industrial: metodologia para avaliação da capacidade tecnológica em proteção e controle de subestações: o caso Furnas Centrais Elétricas / Roberto Martins Pereira – 2008.

x, 197f. +anexos: il (algumas color.), grafs, tabs.; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2008

Bibliografia: f. 186-191

1. Acumulação Tecnológica 2. Inovação Industrial .3. Proteção e Controle de Subestações I. Título

CDD 621.3

Às três mulheres da minha vida:
minha mãe, Marly,
minha esposa, Cristiane e
minha filha Ana Luísa;
e ao meu pai, Antonio

“Que a Humanidade, em compensação, veja abrir-se acima dela um novo patamar, um compartimento, para seu desenvolvimento. Que cada um de nós possa dizer a si mesmo que trabalha para que o Universo se eleve, nele e por ele, um grau a mais. E então é uma nova pulsação de energia que ganha o coração dos trabalhadores da Terra. É o organismo inteiro que, superando um segundo de hesitação, acelera e arranca com ainda mais força.

Na verdade, a idéia, a esperança de uma planetização da vida é bem mais que uma especulação biológica. Mais necessária ainda em nossa época do que a descoberta, tão buscada, de uma nova fonte de energia, é ela que pode, que deve nos trazer o fogo espiritual, sem o qual todos os outros focos materiais (tão laboriosamente acesos) se extinguirão em breve na superfície da Terra pensante: a alegria da ação e o gosto da vida”.

TEILHARD DE CHARDIN

Agradecimentos

- À Professora Ilda Maria de Paiva Almeida Spritzer (D.Sc.), que desde o início me acolheu como aluno-ouvinte, pela parceria ao longo do curso, pelo empenho no trabalho de orientação, dedicação e incentivo que muito contribuíram para a elaboração deste trabalho.
- À Professora Cristina Gomes de Souza (D.Sc.), pelo apoio, discussões e sugestões.
- Ao Professor Elton Fernandes (D.Sc.), da UFRJ, que representa um parceiro tecnológico importante para FURNAS, pelo espírito de colaboração, crítica e sugestões.
- Ao Professor Paulo Negreiros Figueiredo (D.Sc.), da FGV-RJ, pela rica contribuição bibliográfica, presteza e sugestões.
- À Professora Emília Martins Ribeiro (D.Sc.), da UFRRJ, pelo incentivo, críticas, sugestões e amizade;
- Ao colega de mestrado do CEFET-RJ e também engenheiro em FURNAS, Gabriel Ângelo Vieira pela colaboração e encorajamento.
- Aos funcionários Abraão Ferreira e Bráulio Tito, pela dedicação e presteza.
- À Biblioteca da Fundação Getúlio Vargas-RJ, cujas fontes de pesquisa enriqueceram a pesquisa, especialmente aos funcionários Lígia e Marcelo.
- Aos gerentes do Departamento de Engenharia Elétrica de FURNAS, Ronaldo Nahar Neder e Jorge Kotlarewski, extensivo a todos os profissionais da DPCS.E, pela compreensão, colaboração e incentivo.
- Às funcionárias de FURNAS Heloísa Serva Lowen e Miriam Bosco Vieira, pelo incentivo e espírito de equipe, cujo encorajamento e incentivo, desde o início desta jornada, foram fundamentais para minha perseverança na conclusão deste trabalho.
- À FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, pelo acervo disponibilizado para a pesquisa e pelo capital humano cuja contribuição para este trabalho é inestimável.

Resumo da dissertação submetida ao PPTEC/CEFET-RJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em tecnologia (M.T.).

ACUMULAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL: METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA CAPACIDADE TECNOLÓGICA EM PROTEÇÃO E CONTROLE DE SUBESTAÇÕES – O CASO FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS

Roberto Martins Pereira

Abril de 2008

Orientadora: Ilda Maria Paiva de Almeida Spritzer, D.Sc.

Programa: PPTEC

A capacitação tecnológica constitui-se no fator-chave para desencadear o processo de inovação nas organizações. A análise da inovação tecnológica se realiza tradicionalmente com base em indicadores convencionais, tais como investimentos em P&D e registros de patentes, adequados para medir esses esforços em países industrializados. Neste trabalho, são apresentados alguns inconvenientes no uso desses indicadores, que não captam os esforços internos nem o processo de acumulação de conhecimentos pelos quais as empresas passam antes de adquirir competências para gerir e gerar as mudanças tecnológicas. Sustenta-se a necessidade de aplicação de ferramentas adequadas que permitam identificar a ocorrência (ou não) de atividades inovadoras para a análise de capacidades tecnológicas em empresas e setores industriais das economias de industrialização recente. Faz-se um panorama a respeito das transformações ocorridas na estrutura do modelo tecnológico e institucional do Setor Elétrico Brasileiro, palco de crescente complexidade, principalmente após os anos 1990, quando foi profundamente influenciado pela difusão do novo paradigma técnico-econômico das tecnologias de informação e comunicação, assim como por uma profunda reestruturação em seu modelo de funcionamento, que entre outras mudanças, introduziu a competição entre agentes públicos e privados. Para prover maior confiabilidade, rapidez e flexibilidade de operação, recorda-se o papel preponderante que o projeto e a implementação de sistemas de proteção e controle da rede de transmissão assumem no novo contexto. Através do estudo de caso sobre a empresa FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A., procurou-se responder questionamentos sobre como foram acumuladas capacidades tecnológicas na área de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão e sobre até que ponto essas capacidades representam níveis de capacidades tecnológicas inovadoras. Por meio de uma pesquisa de campo foi realizado um exame em seis processos ou subfunções tecnológicas, por meio de uma estrutura analítica baseada em níveis de competências, categorizadas desde um nível mais básico até um mais elevado, passando por estágios intermediários, para a verificação do desempenho nessas atividades. Os resultados da pesquisa identificaram um estágio avançado de acumulação de capacidades tecnológicas em *especificação* e *fornecimento*. Essas subfunções, bem como *projeto* e *novas tecnologias*, refletiram o acúmulo de capacidades tecnológicas inovadoras. Em contrapartida, os resultados para *planejamento* e *licitação* indicaram estágios compatíveis com capacidades produtivas rotineiras. Ao final do trabalho, são apresentadas análises sobre a pesquisa realizada e considerações sobre os resultados alcançados, assim como a sugestão para estudos futuros.

Palavras-chave: Acumulação tecnológica, Inovação industrial, Sistemas de proteção e controle

Abstract of dissertation submitted to PPTEC/CEFET/RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Technology (M.T.).

TECHNOLOGICAL ACCUMULATION AND INDUSTRIAL INNOVATION:
METHODOLOGY FOR THE EVALUATION OF TECHNOLOGICAL CAPABILITIES IN
SUBSTATIONS PROTECTION AND CONTROL – CASE STUDY AT FURNAS
CENTRAIS ELÉTRICAS

Roberto Martins Pereira

April / 2008

Supervisor: Ilda Maria Paiva de Almeida Spritzer, D.Sc.

Program: PPTEC

Technological Capabilities constitute the key-factor to trigger the innovation process at the organizations. The analysis of the technological innovation is traditionally based on conventional indicators, such as R&D investment and patenting activities, proper to measure these efforts at the industrialized countries. This study presents some inconvenients in using such indicators, which do not capture the internal efforts, neither the knowledge accumulation processes carried out by the firms before acquiring capabilities to manage and generate the technological changes. It's stood the necessity of the application of adequate tools which may provide the identification of occurrence of innovative activities at the latecomers firm-level. It's weaved a prospect related to the transformation in the technological and institutional model structures at the Brazilian Electrical Sector, stage of growing complexity, most after the 1990's, when it was deeply influenced by the diffusion of the new technical-economic paradigm of the information and communication technologies, as well as a great restructure on its operation model, which between other changes, introduced competition between public and private agents. In order to increase reliability, agility and flexibility, it's regarded the preponderant role assumed by the project and the introducing of protection and control systems at the transmission grid in the new context. By means of a study case about the firm FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, it was tried to answer questions related to how technological capabilities at Protection, Control and Supervision Engineering area were accumulated and the extent to which these capabilities represent technological innovative capabilities levels. By means of a field survey it has been examined six main processes or technological functions, using an analytic structure erected under technological competence levels, categorized since a basic to a higher level, passing through intermediate stages, for verifying the performance of those activities. The results of the survey identified an advanced stage of technological capability accumulation in *specification* and *supply*. These functions, as well as *project* and *new technologies* reflected innovative technological capability levels. In the other hand, results in *planning* and *acquisition* indicated stages compatible with productive routine capabilities. Some issues about the survey are presented in the end, including considerations over the results achieved and also suggestions for future investigations.

Keywords: Technological accumulation, Industrial innovation, Protection and control systems

Lista de Figuras

	Pág.
Figura I.1 – Construção da Usina Hidrelétrica de FURNAS.	23
Figura I.2 – Usina Hidrelétrica de FURNAS.	25
Figura I.3 – Principais Agentes Criados pelo Novo Modelo.	36
Figura I.4 - Principais Mudanças no Setor Elétrico Brasileiro.	37
Figura I.5 - Consumo <i>versus</i> Capacidade Instalada: situação anterior a 2003.	41
Figura I.6 – Relação PIB <i>versus</i> Consumo de Energia Elétrica.	46
Figura I.7 - Oferta de Energia – Brasil <i>versus</i> Mundo.	46
Figura I.8 – Regiões de Atuação de FURNAS.	47
Figura I.9 - Área de Atuação de FURNAS no Contexto Nacional.	48
Figura I.10 – Sistema Interligado de FURNAS.	52
Figura II.1 – Zoneamento de Proteção.	59
Figura II.2 – Relé Eletromecânico.	60
Figura II.3 – Painel de Controle Convencional.	62
Figura II.4 – Centro Nacional de Operação do Sistema – CNOS.	63
Figura II.5 – Níveis Hierárquicos dos Novos Sistemas Digitais de Supervisão e Controle.	64
Figura II.6 - Parametrização em um relé digital instalado no campo.	65
Figura II.7 - Principais Características e Funções dos IED's.	75
Figura III.1 – Conceitos Básicos de Pesquisas em Inovação.	95
Figura III.2 – Ondas Longas de Mudança Tecnológica	97
Figura III.3 - Efeitos das Tecnologias de Informação e Comunicação no Setor Elétrico	101
Figura III.4 - Atividades Tecnológicas na Empresa Eletrônica Global	116
Figura III.5 – Dimensões da Capacidade Tecnológica	120
Figura III.6 – Competências Tecnológicas na Eletronorte	127
Figura IV.1 – Subfunções Tecnológicas da DPCS.E	136
Figura IV.2 – Instalações com Proteção Totalmente Digital	167

Lista de Figuras (continuação)

Figura IV.3 – Instalações com Proteção Digital Superior a 50%	167
Figura IV.4 – Instalações com Controle Totalmente Digital	168
Figura IV.5 – Instalações com Controle Digital Superior a 50%	168
Figura IV.6 – Capacidades Tecnológicas em Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão	171

Lista de Tabelas

	Pág.
Tabela I.1 – Aumento da Tarifa de Energia entre 1995 e 2002.	41
Tabela I.2 - Preços de Venda de Energia Elétrica no Leilão de 10/10/2006.	42
Tabela I.3 - Índices Comparativos Internacionais	49
Tabela II.1 - Novos Dispositivos Aplicados em Sistemas Digitalizados.	68
Tabela II.2 – Tendências e Vantagens dos Avanços em Sistemas Digitalizados.	79
Tabela III.1 – Rendimentos Energéticos: Efeitos da Sociedade e Efeitos da Tecnologia.	99
Tabela IV.1 – Níveis de Capacidades Tecnológicas em Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão em FURNAS.	175

INTRODUÇÃO

Contextualização e Relevância do Tema

É intenso o debate sobre a capacidade tecnológica como fator-chave para o desenvolvimento econômico e social das indústrias e países. Inúmeros estudos apontam as vantagens comparativas obtidas por economias emergentes que apostaram na capacitação tecnológica para competir no mundo globalizado. A cada dia se torna mais evidente a constatação de que o valor atribuído a qualquer bem, seja ele material ou imaterial, é diretamente proporcional ao conhecimento agregado para sua concepção.

Diante de uma grande quantidade de publicações, é fácil encontrar na literatura especializada, abordagens sobre os fatores associados ao processo de inovação, em moldes adequados para a análise de economias desenvolvidas. Muitas dessas análises, tradicionalmente consideravam inexistentes as atividades tecnológicas inovadoras em empresas de países em desenvolvimento. Para preencher esta lacuna, deixando de lado as visões dos economistas mais ortodoxos, a partir do final dos anos 1970, surgiram estudos que deram atenção à evolução da capacidade tecnológica das empresas ao longo do tempo, em países cujo processo de industrialização ocorreu de forma tardia, localizados principalmente na América Latina, Ásia e África (FIGUEIREDO, 2005).

É preciso reconhecer que persistem nesses países problemas sociais das mais diversas ordens, que prejudicam os esforços para alcançar uma posição de maior competitividade internacional. Nesse contexto, ainda se busca a garantia de cidadania plena, através da solução de problemas de infra-estrutura, onde é fundamental garantir o acesso a serviços básicos, tais como transportes, comunicações e eletricidade, entre outros. Por outro lado, há que se destacar o nível de excelência técnica que muitas empresas alcançaram, mesmo operando em regiões com essas características. Acerca da literatura sobre empresas de países emergentes, que começaram a dar “maior atenção às dimensões organizacionais e gerenciais da competência tecnológica e aos mecanismos de aprendizagem”, uma revisão pode ser encontrada em Figueiredo (2003), que destaca estudos realizados a partir dos anos 1990.

O Setor Elétrico Brasileiro, ao longo de sua existência, possui uma trajetória muito identificada com a busca por constante aperfeiçoamento, o que se tem alcançado em função de continuados esforços em pesquisa técnico-científica. Martins et al. (2005) recordam o histórico de cooperação entre as empresas do Grupo Eletrobrás com a academia, com centros de pesquisa e com a indústria, visando ao desenvolvimento tecnológico do setor elétrico.

Entretanto, o cenário do mercado de energia elétrica passou por diversas e desafiadoras transformações a partir de sua desregulamentação e da introdução da competição entre os agentes. Além disso, a mudança do paradigma eletromecânico pela introdução dos primeiros equipamentos de tecnologia digital para os ambientes de subestações tornou-se uma realidade.

Na visão de Goldman e Quelhas (2007), são rápidas as transformações tecnológicas pelas quais o segmento das empresas de transmissão tem se deparado, onde se destacam: o aumento da complexidade dos empreendimentos, resultante do “avanço das demandas da ‘economia digital’ (qualidade, confiabilidade e precisão); a proliferação de novos agentes em geração distribuída, cogeração e auto-geração; a saturação dos sistemas existentes; e uma maior importância ao tema sustentabilidade”.

NUNES et al. (2005) observam que no setor elétrico, os projetos de instalação para determinados aproveitamentos contêm um alto nível de complexidade e diversidade técnica, nos quais a inovação proporciona ganhos em segurança, integridade ambiental, eficiência energética, qualidade do produto, disponibilidade, confiabilidade e custos operacionais. Os autores defendem que a inovação tecnológica “é uma aliada das empresas na busca pela sustentabilidade, o que tem levado as organizações a adotar, intensivamente, sistemas automatizados e equipamentos com tecnologia digital”.

Neste cenário de mudança tecnológica, foi enorme o impacto sobre os sistemas de proteção, controle e supervisão, responsáveis pela confiabilidade e preservação do sistema de transmissão, bem como dos maiores ativos das empresas, tais como geradores, transformadores de potência e linhas de transmissão. PEREIRA et al. (2005) afirmam que os sistemas de proteção, controle e automação das subestações e usinas experimentaram importantes mudanças desde o advento dos processadores digitais de alta capacidade.

O presente trabalho aborda a empresa FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. como campo para observação e proposição de uma metodologia para análise da acumulação de capacidade tecnológica, na engenharia de proteção e controle da rede de transmissão da empresa, concentrando-se no período de 1990 a 2007, marcado pela introdução, em larga escala, de equipamentos com tecnologia digital.

O exame de capacidades tecnológicas em FURNAS se justifica, entre outros fatores, pela experiência da empresa na condução de empreendimentos utilizando tecnologia de ponta. Dentre alguns projetos pioneiros que demandaram enorme aprimoramento tecnológico, destacam-se a construção e a operação da Usina de Itaipu (maior do mundo na época), bem como dos estudos e implementação dos sistemas de transmissão de energia elétrica em níveis de extra-alta tensão, tanto em corrente contínua (HVDC) como em alternada, de 600 kV e 765 kV, respectivamente, nunca antes utilizados no Brasil e em fase de implantação em nível mundial, naquele momento. A

empresa foi escolhida também para o início do Programa Nuclear Brasileiro, recebendo a missão de construir e operar as Usinas de Angra I e Angra II. Para enfrentar os desafios que se impuseram desde sua criação, a empresa possui um histórico de investimento em capacitação de seu corpo funcional, formado por um expressivo número de engenheiros e técnicos, com incentivo à especialização profissional, à pesquisa e à pós-graduação, *lato e strictu-sensu*.

Em termos de localização geográfica, compreende-se a importância estratégica da empresa em relação ao Sistema Interligado Nacional (SIN), cujas usinas e linhas de transmissão garantem o suprimento de energia elétrica para a Região Sudeste, a mais industrializada do país, e para parte da Região Centro-Oeste, interligando-se com todas as demais transmissoras do Grupo Eletrobrás.

A escolha do período entre os anos de 1990 e 2006 está associada a dois fenômenos já citados: o primeiro, que será abordado apenas como pano-de-fundo para o presente trabalho, se refere ao processo de reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro, cuja origem coincide com o momento histórico em que o país adota medidas para liberalização de mercado em diversos ramos da economia; e o segundo, sobre o qual o trabalho se concentra, representado pela entrada da tecnologia digital nos ambientes de subestações e usinas.

O foco sobre as áreas de proteção e controle se deve a três motivos principais. Em primeiro lugar, o nível de complexidade desses sistemas requer conhecimento técnico bastante especializado. Especialistas em proteção de sistemas de potência são, normalmente, engenheiros eletricitas com pós-graduação, ou seja, profissionais cujo tempo de formação requer quase vinte anos de sala de aula, o que é muito mais do que a média de estudo da população brasileira. Em segundo lugar, a migração para tecnologias digitais afetou profundamente a rotina dos profissionais das áreas de controle e proteção de sistemas. Principalmente após os anos 1990, os fabricantes mundiais de relés de proteção lançaram seus primeiros modelos totalmente baseados em plataformas digitais, com a implementação das mesmas funções utilizadas anteriormente. Porém, por meio de lógica microprocessada, cresce exponencialmente a capacidade de resposta e a disponibilidade de comunicação, abolindo-se de vez a utilização de materiais com propriedades construtivas ferromagnéticas, próprias das gerações anteriores. O terceiro motivo se baseia no fato de esses dispositivos conferirem as características de rapidez, confiabilidade e flexibilidade requeridas pelos sistemas elétricos de transmissão de energia mais modernos. Apesar do custo relativo de um sistema de proteção corresponder a poucos centésimos do valor total de uma subestação, o custo pela sua atuação indevida ou, no pior dos casos, pela sua não-atuação, pode significar riscos de danos irreparáveis em equipamentos (geradores, transformadores), de colapso no sistema elétrico como um todo, e em algumas circunstâncias, de ocasionar situações de riscos à vida. Por outro lado, sistemas de proteção e de controle bem

dimensionados e operados de maneira correta podem garantir a disponibilidade do suprimento, mesmo em condições severas de curto-circuito (falta), pela sua rápida isolação e por meio de um correto esquema de transferência de linhas.

Por último, faz-se necessário mencionar o porquê de se tratar conjuntamente as áreas de proteção e de controle: tradicionalmente, sempre se distinguiram funções e atividades bem determinadas, tanto para o controle e supervisão como para a proteção das subestações e usinas. Essa dissociação ocorria tanto no nível dos componentes físicos (painéis, relés, circuitos etc.), como nos organogramas das empresas, coexistindo áreas distintas para ambas funções. A tecnologia digital permitiu que os relés de proteção passassem a incorporar funções de controle, que antes eram realizadas por meio de dispositivos externos, tornando essa fronteira tênue. A evolução veio com os chamados *IED's – Intelligent Electronic Devices* – terminais microprocessados multifuncionais, com capacidade de exercer diversas funções, tanto de proteção como de controle, armazenar informações, e de se comunicarem por meio de redes de fibra óptica, proporcionando o surgimento dos primeiros sistemas integrados de proteção e controle de subestações. Como resultado dessa evolução, decorreu a reestruturação de departamentos de diversas empresas do setor. Percebe-se neste caso, uma característica peculiar da tecnologia: a de modificar a forma de fazer as coisas, bem como das estruturas construídas anteriormente para operá-las.

Na literatura acadêmica sobre o período em análise, é vasto o número de teses, dissertações e monografias abordando os novos rumos do setor elétrico, principalmente após as últimas redefinições em termos de regulação e de mercado, por um lado; e sobre a necessidade de serem integrados novos conhecimentos à base existente na empresa para gerar processos de inovação, por outro. Percebe-se, porém, uma carência de estudos mais sistemáticos sobre a efetiva utilização das novas tecnologias em empresas de energia elétrica e de uma análise mais profunda a respeito da acumulação de capacidades tecnológicas alcançada por empresas do setor.

Objetivos

Pretende-se, por meio deste trabalho, contribuir para o aprofundamento da investigação de estratégias de inovação industrial, pela análise da acumulação de capacidade tecnológica, considerada decisiva para a aceleração ou retardo do desempenho operacional das empresas.

Por meio de um estudo de caso, este trabalho se propõe a mapear a competência acumulada em Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão em FURNAS, bem como identificar os níveis atingidos no empreendimento de atividades relacionadas às suas principais atribuições, através de um trabalho de pesquisa de campo, que reuniu dados e evidências, para considerações sobre o acúmulo de capacidades tecnológicas inovadoras pela empresa.

Localização do Tema na Literatura

A análise do ritmo de acumulação tecnológica em economias de industrialização recente (EIR's) foi objeto de estudo a partir da década de 1990, principalmente através de estudos como os de Hobday (1995); Kim (1997; 1998); Dutrénit (2000) e Figueiredo (2001). Ariffin e Bell (1996) utilizaram o modelo proposto anteriormente por Bell e Pavitt (1995), adaptado de Lall (1992), para identificar trajetórias de desenvolvimento em uma perspectiva “intra-empresarial” na indústria eletrônica da Malásia. Em Figueiredo (2001), o modelo foi empiricamente adaptado para a explicitação de diferenças nas trajetórias de acumulação tecnológica no setor do aço. Esses estudos têm em comum a perspectiva de análise da relação entre acumulação tecnológica e inovação industrial. Nos últimos dez anos, esses estudos avançaram significativamente, detalhando e aprofundando “se e como os processos de aprendizagem afetam a capacidade inovadora e competitiva de empresas” (FIGUEIREDO, 2005).

Estudos semelhantes foram realizados para outras indústrias, entretanto até o trabalho de Rosal (2004), não havia nenhum que investigasse a indústria de energia elétrica, através da abordagem acima. Tal como sugerido pela autora para estudos futuros, o presente trabalho auxiliará na comparação entre diferenças e semelhanças na acumulação de competências tecnológicas em empresas transmissoras de energia.

Nos últimos anos, por conta de uma profusão de estudos baseados em descrições, análises e propostas de estratégias de inovação industrial, tem havido um uso indiscriminado de certos termos “sem uma adequada fundamentação analítica e empírica”, o que pode “interferir negativamente na implementação dessas estratégias”, havendo grande escassez de contribuições conceituais para a implementação de estudos empíricos (FIGUEIREDO, 2004, p.327). No setor elétrico, encontram-se diversas iniciativas de inclusão do tema inovação na pauta das atividades de pesquisa. Nos anais dos principais seminários, tais como o *SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica* e o *SINCONEE - Seminário Nacional da Gestão da Informação e do Conhecimento no Setor de Energia Elétrica*, bem como em outras publicações, se

encontram vários trabalhos tratando o assunto, porém na bibliografia pesquisada, não foram encontrados estudos empíricos ou sobre metodologias para a avaliação de capacidades tecnológicas.

Pela pesquisa de recentes trabalhos realizados por colaboradores de FURNAS, foram encontrados alguns estudos tratando o tema da gestão do conhecimento e da inovação.

Em sua monografia para obtenção de especialista em gestão empresarial, GÓZ (2006) propõe que a estrutura organizacional da empresa deve funcionar como elemento facilitador da gestão do conhecimento e propõe como medida fundamental a criação de comitês multidisciplinares para fomentar sua geração e disseminação dentro da organização. O trabalho apresenta uma interessante contribuição teórica, abordando diversos temas, tais como os mecanismos de conversão do conhecimento, a aprendizagem e a cultura organizacional, e o papel das lideranças sobre a organização; porém, não aprofunda o caso específico de FURNAS e não faz menção sobre a acumulação tecnológica em países de industrialização tardia.

Gonçalves (2002) apresenta uma pesquisa sobre metodologias para criação e desenvolvimento do conhecimento organizacional, com vistas à sua aplicação em FURNAS. Em seu trabalho, a autora também referencia temas como: aprendizado e cultura organizacionais, as dimensões ontológica e epistemológica do conhecimento, a conversão do conhecimento e a combinação do sistema de negócios (burocracia) com o das equipes multidisciplinares de projeto (força-tarefa). Dentre os méritos da pesquisa, são apontados problemas com relação à evasão de memória técnica da empresa; apresenta-se um histórico do setor elétrico e de sua recente reestruturação; e utiliza-se a teoria da criação e conversão de conhecimento proposta por Nonaka e Takeuchi (1997), para defender a criação de um “portal do conhecimento” como aplicação prática na empresa, visando a uma maior sistematização do tratamento das informações. É interessante notar que a autora identifica em FURNAS algumas características que conferiram à empresa reconhecimento nacional e internacional sobre seus padrões de excelência de qualidade, destacando a criatividade, o pioneirismo e o rigor tecnológico. Entretanto, mesmo percebendo a existência de aspectos que podem causar danos severos ao seu processo de aprendizagem, principalmente pela evasão dos funcionários (em nível interno) e pela introdução da competição (mudança no cenário externo), neste trabalho a autora não se propôs a uma análise da capacidade tecnológica de FURNAS.

Em uma pesquisa mais ampla, foram encontrados artigos de diversas empresas do setor elétrico, com as mesmas preocupações de abordagem sobre o tema da criação e conversão do conhecimento nas empresas, tais como os trabalhos de Rossatto e Cavalcanti (2001), Martins et al. (2005), Torres e Oliveira (2004), Nunes et al. (2005), Goldman (2006) e Goldman e Quelhas (2007).

Rossatto e Cavalcanti (2001) defendem a implementação de um *Modelo Estratégico de Gestão Centrado no Conhecimento*. Segundo os autores, o *balanço patrimonial intangível* de uma empresa é composto pelo *capital intelectual* – conjunto de conhecimentos, competências, habilidades e experiências dos indivíduos; pelo *capital de relacionamento* – constituído pela imagem e reputação da empresa no mercado, formadas a partir da capacidade da organização de resolver problemas e atender necessidades dos clientes; e por último, pelo *capital estrutural* – o qual engloba, entre outros, as patentes, o estilo gerencial, a cultura, estrutura e estratégia organizacionais, a infra-estrutura tecnológica e os processos de negócios. Para os autores, o patrimônio intangível da empresa é repleto de conhecimentos tácitos e explícitos que precisam ser compartilhados, tornando imprescindível a interação entre os indivíduos. O modelo considera 5 alicerces fundamentais para a gestão do conhecimento: a estratégia organizacional, os processos de negócios, o ambiente organizacional, as competências dos empregados e a infra-estrutura tecnológica da empresa. O trabalho apresenta os casos implementados pela British Petroleum e pela área de informática da Eletrobrás como exemplos de sucesso na aplicação da metodologia. Nos dois casos, são reiteradas as vantagens de se criar um repositório de conhecimentos “íntegro, consistente e atualizado”. Entretanto, os próprios autores reconhecem que o modelo proposto é estático e dependente de condições externas que impossibilitam a previsão do futuro das empresas.

Martins et al. (2005) apresentaram um informe técnico sobre o *Desenvolvimento tecnológico no Sistema Eletrobrás e suas ações no estímulo e fomento à inovação*. O estudo aborda as recentes ações do Grupo Eletrobrás decorrentes do fortalecimento das atividades de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D, sobretudo após a edição da Lei 9.991/2000 que estipula a aplicação de 1% do faturamento das empresas em programas de P&D. O trabalho aborda a criação do CICOP – Comitê de Integração Corporativa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, no ano 2003, que tem a missão de estimular “as atividades de pesquisa visando à inovação tecnológica, para obtenção de registros de propriedade intelectual, transferência de tecnologia e cooperação de parcerias entre as empresas (do Grupo Eletrobras) com universidades, centros de pesquisa e indústria” (MARTINS ET AL., 2005, p.1). Neste contexto, o informe apresenta as atribuições e a metodologia de trabalho do CICOP, que se baseia em força-tarefa em que as empresas do Grupo designam participantes para analisar e propor políticas nos aspectos relacionados à Gestão da Tecnologia e Inovação. O trabalho se foca especificamente na primeira Força-Tarefa, criada para “desenvolver um modelo integrado de gestão da inovação e da tecnologia” (p.5). Os autores apontam que o projeto DEG – Desenvolvimento Estratégico de Gestão Tecnológica e Gestão da Inovação, foi a proposta central para que as empresas fossem dotadas de aplicações de inovações economicamente significativas. Os autores citam

Schumpeter (1930), que ao propor os conceitos de “exploitation” e “exploration”, referiu-se respectivamente, “à necessária eficiência das operações atuais da organização” e “à procura de novas alternativas para o futuro”, como respostas das organizações à crescente complexidade social e econômica. Os autores associam o termo ‘exploração’ aos tipos de invenção que focalizam o aperfeiçoamento ou aumento de desempenho de produtos e serviços existentes - microinovações; enquanto ‘exploração’ refere-se às invenções criadas pela extensão e pela reconstrução do saber convencional – macroinvenções (apud MARTINS ET AL., 2005, p.5). Segundo defendem, as macroinovações criam uma nova configuração dos atores econômicos, cabendo às empresas “desenvolver estratégias de P&D que gerem resultados concretos em suas operações, implicando no domínio, não apenas das variáveis técnicas ligadas à engenharia dos processos, mas também organizacionais, sociais e culturais” (p.6). Sobre este aspecto, Figueiredo (2004) recorda que Bell e Pavitt (1993, 1995) formularam uma definição “segundo a qual, a capacidade tecnológica incorpora os recursos necessários para *gerar* e *gerir* mudanças tecnológicas. Tais recursos se acumulam e incorporam nos indivíduos (aptidões, conhecimentos e experiência) e nos sistemas organizacionais” (apud FIGUEIREDO, 2004, p.329). Mais adiante (p.330), o autor adverte, porém, que “há uma tendência de se negligenciar a dimensão organizacional (e gerencial) da capacidade tecnológica”. Neste sentido, o trabalho conduzido pelo projeto DEG, por meio de suas etapas 2 e 3, tem o mérito de privilegiar o aspecto organizacional ressaltado por Figueiredo: na segunda etapa, pretendia-se analisar métodos de trabalho e resultados obtidos pelas maiores empresas de energia elétrica no país e no exterior, investigando instituições de referência nos EUA, Canadá e Europa; e na terceira etapa, identificar e avaliar ferramentas de apoio à gestão da tecnologia existentes em centros de pesquisa, indicando as que melhor se ajustassem às necessidades das empresas do Grupo Eletrobrás. Percebe-se, pelo trabalho de Martins et al., todo o esforço envidado pelo setor elétrico para criação de uma “cultura da inovação”, a partir da gestão de seu programa de P&D. A partir dessas pesquisas, busca-se que as empresas do grupo aumentem seu potencial de geração de inovações, induzindo um crescimento também nas atividades de registros de patentes. O aumento dos indicadores de investimentos em P&D e do número de registros de patentes, dentro desta visão, constitui uma meta na busca de alcançar a competitividade internacional. Entretanto, tal como será aprofundado no Capítulo III desta dissertação, existem algumas restrições à análise isolada desses indicadores para examinar a inovação em empresas e indústrias que operam nas economias de industrialização recente (EIR’s). Nas ações descritas por meio do informe técnico, não se encontrou referência a outros índices para análise da acumulação tecnológica ou menção ao levantamento das competências já existentes nas empresas, apesar do destaque à importância do CEPEL – Centro de Pesquisas em Energia Elétrica - e à cooperação permanente entre a

Eletrobrás e as universidades e centros de pesquisa. O mapeamento de capacidades tecnológicas já acumuladas pela empresa, nos diversos processos em que participa, representaria uma etapa fundamental para um efetivo aproveitamento do sistema de gestão da inovação.

Torres e Oliveira (2004) apresentam o relato de uma pesquisa realizada sobre *Evidências da existência de capital social organizacional* cuja análise foi realizada em outra importante empresa do grupo Eletrobrás: a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. Trata-se de uma pesquisa qualitativa a respeito dos resultados alcançados pela empresa, realizado com base nos primeiros projetos contratados no Ciclo 2000/2001 de P&D pela empresa. Apesar de reconhecer na reestruturação do setor elétrico um ambiente favorável à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico do país e de indicar a percepção de valores compartilhados importantes para a melhoria do desempenho empresarial, tais como comprometimento, integração, motivação, participação, cooperação e confiança, o trabalho também não apresenta evidências da evolução de capacidades tecnológicas na empresa ao longo do tempo, apesar de citar alguns projetos inovadores desenvolvidos ao longo de 50 anos de trajetória, o que não torna claras as etapas percorridas para a acumulação de conhecimentos pela empresa. Além disso, como sustenta Figueiredo (2005), os diversos graus de inovação, de básica a complexa, não são captados em estudos à base de indicadores tradicionais tais como os gastos em P&D e a intensidade da atividade de registro de patentes. Este assunto será melhor explorado no Capítulo III, dedicado à análise de uma teoria mais aplicável às economias de industrialização recente.

Nunes et al. (2005) abordam a gestão do conhecimento como fator para transferência de tecnologia no setor elétrico, enfocando a importância estratégica da gestão da manutenção na Central Hidrelétrica de Itaipu. Mais uma vez, trata-se de uma descrição sobre a forma como um setor da empresa encontrou para organizar um repositório de conhecimentos. Os autores advogam que uma visão mais atual da atividade de gestão da manutenção abrange todo o ciclo de vida dos equipamentos, assumindo um papel estratégico quanto à eficiência energética, qualidade, disponibilidade, confiabilidade e custos. Entretanto, não é proposta a investigação do estágio de capacidade tecnológica da empresa na área de manutenção.

Para Goldman (2006), que tratou os temas da preservação e disseminação do conhecimento no segmento de transmissão de energia, as reestruturações pelas quais o setor elétrico vem passando determinaram o maior desafio que essas empresas já enfrentaram: sua permanência no negócio. Em um ambiente cuja tendência é a conexão de diferentes sistemas elétricos, que pode unir regiões e países a um mesmo sistema interligado, o que se pretende, é a redução dos custos da eletricidade e o aumento da confiabilidade do suprimento. Nesta lógica, novas tecnologias, tais como LNPE (Linhas de Potência Natural Elevada) e ferramentas que “incorporam as últimas novidades da digitalização e da automação industrial” (GOLDMAN, 2006,

p.3) surgem como aliadas para uma operação otimizada dos sistemas de transmissão. Como efeito, “as novas instalações envolvem equipamentos complexos e novas técnicas de construção que passam a fazer parte do dia-a-dia dos profissionais do setor elétrico” (IDEM). O estudo apresentado pelo autor discute os impactos da nova formulação do setor, principalmente no que se refere à chamada Receita Anual Permitida, que corresponde ao pagamento recebido pelas transmissoras de energia pela disponibilidade de suas instalações, e ao conceito de Parcela Variável, que corresponderá a um desconto na receita, nos casos de indisponibilidades. O desempenho financeiro dessas empresas será afetado diretamente, ao mesmo tempo em que serão obrigadas a passarem de uma postura de total “aversão ao risco” à condição de “avaliar e assumir os riscos do negócio” nas atividades de planejamento, projeto, construção, operação e manutenção do sistema de transmissão (pp.4-5). Para o autor, a Gestão do Conhecimento se constitui na ferramenta adequada para dar resposta a essas transformações. O trabalho procura também desmistificar o tema, qualificando-o simultaneamente como “um modismo, como também um conjunto de idéias muito sério e profundo”, sustentando que “o modismo passará”, porém “as questões de fundo como geração, acúmulo e difusão do conhecimento estarão na mira das organizações por muitos e muitos anos” (p.8). Continuará sendo importante, segundo o autor, o mapeamento das fontes de conhecimento, o armazenamento dos conhecimentos e experiências das pessoas e os meios eficientes para troca de informações entre grupos geograficamente distantes. Tal é o cenário que, segundo defende, exige a otimização de processos para manter a competitividade das empresas, pois “qualquer lapso no tempo pode derrubar por terra anos de liderança” (GOLDMAN, 2006, p.9).

No interessante artigo que tem como título “Desenvolvimento de Inteligência Empresarial voltada para o segmento de transmissão de energia elétrica”, Goldman e Quelhas (2007) abordam importantes aspectos da Gestão do Conhecimento, encadeando entre outros, os conceitos de *inteligência empresarial*, *capital intelectual* e *aprendizagem organizacional*. Os autores desmistificam a gestão do conhecimento, afirmando que “nem todo conhecimento se traduz em vantagem competitiva”. Mais adiante, os autores complementam que “o conhecimento que se transforma em vantagem competitiva nasce ou é absorvido através do conhecimento tácito, pois se assim não fosse, seria facilmente copiado pelos concorrentes” (GOLDMAN & QUELHAS, 2007, p.5). Sob o ponto de vista da percepção de um modelo que evidencie a trajetória de acumulação de competências tecnológicas, o trabalho apresenta uma aproximação com o objetivo desta dissertação, quando se refere à necessidade de criação de valor. Segundo defendem, cada vez mais, as organizações direcionam seus esforços para este objetivo central:

Por isso, mais do que simplesmente aplicar e colher os resultados da geração, absorção, armazenamento e compartilhamento do conhecimento, é preciso mensurar seus resultados... não basta acreditar que através do conhecimento as organizações transformam rotinas e práticas em

produtos e serviços valiosos. Esses fatos precisam ser medidos e provados em cada aplicação (GOLDMAN & QUELHAS, 2007, p.7).

Os autores percebem, de forma bastante lúcida, que apesar da insistência na indicação do Conhecimento como “o fator de produção de melhor relação custo-benefício, são bastante conhecidas as dificuldades de mensurar objetivamente os resultados de sua gestão” (p.7). O mapeamento e o exame do nível de capacidades tecnológicas são as questões suscitadas na presente dissertação. A principal motivação da pesquisa consiste no reconhecimento da necessidade de metodologias que permitam uma avaliação consistente desses processos. Como recorda Figueiredo (2004), um dos princípios básicos em gestão é o de que

pode-se gerir com eficácia aquilo que se pode medir. A aplicação de medidas isoladas pode trazer algum benefício às organizações, porém nunca permitirá a verificação, ao longo do tempo, do ritmo de acumulação de capacidade tecnológica (FIGUEIREDO, 2004, p.326).

Em outras palavras, para se definir onde se quer chegar, faz-se necessário um exame inicial cuidadoso e uma análise consistente que permitam identificar estágios de uma trajetória. Do contrário, estará sempre presente o risco de se permanecer estagnado por muito tempo em um mesmo nível de capacitação, o que não é compatível com o atual momento, marcado pela mudança de paradigmas.

Por outro lado, o reconhecimento das etapas já percorridas pelas empresas e setores da economia pode ser determinante para evitar “soluções drásticas” que, vez por outra, acabam proporcionando efeitos danosos em setores produtivos, que poderiam estar impulsionando as economias dos países em desenvolvimento.

A construção de uma taxonomia com dados consistentes para o mapeamento dos estágios de acumulação tecnológica e a identificação dos níveis alcançados são as questões deste trabalho. Através da análise dos resultados obtidos por meio de entrevistas com gerentes e especialistas da empresa, bem como de documentos, contratos, manuais da organização, portal corporativo e da revisão bibliográfica proposta, propõe-se uma estrutura analítica para avaliar o estágio de acumulação tecnológica da empresa nas áreas de proteção e controle de subestações.

O trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa qualitativa realizada para seis processos ou subfunções tecnológicas, não sem antes apresentar a literatura acadêmica correspondente à aplicação de ferramentas para a análise consistente do estágio de capacitação tecnológica da empresa. De acordo com Figueiredo (2005), a “aplicação empírica mais sofisticada” deste modelo é o exame da velocidade de acumulação, representada pelo número de anos necessários para alcançar níveis mais elevados de capacitação; a pesquisa realizada procurou identificar fatos e momentos marcantes em que dadas capacidades foram aprofundadas. Essas informações podem servir como valiosa fonte de dados, fornecendo subsídios para futuras análises sobre as taxas de acumulação de capacidades tecnológicas.

Neste trabalho, são apresentadas as bases teóricas para a construção de uma taxonomia para medição de níveis de capacidade tecnológica na área de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão na empresa FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS. Ao final do trabalho, apresentam-se considerações sobre os níveis atingidos, conforme evidências coletadas na pesquisa de campo, e uma representação numérica que reflete os resultados apurados por meio de uma tabela constituída pelos diferentes níveis de capacitação para as subfunções tecnológicas que constituem as principais atividades empreendidas na área estudada.

Estrutura da Dissertação

O presente trabalho pretende ser uma fonte de inspiração para engenheiros, professores, pesquisadores, administradores, gerentes e, de forma mais ampla, para todos os que se interessem pelo instigante tema da gestão da inovação, sob uma perspectiva mais direcionada às economias de industrialização recente, especificamente tratando a realidade brasileira no importante segmento da indústria da eletricidade.

Possivelmente, em uma primeira análise, aqueles que como eu, militam no setor elétrico, tendam a considerá-lo demasiado acadêmico, pois de forma geral, por formação, preferam uma linguagem menos literal, mais sistematizada, representada por circuitos, esquemas e equações. Por outro lado, uma vez que aprofunda temas como produção e transmissão de energia, regulamentação e reestruturação do setor elétrico e, principalmente, áreas de reconhecida complexidade, como as de proteção e controle de subestações, haverá o risco de ser percebido, pelo público em geral, como de interesse restrito aos técnicos ou quadros das empresas do setor.

Em meio a esta tensão, esta dissertação foi elaborada pensando em atingir tanto aqueles que estão familiarizados com as transformações que o setor elétrico vem experimentando, mas que de alguma forma, ainda não perceberam a importância do *conhecimento* como fator-chave dessas mesmas mudanças; como os pesquisadores de forma mais ampla, que muitas vezes se apóiam em metodologias e estudos “importados”, que podem deformar a visão sobre a realidade do patamar tecnológico, influenciando negativamente, não somente na formulação de políticas para o desenvolvimento tecnológico do país, como muitas vezes, na “disseminação de generalizações comuns sobre o (sub)desenvolvimento tecnológico de setores industriais ou mesmo de países” (FIGUEIREDO, 2004, p.345).

Diante de um público tão eclético e de um assunto com tal fecundidade, no Capítulo I, optou-se por traçar um panorama com aspectos relevantes do contexto da evolução e reestruturação do setor elétrico brasileiro, tanto sob uma visão institucional, a partir da desregulamentação, como sobre a óptica da mudança do paradigma tecnológico.

O Capítulo II discorre sobre a evolução dos sistemas de proteção e de controle e supervisão ocorrida na indústria da energia elétrica, notadamente a partir dos anos 1990. São tratados aspectos relacionados à automação e à digitalização dos componentes responsáveis por essas funções nos grandes sistemas de transmissão de energia elétrica, bem como relatadas algumas experiências de empresas do Setor Elétrico Brasileiro. Apresenta-se também a estrutura organizacional da empresa FURNAS, no que se refere às atribuições das áreas de atuação da Divisão de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão, bem como apresentados desafios impostos pelo atual modelo de mercado.

No Capítulo III, apresentam-se as bases sobre a teoria da criação e disseminação do conhecimento e a dinâmica da inovação nas empresas; discutem-se os indicadores convencionais de tecnologia e inovação bem como se apresenta o modelo para medição de acumulação de capacidade tecnológica, com base nos estudos iniciados a partir de experiências em países da Ásia, África e América Latina.

O Capítulo IV dedica-se à apresentação do Estudo de Caso da aplicação das métricas para avaliação do estágio de acúmulo de capacidade tecnológica na empresa FURNAS. Além da metodologia utilizada para a condução de uma pesquisa conduzida na área de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão da empresa, são discutidos os resultados, e observada sua coerência com a teoria apresentada.

Na última parte do trabalho, são tecidas as considerações finais, analisados os resultados das observações obtidas por meio da pesquisa, verificando-se a aplicabilidade do modelo e sugeridas as recomendações para a continuidade e aprofundamento do estudo aqui desenvolvido.

CAPÍTULO I – SETOR ELÉTRICO: EVOLUÇÃO, TECNOLOGIA E REGULAMENTAÇÃO

I.1- A Indústria da Eletricidade: origens e estruturação

A investigação, o estudo e a compreensão de processos são algumas das principais atividades relacionadas com a prática científica. A ciência busca a compreensão dos fenômenos para poder intervir nos processos, baseada na crença de que pelo conhecimento, pode tornar-se possível a manipulação das variáveis que produzem determinados resultados. Segundo a definição de Grinspun (2001, p.49), a tecnologia “é o conhecimento científico transformado em técnica”, e o seu principal objetivo é “aumentar a eficiência humana em todas esferas, envolvendo um conjunto organizado e sistematizado de diferentes conhecimentos, científicos, empíricos e até intuitivos na produção de bens e serviços”. Entre as primeiras investigações até a utilização dos novos produtos tecnológicos, sabe-se que existe um enorme esforço. Cardoso (2001, p.183) relembra que a geração presente já nasceu sob o signo das vertiginosas mudanças acarretadas pela tecnologia e, em geral, não tem a noção de como esse processo é recente e dos caminhos percorridos pela humanidade até a atual situação.

A origem da indústria da eletricidade remonta ao ano de 1831, quando os primeiros experimentos bem sucedidos são apresentados simultaneamente por Michael Faraday, no Reino Unido, e por Joseph Henry, nos Estados Unidos, demonstrando, cada um a seu modo, a possibilidade de transformar energia mecânica em energia elétrica. O gerador de Faraday produzia corrente contínua, a partir de um disco de cobre, que girava no campo magnético formado pelos pólos de um ímã de ferradura. Henry obteve corrente alternada valendo-se de um gerador com ímãs e enrolamento de fio numa armadura de ferro (Martins, 1999). Uma síntese a respeito do surgimento da energia elétrica é apresentada pelo historiador científico David Landes:

No início do século XIX, a eletricidade era uma curiosidade científica, um brinquedo de laboratório. Em decorrência da investigação e experimentação largamente difundidas, no entanto, tornou-se uma forma de energia comercialmente útil, primeiro nas comunicações, logo depois nos processos da indústria química leve e da metalurgia e, finalmente, na iluminação. Dentre estes, a última teve o maior impacto econômico, em virtude de suas implicações para a tecnologia da energia em geral (LANDES, 1994, p.293).

Após quase um século de curiosidade científica, somente no final do século XIX surgiram as primeiras centrais elétricas de geração de energia elétrica com capacidade para atendimento a uma demanda “incalculavelmente grande no total, mas pulverizada numa multiplicidade de necessidades individuais” (IDEM). A difusão da invenção da lâmpada de filamento incandescente de Edison, “pela primeira vez, tornou a eletricidade útil não apenas na indústria, ou no comércio, mas em todos os lares”.

Segundo advoga Lessa (2001, p.11), a época moderna “pautou-se pelo acender das Luzes” como resultado da invenção da imprensa. A *Enciclopédia* como “síntese do Iluminismo”,

trouxe a luz do “acesso ao saber recenseado” e a máquina a vapor substituiu os limites da força humana e da tração animal. O uso do “carvão mineral e a diversificação de combustíveis fósseis iluminaram as ruas mantendo pública e aberta a cidade à noite”. Inaugura-se uma nova fase da civilização humana, fronteira mais visível entre o “rural atrasado” e o “urbano moderno”.

Com a luz elétrica, a glória do espaço caseiro iluminado consolidou-se. Esta energia substituiu e simplificou os trabalhos domésticos e renovou, radicalmente, o viver da família urbana. No domicílio iluminado, desenvolveu-se uma nova sociedade familiar (LESSA, 2001, p.12).

Logo se percebeu que o alcance da energia elétrica iria muito além da iluminação: no setor industrial, intensivo na utilização de energia, foram auferidas possibilidades fantásticas, seja através da eliminação de caldeiras à carvão próximas ao local de produção (fontes locais de poluição e de iminente perigo para os operários), seja pela substituição de todo um emaranhado de engrenagens e polias, cujo movimento pôde ser reproduzido pela aplicação dos primeiros motores elétricos. Sobre a versatilidade da nova fonte de energia, Landes (1994) resume:

A importância da eletricidade residiu na combinação singular de duas características: transmissibilidade e flexibilidade. Com a primeira, referimo-nos a sua capacidade de deslocar a energia no espaço sem grandes perdas. E com a segunda, sua conversão simples e eficiente em outras formas de energia - calor, luz ou movimento (...). Por um lado, a eletricidade libertou as máquinas e ferramentas da escravidão da localização; por outro, tornou a energia onipresente e a colocou ao alcance de todos (LANDES, 1994, p.291).

Os marcos iniciais da indústria nascente são a inauguração da primeira usina elétrica de Thomas Edison em Nova York (1879) e a construção da primeira central elétrica pública da Europa na Inglaterra (1881). É inegável o legado de Edison, não somente devido às suas invenções, pela criação de um sem-número de aplicações para a energia elétrica propriamente dita, tais como o regulador de voltagem, o medidor de quilowatt-hora, fusíveis, chaves, materiais isolantes, dínamos, o fonógrafo, o cinetoscópio etc. num total de 1097 patentes registradas. A mudança de paradigma de gestão tecnológico promovida por Edison decorre de sua idéia pioneira de “fabricante de tecnologias”, com objetivos comerciais previamente fixados, sendo ele o criador de empresas para exploração de seus inventos, caso das gigantes General Electric e RCA (LONGO, 1999, p.24).

Sob o aspecto particular da tecnologia empregada nos grandes sistemas de transmissão de energia, Edison sempre foi um defensor do modelo que utilizava a corrente contínua para a transmissão e utilização final. Entretanto, experimentos de Nicola Tesla, com a corrente alternada, iriam iniciar uma “guerra de padrões”, conforme recorda Tigre (2006, p.79): “no final do século XIX ocorreu uma acirrada disputa entre as técnicas de transmissão de eletricidade via corrente contínua e corrente alternada, atrasando sua difusão até que a corrente alternada fosse finalmente escolhida”. Sobre a escolha e a definição do modelo, pode-se afirmar que

a invenção do transformador deu maior flexibilidade à corrente alternada, permitindo gerar numa tensão, transmitir em outra, e ainda distribuir num outro nível, fazendo com que passasse a ser utilizada com maior intensidade. A invenção do motor de gaiola, simples, robusto e confiável, peça

essencial na indústria, foi também um fator decisivo na adoção universal do suprimento de energia elétrica em corrente alternada. (CAMARGO, 2006, pp.26-27).

Ao se firmar como modelo para transporte de energia elétrica em grandes blocos, a transmissão em corrente alternada tornou necessária uma infra-estrutura composta por linhas de transmissão, que evoluíram em nível de tensão e capacidade à medida que o desenvolvimento científico e tecnológico permitiu. Segundo afirma Camargo (2006, p.27), “o crescimento econômico e populacional, as restrições ambientais e o uso crescente da energia elétrica levaram progressivamente à necessidade de mais linhas de transmissão”. Por outro lado, o crescimento populacional somado às preocupações com questões ambientais impõe restrições à expansão de uma rede de transmissão. Sabe-se que a potência (P) que se pode transmitir em um circuito elétrico é diretamente proporcional ao produto da tensão (V) pela corrente (I), ou seja: $P = V \times I$. A elevação dos valores de corrente é limitada pela capacidade de condução dos cabos. A solução para a transmissão de grandes blocos de energia foi a utilização de níveis de tensão cada vez mais elevados, cujas maiores restrições são a distância entre os condutores e problemas de surtos de manobras, surgindo linhas de transmissão de 69kV, 138kV, 230kV, 345kV, 500kV e 750kV. O aumento da capacidade de transmissão de energia, à medida que se eleva o nível de tensão, não é linear, apesar de sistemas com níveis mais elevados de tensão requererem um tamanho físico maior para suas estruturas. Em termos comparativos, “uma linha de 765kV transporta o equivalente a trinta linhas de 138kV, com uma estrutura de transmissão de aproximadamente o dobro daquela de 138kV” (CAMARGO, 2006, p.27).

A necessidade de uma extensa e complexa infra-estrutura formada por usinas, linhas de transmissão, subestações e de uma rede para distribuição nos centros urbanos caracteriza o início da chamada “indústria da energia elétrica”, que em termos econômicos, possui um significado mais amplo:

Considera-se a categoria indústria de energia elétrica como toda cadeia econômica desde sua produção até o fornecimento ao consumidor final, englobando as fábricas dos equipamentos de produção, transporte e uso final da energia elétrica, os processos de desenvolvimento tecnológico e de capacitação de pessoal, além de uma série de serviços que devem ser realizados para que esta se concretize, como os estudos e projetos de geração, transporte e usos finais da energia elétrica, que também requerem uma produção científica que sustenta o planejamento, a operação e a coordenação desses sistemas (GONÇALVES, 2004, p.2 apud VIEIRA, 2004, p.13).

Ao recordar a teoria dos ciclos econômicos de longo prazo, elaboradas a partir de estudos de Kondratieff, Schumpeter, Mensh e Freeman, pela qual se “associam os surtos de crescimento ao surgimento de inovações básicas que dão origem a setores inteiramente novos”, Tigre (2006, pp.65-66) relaciona os paradigmas tecnológicos e a infra-estrutura física e social presentes em cada ciclo identificado por aqueles pesquisadores. Identifica-se que a energia elétrica corresponde à “Terceira Onda”, situada entre os anos 1890 e 1930. O autor sustenta que:

os ciclos longos de desenvolvimento são atribuídos a câmbios sucessivos de paradigma tecnológico, como a máquina a vapor, a eletricidade e a microeletrônica, consituindo em diferentes épocas os fatores-chave que estavam na raiz das transformações tecnológicas e mundiais (TIGRE, 2006, pp.75-76).

O emprego da energia elétrica no Brasil teve como marcos pioneiros: a inauguração de seis lâmpadas elétricas por Pereira Passos, em 1879, na presença de D. Pedro II, na estação ferroviária que levava o nome do imperador; a instalação de energia elétrica em alguns pontos do palácio de São Cristóvão ao mesmo tempo em que entrava em funcionamento a primeira termelétrica do país, para iluminação pública de algumas ruas da cidade de Campos (RJ), ambas em 1884; a construção da Usina Hidrelétrica Ribeirão do Inferno, ainda em 1883, destinada ao fornecimento de força motriz a serviços de mineração em Diamantina (MG); e a instalação da Usina Marmelos-Zero para iluminação da cidade mineira de Juiz de Fora, em 1889. Em 1892, surge o bonde elétrico no Rio de Janeiro, que chega à São Paulo na virada do século (LESSA, 2001, p.24).

Até a primeira década do século XX, foi construído no país um grande número de pequenas usinas geradoras de energia elétrica, cuja produção visava ao atendimento dos serviços públicos instalados nas cidades, sendo empregada predominantemente na iluminação pública e particular, no transporte coletivo e no fornecimento de força motriz a unidades industriais, sobretudo no setor têxtil. Os primeiros concessionários dos serviços de eletricidade constituíam-se de pequenos produtores e distribuidores, organizados como pequenas empresas de âmbito municipal por fazendeiros, empresários e comerciantes locais (BIBLIOTECA DO EXERCITO, 1977).

Neste primeiro momento, segundo Rosal (2004, p.28), a configuração do setor elétrico nacional se caracteriza pelo surgimento de duas estruturas totalmente diversas: “de um lado, empresas municipais e as privadas ligadas ao setor cafeeiro e ao setor de empreendimentos urbanos. De outro, possibilitou a entrada de grandes investidores estrangeiros, como a *Light*, distribuidora de energia do Rio de Janeiro”.

Aspectos Institucionais

I.2- Sistemas Elétricos Isolados – Ausência de Regulação

O progresso tecnológico registrado desde o começo do século passado, na fabricação de grandes geradores hidrelétricos, na construção de barragens e na transmissão de eletricidade, encontrou condições peculiares favoráveis à expansão da estrutura dos recursos energéticos do Brasil.

Vieira (2005, p.23) recorda que a indústria de eletricidade no Brasil surgiu como nos demais países, através de empreendimentos isolados para atender a demandas localizadas, caracterizando-se por uma “autonomia tanto no fornecimento, quanto na regulação e no controle, cujo Poder Concedente era o município”. Segundo o autor,

o desenvolvimento da indústria de eletricidade requeria maiores plantas e integração das instalações entre regiões e municípios vizinhos, objetivando ganhos de escala. Nesse processo, as pequenas centrais térmicas e hidroelétricas das empresas locais brasileiras foram sendo gradativamente assumidas por empresas maiores, com destaque para grupos estrangeiros, que detinham porte e capacidade para atender às novas exigências financeiras e tecnológicas (VIEIRA, 2005, p.23).

Segundo Cachapuz (2003, p.11), “sob a égide do capital privado, os serviços de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica foram organizados no país sob a forma de sistemas isolados e independentes”.

Com essa perspectiva, e dentro do quadro nacional de uma economia ainda incipiente, surgiram as primeiras companhias elétricas sob controle de capitais estrangeiros que terão importância na evolução do serviço elétrico, quer pelo longo tempo em que predominaram no setor, quer pelo aporte de capital e engenharia que ainda não estavam disponíveis no país (MARTINS, 1999).

Sistemas elétricos de maior porte, implantados em torno das principais capitais – Rio de Janeiro e São Paulo – ficaram sob a área de concessão da *holding Brazilian Traction, Light and Power*, ou conforme denominação mais conhecida *Light*, que mais tarde incorporaria uma série de pequenas empresas nos municípios paulistas e fluminenses do Vale do Paraíba. As regiões formadas por capitais dos demais estados, tais como Porto Alegre, Curitiba, Belo Horizonte, Niterói, Vitória, Salvador, Maceió, Recife e Natal entre outros importantes municípios, tais como Pelotas (RS) e Petrópolis (RJ) incluindo cidades do interior paulista ficaram sob a área de influência da *American and Foreign Power Company – Amforp* (CACHAPUZ, 2003, p.15).

O quadro estabelecido ao final da Primeira República reproduzia um cenário em que:

As iniciativas locais cedem espaço para grupos empreendedores nacionais e internacionais, nas principais capitais e nos mercados mais dinâmicos do eixo Rio – São Paulo, que eram atrativos sob o ponto de vista financeiro. Os grupos LIGHT (canadense) e AMFORP (americano) destacaram-se por suas agressivas estratégias de ampliação de mercados, localizados nos principais centros consumidores, que os conduziram a praticamente dominar o setor de energia elétrica no Brasil, na primeira metade do século XX. As pequenas localidades e as áreas menos desenvolvidas continuaram sendo atendidas por pequenas empresas ou pelos governos estaduais/municipais, ou, então, marginalizadas do processo de eletrificação (VIEIRA, 2005, p.34).

A grande expansão da indústria do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), mais tarde, obrigou o Estado a elaborar diretrizes e leis que viessem a disciplinar as atividades de produção e fornecimento de energia elétrica pelos concessionários, disciplina esta que se torna mais eficaz com a posterior criação de órgãos fiscalizadores.

I.3- A Intervenção do Estado – Início da Dicotomia Público *versus* Privado

Uma característica fundamental da energia elétrica é a necessidade de consumo imediato à quantidade produzida. Não existe possibilidade de armazenamento de eletricidade em grandes blocos, o que “reveste o transporte de suma importância no equilíbrio do binômio produção-consumo”. A complexidade dos sistemas de transmissão é elevada na medida em que formas alternativas de suprimento de energia aos grandes centros de carga são definidas pela interconexão de linhas de transmissão e subestações (FORTUNATO et al., 1990, p.28).

Observando a mesma tendência verificada em sistemas elétricos de outros países, são encontradas na literatura referências a algumas iniciativas para interligação entre os subsistemas, tanto por parte da *Light*, na interligação do sistema Rio - São Paulo como da *Amforp*, na interligação do sistema do interior paulista como tentativa de resposta a uma iminente crise por falta de energia elétrica (CACHAPUZ, 2003, pp.13-17).

Segundo Vieira (2005), “dificuldades de importação de produtos originados com a Primeira Guerra favoreceram a expansão da produção local, gerando um acentuado surto de desenvolvimento nos anos 1920 que causaram uma crise em 1924/25 em São Paulo”. Cachapuz (2003, p.13) acrescenta que a crise se agravou por causa de “uma severa estiagem que reduziu em 40% a vazão dos rios Tietê e Sorocaba, utilizados na produção de energia para a capital e áreas próximas”. Entretanto, mais adiante (p.16), o autor complementa: “há registros de outras interligações entre sistemas elétricos, nos últimos anos da República Velha, sempre de caráter emergencial, não resultando necessariamente no estabelecimento de uma operação coordenada entre empresas”.

O controle sobre a produção e o fornecimento de um insumo que, pouco a pouco, se constituiria em um fator fundamental para o desenvolvimento, e a operação em um mercado cuja regulamentação era inexistente, pela falta de um arcabouço jurídico que disciplinasse as atividades de exploração da nova atividade econômica são aspectos fundamentais para o entendimento do processo de acumulação de poder por parte dos dois grupos estrangeiros que praticamente dividiram o mercado nacional, sem qualquer mecanismo de fiscalização até o início dos anos 1930.

A respeito do acúmulo de poder pelas grandes corporações da época, surge em contrapartida um movimento formado por setores nacionalistas que começaram a reivindicar uma maior participação do governo no estabelecimento de políticas que propiciassem o fornecimento de uma energia “abundante e barata, para permitir o desenvolvimento da indústria básica do país” (ROCHA, 1997 apud VIEIRA, 2005). Sob esta óptica, sustenta Vieira:

Assim, a ausência de instrumentos jurídicos capazes de ordenar os aproveitamentos hidráulicos favorecia as empresas estrangeiras, que se agigantavam e controlavam grande parte da indústria de energia elétrica no País, tornando-se cada vez mais poderosas do ponto de vista industrial e financeiro. Os estados e municípios, crescentemente reclamavam regras claras e definidas (VIEIRA, 2005, p.25).

A partir da crise de energia, se intensifica a pressão por uma maior participação do Estado, advinda de diversos setores da sociedade, principalmente devido às “restrições na oferta que afetavam diretamente a emergente indústria de São Paulo”. Defendendo uma maior atuação do Poder Público no setor de infra-estrutura, o jornal *O Estado de São Paulo* chega a publicar, em janeiro de 1925, um artigo cobrando “uma atitude bem diversa do indiferentismo que neste assunto tem sido a única política até hoje seguida” (VIEIRA, 2005, p.25).

É neste contexto que, em 1934, Getúlio Vargas promulga o Código de Águas, “assegurando à União o monopólio da concessão dos aproveitamentos hidrelétricos” com três objetivos principais: “assegurar o serviço adequado, fixar tarifas razoáveis e garantir a estabilidade das concessionárias” (CACHAPUZ, 2003, pp. 17-18).

Conforme defende Vieira, a lógica que orientou a edição do Código de Águas

consagrou os pilares de serviço público: o estabelecimento da base do capital a ser remunerado (pelo custo histórico); a taxa (justa) de remuneração; a forma de cálculo das tarifas (não vinculadas a moeda estrangeira); o regime das águas; e a tomada de contas da empresa concessionária (VIEIRA, 2003, p.16).

Evidentemente, as empresas estrangeiras concessionárias dos serviços não aceitaram passivamente a edição do Código. Vieira (pp.44-45) ressalta sua pressão para que não fosse elaborado nem aprovado, e posteriormente criando dificuldades para sua implementação. A resistência das concessionárias é comentada por Lessa (2001):

Desde 1907 arrastava-se o discurso sobre as águas, cujo adiamento sucessivo revela o interesse do duopólio Light/Amforp em manter a questão na penumbra, sem regulação central relevante (LESSA, 2001, pp.25-26).

Uma das razões mais claras para o protesto das grandes empresas estrangeiras era a extinção da chamada *cláusula-ouro* que “previa o reajuste de metade do valor da tarifa de seus contratos de concessão pelo preço do ouro”. Sobre esta condição, Vieira elucida:

As determinações do Código de Águas contrastavam com a dinâmica da indústria elétrica, e, portanto não eram bem-vindas para as grandes empresas estrangeiras que aqui operavam. A situação delas era confortável, pois os contratos de concessão até então vigentes eram frágeis, e acima de tudo, as tarifas eram protegidas pela cláusula-ouro, que garantia uma remuneração variável, possibilitando grandes lucros. Para esses setores, o melhor cenário era aquele em que essa situação permanecesse inalterada. No parlamento, a estratégia era dificultar a regulamentação das várias normas e institutos previstos no Código, em especial aqueles relacionados com a regulação econômico-financeira e que serviriam para estabelecer o custo histórico dos investimentos como base para fixar a taxa de remuneração do capital (VIEIRA, 2005, p.45).

As opiniões a respeito do código foram divididas entre os que o combatiam e os que defendiam sua implantação. As concessionárias atribuíam às regras do código o impedimento do crescimento do setor elétrico, responsabilizando-o pela “escassez de energia, pela impossibilidade de importação de tecnologia e pela queda de investimentos no setor”. A este respeito, Vieira (p.47) traz a opinião de Barbosa Lima Sobrinho: “as críticas eram de se esperar dado o vulto e a importância dos interesses contrariados”. Opiniões favoráveis ao código também apontadas pelo

autor são as de Oswaldo Aranha, então Ministro da Fazenda de Getúlio Vargas, bem como a do ministro Gustavo Capanema (1934-1945), abaixo subscrita:

“as medidas consubstanciadas no Código de Águas nada têm de violentas, não são das que se podem chamar de revolucionárias, nem tão pouco constituem novidades. São medidas velhas em outros países, reconhecido que foi neles, há muitos anos, o direito que cabe ao poder público de regulamentar os negócios privados afetados de interesse público, de fixar os preços pelos quais devem ser prestados ao público os serviços a que se dedicam as entidades que tratam de negócio desse tipo” (VIEIRA, 2005, p.47).

Sobre a aplicação do Código, Cachapuz (2003) recorda que

durante o governo constitucional de Vargas (1934-1937), a aplicação do código permaneceu praticamente em suspenso, devido à controvérsia em torno de sua constitucionalidade (somente dirimida pelo Supremo Tribunal Federal em 1938), à resistência das concessionárias estrangeiras e às dificuldades da administração federal em aparelhar-se adequadamente para exercer a fiscalização das atividades de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A revisão dos contratos entrou em compasso de espera, entravando novas interligações (CACHAPUZ, 2003, p.19).

Dois importantes aspectos novos criados pelo Código dizem respeito à federalização do poder concedente e à criação de um órgão para regular o funcionamento do sistema elétrico, pela criação do CNAEE – Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica, em 1939, “encarregado de tratar todas as questões relativas à regulamentação e ao desenvolvimento do setor, subordinado diretamente à Presidência da República” (CACHAPUZ, 2003, p.20).

Pela primeira vez, segundo Vieira (2005), a energia elétrica foi tratada como serviço público, com o arbítrio da União sobre as disputas estaduais sobre o direito ao acesso aos potenciais hidrelétricos dos rios:

Essa federalização do poder concedente condizia com a evolução tecnológica, pois as unidades geradoras apresentavam capacidades crescentes; requeriam investimentos cada vez maiores, inclusive na interligação das instalações entre diferentes locais e regiões; além disso, em geral, os grandes potenciais situavam-se compartilhados por mais de um Estado (VIEIRA, 2005, p.36).

Em detrimento de toda a discussão a respeito dos papéis dos agentes públicos e privados, o fato é que até o final da década de 1940, conforme Rosal (2004, p.28), “o capital privado detinha 98% do abastecimento de energia elétrica no Brasil”.

Os marcos iniciais da participação do governo para o atendimento de áreas onde o abastecimento de energia elétrica era precário foram a criação da estadual CEEE (RS) e a implantação da primeira companhia elétrica federal visando explorar o aproveitamento do potencial da cachoeira de Paulo Afonso no Rio São Francisco, pela criação da *CHESF*, em 1945 (CACHAPUZ, 2003, pp.21-22).

Nesta época, os sistemas elétricos tanto dos grupos *Light* e *Amforp* já davam sinais de que não permitiriam evitar o desabastecimento. Em 1946, pela primeira vez “a carga máxima da *São Paulo Light* ultrapassou o nível da capacidade instalada”. As empresas empreenderam esforços com a ampliação de sua matriz de geração, no entanto, “o aumento da oferta na região mais

desenvolvida do país revelou-se inferior às elevadas taxas de crescimento industrial” (IDEM, pp.22-23).

Na verdade, o processo de urbanização e industrialização do país vinha impondo um ritmo de crescimento da demanda de energia elétrica, que rompia seus parâmetros históricos, forçando a realização de investimentos de maior porte. Em São Paulo e no Rio de Janeiro, não obstante a entrada em operação de novas usinas do grupo Light – como a hidrelétrica Nilo Peçanha, em Pirai (RJ), em 1952, e a termelétrica Piratininga, no Bairro de Santo Amaro, na capital paulista, em 1954 -, o racionamento foi uma constante na primeira metade daquela década (CACHAPUZ, 2003, p.24).

Sobre a ineficácia dos esforços dos grupos *Light* e *Amforp*, Lessa (2001, p.25) observa: “a atuação das concessionárias foi tímida e insuficiente, pois elas não apostaram no desenvolvimento futuro do país... administrando suas redes de forma conservadora, passando a deter poder crescente e a impor regras aos estados e municípios”.

Os brasileiros de mais idade sabem que a qualidade e a quantidade de energia elétrica nem sempre foram adequadas... A atuação das concessionárias era insatisfatória. Sucediavam-se períodos de carência de energia, que se agravaram com a modernização da economia. Entre 1938 e 1947, era usual a queda na frequência e na voltagem. Em 1950 e 1955, fortes estiagens na Região Sudeste geraram apagões nas áreas da Light e da Amforp. Em 1963 foi dramática a estiagem nos rios Paraíba do Sul e Pirai. A termelétricidade teve de ser acionada. Em 1967, uma tromba d’água na Serra das Araras produziu um memorável apagão do Rio. As indústrias procuravam defender-se, mantendo geradores próprios. Em 1954, 20% da energia em São Paulo eram próprios das indústrias. Isto elevava seus investimentos e custos operacionais (LESSA, 2001, p.26).

No segundo governo de Getúlio Vargas (1951-1954), o Estado assume a responsabilidade pela construção da base energética e de transportes que o país precisava para sua crescente expansão industrial, que àquela altura, já sofria a influência da dificuldade da importação de produtos industrializados por causa da Segunda Guerra Mundial. Em Minas Gerais, o então governador, Juscelino Kubistchek cria, 1952, a Centrais Elétricas de Minas Gerais – CEMIG.

Neste período, ocorrem as primeiras iniciativas para uma interligação do sistema elétrico em âmbito nacional, com conexões entre os subsistemas dos estados do Espírito Santo e Minas Gerais com o de Santa Catarina; do sistema da *CHESF*, conectando a Paraíba e o sul do Ceará com o sul da Bahia; entre os sistemas dos estados de Minas e Goiás; e principalmente, a linha de transmissão em 230 kV interligando Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Em 1954, como fruto do trabalho de uma Comissão Mista Brasil-Estados Unidos, visando à formulação de uma política global para o setor de energia elétrica, é encaminhado ao Congresso, o Plano Nacional de Eletrificação, preconizando “medidas de interesse geral para indústria de eletricidade pública e privada no Brasil – como a unificação de frequência em 60 Hz, a padronização de tensões de transmissão e distribuição e o desenvolvimento da indústria pesada de material elétrico” (IDEM, pp.25-26).

Na mesma época, são apresentadas outras 3 propostas: o Imposto Único sobre Energia Elétrica (IUEE), assegurando suporte financeiro para a expansão, que mais tarde financiaria uma boa parte dos investimentos realizados pelos governos dos estados de Minas Gerais, São Paulo e

Rio Grande do Sul; os critérios para o rateio do imposto pelas unidades da federação; e a criação da Eletrobrás, encarregada da execução dos empreendimentos do Plano Nacional de Eletrificação. No início do mandato do presidente Juscelino Kubistchek (1956), o “peso relativo da participação do Estado na capacidade instalada mais do que duplicara, tomando o ano de 1952 como base, em decorrência dos empreendimentos realizados principalmente pela Chesf, Cemig e CEEE” (CACHAPUZ, 2003, pp.25-27).

Após sua eleição sob o slogan *50 anos em 5*, e encontrando um Brasil predominantemente rural, com mais de 60% da população no campo, JK anuncia seu Plano de Metas, tendo a energia como uma de suas prioridades, (Revista FURNAS, 2007). O Plano foi muito bem recebido pelos investidores internacionais, porém o risco de déficit de energia não estava afastado. Segundo Cachapuz (p.33) os estudos da época apontavam que “em dez anos, a demanda de energia elétrica no Sudeste brasileiro deveria chegar à casa dos 4.000 MW, impossível de ser alcançado pela programação de obras das empresas estrangeiras e concessionárias estaduais”.



Figura I.1 – Construção da Usina Hidrelétrica de FURNAS

A *Central Elétrica de Furnas* (objeto de análise do presente estudo) foi fundada em 1957, recebendo a definição de “centro de gravidade do programa de expansão elétrico do Sudeste e

elemento-chave da interligação desses sistemas em um conjunto integrado” (CACHAPUZ, 2003, p.34).

A fim de suprir a energia que seria demandada, Juscelino Kubistchek buscou suporte no poder público para evitar que o déficit viesse a acontecer, já que o crescimento da capacidade instalada de geração evoluía a taxas inferiores às da economia... E neste contexto que a Usina de Furnas (MG) surgiu como alternativa estratégica para fazer frente à forte industrialização (REVISTA FURNAS, 2007, p.7).

A localização estratégica da usina permitiria afastar de vez a escassez de energia para as três principais capitais do país na época: Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Sobre a criação de *FURNAS* e a expansão da capacidade energética no período, Lessa (2001, p.27) recorda:

O Plano de Metas deu prioridade a hidroeletricidade e petróleo. A hidrelétrica de Furnas, o reservatório de Três Marias e as refinarias da Petrobrás elevaram o patamar energético do país... A vanguarda da engenharia nacional, a indústria de equipamentos pesados e as empreiteiras brilham, em Jupia e Ilha Solteira. O discurso derrotista é removido. Ampliando a capacidade elétrica à frente da demanda, permitindo o investimento produtivo, povoando os lares com eletrodomésticos, fazendo mediante cada nova ligação, o trânsito de uma família brasileira do atraso para o umbral da modernidade, utilizando tecnologias dominadas e abertas, o sistema elétrico brasileiro evoluiu como um segmento de engenharia inovadora e de grande escala (LESSA. 2001, p.27).

A construção da maior usina hidrelétrica do país naquela época, para injetar mais de 1.200 MW no sistema, teve que contar com a participação de profissionais de outros países, principalmente ingleses, e com a importação de equipamentos da Itália, Suécia, EUA, Suíça, Canadá e Japão. Simultaneamente à obra, a diretoria da empresa colocou em prática um “ousado plano de treinamento” para formar, dentro da companhia, os “especialistas responsáveis pela gestão de um sistema de geração e transmissão ainda inédito na América Latina e com poucas unidades no mundo” (REVISTA FURNAS, 2007, p.12). O programa de treinamento visando à contratação dos futuros operadores, mecânicos e eletricitistas foi cuidadosamente planejado. Parte dos engenheiros encarregados pela sua estruturação recebeu treinamento sobre modernas técnicas de ensino na Marinha brasileira enquanto outra parte se encarregou de preparar o material didático. A duração do curso foi de 6 meses em sala de aula e outros 6 meses de parte prática, nas usinas das empresas Cemig e CPFL. Ao final do curso, instrutores e alunos acompanharam as obras de “montagem eletromecânica da usina e da subestação de 345kV e a fase final do comissionamento de equipamentos e painéis elétricos das subestações de Guarulhos e de Poços de Caldas”. Antonio Carlos Pantoja, participante da primeira turma de instrutores e funcionário de carreira em *FURNAS*, destaca a importância do curso para o êxito do empreendimento:

“Enquanto no canteiro de obras (usina e subestação) um verdadeiro exército de trabalhadores atuava nas várias frentes da construção, nós, com o apoio dos engenheiros e técnicos, tanto de FURNAS quanto dos fabricantes, participávamos do comissionamento, energização e testes operacionais das instalações eletromecânicas. Deste modo, quando nossos eletricitistas, operadores e mecânicos começaram a operar as primeiras máquinas da usina e as instalações de 345kV, já detinham conhecimento muito bom dos equipamentos e sistemas eletromecânicos porque tinham participado das principais fases de montagem e comissionamento” (REVISTA FURNAS, 2007, pp.12-13).

Através da construção da Usina de Furnas e de sua conexão aos sistemas dos 3 maiores centros urbanos do país naquele momento, foi dado o primeiro passo para a constituição do “primeiro grande sistema interligado brasileiro – denominado Sistema Interligado Centro-Sul”. A primeira interligação “forte” do sistema conectava usinas de grande porte, tais como Jupia, Estreito, Ilha Solteira, entre outras, o que foi determinante para a criação de um órgão para a coordenação do sistema, surgindo o CCOI – Comitê Coordenador da Operação Interligada, em 1969. Analogamente, a região Sul também constituiria seu comitê no ano seguinte. Em 1973, é instituído o GCOI – Grupo Coordenador para Operação Interligada para o novo sistema Sul-Sudeste, e sancionada a Lei que regulamentaria a construção da Usina de Itaipu, com capacidade final prevista de 12.600 MW, o que significava 70% de todo o parque instalado naquele ano (CACHAPUZ, 2003, pp.37-39).



Figura I.2 – Usina Hidrelétrica de FURNAS

Após os marcos representados pela entrada em operação de FURNAS, da crescente interligação dos sistemas regionais e do anúncio da construção de Itaipu, ainda em 1967, a Eletrobrás anunciou a compra do grupo *Amforp*, transformou suas empresas em subsidiárias da holding federal e em três anos transferiu o controle para os governos estaduais: “O Estado, ora por meio da Eletrobrás, ora por intermédio das concessionárias públicas estaduais, havia se transformado, na prática, no principal agente do processo de ampliação das atividades de energia elétrica” (CACHAPUZ, 2003, p.40).

O pêndulo já havia se deslocado no sentido de uma participação hegemônica do Estado na consolidação do modelo do setor, quando em 1979, foi dado o último passo para a estatização do

setor, com a aquisição do grupo *Light*. Rosal (2004, p.29) recorda que desse modo, o segmento de energia elétrica brasileiro se constituiu por concessionárias com 100% de capital nacional, modelo que “possibilitou grandes investimentos, advindos de recursos externo, autofinanciamento e empréstimos internos”.

Segundo informa Lessa (2001, p.27), entre 1957 e 1995, o sistema elétrico brasileiro experimentou um crescimento do consumo de 3.500 MWh para 55.000 MWh. O professor sustenta que a potencialidade hidrelétrica é uma vantagem estrutural energética do Brasil:

Ao longo dessas décadas, construiu-se um sistema gerador e transmissor de energia elétrica extremamente eficiente, que combinou usinas e linhões em três microbacias com regimes hidráulicos diferenciados. A gestão racional e integrada do sistema e seu planejamento a longo prazo afastaram as ameaças de racionamento. Durante trinta anos o sistema cresceu à frente da procura, abriu novas fronteiras e construiu reservatórios que, articulados com algumas usinas termelétricas, criaram margens de segurança para enfrentar severas vicissitudes hidráulicas. A operação centralizada do sistema elétrico nacional explicitou aquela vantagem estratégica do país e permitiu o manejo integrado da água que, tendo usos múltiplos, exige um planejamento em contínuo aperfeiçoamento (LESSA, 2001, pp.27-28).

Após a criação de *FURNAS*, responsável pela geração e transmissão de energia elétrica para o Sudeste (expandindo-se para o Centro-Oeste) e da *CHESF*, para o Nordeste, a consolidação do setor com base no modelo estatal ocorre com a criação de estruturas similares para as regiões Sul e Norte, respectivamente, pela constituição da *Centrais Elétricas do Sul do Brasil – Eletrosul*, em 1968 e da *Centrais Elétricas do Norte do Brasil – Eletronorte*, em 1973. As responsabilidades pelo planejamento e coordenação do setor ficaram a cargo da Eletrobrás, e o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica foi designado como órgão responsável pela fiscalização às concessões do setor (ROSAL, 2004, p.29).

Da crise de energia da década de 1950, permaneceu a lembrança de um período de estiagem crítico, que marcou dali em diante o planejamento do setor pelos anos seguintes. Segundo Benjamin (2001, p.58), a partir da construção da Usina de Furnas, “como a memória da grande seca era fresca, o moderno sistema elétrico brasileiro, que nasceu ali, foi dimensionado para suportar outra ocorrência como aquela, acumulando combustível – ou seja, água – suficiente para 5 anos de operação, mesmo sem chuvas”. Segundo o autor, esta foi a origem de um sistema com “altíssima qualidade”, com energia “barata e segura”:

Quanto à garantia de desempenho no tempo, um sofisticado modelo estatístico, aqui concebido e alimentado com os dados da hidrologia brasileira, permite gerar uma série que simula o comportamento do nosso sistema hídrico em um período – evidentemente, virtual – de dois mil anos. Espetacular ferramenta de planejamento: toda vez que as simulações mostravam um risco de ocorrência de déficit maior do que 5%, em um horizonte de cinco anos à frente, estava na hora de preparar um aumento da oferta. E se, por falta de chuvas, o déficit nos fazia aproximar de 5% de risco no presente, estava na hora de ligar usinas térmicas, que formam o “banco de reservas” do sistema (BENJAMIN, 2001, p.58).

Ainda segundo Benjamin (p.59), o modelo caminhava muito bem, sendo capaz de financiar as expansões necessárias, “até as crises gêmeas da dívida externa e da inflação”, no início dos anos 1980.

Segundo Vieira (2005, p.59), “a crise mundial do petróleo em 1973 elevou a questão energética à condição de variável fundamental na determinação do planejamento do setor público”. No ano seguinte, o governo Geisel lança o II PND – Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico, tendo como um de seus principais objetivos o de ampliar a base do sistema industrial, “valorizando a eletricidade como insumo”. A meta era manter uma taxa de crescimento econômico anual de 10% a longo prazo, por meio da ampliação da base de exportações. Sobre essa estratégia, Vieira aponta que “um dos resultados mais visíveis foi a deterioração das contas externas pois, entre 1974 e 1978, a dívida externa cresceu mais do que as exportações e o serviço da dívida triplicou”. O autor (p.60) sustenta que o crescimento da dívida foi decorrente de políticas públicas de estímulo à captação de empréstimos no exterior para financiar investimentos estatais, aliado ao processo de contenção das tarifas para conter o impulso inflacionário após a crise do petróleo. Uma vez que os investimentos em infra-estrutura para a construção de usinas e linhas de transmissão são elevados, a fim de “obter divisas para cobrir a conta Petróleo, o país associou-se à possibilidade de endividamento externo, tendo nos projetos para a expansão do setor elétrico um poderoso instrumento de captação de empréstimos” (VIEIRA, 2005, p.60).

A respeito da movimentação dos recursos do setor elétrico para sanear as contas do governo, Lessa recorda que o marco inicial remonta à década de 1970,

quando, no afã de rolar a dívida externa, o ministro Delfim Netto perturbou o planejamento global do setor elétrico, antecipando projetos em busca de novos financiamentos externos. A aceleração na inflação inspirou manobras de retardamento de tarifas, reduzindo a rentabilidade e o potencial de autofinanciamento do setor (LESSA, 2001, p.29).

Para o professor Pinguelli Rosa (2001, p.108), problemas de ordens diversas foram identificados após os anos da ditadura militar, nas esferas “econômica, financeira, ecológica, social, política, tecnológica, institucional” estando aí incluído o setor elétrico.

Os problemas econômicos eram ligados à recessão que, de um lado, mascarava a falta de recursos para investir pro não haver crescimento sensível da demanda. Por outro, paralisava ou atrasava obras, realimentando a crise do setor e tornando vulneráveis as previsões do planejamento, especialmente as obras hidrelétricas. Os problemas financeiros foram devidos ao endividamento externo, às dificuldades de recursos internos e aos sobrepreços cobrados por empreiteiros e fornecedores (ROSA, 2001, p.108).

Agravando a situação, no aspecto institucional, a Eletrobrás ficou “sob fogo cruzado”, pois segundo o professor:

De um lado, empresas elétricas estaduais que reivindicavam uma descentralização e tinham interesses próprios em soluções que trouxessem investimentos para sua área; de outro lado, organismos internacionais e setores liberais pressionavam a favor da privatização. As tarifas baixas foram usadas como instrumento de controle da inflação, em detrimento das empresas elétricas estatais (IDEM, p.109).

Victor (2002, pp.35-37) aponta como principais fatores que romperam o equilíbrio auto-sustentado do Setor Elétrico: a extinção da IUEE, a modificação da cláusula que restringia a exploração de recursos minerais às “empresas brasileiras de capital nacional” e as moratórias internacionais do México (1982) e do Brasil (1988) interrompendo os financiamentos do Banco Mundial e os compromissos assumidos com o FMI para geração de superávit primário.

Segundo Vieira (2005, p.61), o segundo “choque do petróleo” em 1979, a elevação das taxas internacionais de juros (1979-1982) e as duas maxidesvalorizações cambiais (1979 e 1983) foram fatores adicionais para o “comprometimento financeiro do setor elétrico”. Naquele período, “a economia brasileira foi submetida a quatro choques fatais: elevação da taxa de juros internacionais, recesso na economia mundial, deterioração dos termos de troca e interrupção do financiamento externo depois da moratória mexicana” (VIEIRA, 2005, p.61).

Como reflexo interno, Pires (2000) afirma que a crise fiscal do final dos anos 1980 no Brasil esgotou as possibilidades do modelo de financiamento anterior, causando o adiamento das necessidades de expansão da oferta, “elevando os riscos de déficit e ocasionando deterioração na qualidade dos serviços”.

O início dos anos 1990 marca, em diversos setores da economia mundial, o início do fenômeno da “globalização” ou “mundialização” dos mercados. O setor elétrico não ficou imune aos efeitos das políticas preconizadas pelo ideário neoliberal, alicerçadas em três fundamentos: estabilização da economia; abertura para o investimento estrangeiro; e reformas estruturais para redução do Estado através de privatizações e, desregulamentação de mercados. Novamente, o pêndulo se move, só que desta vez, no sentido de uma retirada de cena do Poder Público e do ressurgimento do ator privado.

O reconhecimento dos efeitos desse novo ciclo do setor elétrico permite uma melhor compreensão do cenário e fornece importantes pistas para o estabelecimento de parâmetros na formulação de uma taxonomia de acumulação de capacitação tecnológica, objeto do presente trabalho. De forma análoga, também foi considerado importante o entendimento e o aprofundamento da forma como foi estruturado o modelo anterior do setor elétrico, como forma de mensurar, ainda que de forma indireta, o estágio de desenvolvimento tecnológico antecedente ao período que se pretende estudar no presente trabalho (1990-2007).

I.4- Desregulamentação e Privatizações: Terceiro Ciclo do Setor Elétrico Brasileiro

A análise da construção do setor elétrico no Brasil revela que as estratégias escolhidas sempre estiveram relacionadas com as mudanças do cenário econômico mundial e das correntes de pensamento dominantes em cada época. O fim do primeiro ciclo de desenvolvimento, cujo marco interno é a edição do Código de Águas, coincide com o *crash* da Bolsa de Nova York de

1929, prenúncio de uma crise na euforia dos mercados mundiais e da valorização do Estado de Bem-Estar Social. O segundo ciclo, caracterizado pela mudança da polarização privada para o modelo estatal, alcançou seu apogeu nos anos 1970, começando a ser questionado a partir do esgotamento de seu modelo de financiamento, influenciado por um cenário externo de crises (vide item 1.3). Nos anos 1980, com a ascensão de governos como os de Thatcher, na Inglaterra, e de Reagan, nos EEUU, o pensamento liberal ressurgiu com vigor, principalmente após a derrocada do socialismo praticado nos países do leste europeu, representada simbolicamente pela imagem da queda do muro de Berlim em 1989, praticamente consagrando a hegemonia do pensamento neoliberal. A partir desses acontecimentos, aumentam as pressões por reestruturações institucionais em seguimentos como os de telecomunicações e energia:

Tal reestruturação, situada no contexto de ascensão da ideologia e das políticas neoliberais em nível mundial, foi então sinônimo de abertura, “desregulamentação” e (re)gulamentação, aí significando o declínio, a partir dos anos de 1980, nos países centrais, do padrão monopolista (estatal) do setor bem como a diminuição da intervenção estatal e a liberalização de mercados (ALBAGLI, 1999, p.302).

A organização do setor elétrico nos países europeus apresenta uma tradição de infraestrutura pública, especialmente após a Segunda Guerra, quando o setor passou a ser identificado como um fator-chave para o processo de reconstrução dos espaços nacionais. Apesar do generalizado entendimento da eletricidade como um serviço público, a grande diversidade de fatores entre os países europeus faz com que existam diferentes percepções a respeito do grau de benefício com o aprofundamento do nível de integração do mercado. Em 1992, a Comissão de Energia da União Européia elaborou propostas para a constituição do mercado interno de eletricidade, tendo como premissas: constituição de leis para inibir eventuais práticas protecionistas por parte das empresas públicas; introdução da competição no segmento de geração e na comercialização; construção de um *grid* “neutro” de transmissão; transparência de preços das empresas e separação contábil obrigatória. As mudanças ocorridas no setor elétrico europeu tiveram seu reflexo em outros países como o Brasil, que atravessou uma série de ajustes na estruturação do setor elétrico, na busca do sincronismo com a nova ordem mundial (PEREIRA et al., 2007).

A privatização do setor de energia elétrica brasileira foi proposta em 1992, no Plano Nacional de Desestatização (PND) do governo de Fernando Collor de Mello (1990-1992). Porém, a discussão a respeito de um novo modelo para o setor, seguindo a tendência observada em outros países, antecede sua implementação:

A reforma do setor elétrico foi longamente debatida a partir da segunda metade da década de 80, tendo sido alcançado o consenso quanto aos problemas centrais enfrentados pelo setor elétrico brasileiro: defasagem tarifária, esgotamento das fontes tradicionais de financiamento setorial e inexistência de mecanismos que inviabilizassem a prática da inadimplência (OLIVEIRA, 2001, p.205).

Um pouco antes, em 1987, foi proposta a *Revisão Institucional do Setor Elétrico – REVISE*, tendo como objetivos: “explorar a possibilidade de maior participação da iniciativa privada no setor, buscando formas e alternativas para sua atração; e reformular a estrutura institucional e política do setor para a solução dos problemas diagnosticados”. A “manutenção da hegemonia estatal agregando maior eficiência e a recomposição da capacidade de financiamento” eram importantes aspectos propostos através da revisão. Entretanto, as recomendações da REVISE não chegaram a ser postas em prática, porém, algumas de suas premissas, principalmente a que se apoiava no argumento da falta de eficiência estatal, “acabaram por servir de base para as mudanças na legislação do setor”, uma vez que o “contexto setorial permanecia em franca deterioração e sem perspectivas para solução dos problemas da compressão tarifária e inadimplências generalizadas” (VIEIRA, 2005, p.63).

Segundo Medeiros (2004, p.29), com vistas ao melhoramento da eficiência do Estado, a Constituição de 1988 foi influenciada por idéias como a livre-iniciativa, a defesa do consumidor e a livre concorrência, sendo iniciado um processo de revisão do tamanho do Estado e de priorização de licitações para novas concessões.

Pires (2000) recorda que as mudanças no setor elétrico brasileiro tiveram como fonte de inspiração a experiência internacional, marcada pela “introdução de um ambiente competitivo na geração e na comercialização de energia elétrica e aplicação de regulação nos segmentos que permanecem como monopólio natural (transmissão e distribuição)”. Entretanto, premonitoriamente, adverte que:

A especificidade do caso específico brasileiro e dos países em desenvolvimento é que, além de objetivarem reduzir os custos de produção, aumentar a eficiência energética e encontrar alternativas para a mitigação dos riscos ambientais, as reformas do setor elétrico têm que encontrar rápidas respostas para as necessidades de expansão dos sistemas elétricos.

Segundo o mesmo autor, as justificativas para as reformas setoriais advêm do diagnóstico da crise do modelo institucional anterior, cujos sintomas principais são: crise financeira da União e dos Estados, que colocava sob risco a expansão e a manutenção da confiabilidade do sistema de transmissão; má gestão das empresas, pela ausência de incentivos à eficiência e de critérios técnicos para a gerência administrativa; e inadequação do regime regulatório, que se ressentia com a falta de um regulador forte, de arbítrio em conflitos de interesse e de um regime tarifário com remuneração garantida pelo custo do serviço (PIRES, 2000).

Conforme citado por Vieira (2005, p.79), o reordenamento do setor elétrico foi preparado a partir de quatro instrumentos principais, na óptica do então coordenador da *RE-SEB* (Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro):

- a) a Lei 8.631/1993 – suprimiu o regime de remuneração garantida e a equalização tarifária, minimizando o controle absoluto da União sobre os preços dos serviços de

- energia elétrica, determinando que as próprias empresas elaborassem e submetessem ao DNAEE uma proposta tarifária trianual. Além disso, segundo Pires (2000), criou a obrigatoriedade de celebração de contratos entre geradoras e distribuidoras de energia e promoveu um “grande encontro de contas entre os devedores e credores do setor”;
- b) o Decreto 915/1993 – permitiu o acesso de autoprodutores à rede de transmissão para o transporte de energia às suas respectivas unidades consumidoras, admitindo, inclusive, a formação de consórcios entre concessionários de autoprodutores para a exploração de aproveitamentos hidrelétricos. No mês de dezembro de 1993 foi criado o *Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica - SINTREL*, permitindo livre acesso à malha federal cooperativa, visando à atração de investimentos privados na geração e novas formas de comercialização de energia entre os grandes consumidores industriais e as concessionárias, que em 1997, por seu insucesso, viria a ser extinto;
- c) a Lei 8.987/1995 – conhecida como a *Lei das Concessões*, estabeleceu a obrigatoriedade de licitação para concessão de serviço público, no caso da energia elétrica, definida pelo menor preço de geração, transmissão e distribuição (incentivo à competitividade);
- d) a Lei 9.074/1995 – dispôs sobre o regime concorrencial na licitação das concessões (CACHAPUZ, 2006, p.206).

Segundo Vieira (2005, p.79), a Lei 9.074 antecipou as novas bases do modelo competitivo: “competição na geração e na comercialização; livre acesso às redes elétricas; um regulador forte na transmissão e distribuição; determinando quem seria considerado consumidor cativo ou consumidor livre”. Através da Lei das Concessões, o autor assinala que foi definido

como concessionário de geração de energia elétrica para o serviço público, estatal ou privado, o vencedor de licitação e, como produtor independente, a pessoa jurídica ou as empresas reunidas em consórcio, que recebam autorização ou concessão de uso de bem público para gerar energia elétrica e comercializá-la, no todo ou em parte, por sua conta e risco. Essa nova postura, baseada em um mercado aberto e competitivo, também exigia mudanças na estrutura industrial, que permitissem a ampliação do número de participantes do mercado, através de segregações verticais e horizontais, de modo a criar um ambiente mais competitivo na geração e na comercialização de energia (VIEIRA, 2005, p.79).

Outro marco importante do processo de reestruturação foi a inclusão, através do Decreto 1.503, de maio de 1995, das empresas do Sistema Eletrobrás no PND, das quatro subsidiárias (*Chesf, Furnas, Eletrosul e Eletronorte*), para obter recursos para investimento e retirar do Estado as empresas de geração e distribuição de energia. Em função do papel central que as usinas e as linhas de transmissão exercem na organização do modelo, foi criada a *Comissão Interministerial para a Desestatização do Sistema Eletrobrás – CND*, a qual aprovou a contratação da empresa de

consultoria inglesa *Coopers & Lybrand* para auxiliar o governo na elaboração do novo modelo institucional do setor (CACHAPUZ, 2006, p.237). Segundo o autor:

o próprio governo reconheceu que as mudanças em curso eram de tal profundidade que tornavam inaplicável parte da regulamentação vigente, sendo indispensável a elaboração de uma nova estrutura e de um novo quadro de regulamentação. Entretanto, a necessidade de gerar um fluxo significativo de divisas para sustentar o programa de estabilização econômica levou à decisão de deslançar o processo de privatização das concessionárias, mesmo sem um arcabouço jurídico-institucional que desse formato ao novo mercado de energia elétrica (CACHAPUZ, 2006, pp.243-244).

Em julho de 1995, foi realizada a primeira privatização, da distribuidora *Espírito Santo Centrais Elétricas – Escelsa*, sendo seguida pela venda da *Light Serviços de Eletricidade* (RJ), em maio de 1996, e da *Companhia de Eletricidade do Estado do Rio de Janeiro – CERJ*, em dezembro do mesmo ano; ou seja, antes da finalização dos estudos encomendados à consultoria britânica, que iriam balizar a reformulação do setor, cujo relatório final foi entregue em agosto de 1997.

As primeiras privatizações ocorreram, portanto, sem que o marco regulatório estivesse implementado, diferentemente do que aconteceu na reforma do setor elétrico em outras partes do mundo. Conforme cita Medeiros (2004), a respeito da importância de um planejamento bem feito na reestruturação do segmento de energia elétrica:

Em um processo de desverticalização de empresas do setor elétrico, a separação da atividade de distribuição é a primeira etapa do processo. A distribuição precisa de uma regulação muito bem organizada, não só porque trata de um monopólio natural, mas também porque lida com fatores de desenvolvimento da região, à medida que o governo, tem que muitas vezes subsidiar as tarifas e permitir o acesso à população menos favorecida (MEDEIROS, 2004, p.15).

A não observância desse princípio levou Pires (2000) a ressaltar que a venda da *Escelsa* e da *Light*, antes da aprovação da nova legislação, contribuiu para “gerar algumas imprecisões em seus contratos de concessão”.

O posicionamento de Victor (2002) sobre este aspecto é mais veemente: “a vontade de arrecadar fez com que muitas empresas fossem vendidas antes da criação de um arcabouço legal e da própria existência de um órgão regulador”, ou seja, “o jogo começou a ser jogado sem o estabelecimento das regras e (sem) a existência do juiz”.

Sobre a desverticalização das empresas, Vieira (2005) salienta que se trata de ponto relevante do novo modelo,

significando a desmontagem dos monopólios naturais pela separação, em diferentes empresas, dos segmentos da cadeia produtiva, no caso do setor elétrico, a Geração, a Transmissão e a Distribuição de energia elétrica. Essa separação seria possibilitada, em parte, devido às recentes inovações tecnológicas e regulatórias, que ampliaram as possibilidades de competição na infra-estrutura (ex: processos de ciclo combinado na geração termelétrica). Os segmentos potencialmente competitivos, nos quais as economias de escala e escopo não são relevantes, são separados dos demais, pela desverticalização, o que permite e promove a entrada de novas firmas (VIEIRA, 2005, p.80).

A concepção do novo modelo foi ancorada na criação de três agentes principais: a *Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL*, órgão regulador de nível federal, em 1996; o *Operador*

Nacional do Sistema – ONS, em substituição ao GCOI, assumindo a responsabilidade pela coordenação e controle da operação dos sistemas interligados de geração e transmissão, em 1998; e, no mesmo ano, o *MAE – Mercado Atacadista de Energia*, organização privada, responsável por todos os contratos de compra e venda de energia elétrica, “caracterizando a energia elétrica como *commodity* comercializável em um mercado específico” (MEDEIROS, 2004). O modelo previu ainda a criação do chamado *CCPE – Comitê Coordenador da Expansão dos Sistemas Elétricos*, responsável pelo planejamento indicativo setorial.

A criação da Aneel estava em consonância com as reformas que estavam sendo promovidas em outros setores da infra-estrutura do país, visando à diminuição da participação estatal da esfera decisória e a uma maior autonomia das agências para fiscalização e regulação, a exemplo da criação da *ANP – Agência Nacional do Petróleo* e da *ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações*. A nova agência substituiu o anterior *DNAEE*, órgão que estava diretamente vinculado ao governo. Pires (2000) recorda que durante o tempo de atuação, o *Dnaee* não desempenhou a regulação efetiva das empresas:

Nessa configuração tradicional, as políticas setoriais estavam diretamente subordinadas ao Poder Executivo, o que implicava na perseguição de objetivos muitas vezes contraditórios, tais como microeconômicos (eficiência produtiva), macroeconômicos (controle inflacionário e do déficit público) e sociais (universalização dos serviços)... A razão disso é o natural desinteresse do Estado em se autofiscalizar”(PIRES, 2000, p.13).

Desta forma, a Aneel foi criada como autarquia sob regime especial, regida por um contrato com o Poder Público que lhe conferia autonomia de gestão e financeira, tendo assumido a responsabilidade pela regulação e fiscalização das concessões do setor, além de receber poderes pela União para atuar como poder concedente, incumbido dos processos de licitações para contratação de concessionárias; posteriormente, recebeu a tarefa de zelar pela defesa da concorrência no setor, para evitar a concentração de mercado (CACHAPUZ, 2006, p.238).

Pelas atribuições acima já se pode avaliar a importância medular da nova agência para o modelo. Adicionalmente, às funções citadas, Rosal (2004) recorda que a Aneel assumiu também a tarefa de acompanhamento do equilíbrio econômico-financeiro das concessionárias, da supervisão da exploração dos recursos hídricos do país e, principalmente, da definição da estrutura tarifária e da autorização dos reajustes.

A partir da edição da Lei 9.991/2000, alterada pela Lei 10.848/2004, a empresa ficou responsável ainda pelo acompanhamento do programa de incentivo à inovação tecnológica nas empresas do setor elétrico, que ficaram obrigadas a aplicar, no mínimo, 1% da Receita Operacional Líquida – ROL – em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico (P&D), em projetos de conservação de energia e em fundos setoriais como o CT-ENERG, principalmente para dotação orçamentária ao *Centro de Pesquisas em Energia Elétrica - CEPEL*. Conforme dados publicados por Martins et al (2005), desde a edição da lei, somente até o ano 2003, foram

aplicados mais de R\$ 340 milhões em programas de P&D financiados pelo sistema Eletrobrás. Além disso, o desenvolvimento tecnológico no setor também passou por um revigoramento das atividades do Cepel, que em 2005, “contava com 144 projetos de pesquisa e diversas parcerias tecnológicas” (MARTINS et al, 2005).

Segundo Pires (2000), a criação da agência buscou dotar o setor de um órgão com “autonomia para a regulação e poder arbítrio sobre os conflitos decorrentes” de questões envolvendo interesses diversos: governo, empresas e consumidores. Entretanto, o autor (p.12) recorda que “o fato de a Aneel ter sido criada após o início das reformas dificultou a afirmação do órgão no novo ambiente institucional, aumentando as incertezas regulatórias”.

A constituição do *Operador Nacional do Sistema (ONS)*, entidade privada sem fins lucrativos, foi o segundo grande pilar em que esteve assentada a construção do novo modelo. Segundo Cachapuz (2006, p.236), através das reformas no setor elétrico, o governo deu prosseguimento à “uma política mais ampla de redução da presença empresarial do Estado na economia e de estímulo à concorrência em atividades monopolizadas ou quase inteiramente dominadas por empresas públicas”. O autor resume as diretrizes básicas do novo agente:

o planejamento da operação, sua programação e despacho centralizado da geração; a supervisão e coordenação dos centros de operação de sistemas elétricos; a supervisão e controle da operação dos sistemas eletroenergéticos nacionais interligados e das interligações internacionais; a contratação e administração de serviços de transmissão de energia; a elaboração e encaminhamento à Aneel de propostas de ampliação da rede básica de transmissão e para reforços dos sistemas existentes; e a definição de regras para a operação da rede básica, a serem aprovadas pela Aneel.(...) Objeto de ação do ONS, a rede básica de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) é constituída pelas linhas que operam em tensão igual ou superior a 230kV, com as subestações que dispõem de barramentos nas mesmas tensões (CACHAPUZ, 2006, pp. 253; 289).

Rosal (2004) recorda que as principais atribuições delegadas ao ONS foram: “garantia da qualidade do suprimento elétrico na rede de transmissão; garantia de acesso aos serviços da rede de transmissão a todos os agentes, de forma equitativa; e definição do preço da energia no mercado atacadista, via otimização do despacho das centrais”. A autora recorda que os estudos de planejamento “permitiram definir a participação das regiões com melhores condições hidroenergéticas” através de uma “otimização sistêmica da transferência de energia entre regiões”, uma vez que o sistema brasileiro de produção e transmissão de energia no Brasil é predominantemente hidroelétrico.

Sobre este aspecto, cumpre lembrar que a utilização de critérios probabilísticos para o suprimento é anterior ao ONS – Desde 1988 o GCOI passou a utilizar dados operativos do sistema em tempo real, graças ao trabalho conjunto desenvolvido pela Escola de Engenharia da USP com o Cepel, para reverem critérios de garantia de suprimento e também para o planejamento da expansão. Trata-se da metodologia *Loss of Load Probability (LOLP)*, “consagrada internacionalmente para a análise de confiabilidade de geração” (CACHAPUZ, 2006, pp. 194-196).

Entretanto, ao contrário do que possa parecer, conforme realça Benjamin (2001), a operação do Sistema Interligado Nacional permaneceu centralizada. O autor (p.61) recorda que o órgão tem “poder absoluto” para determinar “quanta energia cada usina colocará na rede em cada momento e a que preço”. A contrapartida é dada pelo seu modo de operação “transparente para todos os agentes: as decisões são tomadas por computadores, segundo programas de otimização conhecidos”. A crítica de Benjamin recai sobre o papel de uma empresa privada que compra uma usina geradora, que por fim, é o de “uma investidora e não uma operadora em energia”:

Ela não controla sua própria operação, não define quanto vai produzir, nem fixa seus preços. Seu ganho é de natureza exclusivamente financeira. Como se vê, o novo modelo não conta com um mercado de energia propriamente dito – a menos para a parcela sobranante -, o que demonstra que a venda das usinas obedeceu apenas a um imperativo ideológico e a um interesse imediato de obter recursos (BENJAMIN, 2001, p.62).

Para que o novo operador do sistema pudesse cumprir sua missão, um dos requisitos era a criação do *Mercado Atacadista de Energia – MAE*, organização privada, que viria a centralizar os contratos de curto, médio e longo prazo, constituindo-se no novo modo de comercialização de energia, onde os agentes podem comprar e vender grandes blocos de energia.

Vieira (2005) explica que o mecanismo que pretendia induzir a redução de preços, o aumento da eficiência técnica e econômica e a atração de capitais privados para a expansão do setor, tinha como idéia básica o livre trânsito entre os agentes produtores e consumidores de energia:

O mecanismo de comercialização de energia é independente do mecanismo de despacho operacional do sistema (pelo ONS)... Programas computacionais definem o plano de operação das usinas e calculam um resultado fundamental: a tarifa de comercialização de curto prazo do Mercado Atacadista, equivalente ao preço *spot*. Normalmente, os preços dos mercados de ajuste de curto prazo, entre oferta e demanda (*spot*) deveriam resultar das decisões dos agentes. As transações no médio e longo prazo, entre compradores e vendedores, através de contratos bilaterais, registrados no MAE, asseguram o relacionamento formal entre as partes e permitem uma menor exposição aos riscos inerentes ao mercado no curto prazo. Foi estipulado um período de sete anos, no qual foram firmados contratos bilaterais entre Geradoras e Distribuidoras (contratos iniciais); após 2002, entretanto, a liberação anual de parcelas do montante assim contratado, promoveria a competição entre os vários agentes. Essa é mudança que trouxe reflexos profundos sobre as tarifas e preços de eletricidade (VIEIRA, 2005, pp.81-82).

Com base no novo modelo, cujos agentes e principais funções podem ser vistos na Figura I.3, o governo impulsionou a venda das empresas do setor elétrico. Em 1997, foram realizadas 9 privatizações de concessionárias estaduais. No ano seguinte, outras cinco empresas de distribuição foram vendidas, ocorrendo a privatização da primeira geradora de grande porte – GERASUL, empresa que surgiu após a cisão da Eletrosul, tendo o sistema de transmissão permanecido sob controle do Estado. Ainda em 1997, seguindo a mesma orientação, foi dado o primeiro passo para a privatização de FURNAS, através da cisão da parte nuclear correspondente às usinas de Angra I e II, pela criação da Eletrobrás Termonuclear – Eletronuclear, ao mesmo

tempo em são criadas condições para a venda das demais usinas da empresa, principalmente através da separação dos ativos de geração e transmissão.

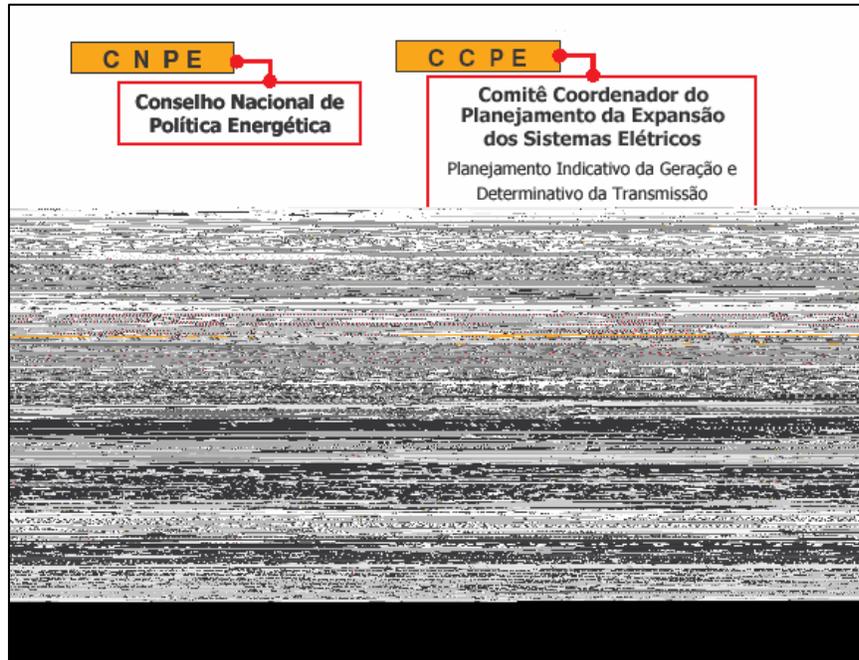


Figura I.3 – Principais Agentes Criados pelo Novo Modelo

Segundo informa PIREs (2000), àquele momento, “a participação da iniciativa privada, praticamente inexistente dos anos 1960 até meados dos anos 1990, aumenta para cerca de 62% no segmento de distribuição e de 18% na geração de eletricidade”.

Castro (2006) argumenta que o modelo utilizado para as reformas implementadas na reestruturação do SEB de 1990 a 2002, o qual denomina “Privatização Pura”, possui formulação exógena – o neoliberalismo, ou seja, está mais sintonizado com os preceitos formulados por órgãos externos ao país, como o Banco Mundial e o FMI, para diretrizes econômicas a serem obedecidas pelos países, principalmente nas economias emergentes, como é o caso do Brasil, cuja principal motivação é o equilíbrio das contas públicas, traduzido no controle da dívida externa e interna, e no combate à inflação. Segundo Castro, os objetivos da privatização eram: geração de mais receita pela venda das empresas e diminuição das despesas pela redução do investimento público; geração de superávits primários; criação de oportunidades para investimentos estrangeiros no Brasil; e, como objetivo macro, a estabilização da moeda. Com este objetivo, a estratégia adotada foi a de privatizar todo o sistema, utilizando o BNDES como agente financeiro para as privatizações e para as expansões futuras. Nesta perspectiva, o autor recorda que o Estado “abriu mão do planejamento”, ocasionando a perda do ajuste entre oferta e demanda e o

“bloco do SEB que permanecia estatal ficou proibido de investir”. A inconsistência do modelo e a indefinição de seu padrão de financiamento geraram um quadro de incertezas e riscos, resultando na insuficiência de investimentos (públicos e privados) e na explosão tarifária. A face mais visível da crise do setor foi sentida pela população, pelo racionamento de energia de 2001, episódio que ficou mais conhecido como a “Crise do Apagão” (CASTRO, 2006).

MODELO ANTERIOR	MODELO DOS ANOS 1990
■ Preços Regulamentados	■ MAE: Concepção de Mercado
■ Monopólio Estatal	■ Desverticalização G, T, D e C
■ Transmissão-Geração agregadas	■ Livre Acesso (SINTREL)
■ Mercados Cativos	■ Aumento Consumidores Livres
■ GCOI / Agentes do Setor	■ ONS operacionaliza mercado
■ DNAEE Aprova Concessões	■ ANEEL licita concessões
■ Restrições aos autoprodutores	■ Permissões de livre acesso

Fonte: adaptado de Vieira, 2005, p.81.

Figura I.4 – Principais Mudanças no Setor Elétrico Brasileiro

Esta posição é reforçada por Rosal (2004) ao indicar que

mesmo após a reforma do setor elétrico brasileiro, houve falta de investimento, tanto públicos quanto privados, na expansão da capacidade de geração e de transmissão. Em 2001, o país viveu uma situação crítica no fornecimento de energia elétrica, quando foi dado início a um plano de racionamento de energia (ROSAL, 2004, p.31).

Ou, como sustentam Sauer et al.:

A opção do Estado em abdicar do poder de decisão sobre o planejamento e, conseqüentemente, o atendimento de necessidades de crescimento de oferta de energia, ainda que mitigada pelos incentivos às empresas privadas, acabou levando ao racionamento de energia, ocorrido entre junho de 2001 e fevereiro de 2002 (SAUER ET AL., 2003, p.41).

Os críticos ao caráter central que as privatizações assumiram nas reformas do SEB reconhecem que havia a necessidade de uma reestruturação visando atualizar a gestão e implementar mecanismos de aumento da eficiência. Entretanto, destaca-se que o processo conduzido no Brasil possui singularidades que o diferenciaram do resto do mundo.

As alterações na base tecnológica e na base teórica dos estudos de organização industrial, com ênfase para as teorias dos mercados contestáveis e da regulação por incentivos, davam suporte às transformações em indústrias de rede, entre elas a da energia elétrica. A emergência do substrato tecnológico induzia necessariamente a uma reestruturação da indústria elétrica; seu formato e conteúdo, todavia, não estavam necessariamente condicionados: na maioria dos países de industrialização avançada, a essência das mudanças foi a reforma regulatória que favorecesse maior competição, sendo a venda de ativos um instrumento acessório desta (VIEIRA, 2005, p.76).

Benjamin (2001) e Vicker (2002) também tecem questionamentos a estratégia adotada para as reformas, baseada no fiel seguimento à recomendação da consultoria Coopers & Lybrand de “privatizar tudo rapidamente”. O primeiro recorda que alguns anos antes, em plena Era Reagan, os EUA tiveram o cuidado de preservar sob o controle estatal o sistema de geração, que em parte continua sendo operado pelo seu exército. O segundo recorda que sistemas predominantemente hidráulicos, como do Canadá e EUA, por seu consumo intensivo de eletricidade, já esgotaram suas reservas, diferentemente do Brasil, que até 2001, teria atingido apenas 22% de utilização de seu potencial.

Uma das maiores críticas aos estudos apresentados pela consultoria britânica se deve ao fato de ter sido negligenciada a forma específica de otimização da hidroeletricidade brasileira, uma vez que o sistema inglês é predominantemente termoelétrico. Benjamin (2001, p.61) afirma que, se as recomendações do estudo fossem implementadas exatamente conforme o relatório apresentado, “esse modelo causaria uma perda imediata de 25% na potência instalada”.

Submetido ao crivo de técnicos e especialistas do Setor Elétrico Brasileiro, constatou-se sua inviabilidade e, em conseqüência, o modelo sofreu profundas transformações operativas, buscando adaptá-lo às especificidades do sistema majoritariamente hidráulico do Brasil, sem no entanto, romper com sua subordinação aos preceitos liberais (VIEIRA, 2005, p.78).

Castro (2004) avalia que da forma como foram realizadas as privatizações, visando a maximização do valor de venda, os leilões ofereceram “inúmeras vantagens desde linhas de créditos públicos para financiar os vencedores até contratos de concessão que permitiam aumentos das tarifas bem acima dos índices inflacionários”; porém, na sua opinião, possivelmente o maior equívoco é que

foram restringidos os investimentos das empresas geradoras públicas. Elas eram, e ainda são, responsáveis pela oferta de 90% de toda energia elétrica do país. Assim a privatização, que priorizou as empresas distribuidoras, vendidas a valores muito elevados, não conseguiu elevar a capacidade instalada (CASTRO, 2004).

Medeiros (2004) propõe um interessante diagnóstico sobre as possíveis falhas da reforma, enumerando os seguintes fatores:

- Falta de implementação, em uma única etapa, do marco legal, que gerou incerteza, uma vez que as mudanças começaram sem que as regras estivessem definidas, o que se traduziu no atraso de obras e na dificuldade de atração de investidores;
- Dificuldade na cisão das empresas federais;
- Indefinição de uma política sobre o uso das águas; uma vez que, apesar de aprovada a Lei das Águas, continuava havendo a necessidade de regulamentação;
- Indefinição sobre as políticas para expansão e aumento do dólar (que elevou o preço do gás importado da Bolívia) inviabilizando o programa emergencial para construção de

usinas termelétricas (medida que visava minimizar os efeitos da falta de energia pela inclusão de 59 usinas térmicas ao SIN);

- Lentidão no processo de licenciamento ambiental para novos empreendimentos, o muitas vezes, “atrasa a entrada em operação dos projetos”;
- Compra de energia de empresas do mesmo grupo a preços superiores aos de mercado, com repasse para a tarifa dos consumidores finais;
- Descontratação de energia, uma vez que podem representar perdas de faturamento significativas. No caso de FURNAS, estava prevista a descontratação de 1.600 MW em 2004, o que representaria uma perda de R\$ 2,2 bilhões.

Em termos mundiais, mesmo antes das crises de energia do Brasil, ou de outra semelhante ocorrida pouco antes, na Califórnia, já haviam começado a surgir dúvidas sobre a efetividade e o grau em que seria possível estabelecer a competição plena no setor elétrico, principalmente em economias emergentes. Sobre a importância das duas crises para a redefinição das reformas no setor elétrico, Sauer et al. salientam que

os estudiosos do setor reconhecem essas crises como um marco no debate nacional e internacional sobre as limitações e reais possibilidades de introdução de competição nos serviços de energia elétrica e do alijamento do Estado. Tais limitações são ainda mais relevantes em países com características similares às do Brasil: demanda reprimida, possibilidade de restrição da oferta, acentuada desigualdade social, e acima de tudo, com participação dominante da energia hidráulica, a qual sujeita a formação de preços a fatores hidrológicos, aleatórios (SAUER ET AL., 2003, p.79).

Como consequência direta da crise brasileira, o racionamento modificou os hábitos da população. Sob o risco de pagamento de multas ou mesmo de cortes no suprimento, o consumidor poupou energia elétrica e os níveis de consumo foram reduzidos a patamares compatíveis com a capacidade de geração existente. A partir de então, surgiram diversos estudos para diagnosticar a situação e propor alternativas para um modelo que se tornasse viável para atender às necessidades de expansão.

Em resumo, as principais críticas ao período de abertura à competição do período de privatizações ocorrido a partir dos anos 1990 até 2002, se devem à elevação das tarifas de energia elétrica, observadas principalmente nos estudos de Sauer et al. (2003) e de Vieira (2005), à concentração de poder de grupos estrangeiros que adquiriram empresas nacionais nos leilões de privatização, na perda do poder de planejamento e de investimentos na expansão da capacidade de geração e de transmissão, que ficou demonstrada pela crise de falta de energia do ano 2001.

Segundo Sauer et al. (2003), segundo os idealizadores do modelo de 1990, os fatores que levaram à escassez de energia e ao racionamento de 2001, não se devem à sua concepção, mas “a sua inconclusa implementação, com a permanência de grande parte da geração sob gestão

estatal, ou a causas naturais, como a estiagem”. Todavia, para os autores, “a falta de investimentos em geração e transmissão de energia elétrica foi o motivo real”. E citam os números:

No período de 1991 a 2000, a demanda de energia elétrica cresceu em média 4,1% ao ano, enquanto a oferta cresceu apenas 3,3%. A defasagem entre oferta e demanda se acentuou a partir de 1995, superando os 10% acumulados na década. A questão é clara: faltou expansão (SAUER ET AL., 2003).

A reformulação trouxe alguns aspectos positivos para o setor elétrico, tais como um pouco da visão empresarial no que se refere ao aumento da eficiência, uma preocupação com a modernização dos processos e de implantação de mecanismos de governança corporativa.

A despeito dessas vicissitudes, que permanecem como oportunidades de melhoria, tanto para empresas públicas como privadas, a maior lição aprendida com a crise é a percepção de que, seja qual for a orientação, não se pode descuidar da expansão e do planejamento do setor. Conforme Lessa (2001), se estes aspectos não forem priorizados, corre-se o risco de uma “desagradável experiência da cidade brasileira apagada”, com a perda da qualidade de vida, pela “regressão a padrões arcaicos de vida doméstica e da volta do ancestral medo do escuro”.

I.5- Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico de 2004

Diante do quadro de incertezas e questionamentos ao modelo descentralizado, que “não foi capaz de criar condições para a expansão da geração deixada a cargo de entes privados, culminando no racionamento em 2001” (MOREIRA, 2003, apud MEDEIROS, 2004), com a mudança de governo e da equipe do MME, resolveu-se por criar uma comissão para estudar o setor elétrico brasileiro e propor as mudanças necessárias. Se por um lado, era importante continuar atraindo investidores para a expansão do setor, por outro, era necessário ajustar o modelo para garantir o suprimento conforme a evolução da demanda, sem descuidar da questão tarifária. Dentre as novas medidas estava a paralisação imediata das privatizações e a retirada das empresas do grupo Eletrobrás do PND.

Os antecedentes encontrados pelo grupo apresentavam um quadro de “dificuldades para investimentos, continuidade do serviço prejudicada (racionamento) e tarifas crescentes para o consumidor final” (GUERREIRO, 2006). Este quadro está ilustrado na Figura I.5, onde se representa a evolução do consumo e da oferta de energia elétrica no Brasil, desde 1994 até 2001, ano em que o efeito do racionamento resultou num corte de 20% da demanda total de eletricidade. Na mesma figura, e na tabela I.1, logo abaixo, verifica-se também a evolução da tarifa de energia elétrica ao longo do mesmo período, que esteve acima dos índices de inflação, alcançando índices de reajuste de mais de 100% para a classe residencial e acima de 50% para o comércio e a indústria.

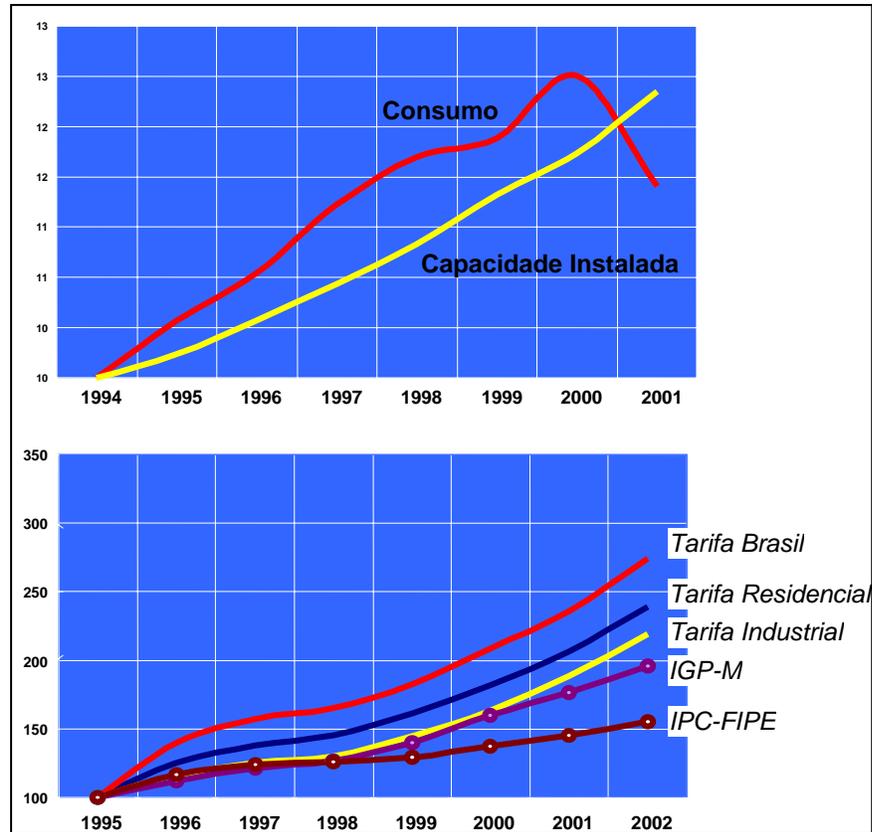


Figura I.5 – Consumo versus Capacidade Instalada: situação anterior a 2003

Tabela I.1 – Aumento da Tarifa de Energia entre 1995 e 2002

Classe de Consumo	Tarifa Média (R\$ / MWh)	
	1995	2002
Residencial	76,26	209,08
Industrial	43,59	95,5
Comercial	85,44	184,45
Rural/outros	55,19	117,98
Total	59,58	142,38

Fonte: Sauer et al., 2003, p.19.

Segundo Medeiros (2004, p.42), as bases para o que se convencionou chamar o Novo Marco Regulatório, tinham como princípios norteadores: “modicidade tarifária, continuidade e qualidade na prestação de serviço, justa remuneração aos investidores e universalização do acesso e do uso dos serviços de energia elétrica”.

Na implantação do novo marco institucional de 2004, pode-se afirmar que foram tomados certos cuidados, especialmente no que diz respeito à minimização dos riscos, respeito aos contratos existentes, preservação das funções e instituições bem estabelecidas; planejamento da expansão da oferta e diversificação da matriz energética.

A forma de equacionar o difícil binômio investimento-tarifa, que reunisse um menor grau de risco para o *investimento* e uma contrapartida *tarifária* que não onerasse o consumidor é explicada por Castro (2004):

O paradoxo modicidade tarifária versus rentabilidade do investimento privado será superado através do uso da chamada “energia velha”, ou seja, a energia produzida pelas empresas públicas que, por já estarem amortizadas, apresentam um custo médio de 16 euros por MW. A venda da “energia velha” se dará através de leilões, o que tende a determinar tarifas médias relativamente menores. A “energia nova” será construída através de leilões. Será vencedor o grupo econômico que ofertar tarifas menores. Os vencedores firmarão contratos de longo prazo com o “pool”, estabelecendo-se os valores de pagamentos mensais, durante o prazo da concessão e um índice de reajuste determinado. Para os leilões, o Governo permite, e até estimula, as parcerias entre empresas públicas e privadas. É uma forma de criar garantias mais firmes para os investimentos, reduzindo as incertezas e o custo financeiro dos empreendimentos, bem como o acesso a fontes públicas de créditos (CASTRO, 2002).

Em 10 de outubro de 2006, foram realizados os primeiros leilões de energia nova. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela I.2.

Tabela I.2 – Preços de Venda de Energia Elétrica no Leilão de 10/10/2006

Tipo de usina	Prazo de contratação	Energia contratada	Preço médio de venda
		(MW médios)	(R\$/MWh)
Hidrelétricas	2011 - 2040	569	120,86
Termelétricas	2011 - 2025	535	137,44
Preço médio de venda (hidro + termo)			128,90

Fonte: Sergio Mathias – Ciclo de Palestras SEB, 2006.

Conforme Guerreiro (2006), os objetivos e os mecanismos utilizados para a reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro foram:

- Segurança no suprimento de energia elétrica: obtida a partir de um efetivo monitoramento das condições de atendimento, da reestruturação do planejamento setorial e de uma ambiência favorável ao investimento;
- Promoção da modicidade tarifária: através de uma competição efetiva na geração, de uma contratação eficiente (pela distinção da energia existente e compra pela menor tarifa), desverticalização da distribuição e sinalização de preços pelo mercado; e
- Promoção da inserção social no Setor Elétrico: incentivo aos programas de universalização do atendimento.

Os marcos institucionais do novo modelo foram:

- a) Lei 10.847 de 16/03/2004 – autoriza a criação da *Empresa de Pesquisa Energética – EPE*;
- b) Lei 10.848 de 16/03/2004 – dispõe sobre a comercialização de energia elétrica e dá outras providências;
- c) Decreto 5.163 de 30/07/2004 – regulamenta a Lei 10.848;
- d) Decreto 5.175 de 09/08/2004 – Cria o *Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE*;
- e) Decreto 5.177 de 12/08/2004 – Dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da *Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE*, em substituição ao anterior MAE;
- f) Decreto 5.184 de 16/08/2004 – Cria a Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

Dentro do novo modelo, a responsabilidade pelo planejamento do setor elétrico é reassumida pelo Estado. A EPE foi fundada como empresa pública, vinculada ao Ministério das Minas e Energia, sendo responsável pelo planejamento do setor energético, envolvendo energia elétrica, petróleo, gás, fontes renováveis, geração nuclear e a carvão, eficiência energética etc. (GUERREIRO, 2006). Alguns resultados já alcançados pela empresa, citados durante o Ciclo de Palestras Setor Elétrico Brasileiro, realizado em novembro de 2006, foram os seguintes:

- Elaboração e publicação do Balanço Energético Nacional 2005 e 2006;
- Conclusão dos estudos de projeção de demanda de energia elétrica até 2015;
- Conclusão do Plano Decenal 2006-2015;
- Estudos para os leilões de energia nova.

Segundo Guerreiro (2006), diretor da nova empresa de planejamento, até o final daquele ano, a EPE estava envolvida também: no Plano Nacional de Energia 2030 (lançado em 2007 em Furnas); em estudos de cenários econômicos e projeção da demanda de energia para 2030; vários estudos específicos na área de petróleo e gás; estudos de projetos hidrelétricos, incluindo avaliação ambiental integrada de bacias hidrográficas, bem como novos inventários hidrelétricos e estudos de viabilidade.

I.6- Eletricidade: *Commodity* ou Fator de Crescimento Sustentado

No atual momento do Setor Elétrico Brasileiro, mais uma vez observa-se o pêndulo se movimentar, deslocando-se agora, novamente para uma participação mais ativa do poder público na ordenação do planejamento.

Após toda a discussão sobre o papel do *Estado* e de uma possível regulação natural pelo *mercado*, um aspecto particular chama a atenção. Todo o movimento no sentido de uma redução

da atuação estatal se concentrou na caracterização da energia elétrica como produto ou “*commodity*”. Percebe-se, daí, uma clara dicotomia: enquanto para uma visão de modelo de *mercado*, cuja ênfase está centrada no ator *privado*, a energia elétrica pode ser entendida como *produto*; na visão de modelo centrada na regulação *estatal*, com ênfase no agente *público*, a eletricidade tem o caráter de prestação de *serviço*.

Sobre o perigo de uma participação do Estado como mero “coadjuvante”, ou até mesmo como “antagonista”, cita-se a obra “Direito Econômico da Energia Elétrica”:

O que nos parece perigoso é enveredarmos pelo caminho de considerar etapas indispensáveis da atividade (de geração, transmissão e distribuição) fora do poder de controle do Estado, o que pode ocorrer se a noção de serviço público, ainda que com atualizações, for substituída, em segmentos indispensáveis do processo de fornecimento de energia elétrica, pelas idéias de atividade econômica em sentido restrito, figura de indubitável redução da ingerência estatal (ROLIM, 2002, apud SAUER ET AL., 2003).

Acerca das diferentes formas de entendimento do caráter assumido pela energia elétrica, de acordo com o enfoque que lhe é dado, Sauer et al (2003) citam a obra de Caldas (2001) “*Concessões de serviço público de energia elétrica*”, da qual destacam-se algumas idéias que ajudam na interpretação do tema:

Sob o ponto de vista comercial, a energia pode ser entendida como coisa móvel, produzida nas usinas e consumida pelos usuários. Esta basicamente a idéia que está na desverticalização do setor elétrico, segundo a qual a energia elétrica é vista como uma “*commodity*”, oferecida num mercado competitivo, enquanto que a transmissão e a distribuição são serviços públicos com características de monopólio natural. Entretanto, isto deve ser visto com cautela, pois, em essência, a energia elétrica não pode ser separada, ou melhor, não existiria, sem estes meios físicos que lhe dão sustentação e que constituem um sistema integrado. Para que haja energia elétrica deve haver circuitos e corrente elétrica. É situação diversa da produção de um bem material qualquer em relação a seu transporte pela rodovia até os consumidores. Esta é a idéia, com fundamento físico, que leva a ver a produção, transmissão e distribuição de energia elétrica, como uma verdadeira prestação de serviços integrada. (...) Assim, o fornecimento de energia elétrica é prestação de serviço, antes de ser entrega de um produto (CALDAS, 2001, apud SAUER ET AL., 2003, p.53).

“O domínio público de cidadania e serviço deveria ser salvaguardado de invasões pelo domínio do mercado de compra e venda. (...) Os bens do domínio público – assistência médica, prevenção do crime, educação – não deveriam ser tratados como mercadorias ou substitutos de mercadorias. A linguagem de comprador e vendedor, produtor e consumidor, não pertence ao domínio público, nem os relacionamentos revelados por aquela linguagem. Médicos e enfermeiros não ‘vendem’ serviços médicos; alunos não são ‘clientes’ de seus professores; policiais não ‘produzem’ ordem pública. A tentativa de forçar estes relacionamentos a caberem no molde do mercado mina a ética do serviço, degrada as instituições que o incorporam e rouba parte do significado da noção comum de cidadania” (MARQUAND, 2004 apud VIEIRA, 2005, p.56).

A discussão a respeito do papel dos agentes públicos e privados nos sistemas de energia elétrica se encontra longe de um consenso. Sobre a difícil convivência público-privada em um modelo misto competitivo, Pires (2002) apontou algumas dificuldades, destacando a diferença entre a lógica das decisões privadas e o comportamento das estatais, “guiadas por interesses que não estritamente o da rentabilidade, mas sim, o de interesse estratégico nacional”, pautadas porém pela falta de flexibilidade e de agilidade “em vista dos rituais da Lei de Licitações e das auditorias do Tribunal de Contas da União. Enquanto isso, sob o ponto de vista do investidor, é pouco provável que participe em novos empreendimentos concorrendo com um setor público dominante (PIRES, 2002).

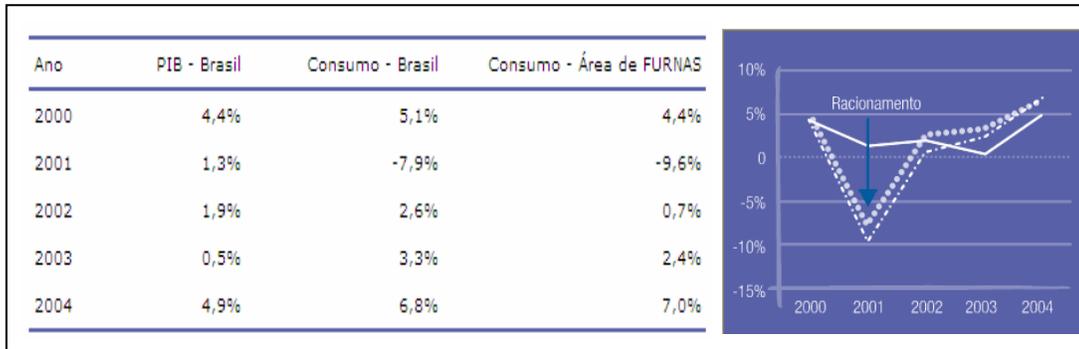
Todavia, a crise de 2001 e seus desdobramentos, permitem algumas conclusões importantes a respeito do assunto. Conforme recorda Lessa (2001), a respeito da característica intrínseca à eletricidade:

Energia elétrica não é “globalizável”: ou é produzida internamente ou tende a ficar indisponível. Insuficiências energéticas exigem longo prazo para superação. Enquanto não se instale nova capacidade geradora, é necessário limitar a produção e aceitar perdas de qualidade de vida. Esta verdade repõe na ordem do dia a centralidade da infra-estrutura (LESSA, 2001, p.35).

A crise faz a sociedade repensar sua atitude em relação a seus hábitos e ao seu modelo de desenvolvimento.

Em razão das características intrínsecas ao modelo e à condução das reformas, o setor elétrico voltou a ser, 50 anos depois, um importante gargalo ao crescimento do país. Para a sociedade, a energia mais cara é aquela indisponível, o déficit (SAUER, 2003, p.24).

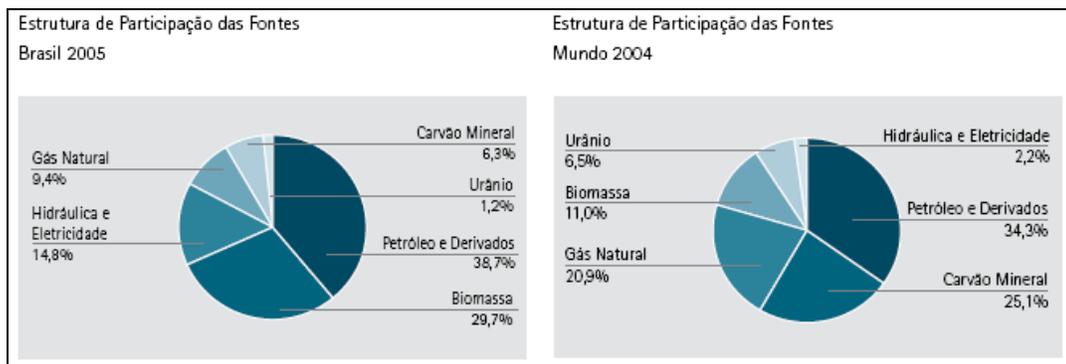
A energia elétrica possui uma alta correlação com o desempenho da economia como um todo, pois praticamente todos os setores econômicos, que no somatório anual de sua produção definem a magnitude do PIB, têm um componente de consumo de energia elétrica (CASTRO, 2006a). A respeito da correlação do PIB com a taxa de crescimento do aumento do consumo de energia, na Figura I.6 esta relação pode ser observada no caso brasileiro.



Fonte: FURNAS – Anuário Estatístico 2005

Figura I.6 – Relação PIB *versus* Consumo de Energia Elétrica

Os principais desafios que o SEB irá enfrentar no futuro serão o enfrentamento à questão ambiental; o equilíbrio frente à crise mundial de energia; ser instrumento de políticas de inclusão social sem arcar com prejuízos; e enfrentar a concentração de investidores estrangeiros. Diante deste quadro, a função estratégica das empresas públicas do SEB deve ser a de garantir a estabilidade e sustentação do desenvolvimento do Setor Elétrico (CASTRO, 2006b).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2006

Figura I.7 – Oferta de Energia – Brasil *versus* Mundo

A superação dos desafios no setor elétrico certamente refletirá na economia como um todo. Em todo o mundo, a energia elétrica é tratada como insumo estratégico. O Brasil, que já foi chamado de “Arábia Saudita da hidroeletricidade”, certamente deverá saber conservar sua vantagem competitiva em relação a outros países na questão da energia elétrica. A Figura I.7 demonstra a participação das fontes de energia no Brasil e no mundo. Observa-se que, em termos mundiais, a eletricidade responde por pouco mais de 2% das fontes de energia, enquanto no Brasil, esta participação é cerca de sete vezes maior.

O entendimento do cenário sócio-econômico do Setor Elétrico Brasileiro é uma condição fundamental para o aprofundamento do estágio de maturidade tecnológica das empresas do setor elétrico. A pressão sobre os custos tem sido altamente relevante na melhoria do desempenho dos sistemas de geração de energia e para a flexibilidade na operação dos sistemas de transmissão. A melhoria dos sistemas está baseada na capacidade de resposta dos agentes em implementarem tecnologias que aliem velocidade, precisão e confiabilidade à exploração dos processos de geração e transmissão de energia elétrica.

I.7- A Empresa FURNAS na Matriz do Sistema Elétrico Brasileiro

No dia 28 de fevereiro de 1957, com o objetivo de construir e operar a primeira usina hidrelétrica de grande porte do Brasil, com capacidade de geração de 1.216 MW, por meio do Decreto Nº 41.066, o Governo Federal constituiu a *Central Elétrica de Furnas S.A.*, que em 1971, após a transferência de sua sede da cidade de Passos (MG) para o Rio de Janeiro, recebeu nova denominação: *FURNAS – Centrais Elétricas S.A.*, expressando, de maneira mais adequada, todo um complexo de geração e transmissão de energia elétrica.

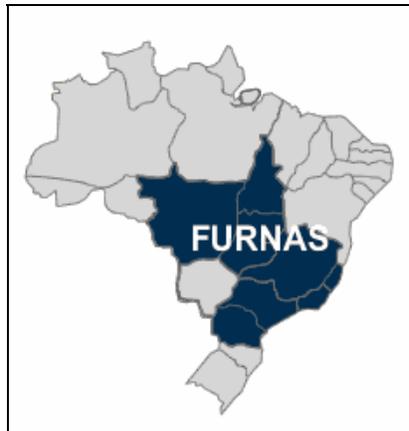


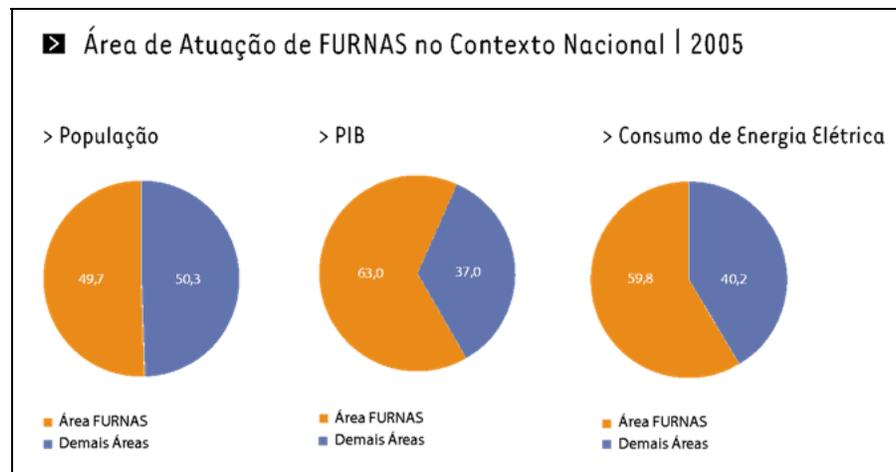
Figura I.8 – Regiões de Atuação de FURNAS

FURNAS é uma empresa da administração indireta, vinculada ao Ministério das Minas e Energia através de sua controladora – Eletrobrás –, e está presente em 8 estados brasileiros: São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Tocantins e Paraná, além do Distrito Federal. Segundo Gonçalves (2002), a área de atuação da empresa “abrange a região mais desenvolvida e industrializada do país, onde vive metade da população brasileira e são consumidos mais de dois terços da energia produzida em todo o Brasil” (GONÇALVES, 2002, p.33). Segundo dados mais atualizados, publicados no Anuário Estatístico da Empresa,

a energia total faturada em 2005 nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, áreas tradicionais de atuação de FURNAS, que concentram 63% do PIB brasileiro e 50% da população e onde são consumidos cerca de 60% da energia elétrica do País, totalizou o montante de 200,6 TWh, com um crescimento de 4,7% em relação ao ano anterior (FURNAS, ANUÁRIO ESTATÍSTICO 2006, p.10).

O parque instalado da empresa conta atualmente com 10 usinas hidrelétricas, 2 termelétricas, 44 subestações e mais de 19 mil quilômetros de linhas de transmissão, supervisionados de forma geral pelo Centro de Operação do Sistema, localizado no Rio de Janeiro, e ligado aos Centros de Operação Regionais através de sistemas computacionais de tempo real (SOL) e tecnologias de última geração (videowall).

O sistema de geração e transmissão de FURNAS possui elevado grau de interligação, operando em tensões desde 138 kV e 230 kV até 750 kV, com um grau de confiabilidade de 99,99%, compatível com os melhores índices internacionais. Além disso, a Gestão da Qualidade de FURNAS possuía, em 2005, 37 unidades certificadas e 31 premiações em gestão. Em 1999, mesmo ano em que o vazamento de um duto da Petrobrás derramou 500 mil litros de óleo na Baía de Guanabara (RJ), FURNAS obteve a certificação da subestação de Foz do Iguaçu com a norma ambiental ISO 14.001, na vanguarda do setor elétrico nacional. Ainda com relação aos Programas de Qualidade, a empresa organizou, em 2007, o primeiro ciclo de debates no SEB sobre a norma internacional ISO 26.000 que trata do tema responsabilidade social. FURNAS promove atualmente diversas ações em prol da preservação da biodiversidade e do patrimônio arqueológico, histórico e cultural; da conservação de energia e de apoio à cultura. As Figuras I.8 e I.9 representam a área de atuação em relação ao contexto nacional.



Fonte: FURNAS - Anuário Estatístico 2006, p.11.

Figura I.9 – Área de Atuação de FURNAS no Contexto Nacional

A missão de FURNAS é atuar como empresa do ciclo de energia elétrica, ofertando produtos a preços razoáveis e serviços adequados para melhorar a condição humana. Sua visão é

ser empresa de excelência no ciclo de energia elétrica contribuindo para o bem-estar da sociedade, o *desenvolvimento tecnológico* do país e a conservação do meio ambiente.

Tabela I.3 – Índices Comparativos Internacionais

Empresa	País	Ano	Energia Vendida (GWh)	Potência Instalada (MW)	Extensão de Linhas (km)	Capacidade de Transformação (MVA)	Número de Empregados	GWh Vendido / Empreg	Despesa Pessoal / Receita (%)	Geração Hidráulica / Geração Total (%)
Geração										
TRACTEBEL	Brasil	2005	28.077	5.860	-	...	893	31,4	5,0	81,6
Transmissão										
ELETROS										

Entre 1968 e 1974, o parque gerador se expande e FURNAS se consolida como uma das principais empresas de geração e transmissão do país. Além da inauguração da UHE Estreito, que começou a gerar em 1969, após um planejamento rigoroso e do cumprimento minucioso do cronograma de obra, são marcos do período: a inauguração da usina de Porto Colômbia (1973) e o início da construção das UHE's Marimbondo (1971) e Itumbiara (1974). A usina de Marimbondo foi a primeira no país a transmitir energia elétrica em 500 kV, interligando-se ao sistema da região Sudeste através das subestações de Araraquara (SP) e Poços de Caldas (MG). Visando à diversificação da matriz energética, a empresa se tornou responsável pela construção da primeira planta geradora de energia nuclear, cujas obras começaram em 1972, em Angra dos Reis (RJ). Como marco definitivo do reconhecimento da capacidade da empresa, em 1973, FURNAS foi incumbida da construção das linhas de transmissão que transportariam a energia da maior geradora do mundo – a Usina de Itaipu – ao Sistema Interligado Nacional, empreendimento que seria o primeiro na América Latina a utilizar corrente contínua através de um bipólo de ± 600 kV (HVDC). O período é marcado ainda pelo início da interligação da empresa para suprimento de energia para Brasília e para outras regiões do estado de Goiás, e pela cristalização do modelo de operação baseado nos centros de operação regionais e no despacho central no Rio de Janeiro.

Os anos 1980 marcaram em FURNAS a entrada em operação de importantes empreendimentos iniciados na década anterior. Em abril de 1981 entrava em operação a Usina de Itumbiara, aumentando em 39% a capacidade de geração de FURNAS. Em 1987 são iniciadas as obras da UHE Serra da Mesa (TO). Antes disso, em 1984, era inaugurada a Usina Hidrelétrica de Itaipu, nove anos após o início das obras, cuja energia começou a ser transportada tanto em corrente contínua (2 circuitos de 600kV - CC) como em alternada (3 circuitos de 750kV - CA). O primeiro circuito em CC entrou em operação em 1984 e o segundo em 1988. Já em CA, as primeiras duas linhas foram entregues em 1986 e a última em 1989. O sistema, reconhecido como dos mais complexos do mundo, só foi concluído em 1991, composto por 18 máquinas com potência total de 12.600MW. No final da década de 80, a capacidade instalada de FURNAS era superior aos 8.000 MW, incluindo a operação da usina nuclear Angra I e a empresa contava com aproximadamente 14.700 quilômetros de linhas de transmissão e 40 subestações. É emblemática a frase cunhada pelo então presidente de FURNAS, João Camilo Penna, durante a inauguração do Sistema de Transmissão de Corrente Contínua: “Galgando montanhas e ultrapassando pântanos, essas torres transportam à velocidade da luz a força das bacias hidrográficas”.

Nos anos 1990, FURNAS ampliou sua malha de transmissão e envidou esforços para prevenir, minimizar ou compensar os impactos ambientais e sociais de seus empreendimentos, marcando também o início de sua presença em empreendimentos no exterior, pela consultoria ao projeto de construção da Usina de Capanda em Angola. Em 1995, a empresa é escolhida para

gerenciar a construção da UHE de Bakun, na Malásia e pela respectiva implantação do sistema de transmissão. Em 1991, é inaugurada a subestação de São José (RJ) onde se implementa, pela primeira vez no Brasil, a instalação de fibras ópticas em cabos pára-raios. No mesmo ano, FURNAS organiza o *XI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica* no Riocentro (RJ). Em 1995, a empresa, em conjunto com as demais subsidiárias do sistema Eletrobrás é incluída no Programa Nacional de Desestatização (PND). Em 1997, os ativos da geração nuclear de FURNAS são transferidos para a recém-criada Eletronuclear, em função de sua possível privatização, que não viria a se confirmar. No final de 1998, eram iniciados os testes operacionais visando à conexão dos Sistemas Norte/Nordeste com o Sul/Sudeste, que se convencionou chamar Linha Norte-Sul, envolvendo um conjunto de linhas de 500 kV, interligando o sistema de FURNAS com o da Eletronorte, a partir da Usina de Serra da Mesa, no estado de Goiás.

A partir do final dos anos 1990, FURNAS conseguiu concluir importantes empreendimentos na geração, com a entrada em operação das usinas de Serra da Mesa (GO); Manso (MT) e Peixe Angical (TO), construída por meio de uma *Parceria Público-Privada – PPP*, na qual a empresa respondeu por 40% do investimento; e com a ampliação da capacidade da UTE Santa Cruz. Na área de transmissão, os maiores destaques foram: construção da LT Bateias-Ibiúna, interligando os sistemas interligados da região Sul ao Sudeste; e as obras que aumentaram a confiabilidade do suprimento ao Espírito Santo: construção da LT Ouro Preto-Vitória, ampliação da subestação de Vitória e construção da subestação de Viana (ES). Além da responsabilidade pelo planejamento da expansão da Rede Básica, no ano 2000, a empresa concluiu uma linha de transmissão que permite a importação de 1.000 MW da Argentina. Em 2002, FURNAS retomou sua atuação internacional através da consultoria ao projeto da UHE Três Gargantas, na China, que possui as maiores unidades geradoras do planeta. As principais informações sobre a história da empresa foram pesquisadas na Revista FURNAS – Edição Especial pelos 50 anos da empresa, comemorados em 2007.

Após a sua retirada do PND que a impedia de participar de novos empreendimentos em igualdade de condições, e fruto da ação da empresa nos leilões recentes para concessão de novos empreendimentos na geração, a empresa foi contemplada com a construção de seis novas usinas hidrelétricas – Batalha, Baguari, Simplício, Foz do Chapecó, Retiro Baixo e Serra do Facão e de mais seis novas linhas de transmissão. A empresa concluiu ainda em 2004 os estudos de viabilidade para a construção das Usinas de Santo Antonio e Jirau, no chamado Complexo do Rio Madeira, e a expectativa até setembro de 2007 era que o leilão que definiria o consórcio vencedor para a construção ocorreria em 31 de outubro do mesmo ano.

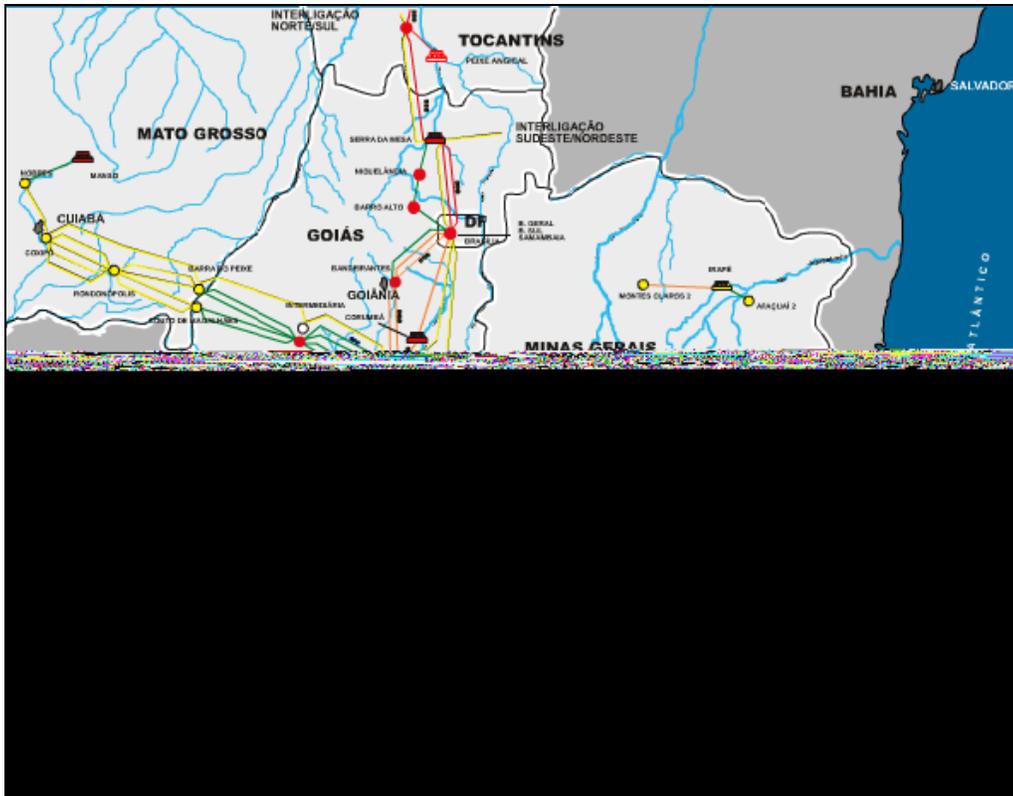


Figura I.10 – Sistema Interligado de FURNAS (2005)

Além do parque gerador instalado e dos milhares de quilômetros de linhas de transmissão, conforme se pode observar pela Figura I.10, a empresa possui laboratórios próprios que lhe permitem o domínio de tecnologias associadas à produção e à transmissão de eletricidade. Dentre os principais laboratórios e centros de pesquisa da empresa, destacam-se:

- *Centro Técnico de Ensaios e Medições - CTE*: reconhecido nacionalmente por sua especialidade nas áreas de instrumentação, medições, ensaios eletroeletrônicos, ensaios eletromecânicos e físico-químicos; participante da *RBC – Rede Brasileira de Calibração* e credenciado no *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO* e membro do *National Conference of Standards Laboratories – NCSL (EUA)*;
- *Estação de Hidrobiologia e Piscicultura*: para estudos para repovoamento de diversas espécies de peixes nos reservatórios das usinas, monitoramento da qualidade da água nos reservatórios e apoio à piscicultura nos municípios limítrofes;
- *Centro Tecnológico de Engenharia Civil*: para o desenvolvimento de pesquisas e controle tecnológico da qualidade das obras de geração e transmissão, no que se refere à:

tecnologia do concreto; mecânica dos solos; mecânica das rochas; geologia de engenharia e metrologia; assim como o CTE, também credenciado à RBC;

- *Laboratório de Hidráulica Experimental – LAHE*: para reprodução, em escala, das condições naturais dos locais de instalação das usinas hidrelétricas, simulando o funcionamento das estruturas em modelos reduzidos, visando ao aumento da eficiência, economia e segurança;
- *Simulador de Sistemas Energéticos*: situado no Escritório Central (RJ), trata-se de um conjunto de equipamentos analógicos e digitais integrados, que permitem simular, em tempo real, perturbações e fenômenos dinâmicos, eletromecânicos e eletromagnéticos, próprios de um sistema de potência. Pela identificação desses fenômenos, são desenvolvidos processos de controle para a melhoria do sistema elétrico, visando ao aumento da qualidade e da confiabilidade do suprimento.

Particularmente em relação ao presente trabalho, destaca-se o importante papel que o Simulador de Sistemas Energéticos tem desempenhado em recentes testes de novos relés digitais de proteção de linhas e sistemas de FURNAS. Com o advento da tecnologia digital, os diversos fabricantes desses dispositivos têm oferecido uma rápida evolução sobre funções incorporadas em seus produtos (vide Capítulo II), e tradicionalmente, testes de desempenho eram realizados somente nas sedes dos fabricantes no exterior ou em laboratórios especializados (Ex: Kema – Holanda). Através de seu Simulador, FURNAS tem exigido que em todos os novos fornecimentos de sistemas de proteção, os fabricantes submetam protótipos, a fim de que sejam aprovados no que se convencionou chamar ensaios de modelo. Este tipo de ensaio, diferentemente dos ensaios de tipo (de caráter destrutivo para teste de características construtivas físicas dos equipamentos), têm por finalidade verificar as atuações dos equipamentos, sob certas condições controladas, a fim de verificar se as respostas são compatíveis com os resultados esperados. O equipamento utilizado nesses testes é o denominado RTDSTM, que é

um equipamento digital de processamento em tempo real capaz de simular transitórios eletromecânicos e eletromagnéticos em sistemas de potência, reunindo simultaneamente vantagens da simulação analógica e vantagens através da simulação através de programas digitais (...) que por sua característica de simulação, permite o interfaceamento com dispositivos reais para a realização de testes em malha fechada. Esta interface é feita através das entradas e saídas, digitais e analógicas, existentes no equipamento (SANTO ET AL., 2000).

É relevante ressaltar que o Simulador de FURNAS tem sua origem nos estudos e construção do sistema de transmissão de Itaipu: em vista do elevado grau de complexidade, a empresa responsável pelo fornecimento entregou para FURNAS um laboratório com condições de simular o funcionamento dos principais dispositivos dos circuitos. Trata-se de um exemplo

bastante ilustrativo do caráter de pioneirismo tecnológico conquistado por FURNAS vinculado diretamente com os empreendimentos realizados pela empresa.

Segundo Gonçalves (2002), a partir das reformas dos anos 1990, FURNAS tem se deparado com alterações radicais, de caráter endógeno e exógeno, o que impõe a necessidade de adequação a uma nova estrutura de negócios e a agregação de novas competências. A autora defende uma reestruturação interna, uma vez que a empresa não pode “perder o que resta da massa crítica adquirida ao longo do tempo”, devendo “treinar seu novo corpo técnico, ampliando novos conhecimentos e formas de negociação, de modo a estar apta a realizar negócios atrativos e rentáveis neste novo cenário”. A respeito das mudanças no cenário externo, o estudo de Gonçalves aponta como principais fatores:

- a) Entrada de novos atores: em que se destaca a mudança de comportamento entre as empresas geradoras, que antes era marcado pelo aspecto da cooperação, agora passam a disputar as concessões, em um mercado com regras pouco definidas e sujeitas a alterações;
- b) Comoditização da Energia: a separação do produto (energia) dos serviços (transmissão e distribuição) são a idéia central do novo modelo, pelo qual a produção passa a ser um negócio competitivo e a energia um bem a ser comercializado por meio de uma bolsa de mercadorias;
- c) Leilões de Energia: mudança de cenário na celebração de contratos, pela qual FURNAS e as demais empresas ficaram obrigadas, pela “Lei das Concessões” a comercializar somente por meio de leilões de energia ou no mercado “spot”.
- d) Revitalização do Modelo do Setor: uma vez que o modelo baseado nos estudos da consultoria britânica fracassou, em vista da criação da Câmara de Gestão da Crise, em virtude da escassez de oferta de energia que culminou no racionamento do ano 2001.

As características principais do novo Marco Regulatório de 2004 mantiveram um modelo com agentes privados visando à competição e o modelo baseado em leilões. Conforme visto, para FURNAS, as alterações mais significativas foram sua retirada do programa de privatizações e a possibilidade de voltar a competir nos novos leilões.

Entretanto, na visão de Lima (2007), para que a empresa assuma de forma plena a responsabilidade pela garantia de sustentação do desenvolvimento do Setor e da almejada modicidade tarifária, há que se enfrentar ainda alguns desafios, tais como: a proibição de captação de financiamento pelas estatais; a proibição de atuar como controlador nos consórcios firmados com empresas privadas nos novos empreendimentos; a utilização das rendas do setor para

geração do superávit primário e os acordos políticos regionais de caráter fisiológico, cujos objetivos não colocam a eficiência e o sucesso da empresa como prioridades.

Enquanto isso, no âmbito interno, Gonçalves (2002) já alertava para o que denominou a “perda da estatura cognitiva”: dados da época de seus estudos davam conta que em 1993 o número de funcionários era de 8.632 colaboradores, que contrastavam com os 3.000 previstos para o final de 2002. A autora alertava sobre as dificuldades de enfrentar os novos desafios do cenário externo para defender medidas para evitar dificuldades nos processos técnicos, operacionais e administrativos da empresa. A empresa, por meio de seu Anuário Estatístico 2006, anunciou como principais medidas visando preservar a competência técnica da empresa: aumento no número de treinamentos; estabelecimento de parcerias internas para a realização de cursos para operadores e eletricitistas de linhas de transmissão e para certificação de operadores; programas de aperfeiçoamento do corpo gerencial, por meio de cursos de pós-graduação e a admissão de 446 novos funcionários, oriundos do concurso público realizado em 2004.

Não se pode atribuir o sucesso de uma empresa ao número de funcionários. Na chamada Economia do Conhecimento, são inúmeros os casos de empresas com pouquíssimos colaboradores, mas que assim mesmo, obtêm êxito em seus negócios. Por outro lado, também é inimaginável que reduções drásticas e bruscas de quadros de pessoal, muitas vezes com experiência profissional de algumas décadas, não provoquem acentuada perda de capacidade pela organização como um todo. Entretanto, a medição do estágio de desenvolvimento tecnológico de uma organização, sob um aspecto metodológico, não pode obedecer a critérios que privilegiem unicamente o tamanho de seu corpo funcional.

A medição do estágio de capacidade tecnológica da empresa, bem como da taxa de crescimento constitui-se em instrumento poderoso na formulação de uma estratégia de inovação mais “focada e coerente” com o Setor Elétrico, ao propor uma análise situada no tempo e no espaço, baseada no exame do conhecimento acumulado nas rotinas e procedimentos organizacionais e no modo de realizar as atividades que define um maior ou menor grau de capacidade para gerir e gerar tecnologia.

CAPÍTULO II – PROTEÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS ELÉTRICOS

II.1- Proteção de Sistemas Elétricos de Transmissão em Alta Tensão

Duas características fundamentais da eletricidade estão relacionadas ao seu caráter de invisibilidade, ou seja, a passagem de corrente elétrica por um condutor normalmente não é perceptível à visão humana, e ao iminente risco à integridade física inerente à sua utilização, tendo em vista que pode ser danosa tanto às pessoas como às instalações. Seus efeitos ao organismo podem ser o de um simples choque elétrico, até a fibrilação ventricular, com perigo de parada cardio-respiratória e, em níveis mais elevados de tensão e corrente, o da perda instantânea da vida. Incidindo sobre os meios físicos de transporte e chaveamento, em magnitudes acima dos valores nominais dos equipamentos ou instalações, representa riscos de incêndio e de explosões, com elevados danos ao patrimônio e à coletividade.

Por outro lado, o grau de conforto proporcionado pela difusão em larga escala da energia elétrica faz com que a menor perspectiva de sua privação por algumas horas se torne motivo de grande ansiedade e estresse. Atualmente, não se consegue imaginar o mundo sem os benefícios da eletricidade, associados diretamente à qualidade de vida e ao grau de desenvolvimento das nações. Tal é o motivo de todas as preocupações com as possibilidades de racionamento ou com o chamado “apagão”, jargão popular utilizado para denominar os efeitos mais sensíveis das anomalias ao funcionamento do sistema responsável pelo seu suprimento de energia elétrica, quando regiões inteiras são submetidas a uma desagradável experiência de “volta às trevas”, cujos prejuízos são de difícil mensuração.

Percebe-se então que o domínio no qual se inscreve todo o ciclo da produção, transmissão e uso final da energia elétrica pressupõe cuidados de diversas naturezas. Em uma abordagem mais genérica, no contexto das empresas de energia elétrica, o termo *proteção* assume basicamente três sentidos:

- Proteção das pessoas que trabalham nas atividades de operação e manutenção, bem como dos usuários finais da eletricidade, ou ainda de pedestres ou transeuntes que estejam próximos de áreas energizadas (subestações, torres e linhas de transmissão, postes etc.), referindo-se a toda uma série de cuidados, normas e procedimentos visando à prevenção de acidentes;
- Proteção dos equipamentos constituintes de toda a cadeia de suprimento de energia elétrica, desde os dispositivos típicos encontrados em usinas, tais como geradores e excitatrizes, nos pátios de manobra das subestações, como disjuntores e transformadores, ou ainda em qualquer outro ponto do sistema de transmissão e distribuição. Os danos aos equipamentos, principalmente dos que constituem o sistema

de alta tensão, representam enormes prejuízos financeiros para sua substituição ou reparo.

- Uma terceira abordagem sobre o tema, diz respeito à *proteção* em um sentido mais abrangente, de todo o sistema de geração-transmissão-distribuição, visando à preservação de sua capacidade de suprir energia ao consumidor final, com qualidade traduzida em reduzidos tempos de interrupção no suprimento e no número de ocorrências dessas interrupções. Vale ressaltar que, sob este aspecto, estão incluídos também os cuidados com as pessoas e com as instalações, entretanto, introduz-se a idéia de *proteção sistêmica*, ou seja, de todo o ciclo desde a produção até o consumo final.

A respeito da qualidade do fornecimento de um sistema de potência, Camargo (2006) atribui quatro fatores para sua verificação: continuidade (disponibilidade para uso do consumidor); conformidade (obediência aos padrões de desempenho especificados); flexibilidade (adaptabilidade às contínuas mudanças da estrutura topológicas) e manutenibilidade (restabelecimento o mais breve diante de panes).

Na perspectiva da proteção dos sistemas elétricos de potência, existe uma contradição sempre presente para os estudiosos que se dedicam à tarefa de desenhar este tipo de projeto: em detrimento da contínua necessidade da expansão da oferta da energia elétrica (adaptabilidade) e da manutenção do suprimento com elevados índices de disponibilidade e qualidade (continuidade e conformidade), não se permite que em nome de uma almejada ininterruptibilidade do suprimento se mantenha qualquer sistema elétrico operando sob condições de risco de comprometimento físico. Sobre este aspecto, em sua reconhecida *Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos*, Caminha (1977), já comentava que

em oposição ao intento de garantir economicamente a qualidade do serviço e assegurar uma vida razoável às instalações, os concessionários dos Sistemas de Energia Elétrica defrontam-se com perturbações e anomalias de funcionamento que afetam as redes elétricas e seus órgãos de controle (CAMINHA, 1977, p.3).

O autor defende que uma das preocupações para a exploração de um sistema elétrico consiste na utilização de um conjunto coerente de proteções, capaz de assegurar, tanto quanto possível, a continuidade do suprimento de energia e resguardar os equipamentos e as instalações (CAMINHA, 1977).

Os principais fenômenos externos ao sistema que causam problemas na interrupção do suprimento de energia estão relacionados aos curtos-circuitos e às sobrecargas, que originam o que se denomina genericamente uma *falta*. No atual estado da arte, não existe equipamento capaz de evitar a incidência de curtos (o que seria ideal), mas sim de interromper, a altíssimas velocidades, os circuitos quando detectada a presença de uma falta.

Conforme uma das mais reconhecidas obras sobre o tema, *The Art and Science of Protective Relaying*, Mason (1956) já argumentava que, normalmente quando se pensa nos sistemas elétricos de potência, o que vem à mente são os grandes equipamentos e aparatos localizados nos pátios de manobra das subestações, como transformadores e disjuntores, nas plantas de geração e linhas de transmissão de alta tensão. Entretanto, para o autor, “enquanto esses são alguns dos elementos básicos, existem outros componentes necessários e fascinantes”, complementando: “relés de proteção correspondem a um desses” (MASON, 1956, p.1).

Os sistemas de proteção de redes de alta tensão têm como elemento-chave os dispositivos denominados *relés de proteção*. São esses os verdadeiros responsáveis pelos comandos de abertura dos disjuntores de uma subestação, e que permitem o isolamento de uma falta, ou seja, a extinção da falta, em velocidades que chegam a milésimos de segundo. Segundo define Mason:

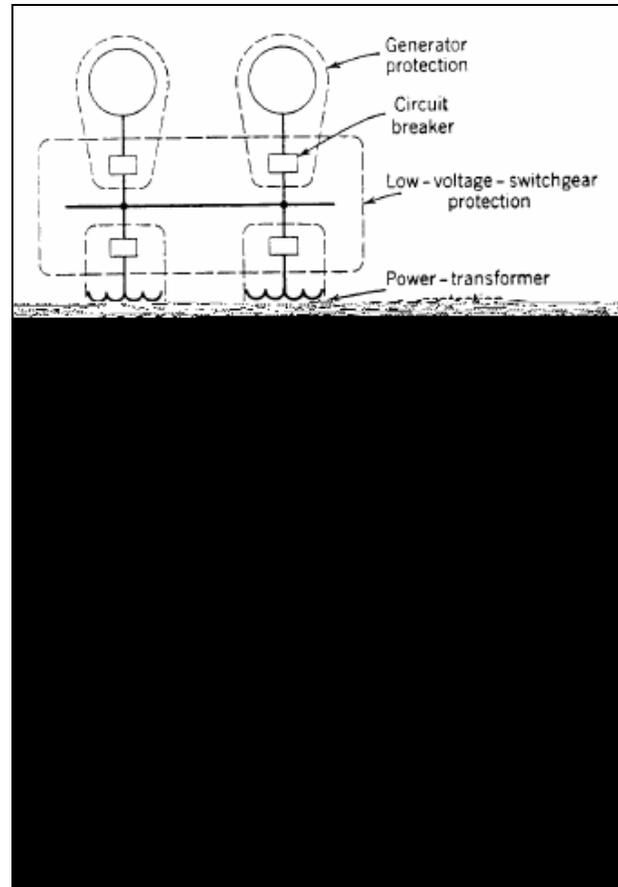
A função principal dos relés de proteção é causar uma retirada imediata de serviço de qualquer elemento de um sistema de potência quando submetido a um curto-circuito, ou quando começa a operar de alguma forma anormal do restante do sistema. Para esta tarefa, o equipamento é auxiliado por disjuntores que são capazes de desconectar o elemento sob falta quando assim são solicitados pelo relé de proteção (MASON, 1956, p.3).

Existem dois princípios gerais que devem ser atendidos por um sistema de proteção a base de relés:

- a) Segurança: somente podem ser enviados comandos de abertura (disparo), caso seja estritamente necessário, ou seja, para faltas identificadas dentro da zona de atuação prevista, evitando a ocorrência de disparos intempestivos que geram cortes desnecessários do fluxo de energia por determinado circuito;
- b) Obediência: o sistema deve operar sempre que seja necessário (ou seja, não pode ser insensível à presença de fenômenos que possam ocasionar danos materiais ou risco à vida).

A literatura aponta que, além de possuir como função principal a rápida retirada de serviço do elemento exposto a uma falta, a proteção por meio de relés possui a função secundária de promover indicações sobre localização e tipos de defeito, minimizando o tempo de reparação e suprindo informações para análises sobre uma ocorrência (CAMINHA, 1977, p.7; MASON, 1956, pp.3-4).

O princípio básico de funcionamento de um relé de proteção é assim resumido por Araújo et al. (2002, p.23): medição das grandezas atuantes; comparação dos valores medidos com valores de ajuste previamente aplicados; operação (ou não) mediante o resultado desta comparação; acionamento para operação dos disjuntores ou de relés auxiliares e sinalização de atuação via indicador visual e/ou sonoro.



Fonte: MASON, 1956

Figura II.1 – Zoneamento de Proteção

Segundo Caminha (1977), as características funcionais do releamento são a *sensibilidade*, que está relacionada à capacidade de um dispositivo de proteção identificar anomalias e responder de maneira coerente com o especificado em projeto; a *velocidade* ou *rapidez de atuação*, isto é, a capacidade de isolar um sistema quando acometido por uma falta dentro do menor tempo possível; a *confiabilidade*, dada como uma função de probabilidade do dispositivo atuar de maneira satisfatória quando exigido, mesmo após longos períodos de permanência em repouso (caso típico de sistemas de proteção diferencial de barras de subestações); e, por fim, a *seletividade*, característica sistêmica pela qual se estabelece uma seqüência cronológica de atuação de diferentes dispositivos de proteção, selecionando os que possuem prioridade, os que podem sofrer algum tipo de retardo, e outros ainda que não devam ser operados. A seletividade busca evitar o desligamento desnecessário de circuitos sãos que poderiam ser afetados por falhas em circuitos cujas faltas podem ser isoladas por dispositivos mais próximos. Percebe-se que a *sensibilidade* e a *velocidade* estão relacionadas ao aspecto da *obediência*, enquanto a *confiabilidade* e a *seletividade* são características típicas para se prever a *segurança* dos sistemas de proteção.

Os relés de proteção são equipamentos existentes há várias décadas, e construtivamente, sempre se basearam em dispositivos eletromecânicos e materiais magnéticos para integrar seus mecanismos de operação internos, usualmente comparados com mecanismos de relojoaria. Para a operação desejada dos relés de proteção em tempos tão rápidos quanto o necessário para o envio de comando de abertura de disjuntores na presença de curtos-circuitos (na ordem de milissegundos), os avanços tecnológicos nesta área, até os anos 1960 sempre estiveram relacionados com a pesquisa das propriedades magnéticas dos materiais. A figura II.2 apresenta a foto de um relé eletromecânico utilizado para a proteção de linhas de transmissão (função 21). Vale ressaltar que o relé mostrado na figura é monofásico, havendo a necessidade de 3 equipamentos idênticos para a proteção das três fases do sistema.

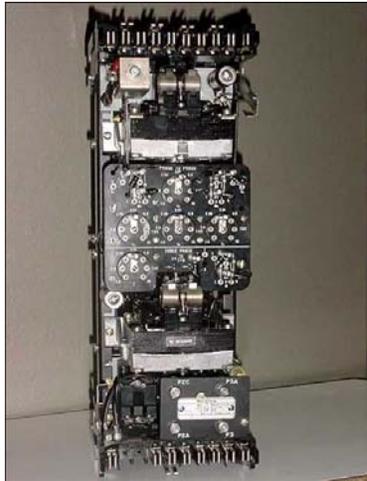


Figura II.2 – Relé Eletromecânico

O primeiro passo rumo à introdução de componentes eletrônicos para a fabricação de relés de proteção se deu pela implantação dos chamados relés estáticos, cuja plataforma se baseava em componentes eletrônicos de estado sólido, tais como transistores e diodos. Segundo Araújo et al.,

o progressivo desenvolvimento dos sistemas elétricos, quer no crescimento das tensões e potências de suprimento, quer na complexidade das interligações e aumento dos níveis de curto-circuito, originou a necessidade de aplicação de esquemas de proteção cada vez mais rápidos, seletivos e estáveis (ARAUJO et al., 2002, p.27).

Entretanto, a introdução de uma tecnologia ainda não consistentemente consolidada quase foi responsável por uma rejeição completa às futuras gerações de relés, em vista do alto índice de queimas de placas ou atuações intempestivas por ocasião da implementação dos primeiros modelos. Este ponto será novamente abordado no item seguinte, quando será discutida a

influência que as tecnologias empregadas nos sistemas de controle exerceram sobre a área de proteção.

II.2- Supervisão e Controle de Sistemas: Mudança de Paradigma e Influências

A supervisão e o controle de processos de geração e transmissão de energia elétrica sofreram profundas alterações tecnológicas, desde os primeiros sistemas isolados até os complexos sistemas operados remotamente - via despacho central, principalmente devido à crescente necessidade de interligação entre os sistemas de diferentes companhias.

Segundo Kinderman (1997), para se manter o acompanhamento contínuo de um sistema elétrico, tanto para aspectos relacionados à operação como ao planejamento, é necessária a manutenção de dados históricos com permanente atualização, bem como um trabalho rotineiro de análise das perturbações e oscilações em seu comportamento, o diagnóstico e aplicação de medidas preventivas e o planejamento das ampliações e alterações de configuração futuras.

No Brasil, o momento histórico da primeira iniciativa visando à instalação de um sistema centralizado para controlar e supervisionar remotamente os sistemas elétricos de diferentes empresas marca a atuação do GCOI como planejador do sistema interligado. Trata-se do período de 1974 a 1984, em que uma “notável expansão e crescente complexidade” do sistema “exigiram

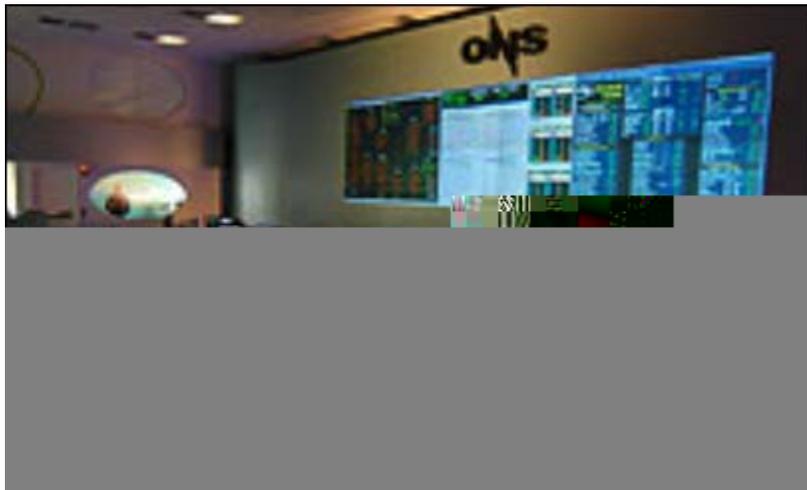
monitoramento, em nível *local*, dos estados das chaves e disjuntores, e de equipamentos importantes de uma instalação, tais como transformadores de potência e bancos de capacitores. Os quadros sinópticos convencionais já permitiam supervisionar e comandar à distância os equipamentos do pátio externo, aumentando a segurança operacional contra possíveis surtos de manobra. Entretanto, a complexidade resultante da conexão entre sistemas elétricos de potência de diferentes agentes e a crescente necessidade de controle, supervisão e planejamento dos sistemas interligados, logo demandou o desenvolvimento de centros remotos de despacho de manobras, na medida em que se desenvolvia simultaneamente a indústria das telecomunicações.



Figura II.3 – Painel de Controle Convencional

A implantação de um sistema de controle de nível central ou, conforme sua denominação mais genérica, de um *Centro de Operação de Sistema - COS*, determinou a instalação de unidades para coleta e envio de dados desde as subestações e usinas, que ficaram conhecidas no Setor como *RTU's* (do inglês *Remote Terminal Unit*). A partir de então, abriram-se definitivamente as portas das salas de controle para a entrada de equipamentos eletrônicos nesses ambientes. A evolução da capacidade de transmissão de dados, possibilitada pelos avanços na área de telecomunicações e do início da aplicação de computadores em escala ampliada, impulsionou formidavelmente os esforços para estabelecer o telecontrole de subestações, vislumbrando-se o enorme potencial da utilização da tecnologia digital como uma realidade em ambientes de subestações e usinas.

Trata-se de um momento sem precedentes para o universo dos sistemas de supervisão e de controle, influenciado pelos avanços na indústria da informática, seja pelo aumento das capacidades de processamento e de armazenamento, seja pela consolidação das tecnologias de redes que permitiram o fluxo de grandes blocos de dados, desde as instalações até os centros de operação. Outro fator decisivo para a adesão aos sistemas digitais foi a evolução da indústria de software e de hardware, respectivamente com aplicativos dedicados e sistemas operacionais mais estáveis e equipamentos com a robustez necessária para operarem em ambientes hostis, que permitiram crer que seria possível abandonar os controles convencionais e supervisionar os sistemas a partir da tela de microcomputadores. Segundo Strachman (2006), a crescente importância de fatores como segurança e confiabilidade irão aumentar o mercado para sistemas de *Supervisão, Controle e Aquisição de Dados – SCADA* baseados em computadores, que têm sido integrados a sistemas de controle e administração de sistemas de potência.



Fonte: Banco de Imagens do ONS, 2007.

Figura II.4 – Centro Nacional de Operação do Sistema – CNOS

A representação de um *Sistema Digital de Supervisão e Controle – SDSC* passa então a utilizar, pelo menos 3 níveis hierárquicos distintos: o *nível 1* correspondendo ao nível de operação via painel de controle (na sala de operação local) sobre os diferentes elementos (seccionadores, disjuntores, chaves etc.); o *nível 2* referindo-se a um concentrador local, comunicando-se com os equipamentos de nível 1, e conectado em rede com um servidor que funciona como armazenador de dados, onde operam aplicativos dedicados; enviando os dados para um *nível 3* – centro de controle de sistema, normalmente localizado em local geograficamente distante.

Os avanços nas tecnologias de informação e comunicações que influenciaram a modernização dos sistemas de controle também se fizeram notar nos relés de proteção,

entretanto, os tempos para adesão e consolidação não foram os mesmos. Desde 1960 a implementação de funções de proteção por meio de algoritmos numéricos em computadores começou a ser estudada, entretanto, “logo ficou claro que o desenvolvimento tecnológico da época ainda não podia atender às necessidades de proteção nem era economicamente atraente” (ARAÚJO et al., 2002, p.28). Silveira e Guimarães (1997) destacam que os principais fatores para retardar o uso dos sistemas digitais numéricos foram: “baixa velocidade dos processadores, o baixo nível de integração entre os circuitos integrados, a elevada taxa de falhas dos sistemas digitais e as exigências de sistemas adequados”. Com respeito à evolução tecnológica das plataformas numéricas, “basta recordar que em 1982 utilizava-se como computador pessoal o TK-82 (Apple – 8 bits – 1 MHz) e, 14 anos mais tarde, já nos deparamos com computadores pessoais de 64 bits – 400 MHz e 1 Gbyte de RAM” (SILVEIRA E GUIMARÃES, 1997, p.3).



Figura II.5 – Níveis Hierárquicos dos Novos Sistemas Digitais de Supervisão e Controle

Em meados da década de 1970, quando o Setor Elétrico já apostava em soluções computadorizadas para resolver os problemas relacionados ao comando remoto das instalações interligadas, foram colocados sob teste e instalados os primeiros relés estáticos analógicos. Logo surgiram problemas relacionados à queima ou perda de características elétricas de componentes, percebendo-se a necessidade de promover uma “tropicalização” dos materiais. Simultaneamente, eram conduzidas pesquisas sobre compatibilidade eletromagnética, uma vez que relatos sobre atuações indevidas em relés de proteção estáticos começaram a ocorrer, principalmente devido ao fato de operarem em ambientes com grau de interferência eletromagnética relevante, como são as instalações das redes de transmissão.

Como era de se esperar, imediatamente surgiu uma grande desconfiança do Setor sobre possíveis limitações das novas tecnologias ou, pelo menos, sobre o domínio em que poderia vir a ser explorada, no tocante a uma área sensível como a da proteção de sistemas de potência. Após o lançamento das primeiras versões de relés numéricos microprocessados, no final dos anos 1980, esta questão somente viria a ser respondida no final da década de 1990, marcando a adesão definitiva à nova tecnologia, pela aplicação em larga escala de relés digitais de proteção na substituição dos antigos similares eletromecânicos.



Figura II.6 - Parametrização em um relé digital instalado no campo

Araújo et al. (2002, p.29) sustentam que “a tecnologia digital tem se tornado a base da maioria dos sistemas de uma subestação atuando nas funções de medição, comunicação, proteção e controle”. De fato, na atualidade, esta tecnologia não se resume aos relés de proteção numérica ou aos equipamentos de controle microprocessados. Este fato é sublinhado por Silveira e Guimarães (1997):

No contexto do sistema elétrico de potência, o que se tem hoje em dia são as aplicações tanto a nível dedicado como relés de proteção, sistemas integrados de medição, localizadores de falta, osciloperturbógrafos, etc, quanto os de aplicação mais gerencial como controle de fluxo de carga on-line, despacho centralizado, rejeição de carga, previsão do crescimento do sistema elétrico, planejamento, etc. (SILVEIRA E GUIMARÃES, 1997, p.3).

Como principais vantagens do uso de relés digitais de proteção destacam-se as funções de *autodiagnóstico*, ou seja, a supervisão contínua de seu hardware e software com sinalização de eventual falha de funcionamento; *oscilografia e análise de eventos*, que permitem armazenamento de dados em formato gráfico e textual, ferramentas poderosas para o estudo de ocorrências; *localização de defeitos*, com redução de defeitos permanentes e facilidade para turmas de manutenção; *detecção de defeitos internos em transformadores*, que podem ser detectados através da monitoração do espectro de frequência; e *monitoração de disjuntores*, permitindo acompanhamento dos tempos de operação dos mecanismos de abertura e fechamento, além da possibilidade de programação de manutenções preventivas, pelo registro do número de operações realizadas, em função da energia interrompida (ARAUJO et al., 2002).

Genericamente, apontam-se como principais vantagens da nova geração de equipamentos digitais microprocessados:

- Maior precisão nas medidas;
- Maior rapidez de operação;
- Maior número de funções (de proteção) integradas;
- Maior flexibilidade de faixas de ajuste de proteção;
- Menor necessidade de manutenção (maior *Tempo Médio Entre Falhas – MTBF*);
- Maior confiabilidade (redução de partes internas móveis);
- Mais informação disponibilizada ao usuário;
- Maior capacidade de comunicação.

Segundo Pellini e Yamada (2001), no que se refere ao seu aspecto construtivo, os equipamentos baseados em eletrônica digital são dotados de quatro elementos básicos:

- Entradas analógicas (para captação de sinais provenientes do campo com grandezas elétricas tais como tensões e correntes) e entradas digitais (para participação em lógicas internas ao dispositivo), com respectivos circuitos para aquisição desses sinais;
- Memória para armazenamento e processamento dos sinais externos recebidos;
- Microprocessador para executar um algoritmo de cálculo ou lógica e controle, responsável pelas decisões sobre a atuação do dispositivo;
- Saídas digitais (utilizadas para atuação do equipamento, para compor a lógica conjunta com outros dispositivos, comunicação, relatórios) e saídas analógicas (normalmente para controle de processos).

A esses elementos, atualmente, acrescenta-se um quinto elemento, que são as portas de comunicação, para integração desses dispositivos em redes locais, permitindo ampliar a

capacidade de transmissão de dados, tanto para concentradores locais como para centros de engenharia remotos.

Os autores consideram como principais vantagens dos sistemas digitais: topologia simples; precisão; confiabilidade; manutenção; versatilidade; interoperabilidade e custo compatível com as vantagens auferidas. A Tabela II.1 representa algumas das principais aplicações da eletrônica digital em ambientes de subestação e usinas bem como os equipamentos correspondentes.

Segundo esses autores, o alcance que a digitalização permitiu às funções de controle e proteção faz com que seus efeitos sejam notados em rotinas típicas dos ambientes de salas de controle de subestações tais como:

- a) Sinalização / Monitoração de Estados – por meio de entradas digitais, é possível adquirir os estados de equipamentos, tais como disjuntores e chaves seccionadoras, os quais são representados na tela de um monitor. Por meio dessa interface, é possível a visualização do diagrama unifilar da subestação, que traduz em tempo real, as condições operativas da instalação. Além disso, são apresentadas outras importantes sinalizações sobre condições operativas, tais como: presença ou ausência de tensão, mudanças de condição dos elementos (aberto/fechado – ligado-desligado), medidas operacionais, falha de algum dispositivo (pela alteração da cor em que está representado), possibilidade de zoom em setores para obter informações detalhadas, entre outras;
- b) Monitoração da proteção: a atuação de alguma proteção pode ser enviada pelo sistema digital através de uma rede, que permite identificar na tela de um microcomputador os dados referentes a um disparo: trecho ou circuito interrompido pela extinção da falta, tipo de defeito (entre fases ou fase-neutro), sua localização, no caso de defeitos em linhas de transmissão, instantes de atuação da proteção e de efetiva abertura do circuito, corrente interrompida pelo disjuntor etc.;

Tabela II.1 – Novos Dispositivos Aplicados em Sistemas Digitalizados

Aplicações	Equipamentos
------------	--------------

Proteção Digital de Linhas de Transmissão	Relés Digitais de: <ul style="list-style-type: none"> • Sobrecorrente e sobrecorrente direcional • Distância, direcionais ou não direcionais • Proteção diferencial • Proteção de sobre/subtensão
Proteção Digital de Transformadores	Relés digitais de: <ul style="list-style-type: none"> • Sobrecorrente • Proteção diferencial • Sobretensão • Imagem térmica dos enrolamentos e óleo
Proteção Digital de Barras	Relés Digitais de: <ul style="list-style-type: none"> • Proteção diferencial
Medição Digital	Medição de: <ul style="list-style-type: none"> • Tensões de linha, fase e neutro • Correntes de linha, fase e neutro • Tensões e correntes em componentes simétricas • Fator de potência • Distorção harmônica • Oscilografia • Freqüência • Potências Ativas, reativas e aparentes • Energia (para faturamento ou supervisão) • Curvas de demanda • Temperaturas • Vazões de óleo e água em radiadores
Controle e Atuação	Controle de: <ul style="list-style-type: none"> • Fluxo de potência • Taps de transformadores • Abertura e fechamento de disjuntores • Abertura e fechamento de seccionadores • Inserção ou retirada de bancos de capacitores • Inserção ou retirada de reatores • Compensadores estáticos • Compensadores síncronos • Manobra de linhas de transmissão e alimentadores • Manobra de equipamentos • Manobra de barramentos • Despacho de energia • Segurança do perímetro da subestação • Outras subestações
Outras	<ul style="list-style-type: none"> • Impressão de relatórios • Seqüenciadores de eventos • Base de dados em tempo real

Fonte: PELLINI E YAMADA, 2001, p.3.

c) Alarmes: o envio de sinalização visual e/ou sonora de eventos mais importantes relacionados aos defeitos, falhas de atuação, ultrapassagem de valores operacionais etc. é bastante comum em sistemas convencionais, sendo normalmente realizado por meio de painéis anunciadores de alarmes. Os sistemas digitais permitem a definição de telas que podem refletir as mesmas condições de um anunciador, com vantagens

adicionais, tais como uma capacidade muito superior de pontos de alarme e uma apresentação personalizada das telas, por meio de códigos de cores. O sinal sonoro também pode ser utilizado em alguns casos, porém, para a maioria dos pontos, opta-se apenas pela mudança da cor nos descritivos dos alarmes, classificando alarmes não-reconhecidos; os que já o foram, porém, continuam ativos; e os alarmes normalizados, sendo as indicações mais comuns as de

grandezas fora de limites (tensão, corrente, temperatura, pressão); operação das proteções; falta de tensão impedindo a operação de alguma proteção; defeito no carrier ou atuação do mesmo; defeito nos disjuntores (por exemplo: disjuntor preso); anomalia em relés repetidores, na ventilação dos transformadores e nos serviços auxiliares cc e ca; atuação do religamento automático, e desligamento permanente após tentativa de religamento; sobrecargas em transformadores e alimentadores; transferência de barra ou de proteção incompletas; seqüência automática interrompida (PELLINI E YAMADA, 2001, p.4);

- d) **Eventos:** função que permite o registro de um número mais abrangente de ocorrências dentro da instalação, que não necessariamente estejam relacionadas com alarmes. Normalmente, a tela apresenta uma descrição resumida da ocorrência, com a indicação temporal no formato típico data-hora-minuto-segundo-milissegundo. Para um perfeito sincronismo entre todos os elementos do sistema, geralmente é utilizado um sinal de sistema de posicionamento global de satélite (GPS) enviado a cada um dos elementos que compõe o sistema digital. As principais ocorrências que geram eventos são: “operação e estado de disjuntores e seccionadores; instantes de atuação da proteção; fases em falta; instante de eliminação de falta; discordância de pólos; bloqueio local; instante da abertura do disjuntor; valores analógicos fora dos limites” (IDEM);
- e) **Oscilografia:** o registro oscilográfico das formas de onda referentes às grandezas analógicas medidas na instalação é normalmente armazenado em dispositivos dedicados, com resolução de tempo suficiente para adquirir amostras e gerar gráficos, para permitir maior facilidade para análise de ocorrências de faltas do que a simples análise de alarmes e eventos. Uma vantagem adicional é a possibilidade de coletar oscilografias de ocorrências em que as proteções possam não ter chegado a atuar. Os relés de proteção digitais numéricos da nova geração também costumam disponibilizar a função de registro de oscilografias. Entretanto, devido às limitações, tanto na amostragem como na capacidade de memória para armazenamento, os órgãos de estudos de proteção normalmente exigem que as subestações possuam instalados oscilógrafos com capacidades de aquisição de medidas para análises de ocorrências no nível da instalação como um todo. Atualmente, a geração mais nova desses equipamentos também se baseia em plataformas numéricas, os quais já são reconhecidos no Setor como *Registradores Digitais de Perturbação – RDP*;

- f) Proteção Digital: cujas características construtivas já foram exploradas anteriormente, com claras vantagens em relação aos seus predecessores, pela possibilidade de programação com lógicas internas, e capacidade de comunicação e armazenamento;
- g) Atuação: a introdução do conceito de níveis hierárquicos pressupõe a possibilidade de definição de prioridades, dentre os locais de onde se permitirá a execução de manobras, tais como o comando de abertura e fechamento de disjuntores e chaves, ou a modificação de valores de referência de um regulador, modificando e expandindo a idéia de telecomando. Alguns critérios adotados para comandos são: Nível 0: locais (junto do equipamento); com comando mecânico ou elétrico; Nível 1: remotos (à distância) via *Unidade de Aquisição e Controle (UAC)*; Nível 2: a partir da sala de comando da subestação; Nível 3: a partir de outros centros (Centros de Operação Regionais ou de Sistema). Ainda com relação à atuação, é bastante comum a classificação da forma de atuação de controles em manual/automático, a inclusão de intertravamentos entre dispositivos de manobra e a função de corte seletivo de cargas, a partir de oscilações nos sistemas de potência;
- h) Interface Homem-Máquina (IHM): função que permite ao operador uma visão ampla do sistema digital, que representa o estado da subestação e do “complexo informático”, com interação via console de operação, que pode se dar pela apresentação de dados (unifilares, alarmes, eventos, registros de faltas, gráficos de tendências etc.), pela entrada de dados pelo operador (senha de acesso, modificação de telas de operação, em ajuste de relés etc.), ou por operações diretas sobre os elementos, tais como comandos sobre disjuntores e seccionadores, reconhecimento de alarmes, seleção de modos de controle (ex: local/remoto), etc.;
- i) Interligação: que representa a capacidade de comunicação em rede dos sistemas digitais, permitindo fluxos de transmissão de dados em diversos sentidos, tanto internamente no nível da instalação, como externamente, pela possibilidade de exportação e importação de dados de outras localidades. Um caso típico de acesso remoto refere-se à possibilidade de envio/leitura de parâmetros de ajuste de relés de proteção ou de coleta de oscilografias de relés ou RDP's (um exemplo deste tipo de aplicação é o *Sistema RARP – Rede de Acesso Remoto a Proteções*, que está sendo introduzido em FURNAS para aquisição de dados de faltas em suas instalações). Para que se tornasse possível este tipo de aplicação, foram de fundamental importância os desenvolvimentos de soluções de Internet e de Intranet, uma vez que os equipamentos de campo puderam ser conectados por meio de redes locais – LAN's, com a capacidade de se comunicar com outros centros operativos através de WAN's (Wide Area Network).

Pela diversidade de conceitos envolvendo a modernização das instalações dos atuais sistemas de potência, os itens seguintes discorrem sobre algumas possibilidades do que se convencionou denominar automação ou digitalização de subestações e sobre tendências já observadas.

II.3- Automação e Digitalização de Sistemas Elétricos de Potência

A introdução de equipamentos digitais para a proteção, o controle, a supervisão e a medição em usinas e subestações tem recebido diversas denominações pelos agentes do Setor Elétrico, tais como *modernização* ou “*retrofit*”, no caso de substituição de equipamentos antigos pelos da nova geração; sendo também usuais as expressões *digitalização* ou *automação* para designar a utilização de dispositivos baseados em microprocessadores, tanto para instalações novas como para as que passam por um processo de modernização.

O conceito, válido tanto para subestações como para plantas de geração, tem como princípio básico a modelagem de componentes discretos da eletrônica por meio de algoritmos numéricos que emulam seu comportamento:

Digitalização de Subestações consiste no uso de equipamentos digitais, com capacidade de aquisição de sinais e estados, dentro da subestação, nas áreas de supervisão, controle e proteção dos sistemas de potência, substituindo ou complementando as funções dos tradicionais equipamentos analógicos. Os equipamentos digitais realizam então a conversão dos valores do universo analógico da subestação (tensões, correntes, potências, temperaturas, estados) em dados digitalizados (na forma de bits e bytes) que são então processados (PELLINI E YAMADA, 2001, p.1).

A automação de processos industriais se tornou uma tendência na busca de qualidade e aumento na capacidade de produção de plantas fabris e as instalações das empresas de energia elétrica não ficaram imunes aos seus efeitos. Entretanto, o termo automação, durante algum tempo, foi utilizado indistintamente para designar funcionalidades que não estavam presentes nas primeiras experiências de migração do paradigma analógico ao digital nos ambientes de subestações e usinas. Pereira et al. (2005), situam que:

Embora a integração e automação de subestações tenham sido um conceito bastante difundido nas últimas duas décadas, somente umas poucas empresas de energia elétrica tinham desenvolvido, até meados dos anos 90, abordagens “verdadeiramente” integradas de proteção, controle e automação, para facilitar a troca de informações a nível corporativo e viabilizar a própria automação (PEREIRA et al., 2005, p.8).

Para entender melhor a que se refere a *automação* ou a *digitalização* de subestações, uma contribuição bastante útil é apresentada por Bingham (2004), que distingue diferentes significados: para alguns, a automação de subestações pode ser entendida como a adição de um sistema SCADA apenas para o *telecontrole* por meio de um centro de operações remoto, mantendo painéis mímicos convencionais e anunciadores de alarmes; outros considerariam a idéia adicional de substituir os painéis e anunciadores tradicionais e substituí-los por uma *Interface Homem-Máquina*

– *IHM*, para a *supervisão* e o *controle locais*. Um terceiro sentido para o termo abrange também a substituição de todos os intertravamentos, botoeiras, chaves seletoras, relés auxiliares e demais elementos relacionados ao paradigma eletromecânico, de maneira que o *controle* da instalação passe a ser executado e monitorado combinando *Unidades de Aquisição e Controle – UAC's*, *IHM's* e *relés digitais de proteção*. Em um sentido mais literal, o termo engloba todas as medidas anteriores, mas também inclui *rotinas de programação independentes* da intervenção humana para serem executadas em uma subestação, como podem ser o controle automático de tensão, ações sobre a perda de fontes; transferência de carga inteligente entre subestações; controle no comutador de taps dos transformadores de potência, entre outras (BINGHAM, 2004).

Na maior parte das empresas, o processo de migração da tecnologia seguiu exatamente a seqüência acima. Entretanto, a falta de planejamento adequado ou mesmo o estágio evolutivo do desenvolvimento tecnológico na época das primeiras experiências, fizeram com que a maior parte das empresas possuam hoje, dentro de seu próprio sistema, uma mescla entre as várias situações apontadas.

Atualmente, principalmente após o desenvolvimento e a consolidação dos processadores digitais de alta capacidade e da evolução dos sistemas de comunicação digital, que permitem a circulação de grandes blocos de dados entre dispositivos, comunicando-se por meio de fibras ópticas, tornou-se realidade a integração de dispositivos de proteção, controle, supervisão, medição ou qualquer outra funcionalidade em uma mesma rede de comunicação:

Estes dois fatos, aliados à crescente demanda por informações sobre o sistema elétrico e seus equipamentos e à necessidade de reduzir custos em razão do ambiente competitivo entre as empresas de energia elétrica, levou o IEC, o EPRI e os fabricantes de relés a desenvolverem sistemas de proteção e automação integrados, utilizando redes de comunicação local (LAN) altamente confiáveis e com protocolos abertos, facilitando o compartilhamento de informações entre IED's de fabricantes diferentes (PEREIRA et al., 2005, p.1).

Para que um projeto de digitalização obtenha êxito, ou seja, atinja seus objetivos de proporcionar um serviço de melhor qualidade, traduzido em menores interrupções no fornecimento, aliado à redução de despesas operacionais e de manutenção, é interessante que sejam seguidos alguns passos para identificar os requisitos técnicos disponíveis que melhor atendem às necessidades de cada usuário. Segundo Bingham (2004), as principais etapas consistem em:

- a) Definição dos requisitos: é importante que antes de se criar uma especificação técnica baseada em características dos equipamentos de alguns fabricantes, sejam definidas necessidades a serem atendidas pelo novo sistema, bem como o estabelecimento de prioridades e objetivos. Nesta etapa, é importante a consulta a diferentes órgãos, principalmente dos futuros usuários das instalações, ou seja, a área de Operação do

sistema, evitando que os interesses não atendidos no projeto não se convertam em objeto de rediscussão e causa de retrabalho durante os comissionamentos;

- b) Escolha da Arquitetura de Sistema: esta é uma etapa primordial em qualquer projeto de modernização de subestações e/ou usinas. A arquitetura definirá *onde* estarão montados os equipamentos: centralizados, ou seja, todos montados em um painel com toda a fiação sendo levada até ele, ou distribuída, isto é, se o dispositivo será montado ao lado do equipamento que está protegendo/controlando, minimizando a cablagem utilizada. A definição da arquitetura também está relacionada ao tipo de plataformas de *hardware* que se pretende utilizar. O desenvolvimento de gerações de relés digitais de proteção fez emergir um novo tipo de equipamento, que além de agregar diversas funções de proteção em um só dispositivo, proporciona funcionalidades para o controle, supervisão e medição operacional. A convergência de funções em um mesmo dispositivo fez surgir o chamado *IED – Intelligent Electronic Device*. Portanto, a arquitetura também deve definir, por exemplo, se haverá uma rede separada para relés digitais de proteção e outra, de controle, baseada na utilização de *UAC's - Unidades de Aquisição e Controle* ou se a opção será por uma única rede para a qual convergirão dados provenientes dos diversos IED's. Poderão também ser previstas redes para acesso remoto para manutenção ou para conexões em alta velocidade. Há ainda que se definir a forma como esses equipamentos devem se comunicar com níveis hierárquicos superiores, formando redes radiais ou em anéis ópticos.
- c) Definição de Requisitos para Integração: para que os equipamentos se comuniquem, é necessário definir os padrões e protocolos de comunicação. Atualmente, a utilização de redes locais do tipo *Fast Ethernet* tem sobrepujado completamente as comunicações seriais, sobretudo por sua praticidade de expansão, velocidades de transmissão e canais múltiplos de dados e para diagnóstico em uma única conexão. Mesmo assim, nem todos os IED's encontrados no mercado já possuem capacidade para comunicação por meio de redes, fazendo com que se encontrem ainda topologias híbridas, com algumas ligações feitas por meio de comunicação serial.
- d) Seleção do Concentrador de Dados: a importância dessa escolha é cada vez mais importante devido ao fato de alguns IED's disponibilizarem atualmente mapas de dados com milhares de pontos. Os três tipos mais comuns são: *processadores de comunicação*, cuja característica peculiar é a de serem elementos transparentes para onde convergem diversos IED's e que enviam a informação por meio de uma única conexão, sem tratamento de dados; as *Unidades Terminais Remotas*, com avanços significativos desde as primeiras gerações, que evoluíram para as atuais *UAC's*, com

capacidade de comunicação semelhante aos processadores de comunicação, oferecendo adicionalmente uma quantidade de entradas e saídas (I/O) compatível com a supervisão e o controle de subestações e usinas; e os *CLP's - Controladores Lógicos Programáveis*, mais encontrados na indústria por sua forte capacidade de processamento. A atual tendência das empresas do Setor Elétrico tem sido a aplicação das UAC's, que associam uma adequada capacidade de realização de lógicas e de aquisição de dados, com uma maior facilidade de configuração e manutenção. Segundo Bingham, ainda em relação à definição da integração, algumas perguntas importantes devem ser respondidas:

Existe I/O que não será coletado pelos IED's? Existe na subestação um link de alta velocidade? Quanto de acesso remoto será necessário? A base de equipamentos instalada está adequada para a manutenção da equipe treinada? O concentrador de dados precisa ter interface com outros sistemas proprietários? E o dispositivo atende às necessidades identificadas na etapa de planejamento? (BINGHAM, 2004, p.42).

- e) Definições sobre Coleta e Armazenamento das Informações: segundo o autor, “enquanto a quantidade de dados disponibilizados por um sistema de automação de subestação tem crescido constantemente, a quantidade de informação que o operador quer ver não mudou” (IDEM). Portanto, existem informações a serem acessadas pelos diversos agentes, seja para atividades de manutenção, planejamento ou estudos, com diferentes prioridades quanto à velocidade e quantidade de informações. A recomendação é que sejam previstos bancos de dados em servidores locais para armazenar os dados não associados às telas de operação dos sistemas, permitam posterior acesso pelos órgãos interessados em uma informação mais detalhada.

Assim como o microprocessador passa a ser o elemento-chave para o universo de equipamentos digitais da subestação, os IED's assumem um papel central na definição das arquiteturas dos novos Sistemas Digitais. Por esta razão, é aconselhável modelar o sistema de baixo para cima, quer dizer, a partir da capacidade dos equipamentos que estão na base. É importante verificar se o hardware é compatível com as necessidades para aquisição de sinais e estados, com as lógicas que se pretende implementar, já desde um nível hierárquico mais baixo, e com as saídas para envio de comandos ou para a realização de lógicas em IED's adjacentes. Segundo Pereira et al. (2005), a utilização de IED's proporcionou inclusive o desenvolvimento de novas técnicas de proteção,

tornadas possíveis com o desenvolvimento da tecnologia da informação, tais como o uso de agentes remotos, em que os sistemas de proteção se comunicam com vários outros relés do sistema, constituindo uma rede de informações de proteção, interagindo com os diversos IED's locais e remotos e oferecendo proteção principal e de retaguarda aos elementos do sistema (PEREIRA et al., 2005, p.1).

A respeito do papel representado pela evolução das funções desses dispositivos, os autores situam que

os sistemas de proteção, controle e automação de subestações e usinas experimentaram importantes mudanças desde o advento dos processadores digitais de alta velocidade. Mais recentemente, a expressiva evolução dos sistemas de comunicação digital veio possibilitar o compartilhamento de informações entre os diferentes IED's (Intelligent Electronic Devices) das subestações ou usinas de forma rápida e segura (PEREIRA et al., 2005, p.1).

A chegada dos chamados *dispositivos eletrônicos "inteligentes"* veio atender a um antigo anseio de profissionais do setor, de disporem de equipamentos capazes de tomarem decisões autônomas, ou seja, mesmo em caso de perda de comunicação com concentradores de lógicas, situados em níveis hierárquicos superiores. A origem do termo está vinculada à influência de estudos e desenvolvimentos nas áreas de *inteligência artificial* e de *redes neurais* aplicados em soluções voltadas principalmente para o planejamento do Setor Elétrico.



Figura II.7 - Principais Características e Funções dos IED's

Quanto à adequação do termo - em termos literais - existem sérias discussões acerca da possibilidade de reprodução da inteligência humana e das características de um suposto "agente inteligente". Essas capacidades, resumidas por Stair (1988), são: aprender com a experiência; aplicar o conhecimento adquirido da experiência; tratar situações complexas; resolver problemas quando faltam informações importantes; determinar o que é importante; capacidade para raciocinar e pensar; reagir rápida e corretamente a novas situações; compreender imagens visuais; processar e manipular símbolos; ser criativo e imaginativo; e utilizar a heurística.

A capacidade de processar lógicas programadas, por maiores que sejam suas velocidades e "capacidades de memória", para o tratamento e armazenamento de dados, está longe desse

conjunto de atributos. Porém, a novidade representada pelos IED's e pela perspectiva de novas gerações de equipamentos multifuncionais, foram decisivos para receberem o atributo. Para uma discussão crítica sobre a aplicação de inteligência artificial para a proteção de sistemas elétricos de distribuição, utilizando dispositivos para a emulação da capacidade de aprendizado, sugere-se o artigo: “*Faltas de Alta Impedância*” (PEREIRA, 2006).

A utilização de dispositivos “inteligentes” para compor a camada mais elementar da arquitetura de um sistema de automação está diretamente relacionada com uma desejável descentralização de funções, realizadas tanto quanto possível no nível hierárquico mais baixo. Uma experiência desse tipo foi promovida pela *Companhia Paranaense de Energia Elétrica – COPEL*, que devido à alta concentração de informações de diversas subestações em um mesmo centro de Operação e da preservação da qualidade dos serviços, decidiu “implantar a automação nas subestações ao invés de simplesmente telecomando e supervisão” (MARQUEZ et al., 2005, p.2). A experiência da empresa aponta uma das tendências atuais no que se refere aos sistemas de proteção e de controle das empresas: a integração de proteções digitais ao sistema de automação de subestações. Segundo os autores,

os sistemas de Proteção, Controle e Automação anteriormente implantados nas subestações da COPEL eram compostos de diversos relés de proteção digitais e unidades de aquisição e controle (...). Contudo, não havia redundância de funções de proteção no circuito. O projeto de intertravamento, interligação e controle entre todas as funções e equipamentos era todo elétrico, ou seja, não havia troca de informações entre os relés através de comunicação digital (MARQUEZ et al., 2005, p.1).

A idéia principal deste tipo de migração, partindo de um sistema parcialmente digitalizado para um sistema integrado de proteção e controle, é a de aproveitar que uma grande parte dos dados necessários já está disponível nos relés de proteção digitais. Pelo aproveitamento desses dados na automação, relata-se que foi possível alcançar vantagens tais como: redução do número de equipamentos, simplificação do projeto, aproveitamento da redundância de dados já existentes e implantação de redundância de funções de proteção sem aumento de custos (IDEM).

Na visão de Pereira et al. (2005, p.4), utilizando informações extraídas diretamente dos relés digitais e de outros IED's sobre todos os componentes dos vãos das subestações, aproveitasse o fato de possuírem “alta taxa de aquisição de dados, confiabilidade elevada, redundância e possibilidade de sincronização de tempo”. Os autores acrescentam que a capacidade de armazenamento desses dispositivos permite também a posterior coleta de remota dos dados arquivados ou mesmo o envio automático de relatórios, sem prejuízo de sua atuação.

Uma experiência similar ao caso relatado da distribuidora do estado do Paraná, realizada por outra empresa de distribuição de energia elétrica no Brasil, no final dos anos 1990, pode ser encontrada em Pereira e Spritzer (2006). Entretanto, uma análise mais profunda dos dois casos revelará que, enquanto a primeira já possuía certa experiência na digitalização de suas instalações quando tomou a decisão de aproveitar os dados já digitalizados e disponíveis nos relés digitais

para criar um Sistema de Automação; a segunda possuía um parque instalado predominantemente constituído por componentes eletromecânicos, o que fez com que a decisão de “digitalizar” as proteções e o controle por meio de sistemas integrados ocorresse na mesma época. A comparação entre os dois casos permite constatar que qualquer empresa, baseada em sua própria realidade, deverá ser capaz de identificar as melhores soluções para seus projetos de modernização, uma vez que não existe uma “fórmula mágica” a ser seguida e o que deu certo em uma determinada organização não garante o mesmo êxito aplicado em contextos diferentes. Seja qual for a solução ou o caminho definido para a utilização da nova tecnologia digital, o que se observa em qualquer novo empreendimento, seja na geração ou na transmissão de energia, é uma tendência irreversível de utilização de sistemas digitais, tanto para a proteção como para o controle e a supervisão das instalações.

Uma das grandes dúvidas das empresas no momento de implementar a digitalização de seus sistemas consiste na definição de padrões para comunicação. Segundo Miranda (2005, p.1), “sistemas de comunicação sempre foram considerados fator crítico na operação em tempo-real dos sistemas de potência”.

Apesar das inúmeras vantagens dos sistemas digitais, as primeiras gerações de relés de proteção numéricos não ofereciam facilidades para exportação dos dados digitalizados para os concentradores. O uso de protocolos de comunicação proprietários atrelava os clientes a fornecedores cativos, resultando em dependência para efetuar modificações ou ampliações futuras, ficando desta forma, praticamente impossibilitados de utilizarem equipamentos de outros fabricantes em uma mesma instalação. A solução provisória para esta situação passou pela utilização de concentradores com a capacidade de “tradução” de protocolos, enquanto o futuro já apontava para o uso de protocolos de comunicação abertos.

Outra desvantagem dos primeiros sistemas digitais de controle de subestações consistia na dificuldade de aquisição de informações já digitalizadas em determinados dispositivos existentes nas instalações, tais como medidores eletrônicos, sistemas de controle de taps e de paralelismo de transformadores etc. Este fato, aliado ao anseio por parte dos gestores de plantas industriais em agregar em um sistema único os dados de seus sistemas de controle de processos e a supervisão e o controle dos sistemas elétricos, contribuiu para o desenvolvimento de um protocolo padronizado. Segundo Pereira et al. (2005, p.1), o desenvolvimento dos IED's e dos sistemas de comunicação digital, bem como a uma necessidade cada vez maior de informações para redução de custos das empresas de energia elétrica, no novo ambiente competitivo, levaram os principais institutos de pesquisa em Engenharia Elétrica e os fabricantes de relés “a desenvolverem sistemas de proteção e automação integrados, utilizando redes de comunicação local (LAN) altamente confiáveis e com protocolos abertos, facilitando o compartilhamento de informações entre IED's de

fabricantes diferentes”. São necessidades atuais das redes de comunicação em subestações e usinas:

comunicação de alta velocidade entre IED's, comunicação entre redes do sistema, alta disponibilidade, tempos de envio garantidos, interoperabilidade entre diferentes fabricantes, auto-configuração, alta segurança, facilidades de transferência de arquivos, facilidade para manejar amostras de dados de tensão e corrente (MIRANDA, 2005, pp.1-2).

Atualmente, para superar as dificuldades de integração anteriores, todos os grandes fabricantes de equipamentos para sistemas digitais anunciam possuir o protocolo IEC 61850 – *Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações*, implementado em seus dispositivos de proteção e nos IED's. Pereira et al. (2005) em seu artigo sobre o uso do protocolo, apresentam suas principais vantagens:

Presentemente, o desenvolvimento de subestações que utilizam sistemas digitais com maior grau de integração está recebendo um novo impulso, em razão da aprovação, em junho de 2003, do protocolo de comunicação padronizado e aberto IEC 61850 que se encontrava em desenvolvimento há vários anos. Este novo protocolo deverá facilitar em muito a integração entre os diversos equipamentos digitais da subestação ou usina, melhorando o desempenho global, tornando as informações acessíveis nos diversos pontos do sistema e atendendo aos diferentes tipos de usuários (operador local, operador do centro de controle, pessoal de manutenção, engenharia da proteção, análise de faltas etc.) (PEREIRA et al., 2005, p.1).

O padrão já é apontado entre os especialistas do setor como o novo paradigma para comunicação em sistemas digitais de proteção e controle de subestações e usinas:

entre muitos benefícios, a utilização da Norma IEC 61850 favorece ao usuário utilizar padrões de soluções de engenharia já depurados, independentemente do fabricante do produto, e favorece aos fabricantes/integradores, menor tempo de projeto, comissionamento, manutenção e grande escalabilidade de funções e facilidades de modernizações (MIRANDA, 2005, p.8).

As principais tendências de avanço apontadas no estudo de Pereira et al. (2005, p.7) para os sistemas de proteção, controle e supervisão apontam para a integração e automação de subestações e usinas, baseado no avanço da tecnologia dos IED's, cujas principais apostas estão mencionadas na Tabela II.2.

Apesar do horizonte promissor para as novas experiências com o paradigma digital, existe um conjunto grande de variáveis a ser considerado para a escolha dos padrões. Mesmo o protocolo IEC 61850 ainda começa a ser testado nas primeiras instalações. Seja qual for a decisão, o que sempre se deve ter em mente são considerações a respeito da capacitação dos recursos humanos da empresa para implementar projetos dessa natureza, sobre aspectos relativos à cultura organizacional, e sobre a capacidade econômica exigida, uma vez que projetos desse porte, normalmente são executados em etapas, por seus elevados custos para implantação.

Tabela II.2 – Tendências e Vantagens dos Avanços em Sistemas Digitalizados

Tendências Futuras	Vantagens
• Aumento da capacidade de processamento e	Automação distribuída, proteção adaptativa e

memória dos IED's	sistemas especialistas.
• Aquisição de dados de Transformadores de instrumentos por transdutores digitais	Eliminação de RTU's e cabos para intercâmbio de dados analógicos até o edifício de controle.
• Transferência de dados dos IED's através da rede de comunicações	Integração com RDP's, Seqüenciadores de Eventos, CLP's e outros sistemas de controle.
• Disparo dos disjuntores diretamente pelos relés de proteção	Redução de cabos e de relés auxiliares de interposição.
• Interfaces de Usuário gráficas baseadas em computador	Arranjo físico mais eficiente da casa de controle das subestações.
• Edifícios de controle de subestação menores	Apenas baterias, computador de subestação, processador de comunicações e controle via IHM.
• Segundo computador de subestação e redes WAN (back-up)	Aumentar a disponibilidade do sistema (redundância local e remota).
• Utilização de Sistemas de Posicionamento Global de Satélites (GPS)	Proteção digital intra e inter-subestações com sincronismo entre IED's locais e remotos.
• Uso de Tecnologia Orientada a Objetos (OOT)	Facilidades para modelagem dos sistemas e comunicação de dados.
• Uso de IED's de diferentes fabricantes	Interoperabilidade e intercambiabilidade.
• Processo de Migração e Adoção de novas tecnologias	Processo suavizado com facilidade de adoção e implementação.

Elaboração própria. (Adaptado de: PEREIRA et al., 2005, p.8).

Estudos para auxiliarem as empresas a decidirem as melhores formas de financiamento para seus projetos se tornam cada vez mais importantes e freqüentes, bem como se observa uma maior atenção ao processo de interação social dos membros das organizações, visando à construção de uma identidade organizacional. Não obstante esses dois aspectos, o foco deste trabalho está na evolução da capacidade da empresa em acumular competências tecnológicas. Uma vez que foi definida a área de engenharia de proteção, controle e supervisão como objeto de análise dessa trajetória, o item seguinte aborda resumidamente as principais atividades definidas na matriz de atribuições de FURNAS para esta função tecnológica.

II.4- Principais Atribuições da Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão de FURNAS

As quatro empresas de geração e transmissão subsidiárias do Grupo Eletrobrás – FURNAS, Chesf, Eletrosul e Eletronorte – possuem suas trajetórias marcadas por grandes projetos de engenharia. Esses empreendimentos significaram avanços para o país, tanto no aspecto dos benefícios que proporcionaram, pela expansão da oferta de eletricidade ao conjunto da população - sua face mais visível; como também na formação de mão-de-obra especializada e

reconhecida internacionalmente. Não foi por acaso que, em recente congresso organizado por uma renomada instituição para o progresso da Engenharia Elétrica (CIGRÉ), pediu-se especial atenção à palestra que seria proferida por um especialista brasileiro: na percepção de um “chairman” daquele encontro, nosso país está “ditando os rumos” da tecnologia de *Medição Fasorial*, área que tem sido foco de desenvolvimentos por fabricantes e empresas do Setor.

A construção de plantas de geração e de todo o complexo de transmissão que permite escoar a energia produzida a milhares de quilômetros dos centros consumidores, por um lado; e a manutenção de elevados índices de confiabilidade e disponibilidade na exploração de sistemas interligados, por outro; são normalmente determinantes para a existência de duas áreas de atuação distintas nas empresas de energia elétrica: uma dedicada aos novos empreendimentos para a expansão e outra para a gestão operacional das usinas, subestações e linhas de transmissão.

No caso da empresa Furnas Centrais Elétricas, essas áreas são representadas, em sua estrutura organizacional, por duas diretorias: a *Diretoria de Operação do Sistema e Comercialização de Energia (DO)* e a *Diretoria de Engenharia (DE)*. No organograma da empresa, a *Divisão de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão (DPCS.E)* está vinculada à Diretoria de Engenharia por meio do *Departamento de Engenharia Elétrica (DEL.E)*, cujo elo de ligação com a Diretoria de Engenharia se faz por meio da *Superintendência de Engenharia (SE.E)*. A DPCS.E surgiu pela fusão da divisão antes responsável somente pela engenharia de projeto de proteções – antiga DPRT.T, com a antiga Divisão de Controle e Supervisão – anteriormente denominada DSCS.T.

Segundo o Manual da Organização, a atribuição da DPCS.E é o gerenciamento de estudos, projetos e fornecimentos, quanto às atividades de engenharia de proteção, controle e supervisão para implantação de empreendimentos de transmissão e geração de energia.

As atividades de engenharia compreendem responsabilidades que vão desde o *planejamento* e o *projeto* até a colocação dos sistemas em operação (*comissionamento*), atividades que para efeito do presente estudo, foram designadas genericamente como subfunções tecnológicas. Essas atividades ou subfunções detalham as etapas genericamente cumpridas durante a implantação de qualquer projeto. Verifica-se, no documento da empresa, uma clara atenção de apresentar essas etapas tal qual a seqüência de um fluxograma. Cabe destacar que um ou mais desses itens não são necessariamente aplicáveis a todos os casos, mas a formatação ajuda a entender o processo realizado pela DPCS.E, conforme se apresenta a seguir:

- Captação de Ativos de Geração e Transmissão: no novo modelo do Setor Elétrico, as ampliações e obras visando à melhoria da capacidade e flexibilidade dos sistemas elétricos das empresas - implantação de novos vãos de linhas de transmissão; aumento

do número de bancos de transformadores; instalação de dispositivos para elevação da capacidade de transporte (ex: bancos de capacitores série) – elevam, simultaneamente, os índices de confiabilidade da Rede Básica, tendo sua remuneração prevista pela agência reguladora - ANEEL. Além disso, a mudança do paradigma anterior, no qual as empresas de transmissão detinham o monopólio natural para a exploração de novos empreendimentos em determinada área geográfica, para um ambiente de competição, em que os responsáveis pelos novos empreendimentos são definidos em leilões, exige a realização de avaliações técnicas; tanto para decisões sobre novas aquisições e participação societária em consórcios, quanto para a conexão de agentes externos, muitas vezes de origem privada. Segundo o Manual de FURNAS para a DPCS.E, esta tarefa se resume em subsidiar o Departamento (de Engenharia Elétrica) nos estudos, projetos, avaliações, características dos equipamentos e sistemas, custos e prazos para as Solicitações de Autorização para implantação de empreendimentos e respectiva remuneração, junto aos Órgãos Reguladores, para a Aquisição de Novos Ativos para a empresa e para a implantação de empreendimentos de Novos Conectantes;

- Planejamento: os projetos para implantação de sistemas de proteção, controle e supervisão devem estar em sintonia com o cronograma de obras estabelecido para a engenharia da empresa como um todo. Para tanto, é necessária uma iteração contínua com diversas áreas, principalmente com os órgãos de *planejamento* da expansão do sistema, de *construção* e acompanhamento de obras, e de *aquisições*, uma vez que as empresas públicas são geridas por regime próprio para contratações, cujos ritos processuais, muitas vezes, são potenciais causadores de atrasos nos empreendimentos. Com a finalidade de integrar os diversos setores envolvidos nas etapas dos empreendimentos de engenharia da empresa, FURNAS está implementando o software corporativo *GIEP – Gerenciamento Integrado de Engenharia de Projetos*, que permite o acompanhamento do cronograma dos projetos utilizando o “gráfico de Gantt”. A principal vantagem esperada pela utilização do aplicativo, que opera em rede, o que permite sua atualização e visualização pelos usuários em tempo real, está relacionada à identificação dos chamados “caminhos-críticos”, reduzindo a possibilidade de atrasos nas datas de energização dos projetos coordenados pela empresa. A subfunção *planejamento* na DPCS.E definida no Manual de FURNAS, consiste em: “Programar e orçar projetos e aquisição de sistemas de proteção, controle e supervisão, em articulação com os órgãos próprios da empresa”. Para efeito de análise do presente trabalho, a subfunção tecnológica *planejamento* incluiu as atividades de captação de ativos, descrita no tópico anterior;

- Estudos: a área de proteção, controle e supervisão, pelas características evolutivas da tecnologia com que opera, é sempre procurada pelas empresas interessadas em difundir inovações em produtos, cujos estudos resultam em recomendações técnicas para futuras aplicações. Vale ressaltar que estudos sobre *novas tecnologias* são indicadores da capacidade de aprendizado das organizações. No Capítulo III deste trabalho, este tópico será aprofundado, ao ser estudado o mecanismo de *aquisição-assimilação-aprimoramento* de tecnologias em países emergentes. O Manual da empresa refere-se à função *estudos* para designar as tarefas relacionadas à proposição “de estudos, projetos e serviços de engenharia de proteção, controle e supervisão e de implantação de *novas tecnologias*, diretamente ou por firmas contratadas, recomendando, nesses casos, firmas ou técnicos especializados e as bases para a contratação”. No presente trabalho, este tópico está incluído na subfunção *novas tecnologias*. Observa-se, por outro lado, que os estudos sobre novas tecnologias e seus respectivos fornecedores representam também um forte potencial estratégico para fugir dos cartéis de empresas dominantes, servindo de estímulo à competição, com benefícios aos processos de licitação futuros;
- Aquisição: a implementação dos projetos normalmente conduzidos pela DPCS.E envolve a compra de equipamentos e de sistemas com elevado grau de complexidade tecnológica. Portanto, mais do que simplesmente enumerar os elementos constitutivos de um determinado sistema, a elaboração de especificações técnicas e técnico-comerciais é de vital importância para minimizar problemas nas contratações, que podem ocorrer por informações conflitantes ou omitidas nos editais e especificações. Por outro lado, profissionais do setor elétrico afirmam que o padrão de qualidade de um fornecedor pode ser avaliado pelas informações contidas nos manuais de instrução (PUPPI E FILHO, 2005). Utilizando a mesma lógica, não será nenhum exagero concluir que, em contrapartida, as especificações técnicas dão importantes pistas para avaliar a capacidade tecnológica de uma empresa. Esta é a razão pela qual se optou, neste trabalho, pelo seu desmembramento da subfunção *aquisição*. O Manual de FURNAS menciona que é uma das atribuições da DPCS.E: “Elaborar as *especificações técnicas e técnico-comerciais* para aquisição de sistemas de proteção, controle e supervisão, emitindo a documentação necessária para sua contratação”. Além de elaborar as especificações, cabe também à Divisão o papel de coordenação das *licitações*, análise e esclarecimento de dúvidas durante a etapa de elaboração das propostas, e análise das propostas recebidas para julgar o cumprimento dos requisitos estabelecidos no Edital de Licitação; bem como da formação de um banco de dados contendo os preços das últimas aquisições, com o intuito de obter valores para referência futuras, para evitar o

fechamento de contratos de fornecimento com valores acima dos praticados no mercado. Segundo o Manual, cumpre à DPCS.E: “coordenar os processos de *licitação* de sistemas de proteção, controle e supervisão e participar da análise das licitações dos mesmos”; e “manter atualizado Banco de Dados com os índices de preços de sistemas de proteção, controle e supervisão”;

- Fornecimento: uma vez definido o vencedor da Licitação, e cumpridos os ritos para a contratação; a DPCS.E passa a acompanhar todas as etapas do *fornecimento*, exigindo que sejam cumpridos todos os requisitos previstos em edital. Algumas etapas típicas referem-se: às reuniões iniciais para a discussão de sua abrangência, sendo estabelecidas as definições formais dos fornecimentos (DFF ou *workstatement*); à programação de entrega de desenhos e revisões (PEDER); ao recebimento de documentos, tais como manuais de instrução, descritivos dos sistemas, diagramas esquemáticos elétricos e lógicos, vistas e dimensões dos equipamentos, bem como planos de inspeção e testes (PIT) e metodologias para implantação dos sistemas. Durante o fornecimento são realizados ainda os testes para verificar a funcionalidade dos sistemas propostos em laboratório, em que são realizadas visitas às fábricas dos fornecedores para a realização dos chamados testes de plataforma. Outros exemplos de testes realizados antes da liberação dos equipamentos para fabricação são os ensaios de tipo, de caráter destrutivo, com o objetivo de verificar condições-limite para a utilização de equipamentos, ante a ação de perturbações de diversas origens (mecânicas, térmicas, elétricas, atmosféricas, eletromagnéticas etc.). Devido ao seu elevado custo, normalmente esses ensaios são exigidos apenas na fase de desenvolvimento de um novo produto pelo fabricante, sendo aceitos certificados emitidos por laboratórios credenciados. Durante os fornecimentos, são realizados ainda os ensaios de aceitação, nos quais são testadas as funcionalidades definidas no projeto, também conhecidos como testes de aceitação de fábrica (TAF) e, finalmente, após a entrega dos materiais em campo, e antes de sua efetiva energização, são realizados os testes de aceitação em campo (TAF). O acompanhamento e a definição dos requisitos a serem testados durante os ensaios representam uma oportunidade de forte interação entre FURNAS e os fornecedores das tecnologias: atualmente FURNAS tem exigido que os fabricantes submetam seus relés digitais de proteção aos chamados ensaios de modelo, realizados em seu próprio Simulador Digital em Tempo Real (sobre este assunto, ver item I.7 deste trabalho). A responsabilidade da DPCS.E durante os fornecimentos consiste no acompanhamento da execução dos trabalhos de fabricação de equipamentos e sistemas de proteção, controle e supervisão sob sua responsabilidade, zelando pela fiel observância das especificações

e programação de fabricação e executar diretamente, ou coordenar, quando contratados, a inspeção, ensaios de tipo, rotina e de aceitação de equipamentos, sistemas e materiais sob sua responsabilidade;

- Projetos: conforme visto no item anterior, os fornecimentos exigem que sejam realizados novos *projetos* e revisões nos projetos existentes, para a adequação aos sistemas a serem implementados. A DPCS.E também especifica as condições a serem atendidas pelas projetistas para o cumprimento das exigências dos sistemas, gerencia a contratação de projetos, bem como participa da elaboração dos projetos básico e executivo. Uma das principais ferramentas desenvolvidas internamente na empresa, utilizada para a gestão dos desenhos, consiste em um repositório de desenhos digitalizados, organizados em uma base de dados que pode ser acessada via aplicativo na rede corporativa. O *Sistema de Gerenciamento de Desenhos Técnicos (SGDT)* é um aplicativo que permite a consulta aos desenhos e diagramas esquemáticos por usuários cadastrados, por meio de uma conexão à Internet, com facilidades para o compartilhamento de desenhos com projetistas externos, dando maior agilidade ao processo de revisão de projetos. São responsabilidades da DPCS.E: elaborar as especificações técnicas e técnico-comerciais para contratação dos projetos de sistemas de proteção, controle e supervisão; coordenar os processos de licitação, estudos e projetos sob sua responsabilidade e participar da análise das licitações dos mesmos; elaborar diretamente ou fiscalizar a elaboração e liberar, quando contratados, os projetos de engenharia elétrica sob sua responsabilidade;
- Implantação e Comissionamento: conforme se mencionou no tópico *fornecimento*, os sistemas de proteção, controle e supervisão, antes de serem colocados em operação comercial, passam por uma última etapa de testes em campo. A realização desses testes permite a verificação final sobre a correção na aquisição de sinais do pátio externo, no envio de comandos para outros dispositivos, nas leituras de valores medidos e na interface com outros equipamentos da instalação. No caso de sistemas digitais, são verificações importantes: o cheque dos canais de comunicação, a confirmação sobre o envio e recebimento de dados nos diversos níveis hierárquicos da arquitetura, e testes sobre a correta indicação das telas das interfaces homem-máquina. As atribuições da DPCS.E, neste caso, são: prestar assistência aos órgãos de Construção e acompanhar o desenvolvimento das obras na implantação de projetos e instalação dos equipamentos e sistemas de proteção, controle e supervisão; e apoiar os órgãos próprios de Construção e Operação, nas atividades de comissionamento de subestações, usinas e linhas de transmissão.

Além das funções citadas, o Manual da Organização prevê o tópico “Garantia”, cuja atribuição se refere ao acompanhamento dos sistemas após a colocação em serviço, durante o início de sua operação, normalmente quando ajustes e correções podem se fazer necessários, até o fim do período definido pela garantia contratual. Existem ainda outras funções detalhadas no escopo da Divisão, como serviços referentes às ampliações e modernizações, participação em grupos de estudos e comitês técnicos, prestação de serviços externos e participação no Sistema de Qualidade da empresa. Para efeito do presente estudo, alguns desses itens foram agrupados nas seis subfunções (Planejamento – Projeto – Especificações – Licitações – Fornecimentos – Novas Tecnologias) definidas para a análise da trajetória de acumulação de capacidade tecnológica na função Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão.

O processo de definição de atribuições de setores da empresa é dinâmico e está influenciado pelo contexto em que a organização está inserida. Mudanças nos cenários externo e interno demandarão revisões de algumas funções, ampliando o leque de atividades já exercidas. A própria relação da empresa com os profissionais passa a ser motivo de reavaliação, uma vez que, o ambiente competitivo requer talentos humanos valorizados como fator de diferenciação.

O funcionário desatualizado não tem valor para a organização e esta, sem conhecimento apropriado, tende a perder participações no mercado, conseqüentemente receitas, e por fim, a capacidade de contratar e reter colaboradores valiosos, que acabam sendo contratados por outras organizações (GOLDMAN E QUELHAS, 2007, p.7).

O último item deste capítulo apresenta alguns impactos que essas mudanças já estão provocando nos sistemas de transmissão, e por conseqüência, para a proteção, o controle e a supervisão desses sistemas.

II.5- Novos Desafios para a Transmissão: Riscos e Oportunidades

As mudanças nas estruturas regulatória e tecnológica do Setor Elétrico a partir dos anos 1990 foram objeto de análise do primeiro e segundo capítulos deste trabalho. Os dois processos estão intrinsecamente conectados e imbricados, porquanto já não se visualiza a existência de um sem o outro. Dessa forma, o novo ambiente competitivo do Setor influencia e é influenciado pelo fator tecnológico, estimulando o desenvolvimento de novos produtos e serviços e utilizando informações disponibilizadas em tempo real, respectivamente.

Por outro lado, Camargo (2006) ao recordar o papel preponderante da transmissão no novo modelo competitivo implantado pela reestruturação do Setor, tece algumas considerações que ainda deverão permanecer como desafios a serem enfrentados:

A transmissão é o elo essencial entre os produtores de energia elétrica e os consumidores, sendo fundamental para o sucesso do suprimento da energia necessária para o funcionamento da moderna sociedade industrial. Como resultado das crescentes mudanças no setor de energia elétrica, o padrão de uso dos sistemas de transmissão tem sido alterado nos últimos anos. O aparecimento do acesso

livre e a crescente competição nos preços da energia têm alterado a maneira de as empresas do setor gerenciarem seus negócios. Como resultado, o sistema de transmissão tem demonstrado claramente sinais de estresse determinados por um uso mais intenso e da falta de investimentos adequados por parte dos agentes do setor (CAMARGO, 2006, p.232).

Segundo Goldman e Quelhas (2007), o novo ambiente de negócios, em que as transmissoras tradicionais (inclusive FURNAS) necessitam desempenhar novos papéis, já não pode mais ser visto como complicado, mas sim como de complexidade crescente:

As Transmissoras Tradicionais passaram a ter participações em Sociedades de Propósito Específico (SPE), atender às políticas de governo, a compartilhar instalações e estão constantemente lutando por novas concessões, em um emaranhado de situações em que parceiros, fornecedores, consumidores, concorrentes etc. constantemente mudam de papéis (GOLDMAN E QUELHAS, 2007, p.3).

Os autores sustentam ainda que os processos de transformação e reestruturação econômica têm exposto as organizações ao desafio constante de se adaptarem a essas novas realidades, e que já não é mais possível uma “visão linear dos negócios baseada na linha de produção industrial (...) limitada e completamente inadequada para compreender e se adequar”. Para responder a esse desafio, os autores argumentam que

empresas transmissoras tradicionais precisarão mais do que simplesmente treinar e desenvolver seus colaboradores de acordo com suas necessidades funcionais. Precisarão manter um processo de aprendizado contínuo para desenvolver qualificações estratégicas. Deverão capacitar seus gerentes e funcionários visando à difusão do conhecimento para a formação de equipes com capacidade inovadora e empreendedora (IDEM, p.4).

Do ponto de vista da exploração dos sistemas, Goldman (2006, p.4) conceitua que “no âmbito do novo modelo, uma Empresa de Transmissão está sustentada na prestação de serviços na forma de disponibilidades de seus ativos (linhas, equipamentos e instalações)”. Dessa forma, as concessionárias de transmissão têm sua remuneração fixada pela ANEEL em termos de uma “receita teto”, baseada no tempo que manteve disponível seu sistema, denominada *Receita Anual Permitida – RAP*. Melhorias e reforços nos sistemas de transmissão, quando autorizadas pela Agência, correspondem ao pagamento de parcelas adicionais. Os prazos para implantação dos novos empreendimentos, também fixados pela Agência, definem sua data de energização. Atrasos na entrada em operação significam a perda irrevogável de receitas, e mais: utiliza-se o método de fluxo de caixa descontado, com pagamentos anuais durante o período de amortização de 30 anos, sendo que, a partir da metade desse período, os valores se reduzem à metade. Ou seja: a perda das receitas iniciais por atraso pode causar a perda de valores superiores a *um trinta avos* da receita, prejudicando totalmente a saúde financeira de um projeto. Sobre esta forma de remuneração, Goldman conclui que: “Fica claro que uma empresa Transmissora de Energia Elétrica precisará estar sempre participando e vencendo novos leilões de modo a garantir sua permanência no negócio” (GOLDMAN, 2006, p.4).

Por outro lado, é introduzido o conceito de *Parcela Variável – PV*, como fator para penalização das empresas por indisponibilidades em seus sistemas, a ser descontado da RAP.

Este conceito está obrigando as empresas a repensarem a questão do risco do negócio, o que em última análise, pode representar prejuízos significativos para essas empresas. Sobre este aspecto, o autor enfatiza que:

Passa-se da aversão ao risco para uma nova condição de, continuamente, avaliar e assumir riscos. Dentre esses riscos destaca-se o não atendimento à remuneração do(s) investidor(es) no negócio. Este novo cenário está repercutindo de uma forma muito direta na forma de planejar, projetar, construir, operar e manter o sistema de transmissão. O ideal seria que as linhas e SE's estivessem continuamente disponíveis. Infelizmente, isso não é física nem economicamente viável, devido ao conjunto de incertezas e a fatores aleatórios presentes. Eventuais indisponibilidades em equipamentos, por curto-circuito, operação de disjuntores, manutenção ou falha de equipamentos, mesmo que de curta duração, podem resultar em interrupções na transmissão, para a qual haverá a aplicação de um desconto na RAP (...). A PV é um fator de risco em função do peso exagerado da penalização, que pode afetar o desempenho financeiro das empresas transmissoras (GOLDMAN, 2006, pp.4-5).

Portanto, não é difícil perceber que o novo modelo, ao privilegiar aspectos econômicos, tais como garantia de receitas e taxas de retorno de investimento, adiciona um ingrediente a mais à contradição *continuidade versus preservação do sistema*, mencionada no início deste capítulo, com potenciais prejuízos aos aspectos técnicos que sempre foram preponderantes nos empreendimentos relacionados ao Sistema Interligado Nacional.

Goldman e Quelhas (2007) sustentam que a resposta adequada a este novo ambiente complexo e desafiador, passa pelo conceito de Senge (1990) de “uma organização que aprende continuamente”, a qual estaria “moldada para encorajar todos a continuar pensando, inovando, colaborando, falando abertamente, melhorando suas capacidades, comprometendo-se pessoalmente com seus futuros coletivos”. Diante da necessidade de estimular a aprendizagem, identificada com as capacidades “de aprender mais rápido, de inovar e de empreender”, os autores sugerem a implementação do que definiram “inteligência empresarial”, ou seja, “a capacidade de uma organização, empresa ou setor específico compreender, aprender e adaptar-se, mais rápido que seus concorrentes, ao seu ambiente de negócios” (GOLDMAN E QUELHAS, 2007, pp.3-4).

A necessidade de se criar uma cultura de aprendizagem, cada vez mais, é um objetivo a ser buscado por qualquer organização. Os riscos impõem a necessidade de soluções inovadoras para os novos contextos. Entretanto, para que se convertam em oportunidades, saber *onde* se quer chegar não é o suficiente.

Em FURNAS, muitos esforços têm sido envidados em busca desse objetivo: Workshops, forças-tarefa em planos de planejamento estratégico, programas de autodesenvolvimento, projetos de apoio à formação profissional etc.; todavia, não foi detectado nenhum estudo apresentando respostas práticas que indiquem *como* alcançar este objetivo. Figueiredo (2005, p.61) sustenta que “a busca sistemática e disciplinada de respostas pode conduzir a uma estratégia de inovação industrial focada e coerente”. Para o autor, as perguntas cruciais são:

Onde estamos em termos de capacidade tecnológica?; Quanto tempo levamos para chegar até aqui?; Por quanto tempo estamos “estacionados” em um determinado nível de capacidade para uma função tecnológica específica?; Quão distante estamos da fronteira tecnológica internacional?; Onde queremos estar até o ano x ?; Quais são os recursos e como geri-los para alcançar um nível de capacidade tecnológica em x número de anos? (FIGUEIREDO, 2005, p.61).

No próximo capítulo, são aprofundadas questões que ajudarão a entender os processos de inovação, aprendizagem e de acumulação de capacidades tecnológicas nas empresas e estabelecidos os referenciais teóricos para este trabalho. No Capítulo IV são apresentados os resultados de uma aplicação empírica do modelo de análise de trajetória de acumulação tecnológica na função Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão de FURNAS. Respostas a algumas das questões referentes à estratégia de inovação da empresa bem como proposições para futuros estudos são tecidas nas Considerações Finais.

CAPÍTULO III – INOVAÇÃO E ACUMULAÇÃO TECNOLÓGICA

III.1- As (R)evoluções Tecnológicas e a Inovação

Os avanços tecnológicos, em diversas áreas do conhecimento, tais como tecnologia dos materiais, computação, telecomunicações e biotecnologia demonstram que parece não haver limite para a imaginação humana na busca de soluções que elevem os padrões do que atualmente se convencionou chamar “qualidade de vida”.

Segundo Grinspun (2001, p.49), o aumento da eficiência humana “em todas as esferas, incluindo a produção” corresponde ao principal objetivo da tecnologia. Entretanto, recomenda-se cautela e senso crítico para um exame mais cuidadoso, em vista de divergentes e controversos pontos de vista sobre o tema. A respeito do fascínio exercido pela tecnologia no atual estágio de nossa sociedade, a autora recorda Enguita (1988), advertindo que:

poucas coisas despertam hoje dose bem elevada de fetichismo como a tecnologia. Nas gerações passadas atribuíam-se todos os bens e males, aos espíritos, ao destino e à vontade divina, sendo que no presente, somos levados a nos extasiarmos diante da evolução da tecnologia. Ela possui uma visão otimista que é a de libertar-se do esforço, trabalhos desagradáveis e rotinas, sendo a visão pessimista responsável desde a alienação do trabalho até o esgotamento dos recursos, chegando á destruição universal (ENGUITA, 1988 apud GRINSPUN, 2001, p.49).

A expectativa criada em torno da tecnologia como portadora de todas as soluções para os mais graves problemas da humanidade não se confirmou. No que diz respeito à convivência, persistem a desigualdade, a fome, a miséria, a intolerância, o totalitarismo, a guerra. Por outro lado, sucessivas agressões ao meio ambiente, traduzidas em fenômenos como poluição, desertificação e aquecimento global são indícios de uma relação precária do Homem com o Planeta, com claros sinais de esgotamento de um modelo de sociedade intensiva no consumo de combustíveis fósseis.

As conquistas que nos permitem um aumento da potencialidade humana, e seu contraponto, ou seja, o uso desses avanços para fins que atentam contra a vida e a dignidade do ser humano e a natureza, são fatores que ensejam o surgimento de outras formas de convívio e relacionamento. Crescem em todo o mundo os debates em torno de temas como a ética, a cidadania e a sustentabilidade. O modelo centrado unicamente na competição exacerbada se vê influenciado e questionado pelo *trabalho colaborativo* (Pithon, 2004). A *empresa em Rede* (Turban et al., 2004) se afasta dos moldes hierárquicos tradicionais e o individualismo no ambiente de trabalho cede lugar ao trabalho em equipe. Em contrapartida, são valorizadas idéias e atitudes em torno do aumento da competitividade, da desregulamentação, da agilidade e da personificação como diferenciais na corrida pelos mercados existentes e na criação de novos tipos de mercados. Neste contexto, Lastres e Ferraz (1999), ao comentarem as mudanças técnicas, organizacionais e

institucionais ocasionadas pelo novo paradigma técnico-econômico, representado pela difusão das Tecnologias de Informação e Comunicação – TIC's, argumentam que

novas possibilidades de crescimento foram mais intensamente buscadas, ao mesmo tempo em que aumentaram as possibilidades políticas, econômicas e sociais de viabilizar as soluções. Dentre as alternativas disponíveis destacavam-se, evidentemente aquelas que apresentavam as melhores perspectivas para a retomada do processo de crescimento. Assim, é que se tem justificado a ênfase, no plano econômico, evidenciada com maior clareza nos anos 1980, conferida à: questão da competitividade e o subsequente acirramento da mesma; importância da inovação, pesquisa e desenvolvimento, de forma particular (mas não exclusiva) nas novas áreas e setores; desenvolvimento de modelos e sistemas visando à maior interação intra e entre os diferentes agentes econômicos, técnico-científicos, políticos e reguladores (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.38).

Neste contexto, ganha espaço a idéia de inovar, ou seja, de alcançar os mesmos resultados - mais ainda: de superá-los, através de novos produtos, processos e estruturas. Para Oliveira (2001, p.6), “a busca pela inovação é uma variável constante para as firmas continuarem crescendo e permanecerem competitivas”. Todavia, o processo de inovação aqui referido, não se trata apenas da simples implementação de medidas esporádicas para melhorias nesses três níveis. A aplicação sistemática de medidas e de estratégias políticas, testadas e acompanhadas de forma consistente, é o que irá permitir o avanço na construção de capacidades tecnológicas inovadoras. Ao longo deste capítulo, este e outros importantes conceitos correlacionados serão abordados e aprofundados.

É importante ter em vista que inovar implica em correr riscos (Tigre, 2006; Fregni, 2006). Segundo defende Morin (2004), “a maior contribuição de conhecimento no século XX foi o conhecimento dos limites do conhecimento. A maior certeza que nos foi dada é a da indestrutibilidade das incertezas, não somente na ação, mas também no conhecimento” (MORIN, 2004, p.55). Entretanto, vivendo na *Era da Incerteza*, o risco maior corresponde ao de não inovar. Para entender este paradoxo, é necessário entender que a atual dinâmica da economia não permite a nenhum ator, seja no plano individual ou no coletivo, permanecer imóvel em relação às mudanças ocorridas, principalmente no que diz respeito a um imperativo por maior e melhor capacitação.

De acordo com Lastres e Ferraz (1999, p.27), “nesses tempos incertos a intensa taxa de mudança técnica, mercados internacionalizados e desregulados constituem oportunidades e ameaças para países, empresas, trabalhadores, consumidores e cidadãos”. Os autores sustentam que a inteligência e a competência sempre foram fundamentais para o desenvolvimento econômico das sociedades de todos os tempos, sendo a informação e o conhecimento pilares dos modos de produção.

Todavia, existe uma incompatibilidade entre “as especificidades da produção e distribuição de conhecimentos com os enfoques e modelos que predominam na denominada teoria econômica tradicional, de base neoclássica” (LASTRES E FERRAZ, 1999, pp.27-28). Na mesma linha, Tigre

(2006) afirma que o final do século XX caracterizou-se como o momento de mudança do paradigma *fordista*, “intensivo no uso de energia e materiais” para uma assim chamada “revolução em miniatura”, requerendo novas teorias para dar conta dessas transformações:

Diante dos impactos econômicos, sociais e políticos do chamado novo paradigma técnico-econômico, as idéias de Schumpeter foram retomadas pela corrente de pensamento que veio a ser conhecida como ‘evolucionista’ ou neo-schumpeteriana. Ao mesmo tempo, observa-se o crescimento de análises de cunho institucionalista que enfatizam a visão sistêmica entre a empresa e o ambiente externo condicionante de seu desempenho tecnológico e competitivo. Tais teorias, embora ainda apresentem muitas lacunas, constituem a tentativa mais bem articulada de construir um novo corpo teórico para a análise da firma e do processo de mudança tecnológica (TIGRE, 2006, p.53).

Por outro lado, o grupo de nações ao qual que se convencionou denominar como *países em desenvolvimento* ou *economias emergentes*, caso do Brasil e de outros países da América Latina, da Ásia e da África, enfrenta com dificuldades as rápidas mudanças de cenário e tem merecido estudos especiais sobre suas idiossincrasias. Na atualidade, muito já se avançou em termos da construção de uma teoria específica para esses países, enquanto crescem as pesquisas que visam à confirmação do papel protagonista de algumas dessas regiões em relação ao empreendimento de atividades inovadoras. O referencial teórico aqui apresentado foca algumas das principais contribuições, encontradas em: Lall (1992), Bell & Pavitt (1993; 1995), Figueiredo (2003; 2004; 2005; 2006); Ariffin & Figueiredo (2004) e Dutrénit (2004; 2006), essenciais para o entendimento do processo de aquisição de capacidades tecnológicas nessas economias.

Neste capítulo, além do estabelecimento de alguns conceitos-chave para o entendimento do papel da inovação tecnológica para o desenvolvimento das nações, apresenta-se uma breve revisão de estudos que aprofundaram questões referentes ao aprendizado e ao processo de acumulação de capacidades tecnológicas em países que operam nas chamadas *Economias de Industrialização Recente – EIR’s*. Nesta revisão, serão abordadas ainda algumas das principais características diferenciadoras desses países em relação aos países tecnologicamente avançados. Mais adiante, será apresentado o questionamento que se tem levantado com relação ao uso de indicadores tradicionais para a mensuração de capacidades inovadoras em países das EIR’s, sendo proposta uma maneira alternativa para o reconhecimento e a medição dessas capacidades nesses países, para os quais, o *mainstream*, isto é, as teorias econômicas convencionais não disponibilizam ferramentas sob-medida.

III.2- Inovação Tecnológica e Desenvolvimento

A associação da tecnologia com a busca da eficiência na produção tem sido objeto de análise de estudiosos interessados em construir modelos que representem seu grau de influência para o avanço da competitividade de países e de diferentes seguimentos da indústria.

Segundo Oliveira (2001), “é consenso nas Ciências Econômicas que a inovação tecnológica é essencial para a manutenção do crescimento”; posto que “o rompimento e/ou aperfeiçoamento das técnicas e processos de produção (...) pode trazer ganhos em termos de competitividade”. Entretanto, dado que empresas e países estabelecem diferentes arranjos e estratégias, “o ambiente ideal para o desenvolvimento da capacitação, difusão e inovação tecnológica, não é, ainda, consenso entre os economistas” (OLIVEIRA, 2001, p.6).

Lastres e Ferraz (1999) recordam que economistas ainda na metade do século XX, apesar de reconhecerem o conhecimento como fator dominante nos processos econômicos, já se deparavam com imensa dificuldade para “tratar com tema tão escorregadio”. O debate foi ainda mais aquecido após as “transformações vividas nas duas décadas finais do século XX” que “provocaram mudanças significativas nas formas de produção e distribuição de informações e conhecimentos” (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.28). Neste cenário, é possível identificar um ciclo com constante realimentação:

A forte influência das inovações tecnológicas no crescimento econômico não é direta, mas (dedutível) pela parcela não explicada pelo capital e pelo trabalho. É representada pela melhoria da qualidade de máquinas e equipamentos utilizados, elevando a produtividade da mão-de-obra empregada e o crescimento do produto e do emprego, por meio do retorno do investimento, assegurando os lucros, que estimulam a ação empresarial, a produção e a adoção de novas tecnologias (OLIVEIRA, 2001, p.6).

Todavia, para que este ciclo se mantenha ativo, há que se garantir o acesso ao conhecimento tecnológico necessário para empreender atividades inovadoras. Durante muito tempo, as teorias ortodoxas consideraram a tecnologia um fator externo à firma, assumindo-a como “mercadoria que poderia ser vendida, transferida etc.”, assim como freqüentemente assumiam os conceitos de informação e conhecimento como sinônimos (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.30). Segundo Lall (1992), a literatura tradicional considera a tecnologia como livremente disponível para todos os países e firmas, e mesmo admitindo defasagens dos países em desenvolvimento, há equívocos ao assumir que:

não haveria problemas em assimilar tecnologia transferida dos países avançados tecnologicamente; não haveria necessidade de adaptações, pois as alternativas estariam disponíveis para todos os preços dos fatores; todas as firmas permaneceriam igualmente eficientes; o aprendizado organizacional específico da firma ou esforço tecnológico seria desnecessário ou irrelevante (LALL, 1992, p.165).

Os modelos e análises da chamada “economia da inovação” questionaram esses argumentos e aprofundaram o debate, estabelecendo distinções bastante úteis para a compreensão dos processos de aquisição e transferência de conhecimentos.

Informação e conhecimento estão correlacionados, mas não são sinônimos. Também é necessário distinguir dois tipos de conhecimentos: os conhecimentos codificáveis – que, transformados em informações, podem ser reproduzidos, estocados, transferidos, adquiridos, comercializados etc. – e os conhecimentos tácitos. Para estes a transformação em sinais ou códigos é extremamente difícil já que sua natureza está associada com processos de aprendizado, totalmente dependentes de contextos e formas de interação sociais específicas (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.30).

Os autores se referem a um sentido econômico para os conceitos “informação” e “conhecimento” pela corrente denominada evolucionista ou neo-schumpeteriana:

Ao contrário dos economistas ortodoxos, a escola neo-schumpeteriana aponta a importância de esforços explícitos para a geração de novos conhecimentos como também para sua introdução e difusão no sistema produtivo. Este é o processo que conduz ao surgimento de inovações, considerado fator-chave para o processo de desenvolvimento (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.31).

Com relação à abordagem evolucionista, Figueiredo (2005) sustenta que foram realizados, a partir dessa perspectiva, vários estudos com ênfase na capacidade tecnológica como fonte de diferenças entre o progresso industrial e o crescimento econômico de indústrias e países:

Um ponto em comum nesses estudos é a rejeição à abordagem da economia ortodoxa, na qual a tecnologia era considerada meramente como informação e apenas uma variável exógena nos modelos de desenvolvimento econômico. Os estudos neo-schumpeterianos apontavam o caráter tácito e intrínseco da tecnologia como um dos fatores para explicar a impossibilidade de sua transferência automática de um contexto para outro. Isso, por sua vez, estava no seio das explicações das diferenças entre empresas e setores industriais em termos de performance técnico-econômica (FIGUEIREDO, 2005, p.55).

Na mesma linha, Tigre (2006) critica a “propriedade de auto-organização da firma” defendida por autores neoclássicos, segundo a qual os mercados seriam capazes de selecionar de maneira eficaz as empresas capacitadas a se comportarem de maneira competitiva, desconsiderando o “ambiente coletivo de flutuações de agentes individuais com rotinas e capacitações distintas”. Em resposta àquela, evolucionistas propuseram o chamado “princípio da pluralidade de ambientes de seleção”, o qual

permite explicar a existência de trajetórias tecnológicas diferentes e grande variedade de estruturas de mercado e de características institucionais dos ambientes nos quais as firmas evoluem. Tecnologias e estruturas de mercado são consideradas idiossincráticas ao tipo de indústria e à natureza dinâmica das configurações particulares que condicionam o processo competitivo. É necessário, portanto, conhecer a natureza das barreiras à entrada, da regulamentação, do grau de competição e das possibilidades de explorar economias de escala e de escopo (TIGRE, 2006, p.59).

Segundo Figueiredo (2004), a partir da elaboração do *I Plano Nacional de Desenvolvimento – PND (1972/74)* e do *Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PBDCT (1973/74)* a política tecnológica entrou formalmente na agenda governamental do Brasil. Nos anos 1990, “uma profusão de estudos baseados em ‘diagnósticos’, descrições, análises e propostas relativas ao desenho, redesenho e implementação de política tecnológica no Brasil orientada para a inovação, desenvolvimento econômico e inserção da economia no mercado internacional” surge para aprofundar temas como a *Competitividade da Economia Brasileira (1993)* e a importância do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I), com a publicação, em 2002, do *Livro Branco da Ciência, Tecnologia e Inovação (FIGUEIREDO, 2004, p.326)*. Entretanto, o autor assinala que,

em detrimento do uso indiscriminado de certos termos relacionados à inovação tecnológica, “tanto no discurso como em documentos acadêmicos, governamentais e de consultoria”, há necessidade de apresentar algumas definições e conceitos para o melhor entendimento do tema, para evitar interpretações que possam deturpar a implementação de estratégias de inovação industrial (IDEM, p.327).

Na Figura III.1 são apresentados alguns conceitos básicos em pesquisas sobre inovação, extraídos da *Pesquisa Industrial-Inovação Tecnológica 2000 - PINTEC 2000*, cuja referência metodológica encontra-se no *Manual de Oslo*.

Lastres e Ferraz (1999), ao recordarem a importância do ambiente político, social e econômico, classificam as inovações de duas formas distintas e complementares:

- Inovações tecnológicas: referem-se à utilização dos conhecimentos sobre novas formas de produzir e comercializar bens e serviços;
- Inovações organizacionais: referem-se à introdução de novos meios de organizar empresas, fornecedores, produção e comercialização de bens e serviços (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.31).

Mais adiante, neste capítulo, serão discutidos os conceitos de capacitação tecnológica e capacitação organizacional decorrentes das definições acima. Segundo sustenta Figueiredo (2005), “em razão da natureza tácita e ampla da capacidade tecnológica, não se faz distinção entre capacidade tecnológica – ou entre tecnologia e organização -, já que a última é parte integrante da primeira”. Para o autor, ocorre, porém “uma tendência a negligenciar-se a dimensão organizacional da capacidade tecnológica” (FIGUEIREDO, 2005, p.57). Antes de tratar mais especificamente dos aspectos relacionados à gestão da capacidade inovadora em regiões onde o desenvolvimento tecnológico ocorre de maneira “truncada”, e adentrar no foco principal deste capítulo - que corresponde à métrica para avaliação do acúmulo de capacidades tecnológicas, são apresentados, a seguir, alguns conceitos-chave para o entendimento do atual momento técnico-econômico mundial.

Inovação tecnológica

Definida pela entrada no mercado de um produto (bem ou serviço) tecnologicamente novo ou substancialmente aprimorado pela introdução de um processo produtivo tecnologicamente novo ou substancialmente aprimorado na empresa, não sendo, necessariamente, novo para o mercado/setor de atuação, podendo ter sido desenvolvido

	pela empresa ou por outra empresa/instituição. Pode resultar de novos desenvolvimentos tecnológicos, de novas combinações de tecnologias existentes ou da utilização de outros conhecimentos adquiridos pela empresa.
Produto tecnologicamente novo	É um produto cujas características fundamentais (especificações técnicas, usos pretendidos, <i>software</i> ou outro componente imaterial incorporado) diferem significativamente de todos os produtos previamente produzidos pela empresa.
Significativo aperfeiçoamento tecnológico	Refere-se a um produto previamente existente, cujo desempenho foi substancialmente aumentado ou aperfeiçoado. Um produto simples pode ser aperfeiçoado (no sentido de obter melhor desempenho ou menor custo) por meio da utilização de matérias-primas ou componentes de maior rendimento. Um produto complexo, com vários componentes ou subsistemas integrados, pode ser aperfeiçoado por mudanças parciais em um dos componentes ou subsistemas. Não são incluídas as mudanças puramente estéticas ou de estilo e a comercialização de produtos novos integralmente desenvolvidos e produzidos por outra empresa.
Processo tecnologicamente novo ou substancialmente aprimorado	Envolve a introdução de tecnologia de produção nova ou significativamente aperfeiçoada, assim como de métodos novos ou substancialmente aprimorados para manuseio e entrega de produtos (acondicionamento e preservação). O resultado de sua adoção deve ser significativo em termos de nível e qualidade do produto ou custos de produção e entrega. Pode ter por objetivo a produção ou entrega de produtos novos ou substancialmente aprimorados, que não possam utilizar os processos previamente existentes, ou simplesmente aumentar a eficiência da produção e da entrega de produtos já existentes.
Atividades inovativas	São atividades representativas dos esforços da empresa voltados para a melhoria do seu acervo tecnológico e, conseqüentemente, para o desenvolvimento e a implementação de produtos ou processos tecnologicamente novos ou significativamente aperfeiçoados.
Pesquisa e desenvolvimento (P&D)	Compreende o trabalho criativo, empreendido de forma sistemática, com o objetivo de aumentar o acervo de conhecimentos e o uso desses conhecimentos para desenvolver novas aplicações, tais como produtos ou processos novos ou tecnologicamente aprimorados. O desenho, a construção e o teste de protótipos e de instalações-piloto constituem, muitas vezes, a fase mais importante das atividades de P&D. Inclui também o desenvolvimento de <i>software</i> , desde que este envolva um avanço tecnológico ou científico.

Figura III-1 – Conceitos Básicos das Pesquisas em Inovação

Aquisição externa de P&D	São as atividades de P&D realizadas por outra organização (empresa ou instituição tecnológica) e adquiridas pela empresa.
Aquisição de outros conhecimentos externos	Refere-se a acordos de transferência de tecnologia originados da compra de licença de direitos de exploração de patentes e

	uso de marcas, aquisição de <i>know-how</i> , <i>software</i> e outros tipos de conhecimentos técnico-científicos de terceiros, para que a empresa desenvolva ou implemente inovações.
Aquisição de máquinas e equipamentos	É a aquisição de máquinas, equipamentos, hardware, especificamente comprados para a implementação de produtos ou processos novos ou tecnologicamente aperfeiçoados.
Treinamento	Treinamento orientado ao desenvolvimento de produtos/processos tecnologicamente novos ou significativamente aperfeiçoados e relacionados às atividades inovativas da empresa, podendo incluir aquisição de serviços técnicos especializados externos.
Cooperação	Para inovação significa a participação ativa em projetos conjuntos de P&D e outros projetos de inovação com outra organização (empresa ou instituição). Isso não implica, necessariamente, que as partes envolvidas obtenham benefícios comerciais imediatos. A simples contratação de serviços de outra organização, sem a sua colaboração ativa, não é considerada cooperação.

Fonte: IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Inovações, Padrões Tecnológicos e Desempenho das Firmas Industriais Brasileiras, 2005, pp. 711-713.

Figura III-1 – Conceitos Básicos das Pesquisas em Inovação (continuação)

III.3- A Era Digital e o Novo ‘Esperanto de Zeros e Uns’

Uma das principais contribuições da literatura a respeito dos fatores-chave para a mudança do regime ou do padrão tecnológico ao longo dos tempos refere-se ao conceito de paradigma técnico-econômico. Segundo Tigre (2006, p.58), o conceito “denota a essência descontínua atribuída ao crescimento econômico ao longo da história em função da inovação tecnológica”.

O surgimento de um novo paradigma tecnológico obedece a uma lógica na qual são satisfeitas três condições básicas: amplas possibilidades de aplicação; demanda crescente; queda persistente do custo unitário (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.32; TIGRE, 2006, p.76). A Figura III.2 são representados os ciclos de mudança tecnológica e algumas importantes características relacionadas aos sucessivos paradigmas técnico-econômicos. No presente trabalho, são de especial relevância os ciclos representados pela terceira e pela quinta onda longa de mudança tecnológica.

No início do século XX, a energia elétrica surgiu como solução para inúmeras aplicações industriais, logo percebidas como oportunidades para ampliação do conforto e bem-estar das pessoas, resultando na oferta de uma verdadeira profusão de bens de consumo, tendo no eletrodoméstico seu ícone incontestável.

Entretanto, sob um ponto de vista crítico, tal como referenciado no início deste capítulo, os benefícios da tecnologia produzem forte impacto à sociedade sob diversos aspectos. A produção

em massa requer um aproveitamento otimizado das instalações fabris; a competição requer novos padrões de controle de qualidade que determinam a sobrevivência das organizações; e por último (e possivelmente, o mais importante): a intensidade de consumo de energéticos tende a esgotar os recursos naturais, dada a velocidade com que os padrões de consumo crescem em todo o mundo. O maior exemplo de crescimento de consumo, na atualidade é representado pela China, com uma demanda reprimida de décadas, é hoje, por exemplo, o maior consumidor de aço no planeta.

Ondas	Características da infra-estrutura dominante		
	C&T e Educação	Transporte e Comunicação	Energia
1. Primeira revolução industrial (1780-1830)	Aprender-fazendo, sociedades científicas	Canais, estradas de carroças	Roda d'água (moinhos)
2. Segunda revolução industrial (1830-1880)	Engenheiros mecânicos e civis	Estradas de ferro, telégrafo	Energia a vapor
3. Idade da eletricidade (1880-1930)	P&D industrial, química e eletricidade, laboratórios nacionais	Ferrovias (aço) e telefone	Eletricidade
4. Idade da produção em massa – fordismo (1930-1980)	P&D industrial (empresas e governo) em larga escala, Educação em massa	Rodovias e rádio	Petróleo
5. Idade da microeletrônica (1980 - ?)	Rede de dados, redes globais de P&D; treinamento contínuo	Redes convergentes de telecomunicações em multimídia	Petróleo e gás
6. Tecnologias ambientais, saúde	Biotechnology, genética, nanotecnologia	Telemática, teletrabalho	Energia renovável

Fonte: TIGRE, 2006, p.66.

Figura III.2 – Ondas Longas de Mudança Tecnológica

Para Lastres e Ferraz (1999), “a microeletrônica aplicada às atividades econômicas resolve alguns dos desafios que a sociedade industrial se impôs: a diminuição de tempos mortos, o controle e gerenciamento de informações e o aumento da variedade de insumos e produtos” (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.33). Os autores sustentam que:

O novo paradigma das tecnologias de informação é visto como baseado em um conjunto interligado de inovações em computação eletrônica, engenharia de software, sistemas de controle, circuitos integrados e telecomunicações, que reduziram drasticamente os custos de armazenagem, processamento, comunicação e disseminação de informação. O fator-chave é o microprocessador (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.33).

Tigre (2006, p.54) sustenta que “a microeletrônica serviu como base para a imbricação de tecnologias de informática, telecomunicações, optoeletrônica, software e broadcasting e suas múltiplas aplicações que retroalimentam o processo de inovação”.

Os efeitos da evolução tecnológica e do comportamento da sociedade na evolução do consumo energético tem sido objeto de análise e comparação pela *Empresa de Pesquisa Energética – EPE*, que em 2006 publicou alguns resultados no Balanço Energético Nacional. Segundo o órgão, vinculado ao Ministério das Minas e Energia – MME, este

é o documento tradicional do setor energético brasileiro que divulga, anualmente, extensa pesquisa e a contabilidade relativas à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de exploração e produção de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia. Uma das mais completas e sistematizadas bases continuadas de dados e estatísticas energéticas disponível no país, constitui-se referência fundamental para qualquer estudo do planejamento do setor energético brasileiro (Empresa de Pesquisa Energética, 2006, p.5).

A metodologia seguida para estimar a evolução dos rendimentos energéticos, no período de 1984 a 2004, baseia-se no estudo do chamado *Balanço de Energia Útil – BEU* que se propõe a “processar informações de consumo de energia para obter estimativas da Energia Final destinada aos Usos Finais de Força Motriz, Calor de Processo, Aquecimento Direto, Refrigeração, Iluminação, Eletroquímica e Outros Usos” (IDEM, p.34). A unidade utilizada para mensuração e tratamento algébrico com valores de diferentes formas de energia é a *tep – tonelada equivalente de petróleo*. O rendimento energético é definido pela relação entre a Energia Final / Energia Útil. A Tabela III.1 apresenta a evolução dos rendimentos energéticos do período, estratificando os chamados Efeitos da Sociedade e os Efeitos da Tecnologia.

Uma das conclusões do relatório refere-se a um maior efeito da tecnologia (em geral) com relação ao efeito da sociedade. O estudo identifica exceções no seguimento residencial e de aquecimento direto, nos quais se verifica um maior efeito da sociedade pela substituição de fogões a lenha, notadamente entre os anos 1984 e 1994. Todavia, nos demais setores de atividade - industrial, energético e transportes -, prevalece um maior efeito da tecnologia na melhoria do rendimento energético, com destaque para o setor industrial, que segundo o relatório, é “particularmente significativo”, uma vez que “a competitividade é um indutor do aumento de eficiência ou dos insumos energéticos usados nesse setor” (IBIDEM, p.36).

TABELA III.1 – Rendimentos Energéticos: Efeitos da Sociedade e Efeitos da Tecnologia

Segmento / Anos	Rendimento de Referência	Efeitos da Sociedade		Efeitos da Tecnologia	
	2004	1994	1984	1994	1984
Principais Energéticos					
Óleo Diesel	43,4	43,5	43,5	40,4	35,5
Eletricidade	68,8	69	70	64,3	57
Produtos da Cana	76,7	76,7	76,7	71,6	65
Principais Setores de Atividade					
Energético	75,2	73,4	72,5	76,5	68,5
Residencial	47,4	46,7	39,8	44	41,2
Transportes	37,5	37,6	38,2	35,1	30,9
Industrial	72	71,9	70,9	67,4	62,9
Principais Usos Finais					
Força Motriz	47,1	46,8	47,3	44,4	39,8
Calor de Processo	78,9	79,2	78,6	76,1	70,5
Aquecimento Direto	56,5	55,5	49,9	53,6	49,9
Global	57,5	56,9	55,2	54,3	48,8

Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional, 2006, p. 35.

Segundo Tigre (2006, p.198), “a relação entre tecnologias ‘hard’ (máquinas e equipamentos) e ‘soft’ (práticas organizacionais) vem se estreitando com o uso de tecnologias da informação e da comunicação”. Segundo o autor, a integração das tecnologias foi favorecida pela necessidade de acesso à informação:

As TIC permitem aperfeiçoar as inovações organizacionais de forma a responder às crescentes pressões competitivas, a exemplo da globalização dos mercados, da necessidade de operar em tempo real, da maior orientação para as demandas específicas dos clientes, da necessidade de inovar em produtos e processos, de cumprir novas exigências éticas e ambientais, de melhorar a qualidade de produtos e serviços, de integrar a logística de suprimentos e de introduzir novas formas de organização do trabalho (TIGRE, 2006, pp.198-199).

Segundo o mesmo autor, as TIC’s constituem “não apenas uma nova indústria, mas o núcleo dinâmico de uma revolução tecnológica”, uma vez que “as inovações derivadas de seu uso têm a característica de permear, potencialmente, todo o tecido produtivo” (IDEM, p.55).

Lastres e Ferraz (1999, p.41), na mesma linha, apontam como uma das características mais marcantes do novo paradigma das TIC’s a “tendência à diminuição de valor da parte material de bens e serviços”, citando o software como exemplo de bem que pode ser “desenvolvido, produzido, comprado, distribuído, consumido e descartado sem depender tanto de formas físicas. As atuais lojas de compra virtuais, nas quais grandes cadeias de comércio têm investido fortunas para impulsionar o chamado *e-commerce*, são exemplos de estruturas enxutas, onde o maior valor não está nos ativos que a empresa dispõe para manter o serviço em funcionamento, mas sim na

capacidade de desenvolver ambientes virtuais atrativos e transmitir credibilidade para que os clientes utilizem o serviço. Fabricantes de relés digitais de proteção admitem que o software “embarcado” corresponde a cerca de 70% do valor desses equipamentos, visto que seu custo corresponde muito mais ao desenvolvimento pelos especialistas do que propriamente de seus componentes internos ou montagem. Em conseqüência, conforme os autores, “a substituição dos produtos deve-se muito menos a qualquer desgaste material”:

a parte que “perde valor” nos bens produzidos deixa de ser aquela material e, de forma cada vez mais acelerada, passa a ser – quase que exclusivamente – o conteúdo de conhecimentos agregados a tais bens (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.41).

Outras importantes características e efeitos das TIC’s destacados pelos autores são apresentados na Figura III.3, o qual apresenta também o significado desses impactos especificamente para o Setor Elétrico, tanto no que se refere aos aspectos de tecnologia como aos relacionados com a reestruturação pela qual o setor passou na última década do século XX.

O ritmo avassalador da difusão de novidades eletrônicas nos últimos anos, com a introdução de mini-dispositivos que permitem armazenamento de milhares de arquivos de imagem e áudio, horas de filmagem, centenas de filmes, navegação na Internet e assim por diante, faz com que o termo tecnologia seja, quase instantaneamente, associado pelo imaginário das pessoas, à forma digital. Desta forma, entende-se porque as migrações de tecnologia, no que se refere a sistemas de telefonia móvel ou fixa, à transmissão pela chamada TV Digital, ou a qualquer outra aplicação, o novo paradigma das TIC’s, esteja normalmente associado à mudança de um sistema anterior, de base analógica, para outro mais moderno, baseado em tecnologia digital.

Segundo Davis e Stack (1997, p. 128 apud Lastres e Ferraz, 1999, p.42), uma vez que as “informações tenham sido digitalizadas, essas informações adquirem a ‘vantagem digital’: uma tradução universal que poupa recursos; é barata de armazenar e transportar e fácil de copiar, medir e manipular”. Conforme Lastres e Ferraz, o formato digital ajuda a compreensão de características peculiares da *Economia da Informação* ou do *Conhecimento*:

Alguns dos tipos de conhecimentos e experiências humanas (tais como sons, imagens, cheiros, dentre outros) já podem ser: (a) transformados no Esperanto de 1s e 0s; (b) registrados, manipulados e reproduzidos por máquinas digitais a qualquer momento; e para tal (c) liberados de qualquer meio particular (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.42).

Efeito das TIC’s	Traduzido sob a forma de
Crescente complexidade dos novos conhecimentos e tecnologias usados na sociedade	Incorporação de equipamentos e sistemas que se comunicam entre si e que podem ser programados

através de softwares computacionais

<p>Aceleração da geração de novos conhecimentos, da fusão de conhecimentos e da adoção de inovações</p>	<p>Novas tecnologias para geração de energia; convergência de conhecimentos em sistemas de potência, eletrônica, informática e telecomunicações; modernização e automatização de subestações e usinas</p>
<p>Capacidade crescente de codificação de conhecimentos e maior velocidade, confiabilidade e baixo custo do manejo de enormes lotes de informação</p>	<p>Novos aplicativos para supervisão, controle e proteção de sistemas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; desenvolvimento de sistemas de proteção mais rápidos e confiáveis, reduzindo indisponibilidades; adoção de centros de operação de sistemas interligados, aproveitando a capacidade de transmissão e tratamento de dados em grandes volumes, com informação em tempo real</p>
<p>Aprofundamento do nível de conhecimentos tácitos com necessidade de investimento em treinamento e qualificação</p>	<p>Atualização tecnológica permanente do corpo técnico das empresas, em virtude da contínua oferta de novos equipamentos e funções, que exigem o desenvolvimento da multidisciplinaridade</p>
<p>Crescente flexibilidade e capacidade de controle nos processos de produção</p>	<p>Melhor desempenho nos processos de manobra; melhoria na seletividade da proteção; implantação de Esquemas Especiais de Proteção (alívio de carga); melhor controle para regulação de tensão e frequência; acompanhamento e otimização da capacidade de geração e transmissão de energia</p>
<p>Mudança nas formas de gestão empresarial com maior integração de diferentes funções e maior relacionamento com instituições externas</p>	<p>Implantação de ações como Planejamento Estratégico, Gerenciamento de Projetos, e de mecanismos de Governança Corporativa; Desverticalização hierárquica; relacionamento com instituições externas em projetos de P&D, tais como universidades, centros de pesquisa e fornecedores</p>
<p>Mudança de perfil dos agentes econômicos com maior exigência no nível de qualificação dos trabalhadores</p>	<p>Mudança de comportamento em relação às demais empresas do setor, que no cenário competitivo, passam a exercer diferentes papéis, tais como de sócios, parceiros estratégicos ou concorrentes</p>
<p>Exigência de novas estratégias e políticas, novas formas de regulação e novos formatos de intervenção governamental</p>	<p>Regime concorrencial; desverticalização; produtores independentes; autoprodução; consumidores livres; operador nacional do sistema; regulação; arbitragem</p>

FONTE: Elaboração própria, a partir de Lastres e Ferraz, 1999, p.35.

Figura III.3 – Efeitos das Tecnologias de Informação e Comunicação no Setor Elétrico

Ao tempo em que o ser humano começa a se defrontar com situações fora de seus modelos mentais tradicionais, em que fronteiras e entes bem definidos são substituídos por ambientes e objetos virtuais, um novo vocabulário surge para dar conta do novo cenário. A compra

de um produto, que antes pressupunha o deslocamento do cidadão ao local de consumo, pode ser feita através de um sítio na WEB; a manutenção de um equipamento não exige mais a troca de uma engrenagem ou componente defeituoso, podendo ser realizada remotamente, pela implantação de um novo “firmware” na memória do dispositivo digital; o envio de um projeto não precisa ser realizado por meio de nenhum serviço de entrega expressa, podendo ser enviado através de uma mensagem por correio eletrônico ou disponibilizado para busca em algum portal, por meio de um “up-load”. É neste contexto que os autores reconhecem uma intensa exploração da “dimensão informacional do espaço”, cuja extensão tem sido analisada em diversos termos, que pretendem dar sentido, por meio de metáforas, às novas formas da ação humana, entre as quais, encontram-se o “*ciberespaço*” e o “*hipertexto*” (Lévy, 1993; 1997), as “*infovias*” ou “*auto-estradas da informação*” (Lastres e Ferraz, 1999, p.44) e as “*arquiteturas de sistemas digitais*” e os “*protocolos de comunicação*”.

Tal é o contexto atual dos modernos sistemas de supervisão, controle e proteção de subestações e usinas. A idéia de supervisionar algo está ligada à ação de monitorar a atividade de alguém. Se o ente monitorado assume a proporção de um sistema interligado com o grau de complexidade do Sistema Interligado Nacional, pode-se avaliar a importância que o envio e o tratamento de um volume estratosférico de dados assumem. O controle sobre o processo exige articulação em tempo real de organizações, indivíduos e instâncias (ou dispositivos) geograficamente distantes.

Na Proteção de Sistemas Elétricos, a digitalização de valores analógicos permite, através de modelagem digital, obter tempos de atuação mais rápidos e um maior grau de confiabilidade dos relés. Simuladores de testes em tempo real (*RTDSTM*) permitem a representação gráfica e funcional do ambiente em que relés de proteção serão instalados, com capacidade de reprodução muito próxima das condições de operação reais, com a vantagem de ser possível também a aplicação de todos os tipos de curto-circuito, em qualquer ponto do sistema representado.

Com todo o potencial que a chamada “digitalização” oferece para a transferência de informações, resta saber se a difusão das TIC’s é suficiente para que os conhecimentos codificados sejam transferidos espontaneamente entre os agentes. A resposta a esta pergunta reside na diferenciação entre conhecimento explícito e tácito:

A difusão das tecnologias de informação implica maiores possibilidades de codificação de conhecimentos e a transferência desses conhecimentos codificados; mas de forma alguma anula a importância dos conhecimentos tácitos ou não, que permanecem difíceis de transferir e sem os quais não se tem as chaves para decodificação dos primeiros (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.40).

Os autores sustentam que para manter em funcionamento uma estrutura em constante inovação, é necessário “promover processos que estimulem o aprendizado, a capacitação e a acumulação contínua de conhecimentos” (IDEM, p.49). Portanto, não basta dotar a empresa com

as ferramentas mais avançadas do mercado. É necessário prover a capacitação necessária para lidar com a tecnologia disponível.

Para que uma determinada instituição (ou indivíduo) possa identificar e implementar com sucesso as informações que gera e monitora, não basta uma estrutura moderna, sofisticada, flexível e um excelente sistema de informações. É primordial contar com uma base de conhecimentos sustentada por um processo de aprendizado contínuo. Ênfase crescente vem sendo dada ao caráter interativo e localizado do aprendizado e da inovação, potencializado pelas TI's, de intensificar as interconexões entre diferentes agentes (IBIDEM).

Está claro que obterá maior vantagem competitiva, aquele que conseguir maximizar seus resultados utilizando as ferramentas certas, uma vez que, são inúmeros os benefícios que podem ser obtidos por um uso apropriado da tecnologia: Sistemas de TI contribuem para a compreensão de mercados, das tecnologias, do pensamento, intenções e capacidades dos concorrentes, de forma mais rápida e barata em todo o mundo. Além disso, promovem o desenvolvimento de estratégias que, com base no acesso à informação e ao conhecimento, “privilegiam a agilidade na tomada de decisões e na incorporação de mudanças e adaptação das organizações à nova realidade” (IDEM, p.48).

Um dos documentos de referência mundial em termos de pesquisa e interpretação de dados sobre inovação, o *Manual de Oslo (1997)* apresenta, em seu Anexo A, orientações sobre pesquisas em países em desenvolvimento. No relatório, é apontada uma diferença entre aplicações das TIC's em atividades denominadas “*front-office*” daquelas relacionadas ao “*back-office*” (retaguarda de escritório). O estudo aponta que, enquanto as primeiras referem-se à interface da empresa com o público externo, estando focadas “em vendas e marketing, serviço de atendimento ao consumidor, portais na WEB, call centers etc.”, as últimas referem-se “às operações internas das organizações que dão suporte aos processos centrais invisíveis ao público geral”. Mais do que diferenciar os dois tipos de aplicação, o relatório aponta, já como uma divergência notada entre o comportamento dos países desenvolvidos e os pertencentes às EIR's, um menor aproveitamento de ferramentas do tipo “*back-office*” pelos países em desenvolvimento, nos quais foi observada uma tendência às aplicações “*front-office*”. No item seguinte, são abordados alguns dos principais aspectos referentes à inovação nas economias de industrialização tardia, com base nas características examinadas no Manual de Oslo, e feitas algumas considerações a este mesmo respeito pela Literatura mais recente.

III.4- A Inovação nas Economias de Industrialização Tardia

Durante muito tempo, as políticas de governo praticadas no Brasil foram planejadas com a idéia de que a formação de um corpo acadêmico com formação sólida seria o elemento propulsor

do desenvolvimento econômico e social desejado para o país. Passadas algumas décadas, a capacidade científica nacional é reconhecida internacionalmente, estando o país situado entre os de maior índice de publicações de textos científicos. Entretanto, a formação de uma elite intelectual não resultou em um avanço proporcional em termos de desenvolvimento tecnológico.

Inúmeros estudos e diagnósticos procuram identificar as causas para este descompasso. O presente trabalho examina algumas das principais características que podem ajudar a interpretar a atual situação em que se encontram os países de industrialização recente com relação aos países desenvolvidos. É interessante destacar que, apesar de um cenário de aparente pessimismo em relação às atividades inovadoras empreendidas nas EIR's, há indícios de que, apesar de pouco reconhecidas, tais atividades ocorram e a Literatura mais recente aponta setores onde foram apresentadas evidências da acumulação tecnológica. Entretanto, de uma forma geral, as características sócio-econômicas e culturais, apontadas a seguir, apresentam um cenário mais genérico, bastante aceito, do que se verifica em termos de inovação nos países em desenvolvimento.

Segundo Oliveira (2001, p.8), “a metodologia mais utilizada para medir o resultado em capacitação e inovação tecnológica no nível de crescimento é por meio da Produtividade Total dos Fatores”. Este seria o componente da produção que não se explica pela acumulação dos fatores de produção: capital e mão-de-obra, podendo representar a medida do efeito do progresso técnico. O autor defende que o aproveitamento das tecnologias disponíveis internacionalmente, para pular etapas no desenvolvimento do ciclo tecnológico, seria uma forma de redução do hiato produtivo e econômico entre os países. Citando estudo da *Comissão Econômica para América Latina e Caribe – CEPAL*, o autor destaca três hipóteses básicas para este hiato percebido nos âmbitos global e setorial na América Latina em relação aos países desenvolvidos: instabilidade macroeconômica; carência de empreendedores; e falta de infra-estrutura de mercado para gerar externalidades positivas (portos, água, energia, transportes, telecomunicações etc.). Para o autor, é imprescindível que os países latinos, ou das regiões que pretendem obter avanços na produtividade, elaborem uma legislação que privilegie a busca pela competitividade e direcionados para a inovação, com arranjos institucionais e políticos no nível da nação, que permitam a construção de um *Sistema Nacional de Inovação – SNI*, capaz de “mudar a trajetória tecnológica de dependência das nações em desenvolvimento” (OLIVEIRA, p.10, 2001).

O diagnóstico apresentado no *Manual de Oslo* sobre a estrutura dos mercados e das empresas dos países em desenvolvimento compilou uma série de condições que agem como barreiras à inovação. Além dos três fatores identificados por Oliveira, outros fatores sistêmicos que impedem um melhor resultado nesses países, relatados no *Manual* são: fragilidade institucional; ausência de consciência social sobre a inovação; natureza empresarial de aversão ao risco;

barreiras aos negócios nascentes; ausência de políticas públicas para suporte aos negócios e para o treinamento gerencial (OCDE, 1997, p.155).

A informalidade é outro aspecto relevante citado no relatório: países em desenvolvimento são muito dependentes de práticas informais, o que não favorece à inovação enquanto processo: “a criatividade esporádica empregada na solução de problemas não condiz à aplicação sistemática, e assim tende a resultar em ações isoladas que não aumentam as *capacitações* nem ajudam a estabelecer uma *trajetória de desenvolvimento* baseada na inovação” (IDEM).

A prevalência de empresas públicas também é citada no relatório como fator que desencoraja a inovação pela ausência da competição. Sobre este aspecto, o estudo reconhece, por outro lado, a liderança tecnológica de grandes empresas estatais que alcançaram uma posição de destaque devido a um significativo investimento em atividades de pesquisa e desenvolvimento (IBIDEM) e que “o governo é um importante agente na execução de P&D e no financiamento” (IBIDEM, p.156). Katz (2006), ao estudar o processo de industrialização no Brasil, Argentina e México, observou uma elevação na curva de aprendizado ao estudar empresas do setor público no período de substituição de importações – SI, apesar de reconhecer que “a despeito de todos os êxitos, muitas deficiências e fragilidades caracterizaram o processo de industrialização”.

Empresas como a Pemex, no México; a YPF, na Argentina; e a Petrobras, no Brasil – ou empresas equivalentes dos serviços de telecomunicações, geração de energia e assim por diante – possuíam seus próprios departamentos de P&D e engenharia, e treinavam milhares de subcontratados e fornecedores, ensinando-os gradualmente a melhorarem suas rotinas de produção e seus métodos de controle da qualidade. Em consequência dessas atividades, num processo massivo de geração e difusão de conhecimento – isto é, de aprendizado – também foi ocorrendo a partir das esferas públicas da economia (KATZ, 2006, p.426).

Em detrimento à importância das grandes empresas nas EIR's, o *Manual de Oslo* atribui sua competitividade à “exploração de recursos naturais” ou ao “trabalho barato”, e não à “eficiência ou produtos diferenciados”, uma vez que operam em “escalas de produção subótimas, com custos unitários mais elevados e longe da eficiência ótima” (OCDE, 1997, p.154). No contexto do Setor Elétrico, a solução para superar esta contradição, nos últimos tempos, tem passado pelo fortalecimento da regulação; pela implantação de mecanismos de transparência e governança corporativa; pela busca da eficiência nos processos (tal como a introdução da PV – vide Capítulo I); e pela consolidação do modelo de expansão do setor baseado nos Leilões de Energia, promovendo a competição entre agentes públicos e privados.

Outra característica identificada no *Anexo A* do *Manual* se refere aos possíveis atrasos na mudança dos paradigmas tecnológicos anteriores devido aos altos custos e à ausência de crédito para grandes projetos tecnológicos (IDEM, p.156). No Setor Elétrico, os investimentos iniciais para implantação de grandes usinas são reconhecidamente de altíssima monta. O modelo de financiamento do Setor praticado anteriormente baseava-se em grandes empréstimos financiados por órgãos internacionais como o Banco Mundial. Este modelo se esgotou no início dos anos 1980

e o modelo atual tem dado maior ênfase às chamadas *PPP – Parcerias Público-Privadas*, como mecanismo para captar capital privado para os grandes empreendimentos do setor. Por outro lado, o estudo de caso apresentado no Capítulo IV aponta indícios que permitem verificar que, sob o aspecto da proteção, controle e supervisão, a empresa FURNAS tem acompanhado o paradigma tecnológico das TIC's, o que se identifica como um fator positivo para a *acumulação de capacidades tecnológicas*.

A fraca interação entre o setor produtivo e o meio acadêmico também são reportados como fator inibidor para a inovação em países em desenvolvimento: "(...) faltam interações entre a ciência e as empresas". A concentração de pesquisadores nas universidades é uma tônica nesses países, diferente do que ocorre em países industrialmente avançados, cuja absorção de mestres e doutores pelas empresas é expressiva. Relata-se ainda um acesso insuficiente às bases globais de conhecimento de ponta, proporcionado por SNI's incipientes e fragmentados:

Interações fracas ou ausentes desafiam as capacidades das empresas para superar os problemas relativos à tecnologia e levam as empresas a soluções que na maioria das vezes, contam com a aquisição de tecnologia incorporada (IBIDEM, p.157).

O estudo destaca que é amplamente aceita a idéia de que "a aquisição de tecnologia incorporada (equipamentos) para a inovação de produto e de processo é um componente essencial da inovação" nesses países. Além disso, a transferência de tecnologia das grandes corporações transnacionais – TNC's é destacada como "fonte de inovação fundamental" (IBIDEM, nn. 494 e 498). Entretanto, Bell e Pavitt (1995) advertem que somente a compra de tecnologia é insuficiente para que ocorra o processo de inovação nas empresas, argumentando que

A eficiência dinâmica não se segue automaticamente da aquisição externa de equipamentos que incorporam novas tecnologias e a acumulação do respectivo conhecimento operacional. A eficiência dinâmica sustentada depende fortemente das capacidades nativas para gerar e gerir a mudança das tecnologias usadas na produção, e essas capacidades baseiam-se amplamente em recursos especializados (tais como uma força de trabalho altamente capacitada) que não estão nem incorporadas, nem obtidas automaticamente dos bens de capital e do know-how tecnológico (BELL E PAVITT, 1995, p.51).

Além de sugerir adaptações na utilização das TIC's e a melhoria nas interações entre os agentes dos SNI's, algumas medidas profiláticas relacionadas às atividades de inovação são apresentadas no final do *Anexo A* do documento. Particularmente, no que se refere ao tema da presente dissertação, o *Manual* resume que "a necessidade de dar ênfase às atividades e capacitações das empresas conduz a uma atenção maior a algumas atividades de inovação específicas". As atividades ou funções tecnológicas recomendadas são:

"compra de software" e "compra de hardware" (separadamente, não apenas incluídas em "aquisição de máquinas, equipamentos e outros bens de capital"); "desenho industrial" e "atividades de engenharia" (separadamente, não apenas incluídas em "desenvolvimento de outros produtos e processos"); "arrendamento ou aluguel de máquinas, equipamentos e outros bens de capital"; "desenvolvimento interno de sistemas de software"; "engenharia reversa" (OCDE, 1997, p.164).

Mais do que traçar um quadro geral sobre a inovação nesses países, o relatório apresenta importantes contribuições para a superação dos obstáculos existentes. No que se refere ao presente trabalho de dissertação, dois aspectos são especialmente pertinentes: o primeiro se refere às “inovações organizacionais” e o segundo aborda o conceito de “empresa potencialmente inovadora”.

Conforme comentado ao longo deste capítulo, a codificação e a transferência de conhecimento são tarefas de difícil reprodução. Além disso, conforme observa Tigre (2006), o conhecimento técnico só é passado de técnico para técnico, sendo pressuposta uma base comum de qualificações e de conhecimentos básicos que permitam a apreensão de um conteúdo novo. São considerados obstáculos para a acumulação de capacitações pelas empresas: “o capital humano altamente qualificado, as interações locais e internacionais, e os conhecimentos tácitos incorporados nas rotinas organizacionais”. A inovação organizacional, segundo o *Manual*, estaria relacionada com o comportamento da empresa quanto à absorção de novas tecnologias incorporadas em máquinas e outros equipamentos (IDEM, p.157);

A absorção de novas tecnologias, na maioria das vezes incorporadas em máquinas e outros equipamentos, pode requerer mudanças organizacionais significativas para muitas empresas em países em desenvolvimento. Visto que a inovação nesses países possui um forte componente de absorção de tecnologias geradas em países industrializados, a mudança organizacional adquire uma relevância substancial. O comportamento da empresa nesse sentido torna-se então importante para explicar as diferenças no desempenho e competitividade (IBIDEM, p.161).

É árdua a tarefa de integrar os conhecimentos alojados nos cérebros que compõe o corpo funcional de uma organização, tornando-se um desafio para as organizações a implantação de um sistema capaz de “gerenciar o conhecimento” armazenado e disponível. Uma das novas abordagens que relacionam a inovação com as rotinas organizacionais detectou uma exagerada ênfase geralmente dada ao chamado *capital humano* das empresas, em detrimento de uma menor atenção aos procedimentos e atividades que, realizados de forma sistemática, podem conduzir a um consistente processo de busca pela inovação. Por esta aproximação, é sugerido o termo *capital organizacional* para definir a “capacidade tecnológica embutida e armazenada no tecido organizacional” (FIGUEIREDO, 2005, p.57). Entretanto, o termo inovação organizacional parece já introduzir a importância do cenário onde ocorre a inovação. Sobre este aspecto, Lastres e Ferraz (1999) recordam que

se os indivíduos são atores, as organizações provêm o contexto onde esse aprendizado ocorre. Como decorrência, diferentes contextos podem ser mais ou menos indutores de aprendizado. Ao interagir e compartilhar conhecimento, os indivíduos são parte de uma cultura organizacional – ao disporem de valores e crenças semelhantes (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.49).

Segundo conceitua Tigre (2006), as inovações organizacionais correspondem ao conjunto de “mudanças que ocorrem na estrutura gerencial da empresa, na forma de articulação entre suas

diferentes áreas, na especialização dos trabalhadores, no relacionamento com fornecedores e clientes e nas múltiplas técnicas de organização dos processos de negócios” (TIGRE, 2006, p.73).

O conceito de “empresa potencialmente inovadora”, conforme sugerido no Manual de Oslo em seu anexo dedicado aos países em desenvolvimento, engloba o conjunto de “empresas que realizaram esforços de inovação (isto é, conduziram atividades de inovação), mas não conseguiram atingir resultados durante o período de análise” (OCDE, 1997, pp.158-159).

Neste grupo, encontram-se empresas que inovaram no passado, ou que podem inovar no futuro próximo... Um elemento-chave nas políticas de inovação em países em desenvolvimento é apoiar as empresas potencialmente inovadoras para que elas superem obstáculos que as impedem de ser inovadoras e para converter seus esforços em inovações (IDEM, p.159).

Conforme tratado ao longo dos capítulos anteriores, confrontando com o acima exposto, percebe-se que a trajetória tecnológica de FURNAS está estreitamente relacionada com o conceito de empresa potencialmente inovadora. Entretanto, a seguir, serão aprofundados alguns argumentos que questionam indicadores de inovação convencionais, tais como patentes e P&D, que servirão como base para responder se as atividades empreendidas pela empresa na área de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão seriam apenas rotineiras básicas, ou se é possível identificar capacidades tecnológicas inovadoras nas funções tecnológicas em que atua.

Figueiredo (2005) recorda que os primeiros estudos para tratar do desenvolvimento tecnológico no caso específico dos países de industrialização tardia surgiram na América Latina no final da década de 1970, liderados por Jorge Katz, os quais passaram a dar maior importância à construção de capacidades tecnológicas pelas empresas ao longo do tempo. Conforme o autor:

Durante meados da década de 1970, um conjunto de estudos empíricos pioneiros e inspiradores adotaram uma perspectiva dinâmica sobre a tecnologia em empresas da América Latina e Ásia colocando de lado a questão estática da escolha de um dado conjunto de técnicas (Stewart & James, 1982). Esses estudos olharam para vários mecanismos pelos quais as firmas adquirem conhecimento técnico para construir (ou falharam na construção) de suas capacidades tecnológicas inovadoras ao longo do tempo (ver por exemplo, Katz, 1976; 1987; Katz et al., 1978; Dahlman e Fonseca, 1978; Bell et. Al., 1982; Bell, 1984; Lall, 1987 entre outros). Eles deram uma enorme contribuição para nossa compreensão da natureza e dinâmica do aprendizado tecnológico dentro das empresas das EIR's. Entretanto, seu foco de análise restrito foi amplamente centrado nos aspectos técnicos das capacidades tecnológicas. Este foco de análise não examinou as dimensões organizacionais do aprendizado e da construção de capacidades (FIGUEIREDO, 2006, p.4).

A década seguinte foi marcada por estudos que privilegiaram aspectos relacionados à organização da produção, cujas maiores influências foram: a pressão pela competitividade imposta pela abertura de mercado, com o fim da política de substituição de importações; e o surgimento de um novo conjunto de estudos nos países avançados, que trataram as práticas organizacionais em termos de determinadas “técnicas”: *Just in Time - JIT*, *Manutenção Centrada em Confiabilidade*, *Melhoria Contínua* e *Benchmarking*, raramente mencionando conceitos como “conhecimento” ou “mecanismos de aprendizagem”, que contrariamente aos estudos dos anos 1970, não

desenvolveram um exame de longo prazo da capacidade organizacional das firmas (IDEM, pp.4-5).

Nos anos 1990, novos estudos empíricos para o exame das capacidades tecnológicas aprofundaram as dimensões organizacionais para a acumulação e o aprendizado nas empresas das economias de industrialização recente – EIR's. Essas pesquisas foram influenciadas por uma série de estudos em empresas que operam na fronteira tecnológica, que identificaram o papel-chave que os processos de aprendizado, geração de conhecimento e de identificação de competências centrais das firmas exercem em sua performance competitiva. Segundo recorda Figueiredo (2006, p.5), trabalhos pioneiros como os de Kim (1997), que utilizou literaturas conceituais e empíricas de firmas tecnologicamente avançadas para construir estruturas para investigação em firmas coreanas, e de Hobday (1995), que estudou a acumulação de capacidade tecnológica em várias empresas de eletrônica da Ásia “pavimentaram o caminho para novos estudos, como Dutrénit (1998), Figueiredo (1999), Ariffin (2000)”. No início dos anos 1990, Lall (1992) contribuiu com importantes estudos para “adaptação e aplicação de uma estrutura alternativa sistemática, abrangente e cronológica para o exame da capacidade de acumulação tecnológica das firmas e indústrias”. O modelo de Lall foi refinado por Bell e Pavitt (1995), identificando estágios ou “níveis” de capacitação por diferentes funções tecnológicas, o que permite seu uso para “captar a evolução ou desenvolvimento (ou seja, a dinâmica do processo de construção de capacidade tecnológica das firmas e indústrias ao longo do tempo)” (FIGUEIREDO, 2006, pp.5-6).

Uma das maiores dificuldades para o estudo da inovação em firmas e indústrias pertencentes às EIR's consiste na carência de modelos para sua avaliação. Segundo Figueiredo (2006), “a maioria dos estudos existentes sobre o nível de ‘conhecimento’, ‘construção de capacidade’ e ‘aprendizagem’ da firma tendem a focar nas empresas mais inovadoras próximas da fronteira tecnológica”, cujos processos e práticas “são examinados à base de uso, exploração, implantação e codificação de conhecimento já existente na firma – tanto nas mentes das pessoas como nas rotinas organizacionais”. Conforme sustenta o autor, esses estudos se focam no conhecimento que as empresas possuem hoje para ajudar a “empurrar a fronteira tecnológica um pouco adiante, raramente contando como essas firmas acumularam o conhecimento atual pela primeira vez” (FIGUEIREDO, 2006, pp.2-3).

A Literatura que trata da competência tecnológica em seguimentos industriais de empresas que operam na fronteira da tecnologia é conhecida como LETF. Segundo Figueiredo (2001), os estudos que utilizam essa abordagem dão pouca atenção à forma como se desenvolve a inovação “a partir de processos e produtos já existentes”; às atividades das empresas relacionadas à

melhoria contínua da qualidade; e às “atividades inovadoras incrementais nas áreas de engenharia de projetos e equipamentos”.

Tal literatura visa especificamente a esclarecer como as empresas conseguem manter, renovar, rotinizar e integrar as competências tecnológicas já acumuladas. Não trata, portanto, da criação dessas competências, questão que é crucial para as empresas de países emergentes. Em outras palavras, a Letf não investiga como as empresas alcançaram o nível de competência inovadora que elas têm atualmente. Isso quer dizer que a Letf deixa de explicar “como”, “com que rapidez” e “por que” tais competências se desenvolveram e acumularam ao longo do tempo (FIGUEIREDO, 2001, p.31).

Para o autor, esta abordagem não é suficiente nem adequada para a análise do desenvolvimento de setores industriais das economias de industrialização recente.

As firmas que operam nas EIR's, entretanto, normalmente iniciam seus negócios com base na tecnologia adquirida de firmas dos países industrializados. É comum que muitas delas percam até mesmo sua capacidade tecnológica básica ou sua base de conhecimento durante o início das atividades. Adicionalmente, as firmas das EIR's estão normalmente distantes das mais importantes fontes de tecnologia mundiais (Ex: Centros de P&D e universidades) e também dos principais mercados internacionais que pretendem suprir (Hobday, 1995). Para se tornarem competitivas e alcançarem a fronteira tecnológica, elas têm que se engajar em processos de aprendizado tecnológico de modo a construir sua própria capacitação, tornando-se aptas para conduzir atividades inovadoras independentemente (FIGUEIREDO, 2006, p.3).

Portanto, segundo o autor, pesquisas sobre inovação nas EIR's não deveriam estar centradas unicamente em indicadores convencionais utilizados em estudos voltados para os países industrializados: “pesquisas convencionais falham na coleta de evidências de capacidades inovadoras em níveis intermediários por funções tecnológicas distintas, que incluem gerenciamento de projetos, organização da produção e capacidades relacionadas a produtos”. O autor sustenta que pesquisas convencionais sobre inovação “não captam as atividades inovadoras empreendidas em diferentes unidades organizacionais da firma” (IDEM, p.4).

Nas empresas que operam em economias emergentes, como por exemplo, na América Latina, na Ásia, na África do Sul ou alguns países do Leste Europeu, é rara a incidência de laboratórios de P&D formalmente estruturados conforme aqueles encontrados em empresas de economias industrializadas. Não obstante, atividades tecnológicas inovadoras e complexas são conduzidas através dos departamentos de engenharia, de qualidade, de manutenção. É muitas vezes nessas unidades organizacionais que estão acumuladas grande parte das capacidades tecnológicas inovadoras das empresas (FIGUEIREDO, 2004, p.337).

Tigre (2006, p.116) reitera a capacitação tecnológica da firma como fonte interna para a inovação. Para o autor, além das atividades de P&D, também são importantes “as melhorias incrementais obtidas por meio do aprendizado, experiência e programas de qualidade e a cópia de produtos pioneiros através da engenharia reversa”; com a ressalva de que, para tanto, é necessário contar com “rotinas dinâmicas” de modo a tornar a empresa tecnologicamente capaz de “transformar produtos e processos”.

Segundo Bell e Pavitt (1993), a diferenciação entre as competências para usar e gerar a tecnologia são fundamentais para entender a distância entre as economias, sendo o investimento em capacitação fundamental para que uma se converta na outra:

Uma crescente distinção surgiu entre os tipos de conhecimento e competências necessários para operar determinados sistemas de produção e os tipos de conhecimento necessários para modificá-los.

Os recursos “intangíveis” necessários para gerar e gerir a mudança técnica não podem mais ser considerados como um aspecto secundário para os recursos que constituem a capacidade de produção industrial. Eles estão se tornando quantitativamente muito mais significantes, refletindo o crescimento de uma produção industrial intensiva em conhecimento e inovação. Nos países desenvolvidos, gastos correntes das empresas com P&D (isto é, seu investimento na criação de conhecimento novo, e na sua assimilação de outras partes) são agora frequentemente maiores que seu investimento em capital fixo. Ao mesmo tempo, para gerar taxas de competitividade em mudanças técnicas, as empresas têm aumentado significativamente gastos no aumento da competência e conhecimento de seus recursos humanos, combinando com o desenvolvimento de novos mecanismos institucionais (BELL & PAVITT, 1993, pp.163-164).

Tigre (2006) observa que as atividades de P&D tradicionalmente se concentram nas matrizes das grandes corporações transnacionais, restando pouca “capacitação ou autonomia para inovar” para as subsidiárias localizadas nos países de industrialização recente. Porém, segundo o autor, este quadro tem se alterado nos últimos anos, com uma participação mais atuante das filiais. Os principais fatores para o deslocamento dessas atividades estão relacionados com a redução de custos e com a formação de uma mão-de-obra especializada antes indisponível nos países em desenvolvimento (TIGRE, 2006, p.97). Para o autor, o êxito logrado como resultado das atividades de P&D está relacionado diretamente à participação do Estado, sobretudo ao seu direcionamento para o setor produtivo:

O Estado exerce um papel fundamental na expansão do conhecimento e da base científica necessária para que o setor produtivo desenvolva tecnologias aplicadas. Tem também um papel importante no financiamento e na criação de incentivos para a inovação(...). Bell e Pavitt (1995:98) argumentam que as atividades de P&D precisam estar intimamente associadas à produção. Institutos de pesquisa básica e aplicada podem dar importantes contribuições para a mudança tecnológica, mas a transferência do conhecimento para o setor produtivo depende intimamente da capacitação da empresa para absorver e transformar tal conhecimento em produtos, processos e serviços (TIGRE, 2006, p.98).

As análises tradicionais das economias de industrialização recente tratavam as atividades inovadoras nesses países como inexistentes ou pouco prováveis, utilizando como principais indicadores o registro de patentes, atividades de P&D e dados estatísticos. Entretanto, esta análise tem se revelado, no mínimo digna de investigação, hajam vistos numerosos trabalhos que surgiram nos últimos anos, abordando casos de empresas que, mesmo operando nesses mercados, conseguiram demonstrar possuírem capacidades de empreender atividades inovadoras. Dito de outra forma, essas pesquisas têm procurado responder sobre *até que ponto essas empresas desenvolveram capacidade tecnológica inovadora significativa*. Conforme Figueiredo (2005, p.58), nesses países, o importante não é identificar apenas se existe capacidade tecnológica, “mas também a direção, extensão – ou nível – e velocidade de seu desenvolvimento ou acumulação”.

Com esta perspectiva, Ariffin e Figueiredo (2004) reuniram evidências da internacionalização de competências na indústria eletrônica da Malásia e no Brasil, mais especificamente na Zona Franca de Manaus. Segundo os autores, as abordagens tradicionais sempre se focaram nas grandes corporações transnacionais – TNC's - e nas maiores firmas dos

países industrializados, ignorando processos de inovação nas subsidiárias ou em firmas locais. Uma das maiores generalizações que se revelaram equivocadas a respeito da indústria eletrônica da Malásia seria a de que

as matrizes das TNC's controlam as tecnologias centrais e os estágios de produção com maior valor agregado, enquanto as subsidiárias estariam apenas envolvidas no trabalho intensivo de montagem final, com pouca ou nenhuma capacidade tecnológica (...). Entretanto, um quadro diferente começa a surgir a partir de estudos recentes. Por exemplo, as subsidiárias das TNC's aumentaram significativamente seus níveis de automação desde o final dos anos 1980 e a produtividade cresceu consideravelmente (ARIFFIN E FIGUEIREDO, 2004, p.560).

- b) a medição de estatísticas de patentes nos EUA pode ser “limitante e tendenciosa” para empresas das EIR’s que exportam poucos produtos “especializados e de marca própria” para aquele país;
- c) são poucos os laboratórios de P&D formalmente estruturados nos países de industrialização tardia, o que não impede, porém, que “atividades inovadoras e complexas sejam conduzidas nos departamentos de engenharia, de qualidade e de manutenção”;
- d) a forma como é construída a base organizacional que interfere no engajamento em atividades inovadoras – de básicas à P&D não costuma ser aprofundada;
- e) estudos baseados em estatísticas tendem a examinar a capacidade “em um ponto no tempo: momento atual”. Esta aproximação não esclarece como ocorre o avanço progressivo das capacidades tecnológicas em diferentes estágios, não permitindo examinar o “processo de acumulação tecnológica”;
- f) os indicadores tradicionais não permitem levar em consideração atividades importantes no processo de desenvolvimento tecnológico das EIR’s relacionados à “imitação, cópia, adaptação, experimentação de novos produtos, processos e arranjos organizacionais” (FIGUEIREDO, 2005, p.58).

Além das limitações acima, Tigre (2006, p.98) recorda outro importante aspecto relacionado ao dispêndio com P&D como indicador de intensidade de inovação tecnológica, uma vez que “os esforços de P&D de uma empresa geralmente são medidos pelo percentual desses gastos em relação ao faturamento”. Segundo o autor, o estudo de Coombs, Saviotti e Walsh (1992) questiona esse tipo de mensuração, uma vez que “relaciona um gasto atual com uma receita obtida anteriormente ao processo de inovação”.

Alternativas de estabelecer parâmetros para os gastos em P&D como percentual do valor agregado, comparação com outras empresas ou percentual do lucro também estão longe do ideal. Não há, portanto, uma única alternativa para se estabelecer um orçamento para P&D, pois a intensidade do esforço depende de uma combinação de aspectos externos, referentes às exigências competitivas do setor; e internos, associados à estratégia tecnológica e à capacitação da empresa (TIGRE, 2006, p.99).

Um dos estudos mais inspiradores a respeito da inovação no contexto dos países de industrialização tardia foi dado pela contribuição de Sanjaya Lall, do *Instituto de Economia e Estatística de Oxford*, com a publicação de “*Technological Capabilities and Industrialization*” (1992). Trata-se de leitura obrigatória para os interessados em aprofundar os temas relacionados com o “*Nível Tecnológico da Firma*” e com os fatores que interferem na construção de “*Capacidades Tecnológicas Nacionais*” no contexto dos países em desenvolvimento. Conforme o autor recorda, estudos da OCDE – *Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico* - apontam que são três os pilares em que devem ser amparados os estudos de longo prazo a

respeito das diferenças no avanço industrial das economias: capacitação, incentivos e instituições. Segundo Lall, “é impossível medir de forma apropriada o esforço tecnológico das nações para disponibilizar uma base de informação, padrões, conhecimento científico básico e facilidades por demais extensas para pertencerem a firmas privadas”. O que existe, segundo sustenta, são aproximações disponíveis para medir o que classifica como *medidas de entrada* - gastos com P&D; e *medidas de saída* – inovações, patentes ou outros indicadores de sucesso tecnológico. Todavia, o autor destaca que deve haver precaução na análise crua desses indicadores:

A interpretação de todas essas medidas é carregada de dificuldades (Cohen and Levin, 1989), uma vez que nem todo o esforço é realizado com a mesma eficiência, e que nenhuma medida captura totalmente o trabalho de engenharia rotineiro dedicado à inovações incrementais ou para alcançar o domínio tecnológico (LALL, 1992, p.172).

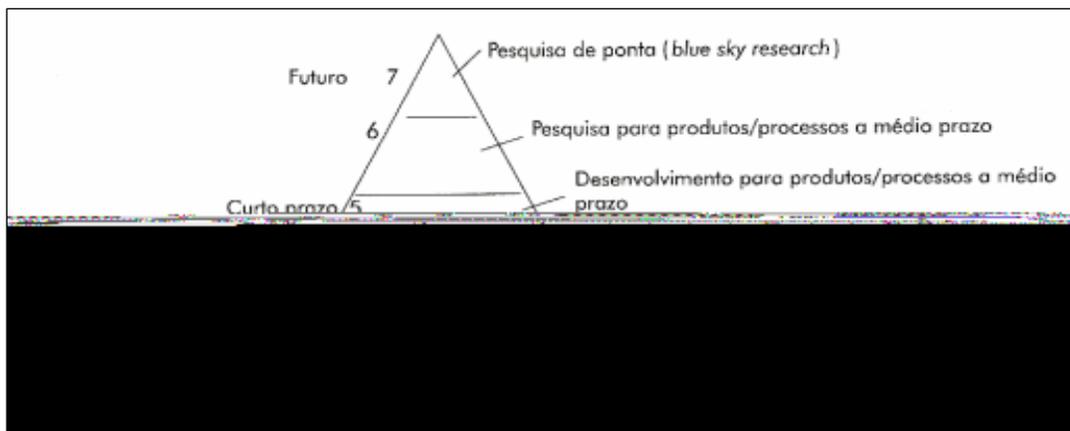
A análise baseada em indicadores tradicionais tende, portanto, a negligenciar o processo de evolução de capacidades tecnológicas das firmas. Essas, segundo Figueiredo, “ocorrem em diversos graus de inovação – de básica a complexa – que não são captadas por estudos à base de indicadores convencionais” (FIGUEIREDO, 2005, p.59).

A Figura III.4 ajuda a entender porque os estudos sobre inovação baseados apenas em medidas de entrada e de saída não ajudam a enxergar o processo de inovação existente nas firmas das EIR's.

Estudos sobre o desenvolvimento tecnológico em economias emergentes, incluindo o Brasil, que lançam mão das estatísticas sobre patentes e dos gastos com P&D, como indicadores da atividade tecnológica, tendem a buscar, de um lado, apenas evidências sobre as atividades avançadas do “topo da pirâmide” – níveis de 5 a 7 – ou limitam-se a identificar a incidência ou não, de atividades inovadoras. Ignoram-se, portanto, os diversos níveis intermediários de capacidade tecnológica – que são predominantes em empresas em economias emergentes e, de cujo processo de aprofundamento cumulativo, depende o alcance de níveis tecnológicos mais sofisticados (FIGUEIREDO, 2004, p.344).

A importância de se enfatizar o processo constituído por diferentes estágios de acumulação de capacidade tecnológica é resumida no *Anexo A do Manual de Oslo* da seguinte maneira:

Exercícios para mensuração da capacidade tecnológica inovadora em países das EIR devem centrar-se no processo de inovação e não nos seus resultados e enfatizar como as capacitações, os esforços e os resultados são tratados. É igualmente ou mais importante determinar e analisar os esforços realizados pelas empresas e organizações e suas capacitações (estoques e fluxos) do que os resultados (inovações) (OCDE, 1997, p.158).



Fonte: Figueiredo, 2004, p.343.

Figura III.4 – Atividades Tecnológicas na Empresa Eletrônica Global

Desprezar as atividades intermediárias que elevam a capacidade de empreender atividades inovadoras pode significar uma visão distorcida sobre o nível tecnológico de firmas e setores industriais. Em um grau mais elevado, podem inclusive levar a uma auto-imagem negativa e conduzir à formulação de políticas de governo equivocadas. Por outro lado, o reconhecimento de características inovadoras em seguimentos industriais onde são captados potenciais elevados para aplicação de sistemas gerenciais e políticas de governo para o fomento ao processo de inovação, é de suma importância, pois, tal como sustenta Dutrénit (2004), tais empresas podem não estar situadas na fronteira tecnológica, porém podem estar empreendendo um processo de transição em direção à competição com capacidades tecnológicas avançadas em determinadas funções técnicas, mas ainda sem a construção de capacidades tecnológicas centrais.

O argumento central do presente capítulo se baseia no questionamento às análises de indicadores tradicionais de inovação para medir a capacidade tecnológica das firmas, e por extrapolação, de setores da indústria e das nações. Conforme já mencionado, inúmeros estudos surgiram nos últimos anos abordando a importância do capital intelectual como fator preponderante para a criação de vantagem competitiva para as empresas. Neste trabalho, foi adotado o argumento de Figueiredo (2005), segundo o qual “as abordagens baseadas em indicadores convencionais não captam as características e elementos do tecido organizacional, no qual a capacidade tecnológica é desenvolvida, acumulada e sustentada” (FIGUEIREDO, 2005, p.59).

III.6. Métrica Alternativa Focada no Capital Organizacional

Conforme contextualizado nos itens anteriores, a situação específica das firmas que operam nas economias de industrialização recente requer enfoques apropriados às suas condições. Segundo Figueiredo (2004, p.332), o processo de aprendizado contínuo para a

formação de capacitação tecnológica inovadora trata-se de tarefa crítica, e as principais barreiras a serem superadas normalmente referem-se a:

- a) Defasagem em relação à fronteira tecnológica: uma das principais características dessas empresas é que normalmente iniciam suas atividades a partir de tecnologias importadas de outros países, sem dispor sequer de capacidades tecnológicas básicas, isto é, começam a operar em condições de não-competitividade no mercado mundial (“infância industrial”). Uma vez que a fronteira tecnológica está sempre avançando, medir *se* e *como* aumenta a taxa de acumulação de competências tecnológicas, nos países em desenvolvimento, torna-se crucial.
- b) Deslocamento das fontes de tecnologia internacionais: o distanciamento das fontes de conhecimento científico básico significa um obstáculo adicional para a realização de pesquisas para elevação das capacidades tecnológicas inovadoras para essas firmas: “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”.
- c) Distância dos principais mercados mundiais: situadas geograficamente em países em desenvolvimento, essas empresas normalmente desejam expandir seus mercados para os principais mercados fora de suas fronteiras, o que torna necessário construir fora de suas bases, as “suas redes de fornecedores e clientes a partir de suas capacidades tecnológicas”.

O aprendizado em uma organização não acontece de forma trivial, muito menos espontânea, havendo necessidade de promoção de “processos que estimulem o aprendizado, a capacitação e a acumulação contínua de conhecimentos” (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.49). Sob a óptica da gestão de empresas, esses autores identificam três componentes para o processo de aprendizado, considerado essencial ao desenvolvimento:

- Acumulação de “competências centrais”, que diferenciam as firmas entre si, oferecendo ou não o potencial de vantagem competitiva de cada uma;
- Dimensão temporal, uma vez que, trata-se de processo contínuo e cumulativo, envolvendo longo prazo; e
- Idiosincrasia dos processos de aprendizado, peculiares das organizações, posto que os ambientes dificilmente são replicáveis por outras.

Ao afirmar que “a evolução da firma depende da transformação das competências secundárias em centrais à medida que surgem oportunidades tecnológicas”, Tigre (2006) aborda

os três aspectos realçados por Lastres e Ferraz: a diferença no processo de aprendizagem; a dependência da trajetória evolutiva; e a acumulação de capacidade tecnológica. Para o autor, “a capacitação de uma empresa é resultante do processo de aprendizado ao longo das interações com o mercado e novas tecnologias, permitindo o estabelecimento de rotinas dinâmicas” (TIGRE, 2006, pp.58-59).

Apesar de possuírem significados muito próximos, é necessário diferenciar *aprendizagem* de *capacidade tecnológica*. Segundo conceitua Figueiredo (2004), aprendizagem “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”, ou seja, a *aprendizagem* “é o processo que permite à empresa acumular *capacidade tecnológica* ao longo do tempo” (FIGUEIREDO, 2004, p.328).

Lastres e Ferraz (1999) resumem o ciclo que envolve informação, conhecimento e aprendizado da seguinte maneira:

A relação entre os três conceitos é forte: os processos de aprendizado, em suas várias instâncias, resultam na acumulação de conhecimentos; estes sustentam teoricamente os avanços científicos, técnicos e organizacionais que, codificados em vários formatos informacionais, introduzem inovações que irão continuamente transformar o sistema econômico. Em uma era de transição entre paradigmas techno-econômicos, sujeita a transformações radicais e envolvendo, justamente, tecnologias e atividades intensivas em informação, a simbiose com processos acumulação de aprendizado e conhecimento é absolutamente indispensável (LASTRES E FERRAZ, 1999, p.55)

Figueiredo (2004) apresenta uma série de definições encontradas na Literatura para a capacitação tecnológica (CT). Dentre as principais contribuições, situam-se as seguintes abordagens:

- Katz (1976): CT como “atividade inventiva” ou esforço criativo sistemático;
- Bell (1992) e Scott-Kemmis (1988): CT inclui aptidões e conhecimentos nos trabalhadores, instalações e sistemas organizacionais;
- Lall (1982, 1987): define CT como “esforço tecnológico interno”;
- Dahlman e Westphal (1982): formularam o conceito de “domínio tecnológico”;
- Westphal et al. (1984): CT como “aptidão para usar efetivamente o conhecimento tecnológico” (FIGUEIREDO, 2004, p.328).

No contexto das empresas das EIR's, Dutrénit (2004) conceitua a capacidade tecnológica como a “habilidade para utilizar o conhecimento tecnológico eficientemente para assimilar, usar, adaptar, e modificar tecnologias existentes; e também a habilidade para criar novas tecnologias e desenvolver novos produtos e processos” (KIM, 1997 apud DUTRÉNIT, 2004, p. 210).

O *locus* de acumulação de capacidade tecnológica, por vezes, é utilizado para definir o termo. Autores como Pack (1987) e Enos (1991) defenderam que a capacidade tecnológica está incorporada em um grupo de indivíduos – gerentes, técnicos e engenheiros, argumentando que as

organizações existam apenas como elemento aglutinador (*apud* FIGUEIREDO, 2004, p.329). Esta abordagem está relacionada à ênfase normalmente concentrada sobre a importância do “capital humano” como fator-chave para o desenvolvimento das empresas.

Está claro que o conhecimento tácito dos indivíduos corresponde a um fator importantíssimo para o acúmulo de capacidades tecnológicas. Entretanto, vários estudos recentes reforçam a importância das organizações para a disseminação do conhecimento individual.

Assim, partindo da definição ampla de Bell e Pavitt (1993; 1995) sob a qual “a capacidade tecnológica incorpora os recursos necessários para gerir e gerar mudanças tecnológicas”; e que “tais recursos acumulam-se e incorporam-se aos indivíduos e aos sistemas organizacionais”, Figueiredo (2004; 2005) propõe um modelo mais amplo, no qual representa a capacidade tecnológica da firma como estando armazenada e perpassando quatro componentes das organizações, conforme representado na Figura III.5.

Já foi mencionado anteriormente o papel preponderante que a importação de tecnologia assume no início das atividades das empresas que operam nas EIR's.

Para a maioria das empresas em países em desenvolvimento, o esforço tecnológico se dá por meio da aquisição de máquinas e equipamentos incorporados às plantas existentes ou na forma de turn-key, em que o pacote tecnológico (incluindo métodos e procedimentos) é adquirido como um todo (TIGRE, 2006, p.103).

Entretanto, um dos aspectos fundamentais para se entender a diferença nas performances nesses contextos se refere à forma como a tecnologia é percebida pela empresa “recipiente”. Segundo Figueiredo (2004), a grande ênfase normalmente dada ao “*capital humano*”, com pouca ou nenhuma atenção ao “*capital organizacional*” explica a existência de trajetórias distintas de acumulação de capacidades.

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 (FIGUEIREDO, 2004. p. 331).

Sistemas técnicos físicos	Referem-se à maquinaria e equipamentos, sistemas baseados em tecnologia de informação (como os bancos de dados), software em geral, plantas de manufatura.
Pessoas	Referem-se ao conhecimento tácito, às experiências e habilidades dos gerentes, engenheiros, técnicos e operadores que são adquiridos ao longo do tempo, mas que também abrangem sua qualificação formal. Essa dimensão tem sido geralmente denominada de “capital humano” da empresa ou do país.
Sistema (tecido) 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 (total quality management – TQM; material requirement planning – MRP; just-in-time - JIT, entre outros), nos processos e fluxos de produção de produtos e serviços e nos modos de realizar certas atividades nas organizações.
Produtos e serviços	Referem-se à parte mais visível da capacidade tecnológica e refletem o conhecimento tácito das pessoas e da organização e dos seus sistemas físicos e organizacionais. Por exemplo, nas atividades de desenho, desenvolvimento, prototipagem, teste, produção e na parte de comercialização de produtos e serviços, estão refletidos os outros três componentes da capacidade tecnológica.

Fonte: Figueiredo, 2005, pp. 56-57

Figura III.5 – Dimensões da Capacidade Tecnológica

Segundo o autor, a “falta de uma ‘organização’ para integrar” os elementos que compõem o capital organizacional das empresas “parece refletir a ausência ou inadequação de esforços para aprimorar o tecido organizacional e gerencial onde a capacidade tecnológica da empresa é acumulada”.

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 conseguem obter inovação em produtos e serviços e não se conseguem melhorar o desempenho técnico da empresa (IDEM).

O mesmo fenômeno foi identificado em recente estudo sobre a inovação na indústria petroquímica brasileira, no qual novamente se detectou pouca atenção dispensada à sistematização de atividades de estímulo à inovação.

As empresas brasileiras do ramo [petroquímico] atingiram um bom nível tecnológico, mas são deficientes em termos de competências organizacionais. Faltam à indústria justamente as competências necessárias para construir seu futuro, por meio da gestão do conhecimento. Em outras palavras, os técnicos estão capacitados para compreender e aperfeiçoar os processos industriais, mas ainda carecem de habilidades para aproveitar melhor o potencial humano existente para inovar (TIGRE, 2006, pp.199-200).

Segundo Tigre (2006, p.59), a corrente evolucionista relaciona a competitividade da firma diretamente com “o conjunto de competências tecnológicas diferenciadas, ativos complementares e rotinas”. Para o autor, o aprendizado corporativo “depende fundamentalmente de rotinas organizacionais codificadas ou tácitas”.

As rotinas constituem o fator determinante do comportamento das firmas. Uma vez estabelecidas, elas substituem a necessidade de coordenação hierárquica rígida, permitindo a coerência das decisões por indivíduos que conhecem seu trabalho, interpretam e respondem corretamente às mensagens que recebem (TIGRE, 2006, p.60).

A aquisição de tecnologia incorporada em sistemas físicos e técnicos e o treinamento para operá-la e mesmo para seu aperfeiçoamento, ainda que necessários, não são suficientes para que a empresa desenvolva e acumule capacidades tecnológicas inovadoras. Este argumento não invalida a importância vital que a importação continuará exercendo como fonte de inovação na

empresa. Muito pelo contrário, conforme recorda Tigre (2006, p.101): “para a firma recipiente, a capacidade de selecionar adequadamente representa um grande desafio. As empresas precisam ser capazes de reconhecer a atualização e o potencial das tecnologias disponíveis para a compra”. Segundo Lall (1992, p.170), “as habilidades determinam não somente até que ponto as tecnologias estão sendo bem operadas, mas também como os esforços intrafirma são utilizados para absorver tecnologias trazidas ou imitadas de outras firmas”.

A difusão tecnológica, principalmente nos contextos das economias de industrialização recente, onde o surgimento de inovações radicais é menor, funciona como um importante mecanismo de estímulo à inovação: “a difusão alimenta e direciona a trajetória da inovação, revelando as necessidades cambiantes da demanda por soluções técnicas” (IDEM, p.73). Novamente, para que novas tecnologias sejam introduzidas no tecido organizacional, faz-se necessária a transformação de informação em conhecimento, o que inclui “a incorporação de novas rotinas, procedimentos e informações técnicas” (IDEM, p.83).

A importância do conhecimento acumulado no tecido organizacional para medir a capacitação tecnológica é um aspecto que também foi explorado no *Manual de Oslo* para a classificação de empresas e setores industriais das EIR's, o qual define as capacitações das empresas como principal fonte para obtenção de vantagens competitivas.

A capacitação para inovação mais significativa é o conhecimento acumulado pela empresa, que está principalmente incorporado nos recursos humanos, mas também nos procedimentos, nas rotinas e em outras características da empresa. As capacitações para a inovação, assim como as capacitações tecnológicas, são o resultado de processos de aprendizado conscientes e propositais, dispendiosos e demorados, não lineares, dependentes da trajetória e cumulativos (MANUAL DE OSLO, n. 511).

Ao comentar a respeito da dependência da trajetória passada, Tigre (2006) conceitua que “a evolução da firma não é necessariamente lenta e gradual, mas tampouco é ‘aleatória’. Ela se dá em um sentido determinado pelas competências acumuladas e pela natureza de seus ativos específicos”. Segundo o autor, “a firma só acumula com base nos conhecimentos adquiridos anteriormente e não se desvia de sua trajetória de forma bem-sucedida, a não ser por mudanças na conjuntura econômica ou na natureza da tecnologia” (TIGRE, 2006, p.61).

Este argumento fortalece, portanto, a necessidade da formulação e aplicação de metodologias para a medição de capacidades tecnológicas que levem em conta estágios intermediários de acumulação que permitam seu monitoramento, de maneira a se verificar sua constância, coerência, consistência e velocidade.

A métrica alternativa para o exame de capacidades tecnológicas utilizada no presente trabalho tem sua origem no desenvolvimento de um modelo que categorizou por funções as características tecnológicas de uma empresa, proposto inicialmente por Lall (1992; *apud* Figueiredo, 2005).

A “matriz ilustrativa” de Lall (1992) é composta por um conjunto de colunas, nas quais estão representadas as capacidades tecnológicas por função, enquanto as linhas estão ordenadas por grau de complexidade ou dificuldade, conforme medido pelo tipo de atividade a partir das quais surgem as capacidades. Na formulação de seu modelo de avaliação, Lall (1992) reconhece a dificuldade de categorização por estágios, a qual é “necessariamente indicativa, uma vez que pode ser difícil julgar *a priori* quando uma função é simples ou complexa”. Por outro lado, o autor conceitua os dois níveis principais de acumulação, classificando-os em: *funções básicas centrais* – que englobam: decisão sobre planos de investimentos; seleção de equipamentos de processo; alcance de níveis mínimos de eficiência, controle de qualidade, manutenção de equipamentos, melhoria de custos; adaptação dos produtos às condições de mercado locais; e o estágio de *maturidade tecnológica da firma* – cujo alcance se expressa por: habilidade para identificar competências centrais para especialização; extensão e aprofundamento dessas competências pela experiência e engajamento contínuo; capacidade para selecionar capacidades complementares a serem buscadas. Segundo o autor, enquanto não é alcançada a “maturidade”, haverá diferenciação nos estágios intermediários de evolução até o “domínio completo” sobre as várias funções tecnológicas (LALL, 1992, p.167).

Bell e Pavitt (1993) aprofundaram a discussão sobre os níveis de acumulação tecnológica, a partir do modelo de Lall, propondo uma classificação semelhante, na qual o estágio inicial se identifica com a *Capacidade de Produção* e o mais avançado está relacionado com a *Capacidade Tecnológica* da firma.

Capacidade de Produção incorpora os recursos usados para produzir bens industriais em determinados níveis de eficiência e determinadas combinações de entrada: equipamentos (tecnologia incorporada em bens de capital), habilidades laborais (conhecimentos e experiência em operação e gerenciamento), especificações de produtos e entradas, e os métodos e sistemas organizacionais empregados. Capacidade Tecnológica consiste nos recursos necessários para gerar e gerir a mudança tecnológica, incluindo habilidades, conhecimento e experiência, e estruturas e vínculos institucionais (BELL E PAVITT, 1993, p.163).

Segundo os autores, as *capacidades de produção rotineiras* “envolvem a incorporação de nova tecnologia através de investimento em sistemas produtivos novos ou substancialmente melhorados” (IDEM, p.164), e estão relacionadas com seu *uso* ou *operação*. As *capacidades tecnológicas inovadoras* se relacionam com a melhoria técnica incremental da nova tecnologia, relacionando-se com a *adaptação e/ou desenvolvimento* de “novos processos de produção, sistemas organizacionais, produtos, equipamentos e projetos de engenharia” (Figueiredo, 2005, p.59). Em Bell e Pavitt (1995, p.60), a matriz ilustrativa de Lall (1992) é refinada ao ser proposta uma estrutura com as “Capacidades para Gerar e Gerir a Mudança Técnica”.

A contribuição de Ariffin e Figueiredo (2004) estabelece uma distinção entre os níveis de capacidades básicos em relação aos mais avançados, que sintetiza a estrutura analítica para medição da acumulação tecnológica das empresas e setores.

Capacidade de produção “rotineira” é a capacidade de produzir bens com determinados níveis de eficiência e sob certos requerimentos de entrada, ou seja, habilidades para usar tecnologia, conhecimentos e arranjos organizacionais.

Capacidade tecnológica “inovadora” é a capacidade de criar, mudar ou melhorar produtos, processos e a organização da produção ou equipamento. É a capacidade de modificar e de produzir, que consiste em habilidades para mudanças tecnológicas, conhecimento, experiências e arranjos organizacionais. Está desagregada em diferentes níveis – desde um nível básico (de adaptações secundárias e melhoria incremental da qualidade), passando por níveis “intermediários” (para vários tipos de projeto e engenharia de produto e de processo) até níveis “avançados” e “baseados em pesquisa” (para o desenvolvimento de uma base de conhecimento para novos projetos de produtos e processos). Somente no último é provável que esteja envolvida atividade formal de P&D. Ainda que níveis de P&D possam ser menos aplicáveis em empresas de produção na indústria eletrônica de países das EIR, essas atividades proporcionam uma perspectiva e uma conexão com a atividade tecnológica total na indústria.

(ARIFFIN E FIGUEIREDO, 2004, p.561).

A aplicação empírica da estrutura alternativa para medir a acumulação de capacidades tecnológicas foi feita por Figueiredo (2001), na qual são efetuadas adaptações no modelo para a pesquisa em empresas brasileiras da indústria do aço. Segundo o autor, “a capacidade tecnológica por função e nível de dificuldade é medida pelo *tipo de atividade que a empresa é capaz de realizar por si mesma em diferentes intervalos de tempo*” (FIGUEIREDO, 2005, p.59). A taxonomia para medir a capacidade tecnológica da firma através de estágios sucessivos e cumulativos de competências tem sido reproduzida e adaptada para estudos em diferentes seguimentos da indústria em países em desenvolvimento. Alguns exemplos podem ser encontrados em: Ariffin (2000); Ariffin e Figueiredo (2003); Tacla e Figueiredo (2003); Dutrénit (2000, 2004); Rosal (2004); Figueiredo (2005).

As principais vantagens da aplicação empírica da estrutura analítica para medição dos estágios de acumulação por função tecnológica são as seguintes:

- A captação de dois tipos distintos de trajetória de desenvolvimento tecnológico: por um lado, a evolução da produção de bens e serviços mais complexos; por outro, o “*aprofundamento* do nível de capacidade tecnológica” que pode evoluir da simples manufatura para atividades de “engenharia, desenho e desenvolvimento de processos e/ou produtos”;
- Apesar de utilizar a categorização por estágios, a capacitação de uma empresa em diferentes funções tecnológicas não ocorre numa “seqüência linear”. O modelo permite expressar o período necessário para a evolução entre estágios de capacidades tecnológicas, o que é bastante útil, pois as capacidades de um setor industrial ou de uma mesma empresa, não são “construídas, acumuladas, sustentadas (ou debilitadas), ao mesmo tempo e à mesma velocidade, para diferentes funções tecnológicas” (aspecto tempo);

- A categorização por “funções tecnológicas específicas (como produtos, processo e organização da produção) em termos de tipos e níveis de capacidade” permite a representação dos diferentes “estágios de acumulação” de uma empresa para uma dada função tecnológica. Isso ocorre porque “as empresas acumulam suas capacidades para funções tecnológicas diversas, de várias maneiras, em diferentes direções e velocidades” (aspecto qualitativo);
- Capacidades de produção rotineiras e tecnológicas inovadoras são acumuladas paralelamente, portanto é possível que capacidades inovadoras possam ocorrer ainda antes da consolidação de capacidades rotineiras básicas. Este fenômeno é conhecido na Literatura como “acumulação truncada ou incompleta’, observado, com certa freqüência, em empresas que operam em economias ou áreas emergentes” (FIGUEIREDO, 2005, pp.59-60).

A taxonomia utilizada na estrutura para análise da acumulação tecnológica baseada em níveis de capacidades permite uma aplicação empírica “mais sofisticada” para o exame da velocidade (ou taxa) de acumulação, expressada pelo “número de anos que uma empresa ou setor industrial leva para alcançar determinado nível de capacidade” por um lado, bem como o “tempo em que pode ter permanecido estacionada em certo nível de capacidade tecnológica”. Segundo Figueiredo (2005), a preocupação em medir o tempo para acumulação “ainda é uma questão negligenciada em estudos empíricos e em estratégias de inovação industrial - embora seja crucial para empresas de economias emergentes” (FIGUEIREDO, 2005, p.60).

Figueiredo e Marins (2005) aplicaram empiricamente uma estrutura analítica construída nos moldes da taxonomia baseada em níveis de acumulação de capacidade tecnológica para medir o desenvolvimento tecnológico em dezoito institutos de pesquisa e desenvolvimento – P&D voltados para o setor das TIC em vários estados brasileiros. Quanto aos tipos de função tecnológica, foram analisadas as capacidades dos institutos em: engenharia de software; gestão de projetos; produtos e soluções; e ferramentas e processos.

Para o exame da capacidade tecnológica nas organizações da amostra, foi construída uma métrica específica para esse tipo de indústria com base em extensivo trabalho de adaptação, calibração e validação (FIGUEIREDO, 2005, p.62).

Um estudo semelhante foi conduzido por Rosal (2004) que pesquisou a acumulação de capacidades tecnológicas na Eletronorte – que atua no seguimento de geração e transmissão de energia elétrica, tal como FURNAS. O trabalho de Rosal mapeou as competências tecnológicas em três funções específicas da empresa: engenharia, projetos e equipamentos; operação e manutenção; e processos operacionais. Segundo a autora, o modelo analítico de Figueiredo (2001), a partir de Lall (1992) e Bell e Pavitt (1995), foi “ajustado, em conjunto com engenheiros da

Eletronorte, para que melhor se enquadrasse às características de uma empresa prestadora de serviços de transmissão de energia elétrica” (ROSAL, 2004, pp.20-21). No Quadro III.6 estão representados os diferentes estágios de acumulação tecnológica assumidos no trabalho de Rosal para a primeira das funções estudadas pela autora.

Observa-se que uma característica comum à aplicação dessa métrica recai sobre a construção/adaptação do modelo de estrutura para medir os avanços de estágios de capacidades, desde rotineiras até inovadoras. A categorização em diferentes estágios serve como auxílio para análise não somente de empresas, mas de setores de um mesmo seguimento industrial, através de exames em empresas com o mesmo perfil de atuação. Por isso, em estudos como esses, é interessante que a estrutura proposta seja consistente, ou seja, encontre evidências que permitam identificar com clareza as mudanças de estágios de capacidades tecnológicas. Outro aspecto importante a ser considerado na calibração do modelo se refere à sua aplicabilidade em outras empresas, permitindo comparações entre as trajetórias de acumulação, o que permite uma visão mais ampla sobre o comportamento do seguimento industrial como um todo. Entretanto, não se deve deixar de lado a advertência de Lall já citada anteriormente, sobre a dificuldade de classificar níveis ou estágios de desenvolvimento tecnológico, o que torna essa categorização necessariamente indicativa.

Contudo, apesar das dificuldades para adequação do modelo, a análise empírica baseada em termos de uma abordagem dinâmica, ou seja, da análise da trajetória e da velocidade de acumulação tecnológica, permite o exame de indicadores de atividades inovadoras em empresas das EIR's, servindo como ferramenta adequada para a formulação de estratégias industriais que permitam às empresas moverem-se em velocidade suficiente para avançarem no sentido da elevação de suas capacidades tecnológicas.

No nível da empresa, estudar os níveis intermediários de acumulação de capacidades tecnológicas permite aos gestores lançar mão de um instrumento valioso para a formulação de planos estratégicos que visem à inovação, de forma “sistemática e coerente”, percebendo a influência da trajetória passada, identificando de maneira mais realista e menos “derrotista” o momento presente e vislumbrando o horizonte à frente como oportunidades para superar desafios palpáveis. Para isso, devem ser buscadas respostas para algumas questões que foram formuladas por Figueiredo (2005) a partir desses estudos.

- Onde estamos em termos de capacidades tecnológicas? - Quanto tempo levamos para chegar até aqui? - Por quanto tempo estamos “estacionados” em um determinado nível de capacidade para uma função tecnológica específica? - Quão distantes estamos da fronteira tecnológica internacional? - Onde queremos estar até o ano x? - Quais são os recursos e como geri-los para alcançar um nível de capacidade tecnológica em x número de anos? (FIGUEIREDO, 2005, p.61).

Em um nível mais amplo, Figueiredo (2005, p.65) sustenta que partindo de noções mais claras sobre a inovação industrial nos países emergentes, bem como das variáveis envolvidas, “é

possível calibrar, desenhar ou redesenhar estratégias com foco mais coerente com as necessidades do contexto industrial e tecnológico do Brasil e das suas diferentes regiões”.

FUNÇÕES	ENGENHARIA, PROJETOS E EQUIPAMENTOS
ROTINEIRA	
1. Básico	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilizar equipamentos (ativos) para o transporte de energia; - Decisão sobre a localização das SE's e dos trechos das LT's; - Terceirização dos estudos elétricos, Projeto Básico e Projeto Executivo; - Contratação de empresa para construção, comissionamento e fiscalização das – obras; - Sincronização dos trabalhos de construção civil e instalações de equipamentos.
2. Renovado	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento sobre arranjo de subestações; - Conhecimento de equipamentos de alta tensão (de 15kV a 500kV); - Dar suporte técnico durante a construção e montagem de SE's e LT's; - Coordenação e análise dos projetos elaborados pelas consultoras.
INOVADORA	
3. Extrabásico	<ul style="list-style-type: none"> - Realização dos estudos elétricos e Projeto Básico; - Especificação básica dos equipamentos (definição dos requisitos mínimos para os equipamentos); - Realização de empreendimentos até 230kV (nível de tensão); - Utilização de equipamentos com pouca sofisticação tecnológica (ex: banco de capacitor shunt e relés eletromecânicos); - Sistema de transmissão isolado; - Envolvimento na aquisição de equipamentos (analisar propostas apresentadas pelos fabricantes e analisar os documentos apresentados após a aquisição dos equipamentos).
4. Pré-intermediário	<ul style="list-style-type: none"> - Coordenação e Elaboração do Projeto Executivo de sistemas acima de 230kV; - Estudos sistemáticos para modernização das LT's e SE's; - Promover padronização dos projetos e especificações técnicas; - Utilização de equipamentos eletrônicos para proteção, controle, comando e supervisão; - Dar suporte técnico durante os ensaios de equipamentos nos fabricantes e na montagem (ensaios de tipo e especiais); - Participar do comissionamento do empreendimento; - Especificação do sistema de proteção, comando, controle, automação e supervisão. - Interligação parcial do sistema elétrico da empresa ao sistema nacional.

Figura III.6 – Competências tecnológicas na Eletronorte

FUNÇÕES	ENGENHARIA, PROJETOS E EQUIPAMENTOS
5. Intermediário	<ul style="list-style-type: none"> - LT's com alta capacidade de transporte (SIL elevado); - Planejamento da expansão da rede de transmissão de acordo com o plano nacional (incorporação às incertezas de longo prazo); - Executar a coordenação e a aprovação da integração dos sistemas de proteção, comando, controle, automação e dos sistemas supervisivos, junto aos fabricantes; - Visualizar as interferências entre os empreendimentos; - Desenvolvimento de soluções inovadoras para problemas específicos da área de concessão da transmissão (ex: PRE – pára-raios energizado, utilização de cabo OPGW em torre Raquet).
6. Intermediário superior	<ul style="list-style-type: none"> - Implantação de SE's totalmente desassistida (utilização de fibra ótica); - Elaborar e coordenar a elaboração de especificações com tecnologia digital; - Utilização de redes compactas para transmissão com cabo OPGW; - Capacidade de desenvolver empreendimentos em locais com variações climáticas, com vegetação e solos diversificados. - Interligação total do sistema de elétrico da empresa ao sistema elétrico nacional.
7. Avançado baseado em pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> - Pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para redução do custo da transmissão; - Digitalização de todo sistema de transmissão.

Fonte: Adaptado de Rosal, 2004, pp. 22-24.

Figura III.6 – Competências tecnológicas na Eletronorte (continuação)

Em resumo, a inovação tecnológica é considerada como algo de difícil gestão, porém como desafio que continuará pressionando as organizações e países para que se mantenham competitivos em níveis internacionais. A Literatura tradicional não apresenta ferramentas adequadas para a medição de indicadores de inovação em países de industrialização mais recente. A difusão da informação e do conhecimento no sistema produtivo é o fator-chave para o surgimento de inovações. A microeletrônica aplicada às principais atividades econômicas corresponde ao novo paradigma das tecnologias de informação e comunicação. A aquisição de tecnologia importada constitui importante fonte de difusão de inovações nos contextos dos países em desenvolvimento. Porém, não basta apenas captar o conhecimento sob formas convencionais, tais como a simples importação de sistemas físicos e treinamentos operacionais. Há necessidade de desenvolver capacidades tecnológicas inovadoras para gerar e gerir a mudança tecnológica. As capacidades tecnológicas de uma organização são acumuladas nos sistemas físicos suportados

pela tecnologia da informação; no capital intelectual; no tecido organizacional; e nos produtos e serviços resultantes dessa combinação. Para entender a dinâmica da inovação em países emergentes, onde a inovação ocorre de forma “truncada”, é preciso buscar formas alternativas de identificar a existência de atividades inovadoras. Nessas regiões, indicadores convencionais de inovação, tais como patentes e atividades de P&D, não são adequados para medir o esforço tecnológico de empresas e setores industriais. A taxonomia baseada em níveis ou estágios de acumulação de capacidades tecnológicas constitui-se numa ferramenta mais adequada para a medição de atividades inovadoras nas empresas e para a identificação de estágios intermediários de acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras.

CAPÍTULO IV – ACUMULAÇÃO TECNOLÓGICA: ESTUDO DE CASO SOBRE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS INOVADORAS EM PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO NA EMPRESA FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

Neste capítulo apresenta-se um estudo empírico sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas por uma importante empresa do Setor Elétrico Brasileiro, onde foi aplicada uma estrutura analítica construída a partir dos estudos de Lall (1992), Bell & Pavitt (1995), Figueiredo (2001) e Rosal (2004), conforme referencial teórico contextualizado no Capítulo III. A seção IV.1 descreve os elementos utilizados para o desenho da presente dissertação, através da proposição das questões para as quais pretende-se apresentar respostas. Apresenta-se também a metodologia utilizada na dissertação, bem como o plano de trabalho traçado para a obtenção dos dados e evidências que subsidiaram as análises e conclusões do estudo. São apresentados, ainda na primeira seção, o domínio e o alcance da pesquisa realizada, definidos a partir do foco de observação. Nas seções seguintes, são apresentados resultados da aplicação da pesquisa para seis subfunções tecnológicas na engenharia de proteção, controle e supervisão da empresa em estudo. A última seção do capítulo apresenta discussões e análises sobre os níveis de capacidade tecnológica atingidos.

IV.1- Desenho e Metodologia de Pesquisa

As questões propostas na presente dissertação se referem:

1. Ao mapeamento das capacidades tecnológicas na área de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão pela empresa FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A., através de uma estrutura analítica categorizada por níveis, que permite examinar as atividades desenvolvidas nas subfunções *planejamento, projeto, especificação, licitação, fornecimento e novas tecnologias*.
2. Identificar os níveis de capacidades tecnológicas na Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão de FURNAS, apresentando evidências que permitam considerar se a maneira como essas atividades são desempenhadas refletem capacitações rotineiras básicas, ou se, por outro lado, fornecem indícios sobre a acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras.

As questões formuladas foram direcionadas para uma empresa de transmissão e geração de energia específica: FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. Em trabalhos futuros, o mesmo processo de pesquisa poderá ser aplicado em outras empresas do setor, porém algumas características peculiares foram preponderantes para sua aplicação na referida concessionária, algumas delas já citadas anteriormente. Dentre os fatores que justificaram sua escolha, destacam-se sua importância para o setor elétrico no Brasil, como principal supridora de energia elétrica para a Região Sudeste - a mais industrializada do país; o tamanho da empresa, que segundo dados do Anuário Energia 2008, a situa como segunda maior geradora do país e terceira maior em relação às transmissoras (FURNAS, 2008); e seu perfil de comportamento de vanguarda, tendo sido a empresa responsável pela construção das usinas nucleares de Angra I e II e da Hidrelétrica de Itaipu – maior do mundo em sua época, dotada do único sistema de transmissão em corrente contínua até hoje em operação no Brasil.

A metodologia utilizada para análise consiste no Estudo de Caso Individual. Segundo Yin (2001, p.19), “estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo ‘como’ e ‘por que’, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real”. Rosal (2004, p.35) recorda a adequação do Estudo de Caso para “testar uma teoria bem formulada”: a dissertação utiliza a teoria sobre a acumulação de capacidades tecnológicas em países de industrialização tardia, a partir de estudos citados no capítulo anterior. Yin (2001) refere que o estudo de caso único é uma alternativa válida para se testar se uma teoria é correta; um dos fundamentos que justifica a adoção do estudo de caso único é o caso revelador. Na visão do autor, quando há oportunidade de observação e pesquisa por um ângulo privilegiado, a natureza reveladora justifica o caso único. Para o desenvolvimento do presente estudo, o pesquisador estava posicionado em um ângulo revelador, por ser um dos engenheiros da Divisão de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão – DPCS.E, cujas atividades se constituíram em objeto de observação e análise deste estudo. Este fato revestiu-se de importância decisiva para a definição do escopo e da abrangência do presente estudo, tanto sob o aspecto da qualidade na coleta de dados e da preparação para as entrevistas, quanto para a identificação de fontes de informação privilegiada, principalmente no que se refere às pessoas entrevistadas.

O plano de trabalho foi traçado de maneira a seguir esta ordem:

- a) Levantamento bibliográfico;
- b) Observação direta;
- c) Definição do escopo e da abrangência da pesquisa de campo;
- d) Determinação das subfunções para análise da acumulação tecnológica;
- e) Construção da estrutura analítica para mapeamento de níveis de capacitação;

- f) Elaboração de um roteiro para entrevistas;
- g) Análise dos dados coletados.

Seguindo sugestão para estudos futuros encontrados em Rosal (2004), que analisou capacidades desenvolvidas por outra transmissora de energia brasileira, o intuito deste trabalho foi a condução de semelhante pesquisa para o exame da acumulação tecnológica no setor elétrico. Algumas características dos trabalhos, todavia, diferem pelo escopo abordado. Rosal (2004) pesquisou a trajetória de acumulação de capacidades em três áreas distintas: “engenharia, projetos e equipamentos”; “operação e manutenção” e “processos operacionais”. A pesquisa a que se refere a presente dissertação focou-se na função “*Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão*”. Verificou-se ao longo do trabalho que o foco exclusivo na primeira função *Engenharia* permitiria uma contribuição mais efetiva, ao tratar especificidades não facilmente captáveis por observadores externos. Outro aspecto explorado na pesquisa conduzida por Rosal (2004) se refere aos processos de aprendizagem organizacional. No presente estudo, pelo entendimento de que se trata de tema que exige uma abordagem conceitual aprofundada, não se constituiu em objeto de observação, optando-se pelo aprofundamento na identificação do estágio de acumulação tecnológico alcançado por FURNAS, dado que se considerou mais importante construir uma estrutura analítica consistente para o exame das capacidades tecnológicas.

As quatro empresas de geração e transmissão de energia elétrica que constituem o Grupo Eletrobrás – Furnas, Eletronorte, Eletrosul e Chesf - possuem reconhecida tradição em Engenharia, Operação e Manutenção de seus sistemas. A análise da capacidade tecnológica nessas áreas pode representar um importante objetivo a ser investigado em futuras pesquisas em empresas do setor elétrico. Todas as atividades dessas empresas se vêem profundamente impactadas pela mudança no paradigma das TIC's. Entretanto, pelas características inerentes as suas atribuições, as áreas de engenharia e projetos, normalmente são as que primeiro estabelecem contato com as novas tecnologias. Nessas empresas, a Engenharia está constituída por departamentos e divisões que se especializam em determinadas áreas de concentração de conhecimentos. No caso de FURNAS, a Engenharia Elétrica corresponde a um departamento (vide seção II.4), cujas divisões possuem especialistas em quatro segmentos: linhas de transmissão; equipamentos elétricos; engenharia de subestações e usinas; e proteção, controle e supervisão.

Este trabalho foi estruturado para permitir a análise da acumulação de capacidades tecnológicas em uma área estratégica para a empresa, que corresponde à *Divisão de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão*. Dentre as atividades da engenharia elétrica, talvez nenhuma outra área tenha sido tão fortemente impactada pela mudança do paradigma tecnológico. A

evolução e a importância dessas disciplinas em empresas do setor elétrico encontram-se referenciadas no Capítulo II desta dissertação.

A definição das subfunções tecnológicas a serem avaliadas nesta área da empresa teve como base um documento organizacional contendo a síntese de atribuições da Divisão em estudo. Esta forma foi considerada como mais fidedigna para a construção de uma estrutura analítica baseada em níveis ou estágios de acumulação de capacidades tecnológicas para o setor.

O levantamento bibliográfico foi realizado com vistas a oferecer fontes de consulta, tão atualizadas e relevantes quanto possíveis, assim como dados históricos, que permitissem a compreensão das mudanças estruturais e tecnológicas ocorridas no Setor Elétrico; a evolução das tecnologias utilizadas para a proteção e o controle dos elementos que constituem a rede de transmissão de energia; e um arcabouço teórico bem fundamentado que permitisse a compreensão das mudanças no paradigma técnico-econômico e uma análise adequada das características evolutivas da capacitação tecnológica do setor de engenharia que está intrinsecamente relacionado com essas transformações. As principais fontes de consulta para a coleta de evidências sobre as capacidades desenvolvidas pela empresa foram baseadas em:

- Manuais da Organização;
- Especificações técnicas e técnico-comerciais;
- Especificação Padrão da Divisão de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão;
- *Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema – ONS*;
- Editais de licitação e contratos de fornecimento;
- Projetos elétricos para Proteção, Controle e Supervisão – P, C & S, incluindo diagramas unifilares, trifilares, esquemáticos, vistas de painéis, listas de materiais etc.;
- Registros de Inspeções realizadas durante testes em fábrica para aceitação de sistemas;
- Normas técnicas;
- Biblioteca com acervo próprio da empresa (Dissertações e monografias de cursos de pós-graduação e artigos publicados por funcionários de FURNAS);
- Anais de congressos e seminários técnicos (SNPTEE; STPC etc.);
- Revistas FURNAS Linha Direta – várias edições e edição especial 50 Anos;
- Anuários Estatísticos (2005 e 2006) - informações atualizadas sobre o parque instalado;
- Portal corporativo da empresa – intranet.

A pesquisa foi realizada entre os meses de abril de 2007 e março de 2008. Através de observação direta da atuação dos funcionários, individualmente, e da Divisão, como um todo, foram coletadas evidências sobre o desempenho profissional em diversas atividades, tais como: reuniões formais / informais de trabalho, com ou sem a presença de fornecedores e projetistas; cursos e palestras ministrados pelos fabricantes de sistemas de proteção e controle; ensaios e

testes de aceitação em fábrica; comissionamentos de sistemas nas instalações da empresa; participação em seminários e congressos técnicos.

A necessidade de definir subfunções tecnológicas foi detectada no início da construção da estrutura analítica categorizada por níveis de capacidades na função “engenharia de P, C & S”. Logo no começo da elaboração da matriz, constituída por sete níveis de capacidades tecnológicas (básico – renovado – extrabásico – pré-intermediário – intermediário – intermediário superior – avançado baseado em pesquisa), notou-se a necessidade de uma sistematização das atividades empreendidas pelo órgão que representasse o que realmente é realizado no dia-a-dia. Para esta tarefa, foi de capital importância a obtenção da Síntese de Atribuições da DPCS.E. Com base neste documento organizacional foram propostos os seis processos ou subfunções tecnológicas mais importantes exercidas pela Divisão: *Planejamento – Projeto – Especificação – Licitação – Fornecimento – Novas Tecnologias*. Esta base analítica correspondia plenamente às atividades sob a responsabilidade do órgão e estão elencadas em uma ordem lógica que permite uma interpretação bastante clara sobre suas atribuições ao longo dos ciclos dos projetos. As tarefas e atividades relacionadas a essas subfunções encontram-se descritas na seção II.4 deste trabalho. Na Figura IV.1 estão representadas as etapas correspondentes às subfunções tecnológicas exercidas pela Divisão.

As análises sobre os dados coletados preliminarmente, bem como as evidências e informações a partir da observação direta, permitiram a construção de uma estrutura analítica categorizada por sete níveis, desde o básico até o avançado, para seis subfunções tecnológicas. O alcance de cada um desses níveis pressupõe que as capacidades para empreender atividades concernentes aos níveis mais inferiores tenham sido atingidas. Com base neste pressuposto, foi elaborado um roteiro básico de perguntas, de maneira a relacionar as respostas obtidas com uma estrutura analítica construída para o mapeamento das capacidades tecnológicas acumuladas.

Para a definição dos funcionários que iriam responder ao questionário, foram determinados alguns critérios de modo a obter respostas o mais próximas da realidade da trajetória das áreas de engenharia de P, C & S quanto possível. Um dos critérios estabelecidos foi o de entrevistar somente pessoas envolvidas com esses sistemas havia mais de vinte anos, o que representou a totalidade dos entrevistados. Esta tarefa foi facilitada pelo fato de a Divisão possuir um corpo técnico formado por um número significativo de profissionais com este tipo de experiência. Responderam ao questionário, ao todo, 10 funcionários da empresa, incluindo os gerentes da Divisão – DPCS.E, e de Departamento – DEL.E, que antes de assumir a gerência do departamento, havia chefiado aquela Divisão, até o final dos anos 1990. Dentre os funcionários que responderam ao questionário, apenas um não pertence mais à Diretoria de Engenharia, porém, teve participação atuante durante o processo de migração de tecnologias no setor, com

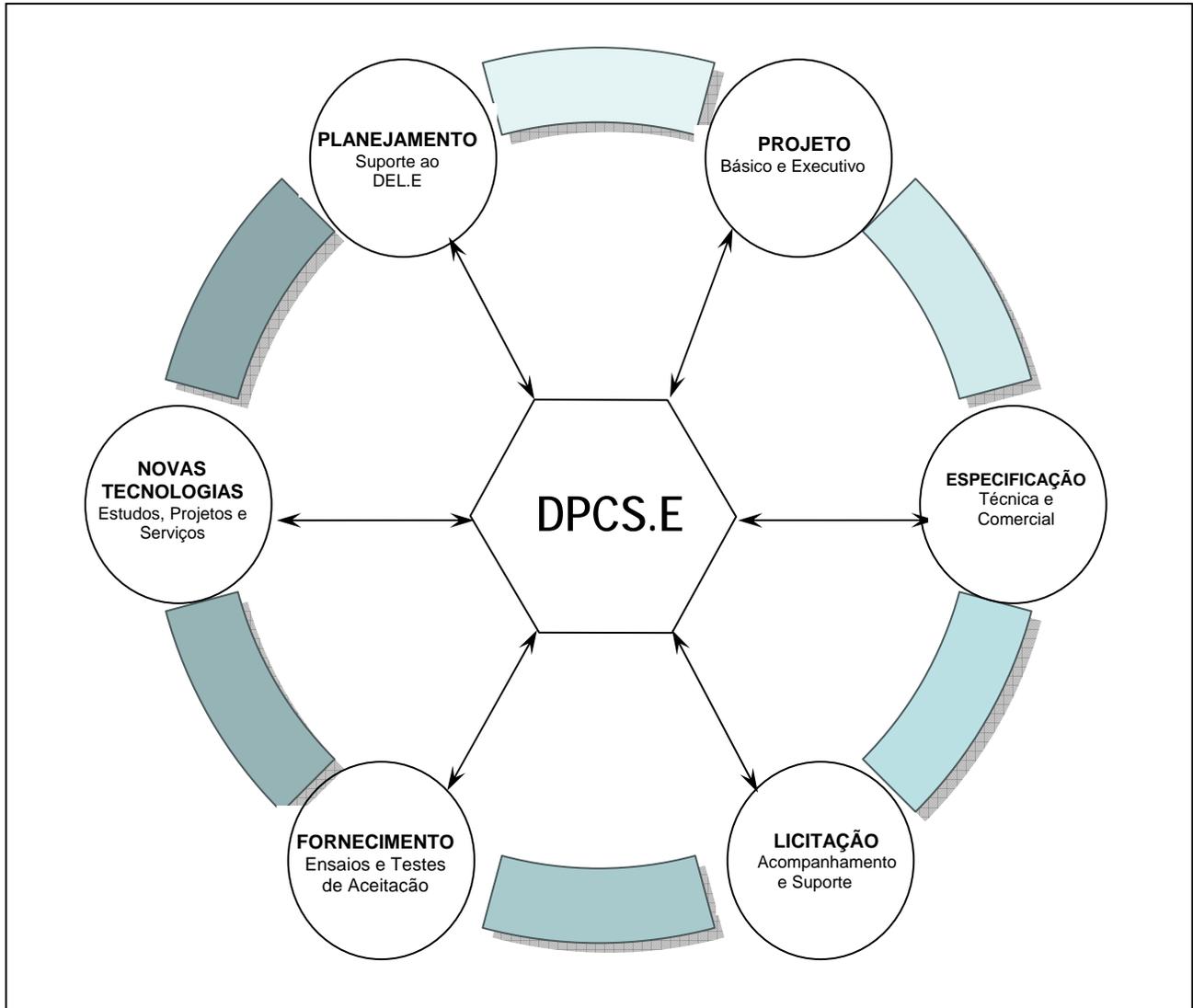
reconhecida presença em congressos, inclusive como conferencista. Apenas um dos respondentes passou a integrar os quadros da Engenharia havia um ano, porém, por sua experiência na Diretoria de Operação superior a duas décadas de atividade, foi solicitado que participasse da pesquisa. Somente um dos respondentes participa como colaborador de FURNAS há menos de dez anos, porém, por possuir experiência em projetos de proteção para FURNAS desde a década de 1970, sua inclusão também foi considerada fundamental.

Optou-se pela utilização de um questionário único que fosse respondido tanto por especialistas em proteção como em controle e supervisão (Vide Apêndice A – Roteiro Básico de Perguntas). Esta definição tomou como base o fato de a fusão dessas duas atividades, realizadas anteriormente por divisões distintas, ter ocorrido no mesmo período de mudança do paradigma técnico-econômico, o que já permitiu uma interação muito maior entre os especialistas dessas duas áreas ao longo de mais de dez anos. Além disso, tal como sustentado no referencial teórico apresentado no Capítulo II, observa-se atualmente no âmbito das empresas de energia elétrica, uma forte tendência à integração entre essas áreas, o que também foi confirmado por meio dos depoimentos dos entrevistados. Dentre os entrevistados, cinco funcionários são especialistas em projetos de proteção e outros cinco possuem sólida carreira em controle e supervisão, resultando num equilíbrio de opiniões que representou as funções do conjunto da Divisão.

As entrevistas conduzidas entre o período de novembro de 2007 a abril de 2008 constituíram a principal fonte de informações sobre a evolução e acúmulo de capacidades tecnológicas. A experiência dos funcionários constitui uma valiosa contribuição para a coleta e interpretação de dados, uma vez que esses profissionais exerceram papéis atuantes ao longo da trajetória analisada.

A fim de direcionar o alcance das respostas, a maior parte das perguntas formuladas foi do tipo fechada, apenas para confirmar ou não o que era questionado. Este procedimento visou a uma maior objetividade para o estabelecimento do nível de capacidade acumulado, que permitiu a representação, em números absolutos e percentuais, baseada na percepção dos entrevistados, do estágio de desenvolvimento tecnológico da Divisão.

As entrevistas foram conduzidas de maneira semi-estruturada, seguindo o roteiro básico de perguntas pré-estabelecido, sendo que o pesquisador fazia intervenções para focar as respostas, quando julgava necessário, e explorava detalhes baseados nas vivências dos profissionais.



Fonte: Elaboração própria, a partir da síntese de atribuições da DPCS.E

Figura IV.1 – Subfunções Tecnológicas da DPCS.E

Buscou-se também, através de perguntas do tipo “quando”, recuperar informações sobre eventos em que houve aplicação de tecnologias novas, para a identificação de marcos tecnológicos relevantes, para situar no tempo, momentos em que determinadas capacitações tenham sido desenvolvidas e aprofundadas.

A aplicação do questionário exclusivamente a funcionários da área em estudo poderia representar uma amostragem tendenciosa, porém os entrevistados demonstraram uma visão crítica sobre os processos. Para diminuir o efeito da subjetividade das respostas, foi realizada uma análise comparativa, o que permitiu a verificação de eventuais discordâncias de opiniões sobre um mesmo fato, de maneira a identificar quando uma opinião refletia um ponto de vista individual ou

expressava idéias compartilhadas coletivamente. De uma forma geral, a percepção do grupo entrevistado foi convergente para a grande maioria dos assuntos abordados. Assim mesmo, o critério utilizado para considerar plenamente atingido determinado nível de capacidade tecnológico baseou-se na premissa de que todos os entrevistados deveriam ter respondido positivamente ao que era perguntado.

Na maior parte das entrevistas realizadas, percebeu-se pela quantidade de informação obtida, um maior interesse dos entrevistados, quando foram tratadas as subfunções: projetos, especificações e fornecimentos. Este aspecto está, muito provavelmente, vinculado à característica do setor, que segundo dados coletados nas entrevistas e por meio de observações diretas do pesquisador, atua de maneira muito mais como órgão executor. Baseado em depoimentos de vários entrevistados, esta característica tem sofrido transformações, e a Divisão tem passado se comportar mais tipicamente como gestora de recursos nos empreendimentos sob sua responsabilidade.

Nas seções seguintes, encontram-se alguns dos principais dados coletados sobre essas subfunções, que forneceram subsídios para se verificar as capacidades tecnológicas acumuladas na engenharia de SPCS e propor uma classificação dos níveis de aprofundamento dessas capacidades em cada uma delas.

IV.2- Capacidades Tecnológicas na Subfunção Planejamento

A Divisão de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão – DPCS.E - possui como atribuição principal implantar sistemas de proteção, bem como de controle e supervisão nos novos ativos que se incorporam ao sistema FURNAS. No Capítulo II foi apresentado, detalhadamente, o conjunto das atribuições da DPCS.E dentro do Departamento de Engenharia Elétrica – DEL.E. A atividade de *planejamento* é uma de suas atribuições. Entretanto, apesar de um aparente papel secundário, é o planejamento que dá origem a todos os projetos da Divisão. Nesta abordagem, além deste sentido, dentro da subfunção também estão compreendidos os componentes da infraestrutura física, organizacional e tecnológica que servem de suporte para que as atividades do órgão funcionem satisfatoriamente.

Resumidamente, uma forma de compreender a extensão das responsabilidades da Divisão corresponde à aquisição dos sistemas até sua colocação em funcionamento. Assim, toda vez que se coloca em operação um novo empreendimento, tal como quando que se constrói uma nova linha de transmissão para aumentar a confiabilidade do sistema de potência, ou quando se instala um novo banco de transformadores para aumentar a capacidade de uma subestação, é necessário adquirir e instalar esses sistemas. A aquisição demanda que sejam elaboradas especificações e acompanhamento técnico contínuo durante o processo de licitação, que só

termina quando é assinado o instrumento contratual. Neste momento, inicia-se a segunda fase do processo, que é o fornecimento, ao qual estão associadas tarefas relacionadas à aceitação dos sistemas comprados; à contratação do projeto para instalação; e à efetiva energização, após a fase de comissionamento em campo. Essas são apenas algumas das etapas que correspondem ao cotidiano das atividades da DPCS.E.

Para que todas essas atividades ocorram de maneira a atingir níveis de eficiência operativa, entregando e disponibilizando os sistemas dentro dos prazos estabelecidos para entrada em operação, faz-se necessário planejamento. Por outro lado, vale ressaltar também que, antes mesmo de um novo empreendimento ser aprovado, a Divisão também fornece subsídios sobre características, custos e prazos necessários para previsão orçamentária, para composição de um orçamento mais amplo realizado pelo Departamento.

O mapeamento de capacitações da função tecnológica *planejamento* realizado neste estudo identificou estágios de acumulação que variaram desde a simples capacidade rotineira para disponibilizar os Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão – SPCS, de maneira sincronizada com a entrada em operação de novas instalações ou de ampliações/modernizações às existentes, considerada básica - até um estágio mais avançado, no qual poderiam ocorrer projetos de pesquisa e desenvolvimento, visando à criação de ferramentas que otimizassem o planejamento das atividades e a disponibilidade geral do sistema de potência.

Os orçamentos preparados pela Divisão para a contratação de projetos e aquisições são realizados a partir de um banco de dados corporativo, que disponibiliza informações sobre compras recentes, armazenadas em um diretório compartilhado por todos os funcionários. O acompanhamento e a comparação entre os valores para compra com os valores orçados é algo intrínseco ao processo de compras em empresas públicas, sendo vedada possibilidade de serem realizadas compras acima dos valores das requisições. Além disso, variações de preço muito abaixo do orçado têm que ser justificadas. Outro balizador utilizado para o acompanhamento e comparação com a finalidade de preparação dos orçamentos é um banco de preços disponibilizado periodicamente pela Eletrobrás.

Sob o ponto de vista da codificação do conhecimento, alguns depoimentos colhidos na pesquisa se referem à ausência de um procedimento sistematizado para a preparação dos orçamentos no nível da Divisão. Segundo um dos entrevistados: “O conhecimento está na cabeça das pessoas...”. Percebe-se que os orçamentos são realizados baseados mais na experiência dos indivíduos do que em uma base de conhecimentos compartilhada.

Além de informar sobre os valores, a Divisão também fornece informações sobre características dos sistemas e prazos necessários para solicitar a remuneração dos empreendimentos na aquisição de novos ativos pela ANEEL. A prestação desse tipo de subsídio

para o Departamento sempre ocorreu. De acordo com um depoimento, o que mudou é que antes do novo modelo do setor, “a finalidade era apenas prestar contas; agora, além disso, a empresa tem que ser competitiva”, uma vez que participa em um mercado regido pela concorrência (leilões). Outra característica realçada sobre o modo de atuação da Divisão consiste na responsabilidade pela evolução tecnológica de sua área, ao estabelecer a “política de evolução dos SPCS, trazendo informação de novos equipamentos que surgem e a oportunidade de serem incluídos nas licitações”, conforme o depoimento de um dos gerentes entrevistados.

Um aspecto bastante recorrente durante as entrevistas se refere à redução do *tempo*. Houve unanimidade de que os prazos atuais para os empreendimentos são muito menores do que em períodos anteriores: “O engenheiro tinha mais tempo para pensar e discutir o projeto” – recorda um dos entrevistados. Segundo a visão de outro especialista, houve uma mudança de prioridade: “sempre houve certa prevalência dos projetos para que os cronogramas se adequassem conforme necessário; essa situação se inverteu e a prioridade passou a ser o cumprimento dos cronogramas”. Com efeito, foi cunhada a frase: “Antigamente se fazia o projeto no tempo necessário, com a qualidade exigida. Hoje se faz no prazo fixado, com a qualidade possível”.

A prioridade e o foco no cumprimento de prazos estão diretamente relacionados com a mudança de cenário do setor elétrico, que passou de um ambiente regulado por concessões do Estado para um modelo de competição, onde os empreendimentos têm remuneração e prazo para a entrada em operação definida pelo órgão regulador – ANEEL (vide Capítulo I). Um dos gerentes entrevistados informou que recente mapeamento de processos realizado em FURNAS detectou que a duração típica de um empreendimento na transmissão é de 30 meses. Como os prazos para os projetos autorizados pela ANEEL têm variado de 18 a 24 meses, depreende-se que ainda há necessidade de ganho de agilidade nesses processos. Principalmente no que se refere às atividades realizadas pelo órgão de aquisição, há a percepção de que falta uma visão de conjunto para que atue como parte integrante dos empreendimentos. Foi ressaltado por um dos entrevistados que, mesmo na área técnica, ainda não é totalmente efetivo o controle sobre o cronograma dos projetos. Reuniões periódicas de coordenação com outros órgãos e acompanhamento dos cronogramas, auxiliado pelo uso de planilhas eletrônicas e softwares próprios, como *MS-Project* e *Primavera*, são recursos utilizados para o controle do andamento dos projetos.

Verificou-se a existência de mecanismos para o controle de gastos nos empreendimentos por meio da determinação de centros de custo. Constatou-se uma visão bastante convergente de que é efetivo este controle. Opondo-se a esta idéia, apenas um dos entrevistados citou o fato de que a cultura a respeito de controles ainda está em formação, principalmente por órgãos das

demais diretorias da empresa. Outro funcionário, apesar de concordar que esteja implantado, defende que existem ainda “resquícios do modelo anterior” e que se trata de um ponto a ser melhorado: “é necessário se adaptar à idéia de que esta formalização dos custos é muito importante”. Na opinião de um dos entrevistados, uma possível inovação seria o acesso *on-line* às informações dos desembolsos de cada projeto, que ainda se faz de maneira indireta, por meio de consultas a funcionários designados para manterem este acompanhamento.

Outra capacitação mapeada na pesquisa, também relacionada com a mudança do cenário do sistema elétrico, se refere à capacidade para gerir de maneira eficaz as situações de compartilhamento de instalações com outras empresas que se conectam na rede de FURNAS. Com relação a este aspecto, um dos entrevistados mencionou o fato de a DPCS.E participar, desde a publicação do Edital pela ANEEL, com informações sobre os sistemas, até a implantação da conexão: “nós somos consultados e participamos de reuniões para a definição de como o acessante vai se conectar à rede de FURNAS em determinada subestação. Nós oferecemos este suporte”. Na opinião de um dos gerentes: “a Divisão é importante neste processo de conexões porque elas interferem na proteção das linhas”. A explicação é dada por outro especialista:

“se um acessante interrompe uma linha (de transmissão) nossa, não basta definir somente a proteção da nova subestação que será interposta na linha; às vezes, isso vai impactar nas proteções existentes nas pontas da linha antiga, havendo necessidade de troca de equipamentos para que se tornem compatíveis com as novas proteções utilizadas na nova subestação. Existe toda capacidade na Divisão para sermos consultados sobre o que tem que ser feito nos novos acessos”.

Para alguns entrevistados, o papel de consultora da Divisão nos casos de compartilhamento tem diminuído, uma vez que os novos agentes têm se capacitado, após as primeiras experiências, para realizar este tipo de atividade; o atual papel da DPCS.E seria mais o de aprovadora dos projetos a serem implementados. Uma crítica feita por um dos entrevistados está relacionada à qualidade técnica das soluções adotadas por alguns desses agentes, vistas como “minimizadas em termos de custos”, em detrimento dos padrões de confiabilidade e segurança com que FURNAS estava habituada.

A pesquisa realizada procurou identificar também a existência e a utilização de práticas e ferramentas tecnológicas relacionadas com o gerenciamento de projetos. Novamente a questão do tempo foi uma tônica nas respostas obtidas. Todos reconhecem a necessidade de se aprimorar a gestão dos projetos em vista da redução do tempo disponível para a realização das tarefas. Segundo um dos especialistas: “A tendência é a de sermos cada vez mais gestores do empreendimento do que mão-de-obra executora”. Outro entrevistado afirma que: “A Divisão hoje é mais gestora (...). O problema é a demanda de serviços e o tempo”. Na opinião de outro especialista, esta cultura precisa ser disseminada: “existem áreas na empresa que utilizam mais o gerenciamento integrado de engenharia, comunicando-se através de uma linguagem mais moderna e de modo mais ágil, compatível com a gestão de projetos”.

Uma das ferramentas em implantação para novos empreendimentos em FURNAS é o aplicativo *GIEP – Gerenciamento Integrado de Engenharia de Projetos*. Trata-se de uma ferramenta de TI, concebida para trabalho colaborativo utilizando a Intranet de FURNAS, que utiliza como plataforma o MS-Project. O programa está estruturado em vários módulos, cuja implementação de dados é responsabilidade dos diversos órgãos que participam dos cronogramas dos projetos. Para os especialistas, “a grande vantagem é a consulta mútua e todos podem acompanhar os projetos sobre uma base comum de consulta, mantendo a visão do empreendimento como um todo”. Na opinião de um dos entrevistados, a ferramenta resolve dois grandes problemas até então existentes: “primeiro, porque todos possuem a visão dos empreendimentos em um único banco de dados” – anteriormente coexistiam vários cronogramas dentro da empresa, nos diferentes órgãos envolvidos em um mesmo projeto; “segundo, é o fato de poder ser alimentado de forma distribuída – cada um implementa a sua responsabilidade”. Entretanto, vários entrevistados recordaram que o programa não funciona sozinho, ou seja, precisam ser inseridos os dados de cada área e esta é a maior dificuldade.

O nível mais avançado de capacidades na função planejamento questionou se a DPCS.E possuía experiência em projetos de P&D voltados para o aumento da disponibilidade do sistema através da melhoria do gerenciamento dos projetos. Não foi mapeada esta competência nas entrevistas realizadas. Alguns dos entrevistados, porém, citaram quais seriam, sob seus pontos de vista, os avanços que poderiam ser buscados. Alguns acham que a utilização massiva do GIEP seria um bom começo. Na opinião de um dos profissionais, “a comunicação e o respeito aos cronogramas são pontos a serem melhorados”.

IV.3- Capacidades Tecnológicas na Subfunção Projeto

As atividades da DPCS.E estão estreitamente vinculadas com os projetos elétricos dos sistemas que implanta. O termo *projeto*, nesta subfunção, não guarda o sentido de empreendimento: refere-se aos documentos efetivamente utilizados como base para implantação dos novos sistemas sob sua responsabilidade, compreendendo desenhos, diagramas, plantas, bases de dados, enfim toda a informação necessária para que seja enviado para campo e executado. O *projeto*, na conotação que o termo assume, neste caso, é composto por todo o conjunto de informações codificadas que representam a solução técnica para que uma determinada obra de engenharia seja realizada.

Para investigar a competência acumulada em projetos de engenharia, foram consideradas capacidades rotineiras básicas a decisão sobre a alocação física de painéis referentes aos SPCS nas instalações das subestações e usinas da empresa, bem como a simples distribuição dos projetos às diversas áreas da empresa, considerando que a capacidade para elaboração não

existisse ainda. Um incremento a esta capacidade, conforme a categorização proposta, corresponderia à capacidade de elaboração dos projetos básicos. Todos os entrevistados confirmaram que essas capacitações existiam desde o início das atividades, sendo inerentes à Divisão.

O terceiro nível propunha que, para ser atingido, houvesse a capacidade para coordenação e análise dos projetos realizados por consultorias externas. Segundo a informação obtida nas entrevistas, esta capacidade se consolidou a partir de 1975, principalmente após a implantação dos primeiros sistemas em 500 kV. Antes disso, “era a época em que se importavam os projetos através das consultoras. Ao longo do tempo adquirimos a tecnologia até nos tornarmos independentes”, recorda um especialista. Portanto, trata-se de um nível de capacidade consolidado há mais de trinta anos. Segundo um especialista, este foi um tempo em que os profissionais “não somente acompanharam, mas também programaram, desenvolveram e instalaram sistemas”, porém, conforme ressalva: “a alta gerência definiu que essas atribuições não seriam da Divisão”.

Capacidades para a coordenação e a análise dos projetos elaborados externamente pelas empresas de consultoria, ou “projetistas”, foram consideradas compatíveis com um nível de competência um pouco mais elevado, no mapeamento de competências desta subfunção. Todos os entrevistados responderam que esta capacidade é mantida na Divisão há muitos anos, sendo que, em um dos relatos indicou-se que esta capacitação começou no início dos anos 1980. No final da década anterior, o volume de projetos já não permitia que pudessem ser realizados internamente. Até então, segundo recorda um dos entrevistados, “FURNAS adotava uma filosofia de manter um grupo de profissionais muito forte em projetos, colocando essas pessoas com muita experiência como coordenadores”.

“Havia mais gente e era mais viável que o engenheiro responsável examinasse com maior tempo, aprofundando aspectos técnicos, discutindo e questionando o projeto, que ficava engavetado por 6-8 meses esperando começar a obra. Ele era conhecedor do projeto e da dinâmica, discutindo com o projetista”.

A maior incidência de respostas referentes à capacidade para a fiscalização de projetos indica que sempre existiu. Apesar de, no modelo analítico utilizado, a capacitação para elaborar diretamente os projetos executivos se situar em um nível um pouco mais elevado do que a capacitação para análise, a tônica das respostas situou que a capacitação para análise estava diretamente relacionada com a capacidade para a elaboração dos projetos. Sobre este aspecto, um dos gerentes enfatiza: “a confecção do projeto não é atividade-fim da DPCS.E”. Por outro lado, houve um período de tempo em que os empreendimentos se tornaram escassos e os novos profissionais que foram sendo absorvidos pela Divisão “não foram treinados ou não puderam ser selecionados de maneira que já tivessem esta experiência anteriormente” e a capacidade de

análise crítica dos projetos foi afetada: “A capacidade de formular soluções mais elaboradas foi sendo perdida. As preocupações centrais passaram da técnica para os custos e prazos”, conforme observado por um dos especialistas.

Novamente, observou-se aqui uma tensão entre as atividades de gestão e de engenharia. Alguns depoimentos confirmam esta dicotomia:

- “O dilema é que você não consegue ser o gestor do projeto e ao mesmo tempo cuidar da parte técnica de um empreendimento”;
- “Começou a haver uma criticidade nos prazos”;
- “A Divisão hoje é muito mais gestora”;
- “A questão econômica está prevalecendo em relação à técnica. A tendência é nos tornarmos mais coordenadores e menos executores, e deixarmos de aprofundar determinados pontos”;
- “Há tendência a não se manter toda a capacitação em projetos por causa da premência dos tempos atuais”.

Na estrutura analítica utilizada para o mapeamento das capacidades em projeto, para que as competências acumuladas estivessem situadas em um patamar intermediário, considerou-se que duas premissas deviam ser atendidas: a coordenação da integração dos SPCS junto aos fornecedores e aos demais órgãos envolvidos durante o projeto deveria ser exercida pela Divisão; e a existência de um sistema de arquivamento digital de documentos de projetos do órgão.

Dois especialistas entrevistados recordaram a evolução dos sistemas de proteção, bem como de controle e supervisão, destacando os seguintes marcos tecnológicos:

- a) Fase inicial: painéis e sistemas isolados, tanto para os relés de proteção, como para as funções de controle e supervisão;
- b) Início da evolução: crescimento do sistema aumentou a necessidade de supervisão, tornando necessário um Centro de Operação do Sistema. A aquisição de dados era realizada pelas primeiras unidades de aquisição de dados para supervisão, porém ainda baseada em eletrônica analógica, sem nenhum tipo de processamento;
- c) Dispositivos digitais: relés de proteção microprocessados e unidades de aquisição e controle – UAC’s, ainda em equipamentos segregados;
- d) Fase atual: sistemas de proteção e controle integrados – IED’s, com forte tendência a agregar proteção e controle em um único equipamento.

Conforme relato de um dos especialistas em controle, durante os anos em que o Brasil praticou a política de reserva de mercado, os sistemas de supervisão foram desenvolvidos internamente:

“FURNAS participou orientando os fabricantes sobre como produzir os equipamentos, inclusive dando apoio dentro das fábricas. Nesta época nasceu o CEPEL, importante marco no desenvolvimento do setor, e em conjunto com ele foram desenvolvidos equipamentos e tecnologias nacionais para suprir a supervisão e o controle”.

Segundo recorda um dos entrevistados, integrar a proteção com o controle convencionais não era nada mais que um trabalho de “puxar fios”. Conforme sua experiência, a chamada integração começou em meados dos anos 1980: “Em 1985 este negócio começou a pegar fogo. Foi a época da UHE Corumbá. Não foi demorado acumular competência. A parte digital veio muito em função de nosso acordo com o CEPEL”.

Houve consenso entre os entrevistados também sobre o papel de coordenação da integração da proteção com o controle, durante toda a migração de tecnologias: “a coordenação das atividades de integração entre sistemas foi sempre responsabilidade da Divisão”. O papel de interface da Divisão junto aos profissionais de outras áreas da empresa também foi verificado: “Existem características específicas de conhecimento detidas por outros órgãos da empresa. Nós sempre chamamos esses órgãos para participar conosco”.

Conforme foi referenciado no Capítulo II, a aplicação de técnicas digitais nas subestações e usinas começou pelos sistemas de controle. Um dos entrevistados resumiu este descompasso: “Quando a tecnologia digital começou, houve uma corrida para sua implantação, inicialmente pela supervisão e controle. A proteção permaneceu analógica e estática durante um tempo”. Alguns dos entrevistados recordam que a convergência entre proteção e controle foi o principal fator para que ocorresse a junção das atividades de duas divisões distintas em um mesmo órgão. Entretanto, foi possível detectar que não se tratou de um processo muito fácil, havendo inicialmente certo distanciamento entre os profissionais de uma e de outra disciplinas. Na opinião captada em um dos relatos: “a fusão da proteção com o controle foi sofrido. O pessoal da proteção tendia a considerar importante fazer as linhas entrarem com proteção – o resto era acessório. A fusão ocorreu na mesma época da aceitação da tecnologia digital para a proteção”. Segundo apurado, essas dificuldades foram superadas com o tempo, havendo reconhecimento mútuo sobre a importância desses dois subsistemas por funcionários com ambas formações específicas.

O arquivo técnico de desenhos de projeto da empresa existiu desde a constituição da empresa. Entretanto, o volume da documentação, com o passar do tempo, tornou necessário um sistema mais viável sob os aspectos de armazenamento e acesso. Com esses dois objetivos, FURNAS desenvolveu por meios próprios, um sistema de arquivamento de desenhos em formato digital. O aplicativo SGDT – Sistema de Gerência de Documentos Técnicos permite o acesso a

uma base de dados de arquivos digitais unificada para toda a empresa. O sistema faz parte do Projeto CADTEC, cujos objetivos são: “fazer com que toda documentação técnica produzida ou alterada pelas áreas de engenharia de FURNAS seja gerada, atualizada, transitada, consultada, comentada, aprovada e impressa utilizando o meio digital”, conforme o órgão responsável pela manutenção. O acesso pode ser feito por qualquer funcionário autorizado por meio de senha de acesso através do portal corporativo da empresa. Algumas vantagens do sistema de arquivamento digital de FURNAS foram captadas durante as entrevistas:

- “Outras empresas não possuem de forma integrada e centralizada como FURNAS. Cada departamento e cada diretoria possuem os seus sistemas”;
- “Visualizar o desenho em tempo real é uma grande vantagem”;
- “Mais do que uma vantagem competitiva, é uma questão de sobrevivência”;

ficaria mais rápida, o projetista vai conhecer o padrão e analisar mais rápido”; “existem soluções diferentes para uma mesma funcionalidade e várias áreas fazendo atualizações de desenhos, mas cada uma faz do seu jeito”. Um dos entrevistados afirmou que: “o exemplo no controle são as bases de dados - narrativas, relações etc.. Para elaborar este documento, precisam ser consultados vários órgãos da empresa. Não é algo sistematizado”. Um dos entrevistados atribui à instabilidade de estratégias políticas para o setor elétrico um impacto negativo na evolução, que ora tendia para um modelo de privatizações, ora para um modelo estatal: “a indefinição aliada à gerência política não permitem a consistência e a constância necessárias”.

O nível de capacitação mais avançado em *projetos*, conforme o modelo analítico proposto, seria identificado pelo alcance de duas metas: um sistema de arquivamento digital de documentos de projeto totalmente atualizado e a definição pela Norma IEC 61850 – Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações como modelo a ser implementado em todos os novos projetos dos SPCS.

Com relação à meta de atualização de todos os desenhos, de maneira geral, todos observam que, mesmo não estando totalmente atualizados, há empenho para que isso aconteça, apesar de não haver uma programação formal. Percebe-se que existem algumas dificuldades para resolver determinadas situações, como a falta de mecanismos para identificar tempos excessivos de retenção de desenhos em atualização e a falta de uma definição clara e única para a realização de desenhos de atualizações “como construídos”, que permanecem como oportunidades de melhorias.

A Norma IEC 61850 surgiu como resposta a um anseio dos usuários de equipamentos digitais por um padrão de comunicação entre esses dispositivos. Depois da entrada da tecnologia digital nas subestações e usinas, surgiu uma enorme variedade de dispositivos microprocessados, para a realização das mais diversas funções nas subestações, tais como medidores eletrônicos, sistemas de monitoramento, controladores de paralelismo, sistemas de telecomunicações, entre outros, que na maioria das vezes, não trocam informações entre si. A Norma é um desenvolvimento conjunto que se propõe a resolver o problema de comunicação existente entre famílias de dispositivos diferentes, bem como entre dispositivos de uma mesma família, como por exemplo, no caso de relés de proteção de fabricantes diferentes. Os grandes fabricantes têm apresentado alguns resultados muito animadores, existindo projetos com o uso deste padrão em diversas empresas de energia elétrica em nível mundial.

A utilização ampla da norma IEC 61850 como padrão em todos os novos projetos causou bastante polêmica entre os especialistas. É unânime a opinião de que se trata de uma “tendência inexorável”. Abaixo, são apresentados alguns depoimentos que ratificam esta percepção:

- “A intenção é aplicar a norma. Está sendo feito gradativamente”;

- “A tendência é usá-lo”;
- “Existe a intenção de adotá-lo”;
- “Estamos apostando nessa tecnologia”;
- “A Norma visa à conectividade entre os sistemas. É uma tendência de mercado”;

IV.4- Capacidades Tecnológicas na Subfunção Especificação

A redação de *especificações* técnicas para os sistemas de proteção e controle é uma atividade que reflete o conhecimento acumulado por anos de experiência dos profissionais nessas áreas. Além de servirem como fonte de informação vital para a aquisição desses sistemas, a especificação é uma das fontes mais visíveis de armazenamento e de transmissão de conhecimento entre os profissionais. Ao preparar uma especificação, o especialista não somente socializa o conhecimento que possui, como também o codifica, ou seja, representa por meio de uma linguagem acessível a outros técnicos, as características técnicas e os requisitos de qualidade e de desempenho que espera serem aplicados por meio dos equipamentos e sistemas especificados. Nas palavras de um gerente: “A especificação é a depositária do conhecimento da DPCS.E”.

Conforme a teoria apresentada no Capítulo III, os procedimentos e as rotinas de uma empresa que compõe o seu “capital organizacional” tendem a ser negligenciados nas teorias sobre o processo de inovação, que tende a privilegiar o “capital humano”. A redação de especificações é um exemplo típico de conhecimento individual transformado em ativo para a empresa. O resultado dessa atividade reflete o grau de conhecimento sobre o que é comprado, que se traduz em uma maior qualidade no processo de aquisição, bem como na percepção do mercado quanto aos níveis de exigência com que as organizações trabalham.

Na construção da estrutura analítica para mapear as capacidades tecnológicas na subfunção *especificação*, o estágio de competência mais elementar não previa a existência de conhecimento interno para elaboração de especificações técnicas. O estágio imediatamente superior considerava que fossem identificados conhecimentos sobre filosofias de proteção e a respeito de sistemas de supervisão e controle convencionais. Como refinamento a esses dois níveis, capacidades para especificar requisitos para proteção e controle por meio de informações coletadas nos manuais foram consideradas como um terceiro estágio de aprofundamento, todas consideradas como capacidades de produção rotineiras.

A pesquisa realizada demonstrou claramente que esses níveis tinham sido atingidos. A maior parte dos entrevistados considerava que muitos dos conhecimentos foram adquiridos na universidade, porém, houve casos de serem recordados cursos internos de formação, oportunidades de treinamento promovidas por fabricantes, tanto no Brasil como no exterior, e desenvolvimentos conjuntos com o CEPEL, mas houve consenso de que o conhecimento mais profundo foi adquirido mesmo nas subestações e usinas. Segundo um dos entrevistados: “Desde sempre, a filosofia da empresa é ‘mandar’ para o campo para aprender”. A compra de sistemas também representa excelente oportunidade para a realização de treinamentos, pela preocupação com a capacitação nos sistemas novos.

A primeira especificação de RTU's feita em FURNAS foi realizada por um dos entrevistados. Segundo seu relato, a maneira de se fazer “se resumia a levantar informações dos manuais técnicos de fornecedores e tentar descrever o que nós gostaríamos de ter, pelo conhecimento que existia. Na época, não havia este tipo de formação no nível acadêmico”.

Alguns dos especialistas em proteção entrevistados recordaram que as mudanças tecnológicas nos níveis de tensão das linhas de transmissão foram responsáveis por fortes momentos de aprendizado. Um dos entrevistados relatou um pouco dessa experiência:

“Nós tivemos dois saltos tecnológicos: as primeiras linhas de FURNAS foram implantadas em 345 kV. Para aquele momento, era a tecnologia mais sofisticada. Certa vez, eu recebi uma coletânea de papers dos anos 1960 e eu me lembro que me chamou a atenção um artigo que se chamava: ‘Como serão as proteções das linhas de 500 kV?’ Quando nos anos 1970, FURNAS comprou um sistema em 500 kV, nós recebemos muita documentação sobre esta nova proteção. Este estudo influenciou na confecção das especificações. Na ocasião, dois engenheiros chegaram a ir aos Estados Unidos para especificar o (sistema de) 500 kV”.

As informações coletadas pelas entrevistas permitiram identificar que os conhecimentos adquiridos na década de 1970, tanto no sistema 500 kV como na transmissão em corrente contínua, representaram marcos tecnológicos importantes: “Até 1985, durante a implantação, FURNAS estava aprendendo. Depois, se tornou depositária do conhecimento. Após o esvaziamento da engenharia nacional, o conhecimento partiu das empresas para as consultorias”. Todavia, todos os entrevistados reconheceram que a capacitação da empresa para elaborar especificações é presente, o que para um dos especialistas está atrelado à característica da empresa:

“Diferentemente das outras três transmissoras – CHESF, ELETRONORTE e ELETOSUL, FURNAS foi a primeira a fazer questão de ter especificação própria. Desde o início dos anos 1970, eu via algumas especificações para equipamentos de importação e de origem nacional, que até podiam estar baseadas em especificações da Montreal, mas eram de FURNAS. A Eletronorte, até bem pouco tempo, contratava empresas para fazerem especificações. Eu percebia claramente que FURNAS estava na vanguarda”.

O nível de capacitação seguinte tentou mapear se o nível de complexidade das especificações era tal que permitisse não somente informar as funções desejadas, como também um conhecimento bastante profundo sobre os sistemas especificados; detalhando, por exemplo, requisitos relacionados aos esquemas e ajustes de cada função de proteção, por um lado, e à capacidade do hardware e de funções lógicas de processamento, no aspecto do controle, após as primeiras experiências com sistemas digitais. Além disso, para considerar alcançado este nível, precisavam ser comprovadas cumulativamente outras duas características: a aderência aos *Procedimentos de Rede* que definem as exigências do *Operador Nacional do Sistema – ONS*, para subestações e usinas pertencentes à *Rede Básica* e a adoção de um sistema digital de supervisão padrão.

Com relação à adoção dos sistemas digitais, tanto para controle como para proteção, foram coletados dados que comprovam sua imediata aceitação, tão logo a tecnologia foi disponibilizada

pelos fabricantes: “FURNAS acompanhou a experiência internacional”. Nas palavras de um dos gerentes: “Desde o início da tecnologia digital a aquisição foi por osmose: conforme surgiu, foi absorvida”. Quando da chegada dos primeiros sistemas digitais, a empresa já havia adquirido experiência com sistemas supervisórios durante os anos 1970. Segundo o relato de um especialista: “Nós já tínhamos conhecimento dessas novidades e as incluímos em nossas especificações. FURNAS já possuía um critério de supervisão e controle”. As informações a respeito dos primeiros sistemas para o controle totalmente digital indicaram sua adoção nas usinas de Serra da Mesa e de Corumbá, em 1996, ainda sem a utilização do SAGE. Com relação à proteção de sistemas de potência, um dos relatos que melhor define o grau de conhecimento dos profissionais de FURNAS foi dado através de um dos gerentes que participou da pesquisa: “O primeiro relé de proteção digital foi um REL 100 comprado da ABB para a SE Adrianópolis em 138 kV no ano de 1992. Fui eu que especifiquei”.

Todos os entrevistados concordaram que a especificação de FURNAS, tanto para sistemas digitais de proteção, como para controle e supervisão, atende e supera os requisitos definidos nos *Procedimentos de Rede* do ONS. Muitos reforçaram inclusive que estes nasceram a partir dos próprios requisitos utilizados anteriormente por FURNAS antes da mudança do modelo do setor e do surgimento do Operador Nacional: “O critério de FURNAS para supervisão e controle serviu de base para que o ONS criasse suas regras iniciais”, conta um dos especialistas. Um dos gerentes resume da seguinte forma: “Os *Procedimentos de Rede* foram escritos com base na especificação de FURNAS. Foi o contrário: nós é que subsidiamos o ONS para formular o *Submódulo 10.19 (Requisitos de Tele-supervisão para a Operação)*”.

A terceira condição a ser atendida ainda no nível 4 desta subfunção era a comprovada existência de um padrão para sistemas digitais de controle, o que também pôde ser captado pela definição do padrão SAGE. Os relatos reportam que houve muita resistência dos grandes fornecedores de sistemas na adequação ao padrão. O SAGE foi estabelecido como padrão a partir de 1997 na SE Samambaia.

Para ser alcançado o nível intermediário na subfunção especificação, deveriam ser cumpridas as exigências de estarem incluídas nas especificações a realização de ensaios de modelo e de plataforma para todo novo SPCS e fossem coletadas evidências da capacitação para preparar especificações para sistemas de transmissão mais complexos.

Novamente, as respostas foram positivas e as duas condições foram atendidas: os primeiros ensaios de modelo eram realizados no exterior. A técnica consiste em reproduzir em laboratório as condições de operação de um relé de proteção através de modelagem

computacional dinâmica. Esses ensaios começaram a ser exigidos na época dos sistemas maiores, em 500 kV, 750 kV e HVDC, estando previstos desde as especificações. Inicialmente, eram feitos todos no exterior e eram realizados a preços elevadíssimos. Com o início da tecnologia digital, houve o lançamento no mercado uma grande variedade de tipos de relés e era necessário testar melhor seu desempenho. Segundo um dos especialistas que mais apostou nesses testes: “nós passamos a exigir em todas as compras de proteções novas”. Isto foi facilitado porque a própria técnica para essas simulações também evoluiu para o formato digital, através dos simuladores digitais de tempo real – RTDS™. Em uma das entrevistas, constatou-se o pioneirismo de FURNAS ao perceber o potencial desses testes: “Houve um determinado momento em que nós começamos a perceber que isso poderia representar um ganho muito grande. Provavelmente o nosso chefe da Divisão (atual chefe de departamento), foi o primeiro a incluir isto na especificação e foi ao exterior para acompanhar”. Também foram unânimes as opiniões de que os ensaios de plataforma sempre foram exigidos, a partir dos primeiros sistemas digitais de supervisão e controle. Esses testes são, inclusive, comparativamente, mais baratos, consistindo basicamente: “em reproduzir as condições reais de operação, apenas de forma separada da conectividade com o processo”. Também foi constatada a capacidade para preparação de especificações mais complexas. Um dos entrevistados recordou que havia acabado de preparar uma para compensadores série. Na opinião de um dos especialistas, existe um detalhe sobre este tipo de equipamentos: “a especificação deve ser mais aberta, e por isso mesmo, mais funcional”. Ele explica que: “para capacitor série, por exemplo, não há como saber, de antemão, o modo de operação, por isso, há que se tomar certos cuidados para não limitar demais a competição”. Um dos gerentes recorda que: “alguns funcionários mais experientes sabem fazer isso. No momento está sendo feita uma especificação para um sistema de corrente contínua”.

Para considerar que tivesse sido alcançado o grau 6 de capacitação, seria necessário comprovar a existência de uma especificação técnica padronizada para todos os novos SPCS, assim como estar contemplada a norma IEC 61850 como padrão aceito na especificação.

A pesquisa identificou que até 2006, a elaboração de especificações técnicas e técnico-comerciais era realizada individualmente para cada novo fornecimento. A partir de então, foi criada uma especificação técnica única englobando todos os tipos de sistemas de proteção, controle e supervisão, denominada *Requisitos Padrão para Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão*, a qual atualmente se encontra na terceira revisão, uma vez que, a atualização é contínua. Na especificação padrão, o IEC 61850 já é considerado um dos protocolos de comunicação aceitos para os novos projetos: “A nova especificação é acessível a todos e suscetível a revisão”.

O último nível, considerado um estágio mais avançado para a subfunção especificações, previa a exigência do uso da norma IEC 61850 em todos os novos empreendimentos. Com relação

a este ponto, da mesma maneira ocorrida para a função projeto, a percepção é a de que ainda não estaria disponível por todos os fabricantes. Portanto, a norma ainda não é adotada como padrão, apesar de ser uma das possibilidades aceitas. Entretanto, tal como antes, a visão generalizada é a previsão de se tornar uma tendência. Alguns acreditam que necessite mais três a quatro anos até que se consolide. Quando perguntados sobre as tendências de mudanças nas especificações, um dos aspectos mais comentados foi a tendência da utilização, cada vez maior, de dispositivos para comunicação por meio de fibra óptica e protocolos: “A tendência é tirar vantagem da interconectividade entre os fabricantes”. Para que a especificação absorva uma nova tecnologia, “o critério é que ela esteja normalizada, aceita pelos organismos internacionais e pela indústria”. Pelos depoimentos colhidos, o período atual corresponde à terceira fase.

Outra visão bastante comum a todos os entrevistados é a tendência da utilização dos chamados IED's, ou seja, terminais digitais microprocessados, agregando as funções de proteção e controle em um único dispositivo. Entretanto, mesmo a utilização desses dispositivos, cuja potencialidade para resolver lógicas de controle microprocessadas aumenta exponencialmente, deve ser cercada de precauções. Segundo um dos especialistas, a tentativa de agrupar as funções nos IED's inicialmente causou frustração em algumas empresas que se lançaram à frente porque não havia capacidade de processamento para envio de todos os sinais para um mesmo concentrador. Atualmente, na visão de quem viu o problema e acompanhou essas experiências de perto, já se sabe que “o segredo é enviar somente informação de resultado: não se trata de aquisição de dados distribuída; mas sim, de processamento totalmente distribuído”.

Uma tendência apontada por um dos entrevistados mais envolvidos com estudos de proteção, é a de serem iniciadas especificações para o projeto denominado *Proteção de Grandes Áreas*: “Ao invés de se proteger uma determinada linha de transmissão, consiste em sincronizar proteções de diversas linhas importantes para manter estabilidade no sistema, retirando-as de serviço em determinados momentos. É o que há de mais moderno atualmente”.

Na opinião de um dos gerentes entrevistados, entretanto, o estado da arte em proteção ainda não permite a ação preventiva a uma falha – o que ocorre é a reação à falha:

“o grande salto tecnológico a ser dado em proteção se dará quando eu puder prever o defeito, porque até hoje nós apenas reagimos ao defeito. Principalmente para transformadores, quando a proteção opera, normalmente o transformador já foi desligado. Como nós já temos toda uma informação por meio de sensores, temos que utilizá-la para proteção, de maneira que se consiga pressentir um defeito. Hoje, apesar de a tecnologia já permitir tempos de resposta de até quatro milissegundos, o segredo seria, por meio de reconhecimento de padrões, antever situações de risco”.

Pelo nível de informações e por toda a experiência que pôde ser observada durante as entrevistas, e ao longo de toda a pesquisa realizada, observou-se que a DPCS.E possui uma “massa crítica” de colaboradores que lhe confere elevados índices de competência na subfunção especificação.

IV.5- Capacidades Tecnológicas na Subfunção Licitação

A subfunção tecnológica *licitação* diz respeito a uma atividade cuja administração não é feita pela DPCS.E, uma vez que os processos de compras são conduzidos por outros órgãos da empresa. Como uma das atribuições que lhe é conferida é a de disponibilizar os sistemas de proteção, controle e supervisão, a Divisão normalmente solicita aos órgãos de aquisição a compra dos equipamentos que constituem sua responsabilidade e a contratação dos projetos necessários para compatibilizá-los com as instalações. Como todo órgão de engenharia, a DPCS.E assume papéis de requisitante de compra e de coordenadora técnica, possuindo participação efetiva antes, durante e após os processos de licitação.

O nível mais básico de capacitação definido na estrutura usada para avaliar a subfunção licitação considerava que a participação nos processos para compra de relés de proteção e equipamentos para controle e supervisão, seria meramente como requisitante. Ao assumir as responsabilidades por prestar esclarecimentos técnicos e analisar tecnicamente documentos e propostas durante as licitações, seriam identificadas capacidades compatíveis com o nível 2. Para o nível imediatamente acima ser alcançado, deveriam ser colhidas evidências sobre um planejamento sincronizado com os órgãos de aquisição que resultasse na entrega dos bens e serviços nos prazos necessários.

Os dois primeiros níveis foram reconhecidos por todos como inerentes às atribuições da Divisão. Com relação ao sincronismo com o órgão de compras, notou-se pelo resultado das entrevistas, que grande parte dos entrevistados confirma haver iniciativas para que os processos de compra não atrasem os cronogramas. Um dos entrevistados recordou que, apesar de implantado recentemente e de ainda não ser uma interface amigável, a empresa começou a utilizar desde o ano 2005 uma ferramenta corporativa para compras – REQWEB, acessada via intranet, que deverá aprimorar a qualidade e o acompanhamento das requisições. Algumas ações envidadas para atendimento dos prazos foram relatadas: uma das tentativas consiste na antecipação das emissões das requisições de compra, antes mesmo das autorizações para os empreendimentos. Outra iniciativa da área de engenharia consiste na promoção de reuniões e palestras para sensibilização do órgão de compras, com o objetivo de evitar atrasos nas licitações. Por outro lado, com relação ao cumprimento de prazos, alguns entrevistados perceberam que: “existe esta preocupação, mas (o acompanhamento) não está sendo feito de forma adequada”; ou então, que: “a prática é recente e ainda não está consolidada”.

As capacidades referentes ao nível 4 da subfunção licitação se referia aos conhecimentos sobre a legislação específica que rege as aquisições feitas por empresas do governo. Com relação a este item, as respostas obtidas permitem identificar que a formação é baseada no “aprender-

fazendo”. Apesar de não receberem formação específica, espera-se que os funcionários conheçam as especificidades das leis sobre as compras no serviço público. Foi identificado que o gerente da Divisão é o único que já havia recebido treinamento no assunto e que os funcionários o consultam em caso de dúvida. Para aprofundar o nível de conhecimento a respeito da Lei das Licitações Públicas, uma das perguntas da entrevista indagava a respeito da modalidade *Técnica e Preço*. Pela experiência acumulada em anos de serviço público, os entrevistados demonstraram conhecer o processo, havendo consenso de que para a compra de alguns bens – computadores, por exemplo – a modalidade represente vantagens, apesar do trâmite mais demorado. Em sistemas de proteção e controle, a opinião prevalente é a de que não agrega muito valor: “para os produtos que compramos, não podemos pontuar qualidade. O produto não tem graduação: ou atende ou não atende”. Alguns entrevistados exprimiram a percepção de alguma debilidade neste nível de capacitação: “na modalidade *Técnica e Preço*, estamos adquirindo conhecimento ‘no tranco’”. Outro especialista complementou que na Divisão, “o conhecimento sobre o assunto fica mais restrito a algumas pessoas, havendo pouca difusão desses conceitos. Faz falta conhecer o processo de compra, principalmente durante a administração do fornecimento”.

O nível intermediário de capacitação em licitações, para ser atingido, previa a existência de duas atividades: a manutenção de um banco de dados atualizado com valores dos SPCS e a troca de informações sobre preços com as demais empresas do grupo Eletrobrás. Este nível, segundo o levantamento realizado, ainda não foi atingido, apesar de haver algumas ações: “pode ocorrer isoladamente, mas são fatos pontuais”. Alguns funcionários recordaram que existe um banco de preços da Eletrobrás, porém, este também é um ponto a ser melhorado. Segundo alguns entrevistados, a prática de troca de informações costuma ocorrer sob aspectos técnicos. Um dos funcionários observou: “não costumamos trocar informações sobre preços”. Pelos levantamentos realizados, existe uma ação da Eletrobrás que tem a finalidade de formatar e disponibilizar um banco de preços unificado. Até o momento da pesquisa, porém, o foco deste grupo esteve mais concentrado nos valores referentes aos equipamentos eletromecânicos, tais como disjuntores e transformadores, pelo peso que possuem no custo total das subestações.

Foram propostos outros dois níveis de acumulação de capacidades na subfunção licitação: o nível 6 pressupunha uma sistematização de dados sobre o mercado de fornecedores de sistemas enquanto, para se alcançar o nível 7 – mais avançado, deveria haver a prática de avaliação da qualidade das aquisições, sendo sugerido o acompanhamento de indicadores, tais como taxa de falhas, cumprimento de prazos e assistência pós-vendas. A idéia seria passar as informações que “estão na cabeça das pessoas” para um repositório de dados. Na visão de um dos especialistas:

“Poderia ser buscado como avanço. Haveria um relatório de cada projeto, informando tudo o que aconteceu para identificarmos como ocorreu. É o que se chama ‘escritório de projetos’, onde se

colocam os dados de todos os projetos em andamento e já encerrados, facilitando acesso às experiências anteriores, incluindo casos de sucesso e de insucesso”.

As entrevistas foram bastante convergentes ao não verificarem nenhuma base ou repositório de dados com informações de mercado. Isto, segundo alguns depoimentos, estaria atrelado ao fato de o mercado ser bastante restrito, havendo poucos fornecedores habilitados para fornecimentos de equipamentos com a qualidade exigida. Segundo o que foi captado, a Divisão está muito mais acostumada a ser contactada para receber informações tecnológicas dos fabricantes do que a buscar este tipo de informação. A falta ou a perda de uma característica de proatividade foi manifestada por um dos especialistas, que relata:

“Houve épocas em que você viajava, visitava fornecedores e não ficava necessariamente esperando ser convidado. Em 1988, quando eu estava especificando a proteção de compensadores estáticos, estive na Suécia, França, Alemanha e Estados Unidos”.

Uma das formas de se buscar esta informação é o boletim eletrônico “Clipping” disponibilizado por meio do portal corporativo de FURNAS contendo as principais informações do mercado energético. É uma forma de acesso à informação de maneira mais isenta, pois segundo um relato de um dos entrevistados: “algumas informações dadas pelos fabricantes são mascaradas e quando você confronta com o real, vê que há diferença”.

Verificou-se também que não existe a prática de analisar a qualidade das licitações. Um dos entrevistados avalia que seria algo a se buscar: “pode ser útil o acompanhamento para cobrança sobre fornecedores com base no histórico de seus fornecimentos”. Segundo relatos, existem informações para o acompanhamento dos índices, porém, encontram-se dispersas entre vários órgãos da empresa. De maneira geral, houve concordância de que deveria haver esses mecanismos de controle. Segundo um gerente entrevistado, “seria interessante: hoje a maneira de conhecermos o mercado é por contatos pessoais”. Um dos especialistas traçou o seguinte quadro sobre o comportamento dos fornecedores: “Nós temos notado que o relacionamento é muito precário. Às vezes, para cumprir alguma pendência, passam-se anos. Atualmente, os fabricantes trabalham da seguinte forma: eles não terminam uma obra, eles a abandonam perto de seu final”.

IV.6- Capacidades Tecnológicas na Subfunção Fornecimento

Ao longo das seções anteriores, foi mencionado que após o término das licitações para aquisição dos sistemas sob sua responsabilidade, pela emissão e assinatura dos instrumentos contratuais, a DPCS.E inicia as atividades referentes ao *fornecimento* dos bens e serviços contratados. A aquisição dos dispositivos que constituem os SPCS não se limita à simples recepção de equipamentos. Os requisitos de qualidade especificados na fase de licitação precisam ser acompanhados antes mesmo do início das atividades de fabricação. Normalmente, o início de qualquer fornecimento desse tipo é precedido de reuniões para as definições finais, onde são

registrados o escopo e o âmbito do fornecimento. É neste momento que a engenharia de FURNAS se reúne com o vencedor da licitação para esclarecimentos detalhados sobre a maneira que as soluções tecnológicas propostas pelo vencedor da licitação devem ser implementadas. Se houver necessidade, são contratados também ensaios especiais para inclusão de funcionalidades ou para a verificação do desempenho dos equipamentos a serem fornecidos. Durante o fornecimento, FURNAS recebe e analisa os documentos de projeto, que após aprovados, são enviados para execução em fábrica. As atividades relativas aos testes de fábrica dos painéis dos SPCS são acompanhadas por engenheiros da Divisão, antes de serem liberados para entrega. Também estão compreendidos no fornecimento os testes de aceitação em campo na fase de comissionamento, durante os quais se verifica a integração dos novos sistemas com os preexistentes, para que ocorra a efetiva colocação dos sistemas em funcionamento. A responsabilidade da Divisão sobre os novos sistemas instalados não cessa até o fim do período de garantia contratual. O objetivo, no final dos trabalhos, é por os sistemas para funcionar, daí o estilo mais executor ser uma característica tão peculiar em seu comportamento, conforme já comentado em seções anteriores deste Capítulo.

O primeiro estágio de capacitação, considerado como mais elementar, previa que a Divisão não tivesse acumulado capacidade própria para acompanhamento de inspeções e testes dos sistemas no campo, precisando recorrer às empresas de consultoria para essas atividades. O grau de competência acima deste já visava ao mapeamento de algumas capacidades necessárias para a coordenação do fornecimento, como o acompanhamento da fabricação e das inspeções durante os testes de fábrica. Um refinamento aos dois primeiros níveis consistia em reunir evidências do acompanhamento dos ensaios de tipo realizados nas matrizes dos fabricantes no exterior, durante os quais é testado o limite de suportabilidade dos equipamentos aos níveis de severidade previstos em norma, quanto às condições ambientais, tais como choque mecânico e temperatura; e ensaios elétricos, tais como níveis de isolamento e de interferências eletromagnéticas, que representam uma ocasião bastante propícia para aprofundar o nível de conhecimento pela análise do comportamento esperado desses dispositivos ante a aplicação de ensaios destrutivos em protótipos. A confirmação dos três níveis equivaleria à verificação de capacidades produtivas rotineiras.

Todos os entrevistados confirmaram o atendimento a esses três níveis. A coordenação dos testes de fábrica é inata desde sempre, conforme um dos depoimentos: “Desde os primórdios do DEL.E nós cumprimos todas as etapas – desde a especificação até o fornecimento”. Na mesma pergunta formulada para averiguar se as inspeções e testes rotineiros eram acompanhados, os entrevistados também responderam se os resultados desses testes eram registrados e armazenados. Um aspecto interessante sobre a contratação de firmas externas para inspeção foi

recordado a partir deste ponto, pois um dos especialistas recordou que até a época em que se realizavam importações por meio de contratos financiados pelo Banco Mundial para as obras de grande porte, era comum a contratação de firmas internacionais de inspeção, a quem cabia gerar os relatórios e todos os documentos relacionados ao fornecimento. Com o passar do tempo, esta responsabilidade foi assumida pela área de materiais de FURNAS, a qual na visão do entrevistado, apesar de continuar gerando relatórios, “por ser um órgão interno, acaba não sendo cobrada por um rigor maior”. A resposta mais incidente sobre a forma de registro dos testes é a de que ocorre por meio dos relatórios de teste e por meio de atas de reunião. Entretanto, verificou-se que não existe um procedimento estabelecendo como arquivar esses registros que facilite o acesso dos funcionários a essas informações, que ficam arquivadas em pastas-fichário em outros órgãos da empresa, junto à documentação comercial dos fornecimentos. Um dos entrevistados cita que “As informações ficam acessíveis num dado momento. Há dificuldade de rastrear informações anteriores. Não existe uma rotina sistematizada e as informações ficam mais na cabeça das pessoas”. Outro especialista admite: “geralmente, fica arquivado com cada engenheiro. Muita gente não envia para as pastas da Divisão e eu me incluo neste grupo”. O envio de funcionários para acompanhamento dos ensaios de tipo foi confirmado por todos os entrevistados. Segundo um dos especialistas: “isso é um dos elementos fundamentais na formação da cultura dos indivíduos, porém o conhecimento fica restrito aos participantes dos testes”. Outro entrevistado complementa:

“É uma forma de aprendizado tanto individual como organizacional muito importante... Deveria ocorrer como vejo em outras empresas, no que se refere à Gestão do Conhecimento: a criação de rotinas, bem caracterizadas, em que ao retornar de uma viagem, o técnico tivesse a obrigação de fazer uma apresentação contando como foi sua viagem, ou apenas uma reunião para troca de informação com seus pares, para a socialização do conhecimento adquirido”.

O início do mapeamento de capacidades inovadoras previa que em um nível pré-intermediário, a Divisão prestasse assistência aos demais órgãos da (Diretoria de) Construção e (de) Operação durante a implantação, instalação e comissionamento dos SPCS. Também houve unanimidade entre os entrevistados sobre este aspecto, todos reconhecendo como uma atenção “permanente” e “total”. Um dos entrevistados recordou que “no passado, a engenharia se limitava a receber ‘relatórios de queixas’, mas principalmente a partir de Serra da Mesa, o ritmo dos empreendimentos mudou e a engenharia começou a participar muito mais da montagem e construção”.

Para se situar como capaz de realizar atividades inovadoras do quinto grau, segundo a categorização proposta neste estudo, deveriam ser coletadas evidências sobre o acompanhamento de ensaios de modelo em relés de proteção e de plataforma para sistemas digitais de supervisão e controle. Da mesma maneira que havia sido perguntado anteriormente, também aqui se questionou a forma de registro dos testes.

Todos identificaram novamente que essas são empreendidas há bastante tempo: “desde sempre”, segundo um entrevistado. Outro especialista recorda: “sempre foram feitos ensaios de plataforma. Precisam ser feitos registros porque são eventos de pagamento”. Um dos gerentes sintetizou de maneira precisa: “Os ensaios de modelo começaram a partir de 1975 com os sistemas em 500 kV. Ensaio de plataforma (são realizados) desde os primeiros SDSC, em meados dos anos 1990”. O detalhe mais importante da resposta é contundente: “Foi a DPCS.E que criou esses testes”. Conforme apurado com outro gerente, nem sempre são arquivados os relatórios de ensaios de tipo: “O registro é individual. Não existe uma base corporativa”. Já os ensaios de modelo, mais importantes em sua visão, “são sempre arquivados e quando outras empresas compram sistemas semelhantes, costumam nos consultar sobre o resultado desses ensaios, que servem como referências”. Ainda segundo seu depoimento, “desde que se tornou possível a modelagem, nós passávamos meses lá nas fábricas”.

Um dos entrevistados concorda que “sempre foi estimulada a participação”. Porém, confirma que não há uma socialização dessas informações: “Normalmente a experiência não é repassada aos demais funcionários. São iniciativas isoladas e não há um procedimento normatizado na Divisão”. Outra opinião colhida em entrevista também defende a importância e a maior oportunidade de participação: “É um dos pontos onde mais se faz sentir a necessidade de profissionais com grande experiência. Deveria haver algum rodízio em que os mais experientes levassem consigo alguém mais novo para passar um pouco dessa ‘bagagem’”.

As capacidades acumuladas necessárias para o reconhecimento do alcance do nível intermediário superior, ou seja, muito próximas do nível mais elevado, estão relacionadas à coordenação de ensaios de modelo realizados em simulador pertencente à própria empresa e à prestação de consultoria técnica externa para acompanhamento de fornecimentos.

Novamente, foram obtidas evidências de que as capacidades desenvolvidas para o acompanhamento dos fornecimentos atingem este grau de sofisticação. Todos os que responderam à pergunta indicativa dessas capacidades reconhecem essas competências pela Divisão. A aquisição de um sistema próprio para realizar as simulações durante os ensaios de modelo provém da aquisição do sistema em corrente contínua da Usina de Itaipu. Desde então, são realizados os testes simulando o funcionamento dos relés de proteção em um modelo dinâmico. Um dos funcionários da Divisão descreveu o sistema então recebido:

“É o único com sua potencialidade na América do Sul. Eram painéis em escala 1:1, de tecnologia analógica de origem sueca, que inicialmente foram enviados para o CEPEL. Em 1980 esses painéis foram trazidos para FURNAS. A partir de 1985 discutimos se a ampliação do sistema seria uma expansão do existente analógico ou em tecnologia digital. Optou-se pela versão digital que é o RTDS™”.

Um dos gerentes relatou que o RTDS™ foi adquirido para os testes na proteção a ser utilizada na interligação entre os Sistemas Interligados Norte-Nordeste com Sul-Sudeste, mais

conhecida no setor como a Linha Norte-Sul, em torno de 1997. Todos reconhecem vantagens de se possuir um sistema com tal potencialidade.

Vários depoimentos comentaram acerca da vantagem de FURNAS ao possuir um sistema próprio para ensaios de modelo:

- “Outras empresas do Grupo Eletrobrás vêm fazer seus testes aqui”;
- “Além de realizar ensaios nos relés adquiridos, a locação do laboratório para testes de outras empresas é uma fonte para captação de recursos”;
- “É uma vantagem inquestionável”.

Um dos especialistas com maior experiência na área de proteção comenta: “A vantagem é avaliar com precisão a capacidade dos relés responderem adequadamente às falhas no sistema, ao simular um modelo, submetendo o relé a diversas falhas, observando seu comportamento”. Os especialistas recordaram ainda outros benefícios, mesmo nos casos em que os testes são feitos fora do Brasil:

“Se você vai ao exterior e está acompanhando algum teste de laboratório no qual surge uma dúvida, você tem um profissional aqui dentro, que no mínimo, pode conversar com você e dar sugestões, por possuir um know-how importante para dar apoio. Outra vantagem é a de ver a proteção operando em um número de vezes muitíssimo maior do que ocorre na prática, testando vários tipos de casos, com aumento da sensibilidade”.

Os gerentes entrevistados ressaltaram que as vantagens se estendem às outras fases do processo, inclusive para aquisição: “tem muita coisa que não se consegue prever no momento da aquisição e precisa ser simulada depois”; bem como, “nas modificações do sistema, em que se quer fazer testes antes de partir para a realização, onde se pretende verificar como uma proteção existente se comportará” é uma enorme vantagem possuir um sistema de simulação próprio. Um dos maiores incentivadores desses testes, atualmente gerente da empresa, forneceu um depoimento que não deixa dúvidas quanto aos benefícios da simulação por meios próprios:

“primeiro porque em sistemas mais complexos, não se consegue trabalhar sem as simulações. Tendo o simulador, você pode estudar mais o sistema, não somente durante a fase de aquisição, na qual se pode fazer um estudo de desempenho dinâmico, mas depois durante a fase de operação, pode-se estudar eventuais problemas e propor melhorias: é o que acontece o tempo todo, ao longo dos últimos vinte anos, com nosso sistema em corrente contínua. Para as usinas do Rio Madeira, certamente haverá necessidade de muita simulação. Sempre é feito assim: são feitas simulações iniciais para a especificação; depois se faz uma simulação, durante a licitação; depois se aceita no fabricante; por último é feita uma aqui, bem completa. Na verdade, o processo é feito em etapas, em que vai se verificando a sensibilidade da proteção. Quando já está comprada a proteção, aí verificam-se as funções quanto ao atendimento ao especificado. Na Norte-Sul nós mudamos muita coisa nos equipamentos. Isto acontece mais em sistemas complexos. Em sistemas mais simples, a modelagem mais completa é usada mais para sensibilizar o ajuste da proteção. Isto é uma vantagem de FURNAS. Com isso, são minimizadas possibilidades de erros e atrasos, pelo menos, sob o aspecto tecnológico. Consegue-se antecipar muitos problemas por meio da modelagem. A grande vantagem da simulação é justamente antecipar os problemas, muitas vezes, antes da fabricação”.

Todos os funcionários que responderam às entrevistas mencionaram que já foram prestadas consultorias em inúmeros projetos. Dentre os que foram recordados, encontram-se

projetos no Brasil, tais como para a UHE Peixe e a LT Ibiúna - Bateias; e no exterior: para Angola (Usina de Capanda); Paraguai; Chile e Honduras.

O nível mais avançado em capacitações para a subfunção fornecimento previa que fosse constatada a realização de projetos para a pesquisa de metodologias que aumentassem a confiabilidade dos SPCS. Com relação a este nível, houve uma incidência menor de respostas que identifiquem como presentes esses esforços. Um dos entrevistados recorda a inexistência de um modelo para um roteiro de teste padronizado, o que causa certa subjetividade na análise dos planos de inspeção propostos pelos fabricantes, quando submetidos para aprovação por FURNAS, ao serem analisados por funcionários com diferentes formações e experiências.

Apenas dois funcionários identificaram situações em que FURNAS tenha contribuído com trabalhos alinhados com pesquisa. Num deles, o entrevistado relatou uma experiência vivida durante os testes da Linha Ouro Preto – Vitória, em que durante simulações realizadas na sede do fabricante, no exterior, estavam sendo testados dois esquemas de proteção e o fabricante definiu que só seriam realizados para um deles, mesmo após a argumentação de FURNAS sobre a possível influência de um esquema no outro. Segundo o relato, como o fabricante não aceitou realizar todos os testes desejados, FURNAS se associou à CEMIG – parceira no empreendimento, e juntas realizaram ensaios em bancada que comprovaram que um esquema provocava atrasos no outro, conforme suspeitado. Ficou comprovada a necessidade de realização de uma das funções em um relé auxiliar, cuja solução teve que ser implementada pelo fabricante, pois caso contrário, haveria risco de atraso na atuação da proteção da linha, sob determinadas condições, o que foi mitigado pela solução apontada por FURNAS. O outro exemplo citado é a inclusão dos ensaios de modelo, que anteriormente, não eram pedidos por nenhuma outra empresa do Setor Elétrico Brasileiro. Segundo o depoimento, este pioneirismo ocorre porque “a empresa sempre esteve à frente de empreendimentos mais complexos e não havendo ninguém para perguntar, exceto algumas consultas à canadense Hydro Quebec que possui um sistema semelhante”. Todavia, o número reduzido de respostas afirmativas é indicativo de que as atividades de pesquisa foram reduzidas, ao menos nos últimos anos.

O mapeamento das atividades relacionadas com a subfunção tecnológica *fornecimento* é compatível com um nível de capacidade tecnológica inovadora do tipo intermediário-superior, ou seja, a Divisão possui competências acumuladas para acompanhar e implementar as soluções relativas aos sistemas sob sua responsabilidade, reconhecidas por empresas nacionais e internacionais.

IV.7- Capacidades Tecnológicas na Subfunção Novas Tecnologias

A avaliação da competência acumulada sobre a recomendação, o estudo e a aplicação de *novas tecnologias* para os sistemas de proteção, e de controle e supervisão tem sua razão de análise fundada na característica evolutiva da tecnologia. Neste estudo são apresentados alguns marcos tecnológicos que influenciaram e direcionaram os rumos para os SPCS até o momento de realização da pesquisa.

A proteção de linhas de transmissão é um exemplo da dinâmica com que as inovações tecnológicas têm permeado o mercado desses sistemas. Os primeiros relés de distância de fabricação analógica não possuíam a função de localização de faltas, nem funções como proteção direcional de sobrecorrente e de sobre/subtensão, incorporadas no mesmo invólucro. A tecnologia digital surgiu e agrupou todas essas funcionalidades em uma mesma “caixa”, incluindo funções adicionais como religamento e cheque de sincronismo – além das demais funcionalidades citadas no Capítulo II. Atualmente, um relé de proteção diferencial para linhas de transmissão pode incorporar todas as funções descritas do relé de distância, e pode ser disponibilizado em uma caixa com as mesmas dimensões do primeiro. Outro desenvolvimento sobre o qual estudiosos têm se dedicado a investigar se refere às unidades de medição fasorial. No Capítulo II, foram apresentadas as principais características dos chamados IED's – dispositivos que agregam a função de uma UAC e de um relé de proteção. Em resumo: as inovações tecnológicas ligadas às atividades de engenharia desenvolvidas na DPCS. E continuam a acontecer e o ritmo de difusão é avassalador. Na visão de um dos especialistas, essas novidades são apresentadas ao mercado de uma forma sem precedentes:

“o que existe no mundo é que, cada vez mais, se investe em Pesquisa e Desenvolvimento. Isto se traduz no surgimento constante de inovações. Pequenas inovações incrementais acontecerão com certeza, pois nunca houve tanta gente pesquisando como agora, abrindo caminho para o surgimento de inovações”.

Na síntese de atribuições da Divisão, encontram-se referências à subfunção *novas tecnologias* relacionadas com “Estudos” para proposição nos SPCS diretamente ou por empresas contratadas; e são citados novamente no estímulo à participação em grupos e comitês técnicos de estudo visando sua implantação e normalização.

A estrutura analítica modelada para o exame dessas capacidades considerava que, para estar situada em um nível mais elementar, não seria constatada competência além da simples aplicação de tecnologias convencionais para proteção e controle. Cabe sublinhar aqui que a atual fase da tecnologia já permite considerar relés e UAC's digitais como equipamentos convencionais, porém, para o efeito da análise a que se propõe este trabalho, a referência é a capacitação para sua utilização no momento da evolução em que ainda representavam uma mudança de paradigma.

A constatação sobre o alcance de níveis de competência correspondentes ao nível 2 seria comprovada por dados que evidenciassem o início da aplicação das primeiras Unidades Terminais Remotas - RTU's, para supervisão do sistema e a aplicação dos primeiros relés de proteção semi-estáticos. Um nível superior aos dois anteriores seria alcançado se houvesse comprovação sobre a aplicação dos primeiros relés digitais numéricos e sobre o início da implantação de um sistema digital de supervisão, nos moldes do SAGE para a implantação do telecomando de subestações.

Todas as condições exigidas para que se considerassem as capacidades produtivas, no mínimo como rotineiras básicas, foram consideradas atendidas pela totalidade de entrevistados. No que se refere à proteção, conforme mencionado na seção IV.4, a aceitação da nova tecnologia para relés foi simultânea ao lançamento pelos fabricantes. A pergunta utilizada para obter as respostas sobre a aplicação dos relés estáticos também questionava se havia relatos de experiências em FURNAS. No que se refere a este aspecto, não houve consenso: um dos especialistas explicou que “os relés estáticos tiveram passagem curta de tecnologia e não houve tempo para maturação”. Três depoimentos afirmaram que, durante a passagem pela tecnologia semi-estática, no início dos anos 1980, “houve alguns problemas sim”. Um especialista com muitos anos de vivência no setor de operação criticou a geração inicial desses relés, reportando que houve casos de mau funcionamento, o que “provocou uma desconfiança quanto à mudança de paradigma”, havendo casos em que a solução foi voltar ao anterior – eletromecânico. Segundo um dos entrevistados que acompanhou a situação, “como ocorre com toda tecnologia nova, houve um período de aperfeiçoamento. Algumas proteções que não atuavam corretamente tiveram que ser substituídas, levantando dúvidas em um momento inicial, mas que depois foram superadas”. Relatos de outros engenheiros de proteção apontam no sentido contrário: “Nossos relés semi-estáticos têm boa qualidade. Talvez outras empresas que compraram de fabricantes diferentes dos nossos tenham passado por experiências piores”. Outra resposta, ainda mais enfática, também aponta nessa mesma direção: “nosso primeiro relé estático se chamava RAZOG: era analógico e possuía processamento apenas da medição; o restante era eletromecânico – a experiência foi muito boa; é um dos melhores relés do mundo”. A migração para os relés digitais ocorreu naturalmente. Conforme citado anteriormente, em 1992 foi adquirido da ABB o relé REL 100 comprado para a SE Adrianópolis.

Com relação ao início do uso das RTU's, comprovou-se o início da utilização a partir da década de 1970. Segundo um dos especialistas, nos anos 1960, já havia sido implantado o Controle Automático de Geração – CAG, cuja tecnologia ainda se baseava em grandes computadores analógicos. Na década seguinte, com a expansão da rede de transmissão da empresa, tornou-se necessária “uma supervisão globalizada para fazer uma operação sistêmica”. O sistema SAGE começou a ser implantado para supervisão no início dos anos 1990, segundo

informou um dos especialistas. Com a funcionalidade total para o controle, o marco correspondente é a subestação de Samambaia, em 1997.

O nível de capacitação correspondente ao nível 4 estabelecia que deveriam ser confirmadas simultaneamente as seguintes condições: adesão definitiva aos relés em larga escala e ao telecomando nas subestações e usinas, e a constatação de conhecimentos em tecnologias de informação e comunicação aplicados aos SPCS.

A adesão definitiva aos relés digitais ocorreu a partir de meados dos anos 1990, sempre utilizando dois relés: o primeiro, como proteção principal; e o outro, como alternada. Em larga escala, um dos especialistas afirma que ocorreu a partir da UHE Corumbá. Segundo um terceiro especialista, “Depois da troca dos relés do tronco de Angra (1998) todos passaram a ser digitais”.

Pelas respostas obtidas sobre a implantação do telecontrole, verificou-se que em alguns casos, o termo foi entendido como sistema digital de supervisão e controle. O objetivo da pergunta era apenas identificar se estava em implantação a possibilidade de executar comandos em subestações remotas por meio de um sistema localizado em outra localidade. Sobre este aspecto, verificou-se que é preconizado para os novos empreendimentos: “em toda instalação nova existe; nas antigas, deve estar em torno de 50%”. Outro entrevistado informa que “o telecontrole não está em todas, mas em grande parte”.

A aquisição de conhecimentos nas chamadas TIC's ocorreu desde os anos 1980. Muitos recordaram o importante papel exercido pelo CEPEL e pelo desenvolvimento do SAGE: “Tudo começou com o SAGE que é um sistema aberto” segundo um dos depoimentos. “Os conhecimentos já haviam sido adquiridos no final dos anos 1980: desenvolvíamos protocolos como TCP/IP o que facilitou o aprendizado”, relatou outro especialista. Um dos gerentes entrevistados recordou o início da tecnologia de redes para o ambiente de subestações: “Foi a partir de 1985: Quando eu vi pela primeira vez a tecnologia de redes de comunicação eu estava no CEPEL”. Na opinião de um dos gerentes, o processo se dá pela utilização das soluções disponibilizadas pelos fornecedores:

“usamos essas tecnologias desde o primeiro relé especificado no mercado. Para uma empresa entrar com uma nova tecnologia, é necessário haver um produto a ser disponibilizado. Nós usávamos os produtos que eram lançados. Ao fazer os testes, verificávamos se atendiam e usávamos. A idéia não é fazer desenvolvimento, a menos que exista uma função que você precisa e não existe um produto, como foi a questão do monitoramento. Nós somos usuários, não desenvolvedores, por definição”.

Para o exame das capacidades tecnológicas inovadoras de nível intermediário, equivalentes ao nível 5 do modelo utilizado para o mapeamento, deveria haver a comprovação de dois tipos de competências: um demonstrado pelo início do processo de digitalização dos SPCS de todo o sistema da empresa, por um lado; e a comprovação de que são acompanhados testes para a inclusão de soluções para proteção e controle por meio de sistemas mais complexos, tais como compensadores série, por outro.

Começando pela proteção, houve duas abordagens: novos empreendimentos e substituição dos equipamentos, iniciando o processo conhecido como “*retrofit* de proteções”. A digitalização em larga escala em novos empreendimentos começou pelas usinas de Corumbá e Serra da Mesa e das subestações Samambaia e Gurupi. A experiência com *retrofit* começou com a aquisição, no ano 2000, de seis sistemas de proteções diferenciais de barra para a troca da proteção eletromecânica em diferentes localidades. Em 2005, foram realizadas duas grandes licitações para a compra de painéis de proteção para diversas linhas da rede de FURNAS que compõem os sistemas de 750 kV, 500 kV e 345 kV. Um dos gerentes observou que nos últimos cinco anos, havia se passado “mais tempo modernizando do que fazendo novos empreendimentos”.

No que se refere à modernização dos sistemas de controle, também foi verificada ocorrência. Um dos especialistas relatou sua experiência: “As primeiras UAC’s para controle foram a partir da UHE Corumbá – eu diria em 1995”. Nesta usina, foi adotada a filosofia de um controle redundante: “Tratava-se de um sistema proprietário: fizemos um back-up com outro fornecedor”.

Os testes de sistemas mais complexos têm sido acompanhados, inclusive quando feitos no exterior. Esta resposta foi dada por todos os entrevistados, com exceção de duas abstenções daqueles que não tinham informação e preferiram não responder. Como observação adicional, novamente notou-se a falta de um procedimento para divulgação sobre o ocorrido durante o período de realização dos testes: “As informações são registradas, porém se restringem aos participantes”.

A verificação sobre o alcance de capacidades inovadoras de nível 6 se daria uma vez que fosse comprovada a incidência simultânea das seguintes atividades:

- Início da implantação dos sistemas: Medição de Faturamento em pontos de fronteira, pelas novas regras do ONS e CCEE (antigo MAE); SINOCON – Sistema Nacional de Observabilidade e Controlabilidade, e ECS – Esquema de Controle de Segurança, também seguindo as recomendações e exigências do Operador Nacional;
- Participação em grupos de estudo e comitês técnicos para implantação de novas tecnologias e normalização de projetos e sistemas.

Todos os sistemas mencionados já estavam implementados ou em fase de implantação, de acordo com os depoimentos colhidos nas entrevistas. Procurou-se investigar em que momento esses projetos tiveram início. O Sistema denominado ECS tem sua origem no chamado ECE – Esquema de Controle de Emergência. Este sistema foi proposto pela primeira vez por FURNAS para o controle das máquinas de Itaipu, na época da implantação do terceiro circuito. Diferencia-se do ECS por ter uma característica de proteção de um determinado tronco de linhas de transmissão, enquanto o ECS foi um aprimoramento, com característica de proteção mais

sistêmica. Conforme apurado, começou em 1997, com a Linha Norte-Sul. O sistema de medição de faturamento existe há muitos anos para contabilizar a energia vendida por FURNAS às demais empresas do setor. O sistema de medição de faturamento, seguindo as novas determinações do modelo desregulamentado, começou a ser implementado com base em multimedidores digitais a partir de 2001 na empresa. O Projeto SINOCON é o mais recente, com início no ano 2004. Além desses sistemas, FURNAS também especifica sistemas para o Registro Digital de Perturbações – RDP, cuja tecnologia começou a se consolidar no final da década de 1990. Atualmente, são especificados também painéis do Sistema RARP – Rede de Acesso a Relés de Proteção, cujo principal objetivo é o armazenamento e a coleta de dados acessados diretamente dos relés de proteção, por meio das portas de comunicação remota, desde o ano 2005.

A participação dos funcionários da Divisão em comitês técnicos e grupos de estudos foi reportada como pouco incidente. Menos da metade dos entrevistados considerou como existente, e de forma geral, percebe-se que a participação tem sido abaixo da expectativa. Apenas um dos entrevistados acredita que esteja sendo efetiva esta participação: “As novidades desses seminários continuam sendo trazidas. Participamos também de diversos comitês técnicos”. Mas esta não foi uma tônica nas respostas - opiniões contrárias surgiram com relação a este ponto: “Uma minoria participa de grupos de estudo”. Já para um dos especialistas em proteção, “a participação em grupos de estudo tem sido nula”. O problema dos tempos é realçado por outro entrevistado: “a participação é incentivada, havendo disponibilidade”, ressalva. A visão de uma menor participação demonstra que ainda não foram totalmente alcançadas capacidades inovadoras de nível 6. Este seria um ponto a ser desenvolvido: um dos gerentes entrevistados expôs seu ponto de vista que demonstra claramente esta oportunidade de melhoria:

“Em Proteção e Controle, é importantíssimo participar de seminários: primeiro para descobrir o que está acontecendo no mundo; segundo, para conhecer pessoalmente as pessoas que mexem com isso, não só no Brasil, mas no mundo, porque a melhor maneira de tirar uma dúvida é ligar para um especialista da empresa e ele saber com quem está falando. Aquela pergunta vale milhões de reais”.

Por último, para serem atingidas capacidades tecnológicas avançadas, seria preciso comprovar o atendimento às seguintes condições: digitalização dos SPCS em processo pleno de implantação; desenvolvimento de parcerias com fornecedores em novas tecnologias; assim como projetos de pesquisa e desenvolvimento – P&D, em tecnologias para redução dos custos da transmissão ou aumento da confiabilidade.

Para examinar o estágio de digitalização nos sistemas de proteção, e de controle e supervisão da empresa, duas condições deveriam ser atendidas para que o nível de implantação fosse considerado em pleno andamento: mais de um quarto das instalações tivesse a totalidade de seus sistemas de proteção e controle digitais; e, pelo menos a metade das subestações e

usinas da empresa apresentasse um grau de utilização de dispositivos digitais maior do que a quantidade de equipamentos eletromecânicos na mesma instalação.

Para ser obtida a informação numérica desejada, os entrevistados responderam a quatro perguntas: duas relativas aos sistemas de proteção e outras duas, aos sistemas de controle.

A maior incidência de respostas com relação ao número de instalações com todas as proteções digitais identificou que se situam entre 25% e 50%. Entretanto, quase o mesmo número de respostas atribuiu que este número seja inferior a 25%. Essa estratificação representava o número de instalações novas na empresa, uma vez que, conforme apresentado anteriormente, desde que adotada, a proteção digital é especificada em todos os novos empreendimentos.

No que se refere à quantidade de instalações parcialmente modernizadas, ou seja, onde o número de relés digitais deveria ser igual ou superior à metade do parque instalado, 40% dos entrevistados confirmaram esta visão sobre a digitalização. Esta estratificação fornece uma visão sobre o andamento do processo de substituição das antigas proteções eletromecânicas por relés digitais. As Figuras IV.2 e IV.3 representam as respostas obtidas durante as entrevistas, relacionadas ao índice de modernização dos sistemas de proteção da empresa.

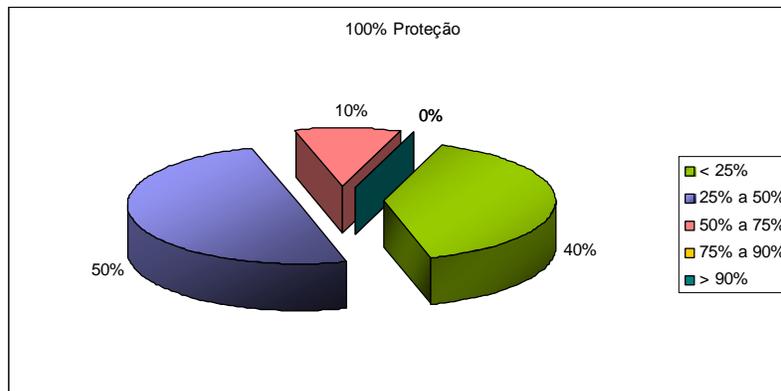
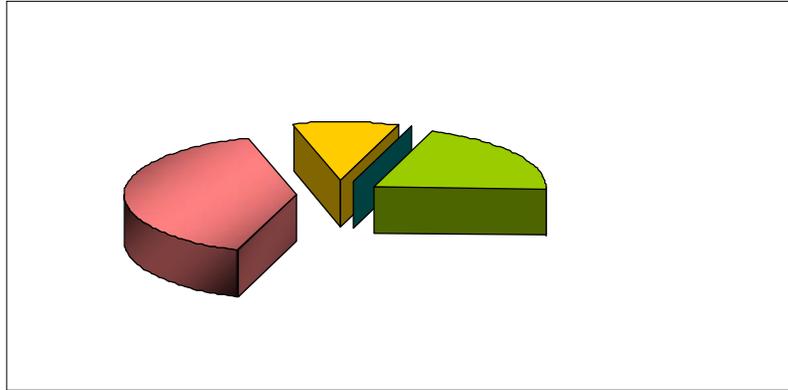


Figura IV.2- Instalações com Proteção Totalmente Digital



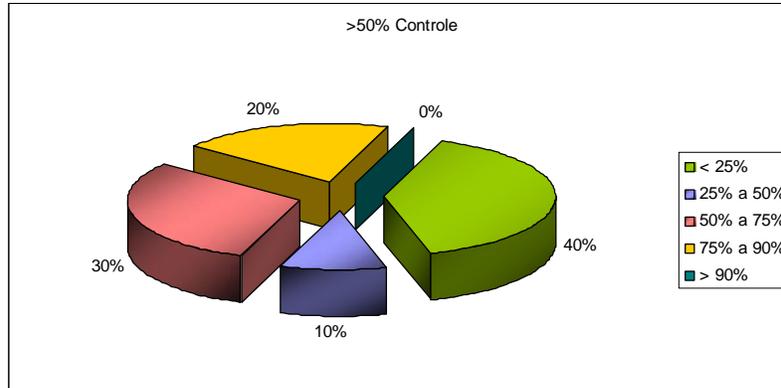


Figura IV.5- Instalações com Controle Digital Superior a 50%

Os entrevistados responderam também sobre a prática de parcerias com fornecedores para desenvolvimento de novas tecnologias. As respostas coletadas não evidenciaram que esta prática esteja ocorrendo regularmente. Um dos entrevistados opinou que: “são pouco estimuladas, são tímidas”. Segundo um dos especialistas relatou, a maioria das soluções utilizadas tem sido apenas importada e aplicada pela empresa: “No passado, muitos desenvolvimentos ocorriam no Brasil. Hoje eles estão ‘enlatados’ e nós compramos do exterior”. Na visão de outro entrevistado, ainda persiste uma cultura de desconfiança em relação ao fornecedor: “A parceria com o fornecedor ainda é vista com muita ressalva, talvez mais do que deveria ser vista”. Entretanto, contrariando as opiniões acima, um dos entrevistados exemplificou dois casos em que recentemente foram desenvolvidas soluções conjuntas com fornecedores: em um deles, FURNAS fez uma parceria com uma empresa nacional para desenvolver e aplicar registradores digitais de perturbação: “A empresa desenvolveu um produto com a ajuda de FURNAS, o qual depois se mostrou pronto para atender ao mercado”. O outro caso foi a parceria com outra empresa para o desenvolvimento de um

que relatam não haver um procedimento estruturado para fomento da pesquisa na Divisão. Um dos entrevistados resumiu a situação da seguinte maneira: “Não há estímulos concretos, mas a Divisão não desencoraja. Não são apresentados potenciais projetos e escolhidos funcionários para participar. A iniciativa tem que partir de cada um”. Também não se constatou a existência de registros de patentes originadas por pesquisas por funcionários da Divisão.

O que foi confirmado por um número maior de funcionários foi a colaboração de FURNAS através da sugestão de melhorias aos produtos dos principais fornecedores: “É comum a experiência de FURNAS fornecer dados para os fabricantes melhorarem seus sistemas”. Um dos gerentes entrevistados destacou esta postura da Divisão para elevação da qualidade, recordando um exemplo recente: “o uso da intranet sempre foi a interface defendida por FURNAS para os sistemas de monitoramento, enquanto os fabricantes queriam usar sistemas proprietários. Nós obrigamos e isso virou padrão de mercado”. Novamente no caso das inovações incrementais, foi verificado que ocorrem iniciativas pontuais, por parte da DPCS.E, havendo necessidade de sistematização: “Durante o projeto são dadas muitas sugestões para resolver problemas específicos, mas que não são feitas de forma organizada” revelou um dos especialistas.

IV.8- Níveis de Capacitação Tecnológica na Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão de FURNAS

A proposição de uma estrutura analítica para o mapeamento dos níveis de capacidades tecnológicas alcançados nas atividades da DPCS.E tem sua origem nos estudos da Literatura sobre indicadores de inovação em países de industrialização recente. O modelo proposto poderia utilizar outros indicadores e evidências para identificar níveis de competência. No referencial teórico apresentado no Capítulo III desta dissertação são recordados alguns aspectos importantes relacionados à construção desse tipo de estrutura.

Um dos importantes aspectos a considerar na análise de estudos como o que foi proposto por meio desta pesquisa é a dificuldade de categorização por estágios. Sobre este ponto, novamente vale ser reforçado que esta classificação “é necessariamente indicativa, uma vez que pode ser difícil julgar, *a priori*, quando uma função é simples ou complexa”. Mesmo assim, os resultados atingidos com base na estrutura modelada se refletem na qualidade do material obtido para análise, o que permitiu uma avaliação consistente do nível de competência tecnológica.

A estrutura utilizada para o exame das competências tecnológicas acumuladas nas subfunções estudadas está representada na Figura IV.6. Observa-se que para cada subfunção, estão associados sete estágios de desenvolvimento de capacidades. Os três primeiros estágios representam níveis de acúmulo de competências compatíveis com *capacidades de produção*

rotineiras

Níveis de Capacidades Tecnológicas	Engenharia de Proteção e Controle	Atribuição
Capacidades rotineiras		
1. Básico	- Programação para disponibilizar os sistemas de proteção, controle e supervisão - SPCS - em sincronismo com a entrada em operação dos novos vãos (bays) das subestações e usinas.	Planejamento
	- Decisão sobre alocação física dos painéis dos SPCS nas subestações/usinas.	Projeto
	- Terceirização de projetos elétricos básico e executivo.	
	- Especificações técnicas realizadas por consultorias externas.	Especificações
	- Aquisição de relés de proteção e dispositivos de controle e supervisão para as subestações e usinas do sistema.	Licitações
	- Dependência de consultores externos para inspeção e comissionamento.	Fornecimentos
	- Aplicação das tecnologias existentes para sistemas de proteção e controle convencionais.	Novas Tecnologias
2. Renovado	- Acompanhamento dos preços contratados para projetos e aquisições dos SPCS em comparação com os valores orçados nas requisições.	Planejamento
	- Elaboração do projeto básico para a contratação dos projetos executivos dos SPCS.	Projeto
	- Conhecimentos sobre filosofias de proteção para equipamentos de subestações/usinas. - Conhecimentos sobre sistemas de controle dos equipamentos de pátio, intertravamentos e sistemas supervisórios convencionais.	Especificações
	- Coordenação das licitações com esclarecimentos técnicos e análise da documentação apresentada pelos fabricantes dos SPCS.	Licitações
	- Acompanhamento dos trabalhos de fabricação dos SPCS, coordenando tecnicamente as fases de inspeção em fábrica.	Fornecimentos
	- Início da utilização de RTU's - Unidades Terminais Remotas - para telesupervisão e telecomando de subestações e usinas.	Novas Tecnologias
	- Aplicação de relés estáticos de proteção, iniciando o processo de migração da tecnologia.	Novas Tecnologias
3. Extrabásico	- Apoio ao Departamento de Engenharia Elétrica nos estudos e avaliações, com informações sobre custos e prazos, para a Solicitação de Autorização de empreendimentos remunerados pela ANEEL para a Aquisição de Novos Ativos.	Planejamento
	- Coordenação e análise dos projetos elétricos elaborados por consultorias externas.	Projeto
	- Especificação referente a cada obra com definição de requisitos para as principais funções de proteção e de controle utilizando informações dos manuais dos fabricantes (faixas de ajustes, normas aplicáveis, condições de operação). - Conhecimentos sobre relés digitais e tecnologias para comunicação entre sistemas de controle SCADA (níveis 2 e 3).	Especificações
	- Sincronismo entre a entrega das requisições de compra com o tempo necessário para a licitação pelo Departamento de Aquisições.	Licitações
	- Assistência aos órgãos de construção e de operação na implantação dos projetos, instalação dos SPCS e durante o comissionamento.	Fornecimentos
	- Aplicação dos primeiros relés numéricos para proteção de subestações, usinas e LT's.	Novas Tecnologias
	- Início da utilização do Sistema SAGE do Cepel para implantação do telecontrole das subestações e usinas.	Novas Tecnologias

Figura IV.6- Capacidades Tecnológicas em Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão

Níveis de Capacidades Tecnológicas	Engenharia de Proteção e Controle	Atribuição
Capacidades inovadoras		
	- Sincronismo com órgãos de aquisição, construção e operação de forma a concluir os empreendimentos remunerados pela ANEEL dentro dos prazos fixados.	Planejamento
	- Elaboração direta ou fiscalização/liberação, quando contratados, dos projetos executivos dos SPCS.	Projeto
	- Especificações técnicas com detalhamento de todas as funções de proteção e de controle baseadas nos primeiros empreendimentos com sistemas digitais, em conformidade com os Procedimentos de Rede do ONS. - Adoção do Sistema SAGE desenvolvido pelo CEPEL como padrão para os sistemas supervisórios das instalações da empresa.	
	- Conhecimentos sobre os processos que envolvem as aquisições em empresas públicas (Lei 8.666/93 e pregões).	Licitações
	- Participação nos ensaios de tipo dos equipamentos adquiridos, inclusive nas matrizes dos fabricantes no exterior.	Fornecimentos
	- Adesão definitiva à utilização de dispositivos digitais para proteção e controle em larga escala.	
	- Adesão ao telecomando digital nas subestações e usinas de seu sistema elétrico.	
	- Conhecimentos sobre tecnologias para comunicação entre dispositivos tais como protocolos de comunicação e softwares de parametrização de relés de proteção e de configuração de UAC's.	
	- Acompanhamento dos custos de cada projeto pelo estabelecimento de Centros de Custo por empreendimento.	Planejamento
	- Coordenação de todo o projeto da integração dos SPCS junto aos fabricantes e aos demais órgãos de apoio durante o fornecimento.	
	- Implantação de banco de dados digital - SGDT, para arquivamento de projetos, desenhos e especificações - <i>Projeto CADTEC</i> .	
	- Especificação com a previsão de ensaios de modelo dos relés de proteção e ensaios de plataforma para integração de todos os dispositivos do SDSC - Sistema Digital de Supervisão e Controle. - Elaboração de especificações técnicas para sistemas de proteção e controle de sistem	

Níveis de Capacidades Tecnológicas	Engenharia de Proteção e Controle	Atribuição
Capacidades inovadoras (cont.)		
6. Intermediário superior	- Gestão de Novos Conectantes dentro das instalações da empresa. - Acompanhamento das obras com base nas melhores práticas de Gerenciamento de Projetos (utilização do aplicativo <i>GIEP</i> - Gestão Integrada de Engenharia para Projetos).	Planejamento
	- Implantação de um padrão único para todos os novos projetos dos SPCS.	Projeto
	- Especificação dos SPCS utilizando o protocolo de comunicações IEC 61850, atendendo ao princípio da interoperabilidade entre dispositivos eletrônicos inteligentes - IED's. - Especificação técnica padronizada para todos os SPCS de subestações e usinas.	Especificações
	- Manutenção de uma base de dados atualizada sobre os principais fornecedores dos SPCS, em nível nacional e internacional.	Licitações
	- Coordenação dos ensaios de modelo das proteções em laboratório próprio por sistema RTDS - Real Time Digital Simulator. - Prestação de serviços externos de consultoria técnica e acompanhamento em testes de inspeção em fábrica e em campo.	Fornecimentos
	- Implantação de sistemas de medição de faturamento para pontos de fronteira com outros agentes em conformidade com o ONS/CCEE. - Implantação do Sistema Nacional de Observabilidade e Controlabilidade - SINOCON e dos Esquemas de Controle de Emergência e de Segurança - ECE e ECS, conforme ONS. - Participação em grupos de estudos e comitês técnicos para implantação de novas tecnologias e normalização de projetos e sistemas.	Novas Tecnologias
7. Avançado baseado em pesquisa	- Proposição de estudos em conjunto com os Órgãos Reguladores para aumento da disponibilidade do sistema.	Planejamento
	- Banco digital de projetos (SGDT) atualizado em 100% das instalações. - Norma IEC 61850 - Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações - implantada como padrão para todos os novos empreendimentos.	Projeto
	- Especificação do protocolo IEC 61850 como padrão em todos os novos projetos dos SPCS das subestações/usinas.	Especificações
	- Sistema de medição de qualidade das aquisições, baseados em indicadores tais como: preço, prazo, taxas de falha e assistência técnica.	Licitações
	- Fomento a projetos de pesquisa sobre novas metodologias de ensaios e testes de campo para o aumento da confiabilidade dos SPCS.	Fornecimentos
	- Digitalização dos SPCS em pleno andamento nas subestações e usinas da empresa. - Desenvolvimento de novos fornecedores para os SPCS para obter acesso a novas tecnologias e evitar dependências de fornecedores exclusivos - Pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para redução dos custos da transmissão e aumento da confiabilidade dos SPCS em colaboração com outras empresas do SEB, CEPEL, universidades e institutos de pesquisa.	Novas Tecnologias

Fonte: Elaboração própria. Adaptado de Lall (1992); Bell e Pavitt (1995); Figueiredo (2001) e Rosal (2004)

Figura IV.6- Capacidades Tecnológicas em Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão

A subfunção *especificação* está vinculada ao saber da Divisão de maneira explícita. A padronização que apareceu como um aspecto a ser melhorado para os projetos, no que se refere às especificações, observou-se que efetivamente foi empreendido um esforço para a criação de um documento modular. O exame das evidências coletadas durante a pesquisa permitiu avaliar que a maneira como são desempenhadas atividades relacionadas com a especificação técnica para a realização dos empreendimentos é totalmente compatível com as de nível 6.

Os processos relacionados com a subfunção *licitação* não costumam despertar interesse da parte dos engenheiros. Entretanto, há necessidade de aprofundamento na subfunção *licitação*, pois conforme relatado em algumas entrevistas, o processo de compras ainda não está sendo gerido na empresa como uma parte integrante dos empreendimentos. Pelo levantamento realizado, concluiu-se que se trata de uma função cujo reconhecimento de capacidades produtivas rotineiras ainda estejam sendo consolidadas, havendo bastantes oportunidades de avanços.

As atividades relacionadas com a subfunção *fornecimento* correspondem mais efetivamente ao comportamento da DPCS.E. Os depoimentos colhidos e as demais evidências coletadas durante a pesquisa revelam um estilo mencionado por alguns dos entrevistados: o de “botar para funcionar”. Foram comprovadas capacidades inovadoras de grau 6 para a subfunção *fornecimento*, havendo indícios de atividades de nível avançado.

O mapeamento de capacidades inovadoras para decisão sobre a aplicação das novas tecnologias foi visto como estratégico. A capacidade de análise crítica sobre as tecnologias foi constatada como uma vantagem competitiva existente na Divisão. Foram verificadas capacidades tecnológicas correspondentes ao nível intermediário e que o alcance de um nível mais refinado deverá ser complementado com a aceleração no ritmo da digitalização e com o incentivo ao desenvolvimento de trabalhos com parceiros tecnológicos.

TABELA IV.1- Níveis de Capacidades Tecnológicas em Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão em FURNAS

Níveis de Competência	Atividades de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão											
	Planejamento		Projeto		Especificação		Licitação		Fornecimento		Novas Tecnologias	
	Nº Abs.	%	Nº Abs.	%	Nº Abs.	%	Nº Abs.	%	Nº Abs.	%	Nº Abs.	%
Capacidades Rotineiras												
Nível 1 (Básico)	10	100,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0
Nível 2 (Renovado)	10	100,0	10	100,0	10	100,0	9 (*)	100,0	10	100,0	10	100,0
Nível 3 (Extra básico)	10	100,0	10	100,0	9 (*)	100,0	7 (*)	77,8	10	100,0	10	100,0
Capacidades Inovadoras												
Nível 4 (Pré-intermediário)	9	90,0	10	100,0	10	100,0	6 (*)	75,0	10	100,0	10	100,0
Nível 5 (Intermediário)	9	90,0	10	100,0	10	100,0	2 (*)	25,0	9 (*)	100,0	8 (*)	100,0
Nível 6 (Intermediário Superior)	6	60,0	3	30,0	9 (*)	100,0	1	10,0	9 (*)	100,0	4 (*)	57,1
Nível 7 (Avançado)	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2 (*)	25,0	1	10,0

Fonte: Elaboração própria, a partir de Figueiredo (2005).

(*) Casos em que houve abstenções de resposta.

Em resumo, este capítulo apresentou o resultado de uma aplicação empírica do modelo de análise de capacidades tecnológicas na empresa de transmissão e geração de energia FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS para mapeamento das competências reunidas na área de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão. Foram apresentadas as fontes de dados e a metodologia utilizada, bem como a estrutura utilizada para o exame das capacidades acumuladas pela empresa na área focalizada. Os resultados da pesquisa se referem à aplicação de um questionário aplicado durante entrevistas conduzidas pelo pesquisador com profissionais da área com atuação de mais de vinte anos no setor de proteção e controle de FURNAS. As principais informações compiladas durante essas entrevistas foram objeto das seções IV.2 a IV.7 e a última seção apresenta os níveis de competência acumulados em cada subfunção tecnológica examinada. A análise dos resultados obtidos nesta pesquisa encontra-se nas considerações finais desta dissertação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pertinência do Tema Inovação para o Setor Elétrico

O desenho da presente dissertação foi concebido de maneira a seguir um roteiro adequado para a contextualização da inovação tecnológica no âmbito das empresas transmissoras de energia elétrica. Em essência, a inovação está impregnada na indústria da eletricidade propriamente desde seu início. A energia elétrica reúne os requisitos de extensa gama de aplicações, demanda crescente e queda persistente do custo unitário, que caracterizam os ciclos de mudança tecnológica. Os desdobramentos de sua aplicação conduziu às especializações em diferentes campos, mais notadamente na microeletrônica e nos sistemas de potência. Após um período de várias décadas de aprofundamento nessas duas vertentes, o microprocessador promove um reencontro dos “especialistas no domínio da frequência e dos miliampères” com os “profissionais dos kilovolts e kiloampères”.

O momento é propício para a discussão da inovação, em um Setor que tem sofrido profundas transformações pelos impactos da tecnologia e pela reformulação do modelo; antes baseado em concessões, agora calcado na competitividade dos agentes. Confiabilidade e qualidade deixaram de ser metas a serem atingidas para se tornarem condições de permanência no negócio. Empresas com capacidades tecnológicas mais desenvolvidas para gerenciar seus sistemas de Proteção e Controle largam na frente em termos de vantagens competitivas.

O estudo do caso FURNAS teve como intenção principal a investigação de evidências de uma trajetória de crescimento nos níveis de capacitação tecnológica ao longo de sua evolução, propondo o mapeamento das competências acumuladas nos diversos processos conduzidos por uma área específica da engenharia da empresa, responsável pela implantação de sistemas de Proteção e Controle de suas subestações e usinas.

Estudos como o aqui proposto, ao suscitarem questões do tipo *se e como*, favorecem ainda a identificação do comportamento da empresa, por meio de evidências que permitam a constatação da existência de um capital humano e organizacional, capaz de oferecer conhecimentos tecnológicos relevantes para a sustentação dos patamares já alcançados, e o desenvolvimento de novas capacitações que lhe permitam, não somente usufruir dos benefícios da evolução tecnológica, como participar da definição dos rumos das pesquisas relacionadas ao seu foco de atuação.

Acumulação de Capacidades Tecnológicas

A aplicação empírica de um modelo construído para o exame das capacidades tecnológicas na Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão na empresa FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. permitiu reconhecer os estágios de competência tecnológica com que são empreendidas as atividades relacionadas ao *planejamento*, aos *projetos*, às *especificações*, às *licitações*, aos *fornecimentos* e à aplicação de *novas tecnologias* nos sistemas sob sua responsabilidade.

No Capítulo III, buscou-se um referencial teórico que apresentasse uma abordagem adequada à realidade vivida pelas organizações que operam nas economias de industrialização recente. Com base nesse arcabouço, foi apresentado o conceito de “empresa potencialmente inovadora”, e sugerido que, com base nas características citadas, esta classificação se aplica à trajetória tecnológica de FURNAS na área pesquisada. Os resultados verificados pela aplicação da pesquisa apresentados no Capítulo IV, no que se refere à atuação da empresa em seus sistemas de proteção, controle e supervisão, permitiram confirmar esta expectativa. É necessário sublinhar, entretanto, que o presente estudo não possui a pretensão de uma generalização dos resultados alcançados em proteção e controle para outras áreas da empresa; para tanto, haverá a necessidade de estudos semelhantes a este, confirmando (ou não) a prevalência de níveis compatíveis com capacidades tecnológicas inovadoras.

Pela aplicação de uma estrutura analítica construída para mapear os processos tecnológicos na área de proteção e controle, foi possível identificar que as atividades relacionadas à *especificação* e ao *fornecimento* encontram-se situadas como as de estágio mais elevado, tendo sido verificado que foram plenamente acumuladas capacidades inovadoras compatíveis com o grau 6 – numa escala de 1 a 7 – correspondentes a um nível intermediário superior. As atividades referentes ao *projeto* e às *novas tecnologias* foram reconhecidas como tendo alcançado de forma plena o grau 5, que por esta mesma escala, representa um estágio de acumulação intermediário de capacidades inovadoras. As atividades de *planejamento* e de *licitações* refletiram um estágio de acumulação de capacidades abaixo das demais – graus 3 e 2, respectivamente, porém, foi identificado que em planejamento, existem capacidades que refletem que o estágio 5 foi atingido, porém, de forma incompleta; da mesma maneira, para licitações, foi observado que existem capacidades desenvolvidas compatíveis com o nível 4, mas que também ainda necessitam se consolidar.

Os elevados níveis de capacitação encontrados pela aplicação da métrica para o exame das competências na área em estudo são indicadores de uma elevada capacidade para o empreendimento de atividades inovadoras, ao serem mapeados níveis de acúmulo tecnológico próximos aos níveis mais avançados.

Comparando os resultados obtidos pela presente pesquisa com o resultado de estudo semelhante aplicado na transmissora Eletronorte por Rosal (2004), no que se refere à função “Engenharia”, observa-se que o resultado assemelha-se pelo aspecto de não se ter identificado capacidades de nível 7 – avançado baseado em pesquisa. Por outro lado, o estudo realizado sobre a Eletronorte tratou a engenharia de forma mais abrangente, concluindo que o estágio atingido até aquele momento correspondia às capacidades de nível 5. Em FURNAS, verificou-se a incidência de capacidades comparativamente mais avançadas, no que se refere à *especificação* e aos *forneamentos*, que atingiram plenamente o sexto estágio. Como ressalva a este tipo de comparação, é importante destacar que as estruturas utilizadas para o mapeamento, apesar de serem baseadas em uma escala de 1 a 7, não consideram e nem poderiam considerar as mesmas atividades para os mesmos estágios de acumulação tecnológica, uma vez que a atual pesquisa se focou numa área específica da engenharia.

Ao longo do trabalho de pesquisa, foram coletados dados, informações e evidências, que permitiram a comparação dos resultados apurados e sua correlação com o corpo teórico que aprofundou a inovação em países em desenvolvimento.

Algumas das principais barreiras para a formação de uma capacidade tecnológica inovadora foram apresentadas na seção III.6, onde se destacou a defasagem em relação à fronteira internacional e o deslocamento das fontes de tecnologia mundiais como dificuldades a serem superadas.

Constatou-se, pela realização da pesquisa, que a defasagem com relação aos avanços tecnológicos não se verifica na área de proteção e controle de FURNAS. O nível alcançado na subfunção *novas tecnologias*, bem como alguns relatos e evidências coletadas na pesquisa de campo, permitem concluir que a empresa tem se atualizado continuamente em relação às novas tecnologias utilizadas tanto em proteção, como em controle e supervisão, verificando aquelas que podem ser aplicadas em sua rede sem colocá-la em risco. Da mesma maneira, o distanciamento das fontes de conhecimento científico tem sido suprido pela manutenção do treinamento do corpo funcional de maneira contínua, tendo sido observado o incentivo à participação em cursos, seminários e eventos que permitem aprofundar os conhecimentos existentes. Além disso, as oportunidades de acompanhamento de ensaios em fábrica – inclusive no exterior, e de testes de comissionamento no campo, são excelentes oportunidades de aprendizado efetivo sobre as novas tecnologias. A característica técnica de participar da elaboração das soluções nos sistemas sob sua responsabilidade lhe conferiu, ao longo dos anos, um reconhecimento, tanto no nível interno da firma, como por empresas do Brasil e no exterior, de sua competência para prestar consultorias e de constituir parcerias, o que se deve à confiança do mercado de que os profissionais desta área de FURNAS estarão aptos para colocarem esses sistemas em funcionamento.

As dimensões da capacidade tecnológica, segundo o referencial aprofundado ao longo da seção III.6, foram resumidas em quatro subsistemas básicos na Figura III.5, onde foram definidos os fatores que compõem o capital organizacional das empresas, a saber: os *sistemas técnicos físicos*; o *capital humano*; a *estrutura organizacional*; e os *produtos e serviços* (FIGUEIREDO, 2005).

Os *sistemas físicos* representam o suporte de equipamentos e sistemas de TI (hardware e software) disponibilizados pelas organizações para a realização das atividades. Na área de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão, o levantamento realizado nesta pesquisa identificou a existência de diversas facilidades em relação ao conjunto de ferramentas para o desempenho das atividades dos funcionários. Todos possuem computadores pessoais com acesso à Internet e conectados à rede corporativa da empresa. São disponibilizados os programas de software necessários para tarefas do dia-a-dia, tais como correio eletrônico, planilhas e editores de texto convencionais, além de aplicativos para edição e visualização de desenhos em meio eletrônico e para acompanhamento de projetos. Além disso, a área de TI da empresa trabalha no desenvolvimento de aplicativos específicos para as diversas áreas, tais como o Projeto CADTEC - base de dados unificada para arquivamento e acesso digital às informações de desenhos e projetos da empresa; o Programa GIEP – que opera em rede e permite o acompanhamento e atualização distribuída dos cronogramas das obras de engenharia; e o aplicativo REQWEB, que utiliza as mesmas vantagens de operação sobre a rede corporativa, voltado para o processo de preparação e acompanhamento das requisições de compra. Especificamente em relação à DPCS.E, é mantido um laboratório de equipamentos próprio, para treinamento e testes sobre os equipamentos de proteção e de controle utilizados na empresa.

O *capital humano* se refere às competências acumuladas pelos funcionários ao longo do tempo e abrange a qualificação formal. Conforme explorado anteriormente, a Divisão possui um corpo técnico qualificado, composto por uma grande maioria de profissionais com experiência superior a dez anos, alguns atingindo mais de trinta anos de carreira. A qualificação de todos os profissionais que atuam na Divisão é, no mínimo, a graduação em engenharia, porém, vários dos profissionais possuem cursos de pós-graduação. A Divisão, por meio de uma parceria firmada com a UFRJ, tem enviado funcionários para cursarem uma pós-graduação em proteção. Além disso, os profissionais possuem experiência adquirida por meio de treinamentos e ensaios realizados no Brasil e no exterior em equipamentos e sistemas relacionados com suas atividades.

O *sistema organizacional*, segundo o modelo teórico apresentado, está relacionado com o conhecimento acumulado em rotinas e práticas da organização, por meio de procedimentos, na documentação, na implementação de técnicas de gestão, em resumo, nos processos e fluxos que traduzem os modos de realizar as atividades nas empresas.

Sobre este aspecto, observou-se que é um dos fatores onde existe mais campo para evolução na área de proteção e controle. Foi reconhecido um recente esforço para externalização do conhecimento na Divisão, representado pela elaboração de uma especificação técnica padronizada, onde estão sedimentados anos de conhecimento nessas áreas. Outra importante definição em termos de padrões pela DPCS.E ocorreu no momento em que o SAGE foi adotado como padrão para interface de supervisão em todas as instalações da empresa, sendo padronizados também os protocolos de comunicação aceitos para comunicação entre os dispositivos digitais.

Por outro lado, apesar de haver a idéia de se fazer algo semelhante para a padronização dos projetos, no momento da pesquisa, esta padronização não estava definida em nenhum documento corporativo. Uma das maiores limitações para a adoção de um padrão para o projeto, segundo argumentado por alguns entrevistados, se relaciona com a necessidade de adequação por parte dos principais fabricantes mundiais, que aumentariam seus custos para se moldarem a padrões diferentes dos seus. Entretanto, a conclusão a que se chega com relação a este ponto recai sobre dois aspectos: o fornecedor, que tem que ser convencido a se adaptar aos padrões de seus usuários, pelo menos no que se refere aos critérios básicos, tais como: descritivos, simbologias e formas de emulação de determinadas funções lógicas; e a empresa, que precisa avaliar as vantagens em termos de redução de custo e de ganho de agilidade que a padronização proporciona. Uma das possíveis soluções para a padronização em projetos, cuja proposta tem sido desenvolvida em comum acordo entre os fornecedores dos SPCS, corresponderá à utilização ampla da Norma IEC 61850 que estabelece os Requisitos para as Redes de Comunicação e Sistemas em Subestações.

Em relação à socialização do conhecimento, outra oportunidade é a divulgação sistematizada de experiências adquiridas durante ensaios de tipo e de modelo realizados no Brasil e no exterior, uma vez notado que o conhecimento normalmente aprofundado no acompanhamento desses testes permanece apenas “nas cabeças” dos participantes.

A parte mais visível da capacidade tecnológica é representada pela dimensão *produtos e serviços*, que refletem o resultado final da interação dos outros três fatores citados. No caso da DPCS.E, as capacidades tecnológicas acumuladas nas atividades que desempenha foram definidas como subfunções tecnológicas: *planejamento; projeto, especificação, licitação, fornecimento, e novas tecnologias*; que se traduzem nos níveis de competência com que disponibiliza os sistemas sob sua responsabilidade. O resultado final é a disponibilidade de sistemas com elevado grau de complexidade técnica, dentro dos prazos e condições operativas, a custos compatíveis, necessários para que os empreendimentos operem dentro das margens de segurança definidas por normas para as empresas que compõe o Sistema Interligado Nacional.

Fenômeno observado durante a condução da pesquisa sobre os níveis de capacidades tecnológicas na área de engenharia de proteção, controle e supervisão é a percepção de uma profunda alteração nos tempos para a realização dos empreendimentos. No Capítulo IV, são apresentados alguns depoimentos onde se percebe uma forte preocupação em relação ao fator tempo. Por um lado, as ferramentas tecnológicas e o uso da tecnologia de informação nos projetos de sistemas de proteção e controle representaram economias nos tempos dos projetos. Por outro, a reestruturação do setor elétrico, principalmente por uma atividade mais atuante dos órgãos reguladores, principalmente no que se refere aos critérios de eficiência, faz com que qualquer atraso na implantação de um empreendimento resulte na perda instantânea de receita. Diante de um cenário com mudanças drásticas como essas, tornou-se claramente necessária uma mudança de postura da engenharia da empresa como um todo, no sentido de uma melhor gestão dos projetos sob sua responsabilidade, também refletidas nos sistemas de proteção e controle. Não resta dúvida de que as regras de mercado de hoje influenciam decisivamente para que a ênfase dada à técnica, durante o período da reserva de mercado, hoje recaia totalmente no gerenciamento de projetos.

A dicotomia Engenharia *versus* Gestão está muito presente no debate sobre o futuro da área de proteção, controle e supervisão. No passado, a empresa acumulou conhecimentos desenvolvendo tecnologias, como as usadas nas unidades terminais remotas e para a supervisão do sistema elétrico nos primórdios da tecnologia de redes. Na fase atual, a Divisão não se vê como desenvolvedora e executora direta, assumindo um papel maior de coordenação de recursos. Em resumo, no aspecto da tecnologia para gestão, há sinais de evolução, em detrimento da geração de conhecimento tecnológico.

Por outro lado, na seção III.4, foram recordadas algumas dificuldades para a reprodução do conhecimento, e visto que para haver transferência, o conhecimento só consegue ser repassado de técnico para técnico. Reveste-se de vital importância que o conhecimento acumulado pelos especialistas seja externalizado, principalmente por meio de procedimentos sistematizados e rotinas de trabalho.

Um dos fatores que pode exercer um papel preponderante na continuidade de formação dos recursos humanos e na sustentação dos níveis de competência demonstrados neste trabalho é o proveito que pode ser tirado pela vantagem tecnológica de FURNAS no uso de seu laboratório de simulações de sistemas elétricos de potência. A participação dos funcionários da Divisão em ensaios de modelo realizados na própria empresa representa um potencial elevado de criação e de aprofundamento de conhecimentos. Alguns depoimentos realçaram a importância e os benefícios que a posse desse laboratório tem representado para a empresa. Durante os testes de modelo, o aprendizado sobre as novas tecnologias é mútuo: tanto FURNAS aprende o

equipamento que está sob teste, como o fabricante tem a chance de observar seu produto em uma simulação do ambiente, que é modelado com a informação que somente os profissionais do setor elétrico possuem sobre seus sistemas. Trata-se de um efetivo momento em que são estudadas e desenvolvidas melhorias aos produtos dos fabricantes, em que FURNAS apresenta contribuições para inovações incrementais.

A difusão da tecnologia também foi apresentada neste trabalho como um fator que interfere positivamente na aquisição de novos conhecimentos, estimulando o processo de inovação. A aplicação de dispositivos digitais em instalações modernizadas ou em empreendimentos novos é uma oportunidade importante de se estabelecer contato com os fornecedores de tecnologia para o setor. Entretanto, conforme reiterado em diversos momentos, por si só a difusão não garante a criação dos conhecimentos tácitos necessários para a geração de novos conhecimentos. No presente trabalho, considerou-se importante avaliar o atual estágio de digitalização dos sistemas de proteção e controle. Os resultados mostraram que ainda resta um caminho longo no processo, porém, a adesão a esses sistemas já ocorreu de forma definitiva.

A escolha da tecnologia certa no momento adequado é uma característica que pode significar o êxito ou o fracasso na sua adoção. Uma das características da tecnologia consiste em certo fascínio que parece despertar toda vez que é lançada uma inovação. Durante o processo de pesquisa para o mapeamento das competências na DPCS.E, um importante aspecto das novas soluções para a proteção e controle se relaciona com o ciclo de vida das tecnologias. Segundo o depoimento de um dos profissionais entrevistados, o grande problema da tecnologia digital é que ela não dura o mesmo tempo que os equipamentos que protege ou controla. Enquanto a vida útil dos equipamentos de páteo é de trinta anos, a tecnologia digital tem duração prevista de dez. Ou seja, o dispositivo digital não é trocado no final de sua vida útil, mas quando não existe mais o hardware necessário para sua expansão. Neste caso, “a velocidade da tecnologia torna-se um problema”. Este problema se traduz nos novos projetos de maneira importante.

Uma das experiências adquiridas pela DPCS.E com a tecnologia digital foi a de manter intertravamentos entre dispositivos de linhas e bays diferentes fora dos relés digitais, visto que, em princípio, poderiam ser feitos com lógicas internas. Assim, quando se substitui o equipamento de um vão, o intertravamento não é alterado, mantendo cada vão totalmente independente. A experiência demonstra haver uma diferença marcante entre as empresas das chamadas “utilities” e as indústrias convencionais: numa indústria, a capacidade de fabricação vem determinada pela planta inicial que sofre poucas alterações durante sua vida útil. Enquanto isso, numa subestação a necessidade de ampliações pode ser alterada profundamente desde a concepção do projeto inicial. Um exemplo disso ocorreu no caso da usina de Serra da Mesa, em que a previsão era a construção de seis vãos em dez anos, o que aconteceu em apenas dois, com necessidade

imediate de ampliação, superando tudo o que havia sido projetado anteriormente. Através desse tipo de situação, observa-se a importância da gestão tecnológica dos empreendimentos.

Aplicabilidade das Estruturas Conceituais Propostas

O referencial teórico que apresentou as justificativas para uma métrica alternativa para medição de capacidades tecnológicas inovadoras em países e empresas que operam nas economias de industrialização tardia destacou que poderia existir competência nas áreas de engenharia, de manutenção e de qualidade relevante para sustentar uma estratégia de inovação nas organizações.

Algumas das vantagens citadas na Literatura sobre a aplicação empírica de uma estrutura analítica para medição de estágios de acumulação de capacidades por processo ou função tecnológica puderam ser constatadas ao longo da realização desta pesquisa.

O modelo sugere que a avaliação seja feita para mais de uma função tecnológica da empresa, cuja categorização permite representar diferentes estágios de uma empresa por cada função selecionada para investigação. O presente trabalho comprovou esta característica, porém, não o fez para várias funções da empresa, mas para diferentes subfunções tecnológicas, dentro da função Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão. De maneira análoga, foi possível examinar os diferentes estágios de acumulação de capacidades nas diferentes atribuições de um mesmo setor da empresa.

Foi observado que em cinco das seis subfunções tecnológicas observadas, foram plenamente atendidas as condições para que se considere a existência de capacidades tecnológicas inovadoras. Apenas em uma dessas subfunções foi detectado um estágio de acumulação correspondente à capacidades de produção rotineiras.

Foi constatado também para o trabalho de elaboração de uma estrutura analítica contendo uma métrica para o exame de capacidades tecnológicas, é importante um extenso trabalho de pesquisa, adaptação e calibração.

A determinação dos períodos de tempo necessários para a acumulação não se constituiu em objetivo deste trabalho, cujas questões principais focaram a determinação de atividades empreendidas pela área em estudo para o mapeamento e categorização de estágios e o respectivo trabalho de reconhecimento dos estágios atingidos por cada subfunção tecnológica selecionada conforme a síntese de atribuições.

O modelo de análise da capacidade tecnológica baseada em estágios de acumulação demonstrou ser uma importante alternativa para o mapeamento de competências em empresas potencialmente inovadoras.

Sugestões para Estudos Futuros

O estudo realizado utilizando a taxonomia baseada em estágios de acumulação de capacidades na função tecnológica Engenharia permitiu testar a teoria sobre inovação industrial aplicada ao contexto das empresas que operam nas economias de industrialização recente. Através deste estudo, foram confirmadas as expectativas sobre o empreendimento de atividades complexas, compatíveis com níveis de capacidades tecnológicas inovadoras na área estudada.

O êxito na conclusão deste trabalho de dissertação de mestrado abre possibilidades para o surgimento de novas investigações a respeito do processo de acumulação tecnológica e, por conseguinte, da estratégia de inovação industrial pelas organizações. Algumas das possibilidades vislumbradas a partir dos conceitos e metodologias propostos para futuros projetos de pesquisa poderão ser:

- Conduzir um estudo semelhante ao que foi realizado para a Engenharia de FURNAS, voltado para outras áreas da empresa que também se dediquem aos sistemas de proteção, e de controle e supervisão, tais como a Divisão de Análise da Proteção e a Divisão de Supervisão, Controle e Automação, ambas pertencentes à Diretoria de Operação;
- Aprofundar o estudo apresentado, para buscar possíveis causas de não terem sido alcançados níveis de capacidades compatíveis com um estágio mais avançado baseado em pesquisa e identificar possíveis ameaças à capacitação já atingida;
- Conduzir um estudo que aprofunde as capacidades tecnológicas existentes nas demais áreas da engenharia, bem como em outras funções tecnológicas da empresa;
- Realizar estudos voltados para as áreas responsáveis pela engenharia de proteção, controle e supervisão em outras empresas do setor elétrico, tanto no âmbito da geração e transmissão, como também das distribuidoras de energia, comparando os níveis atingidos nas mesmas subfunções tecnológicas;
- Aprofundar o tema da aprendizagem organizacional, cujos processos são subjacentes ao acúmulo de capacidades tecnológicas pelas empresas;
- Realizar um estudo quantitativo para identificação dos tempos necessários, em número de anos, para a evolução das capacidades tecnológicas, para a medição da velocidade com que são acumuladas essas capacidades.

BIBLIOGRAFIA

ALBAGLI, S.; “Novos Espaços de Regulação na Era da Informação e do Conhecimento”. Em: *Informação e globalização na era do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

ARAUJO, C. A. S.; CÂNDIDO, J. R. R.; SOUZA, F. C.; DIAS, M. P.; *Proteção de Sistemas Elétricos*. Rio de Janeiro: Interciência – Light, 2002.

ARIFFIN, N.; FIGUEIREDO, P. N.; “Internacionalization of Innovative Capabilities: Counter-Evidence from the Electronic Industry in Malaysia and Brazil”. In: *Oxford Development Studies*, v. 32, n. 4, pp. 559-583, Dez. 2004.

BELL, M.; PAVITT, K.; “Technological Accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries”. In: *Technology, Industrial and Corporate Change*, v. 2, n. 2, pp. 157-210, 1993.

_____. “The Development of Technological Capabilities”. In: *Trade, Technology and International Competitiveness*. The World Bank, pp. 49-71, 1995.

BENJAMIN, C.; “Foi Loucura, mas houve método nela: gênese, dinâmica e sentido da crise energética brasileira”. Em: *O Brasil à Luz do Apagão* / Carlos Lessa (org.), Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001.

BIBLIOTECA DO EXÉRCITO; *A Energia Elétrica no Brasil: da Primeira Lâmpada à Eletrobrás*. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército Editora, 1977.

BINGHAM, N.; **Keys to Successful Substation Automation System Design**. In: <<http://www.utility-automation.com>>. Acesso em 23 Mar. 2007.

CAMARGO, C. C. B.; *Transmissão de Energia Elétrica: Aspectos Fundamentais*. 3 ed., Florianópolis: Ed. da UFSC, 2006.

CAMINHA, A. C.; *Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

CARDOSO, T. F. L.; “Sociedade e Desenvolvimento Tecnológico: uma abordagem histórica”. Em: *Educação Tecnológica: desafios e perspectivas* / Mirian P. S. Zippin Grinspun (org.), 2 ed., São Paulo: Cortez, 2001.

CASTRO, N. J.; “Perspectivas do Setor Elétrico”. Em: *Ciclo de Palestras Setor Elétrico Brasileiro*. Grupo de Estudos do Setor Elétrico – GESEL-IE-UFRJ / FURNAS. Rio de Janeiro, 30 Novembro 2006.

DE NEGRI, J. A.; SALERNO, M. S.; *Inovações, Padrões Tecnológicos e Desempenho das Firms Industriais Brasileiras*. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: IPEA, 2005.

DUTRÉNIT, G.; *Learning and Knowledge Management in the Firm. From Knowledge Accumulation to Strategic Capabilities*. Cheltenham, UK and Northampton: Edward Elgar, 2000.

_____. “Building Technological Capabilities in Latecomer Firms: A Review Essay”. In: *Science, Technology & Society*. New Delhi/Thousand Oaks/London: SAGE PUBLICATIONS, 2004.

_____. “Instability of the technology strategy and building of the first strategic capabilities in a large Mexican firm”. In: *Int. J. Technology Management*, v. 36, n. 1/2/3, pp. 43-61, Inderscience Enterprises, 2006.

ESPÍRITO SANTO, S.; ALMEIDA, H. H.; ZANI, C. R.; FERNANDEZ, P. C.; “Testes em Simulador Digital em Tempo Real de Dispositivo Sincronizador de Disjuntores para Chaveamento de Banco de Capacitores na SE Jacarepaguá de Furnas”. *Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica - VII SEPOPE*. Curitiba, PR, Brasil, 21-26 Maio 2000.

FIGUEIREDO, P. N.; *Technological Learning and Competitive Performance*. Cheltenham, UK; Northampton, USA: Edward Elgar, 2001.

_____. *Aprendizagem Tecnológica e Performance Competitiva*. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2003.

_____. “Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial em Economias Emergentes: uma Breve Contribuição para o Desenho e Implementação de Estudos Empíricos e Estratégias no Brasil”, *Revista Brasileira de Inovação*, v. 3, n. 2, pp. 323-361, Ago. 2004.

_____. “Acumulação Tecnológica e Inovação Industrial: conceitos, mensuração e evidências no Brasil”, *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 1, pp. 54-69, jan/mar. 2005.

FORTUNATO, L. A. M.; NETO, T. A. A.; ALBUQUERQUE, J. C. R.; PEREIRA, M. V. F.; *Introdução ao Planejamento da Expansão e Operação de Sistemas de Produção de Energia Elétrica*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, EDUFF, 1990.

FREGNI, E.; IAHN, L. F.; **Inovação: uma abordagem estratégica**. Curitiba: FESP-PR, 2006. Disponível em: <<http://publica.fesppr.br/ojs/index.php/rnti/article/viewFile/34/21>>. Acesso em 11 jan. 2008.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.; ANUÁRIO ESTATÍSTICO 2006 – Ano base 2005, Departamento de Estudos Gerenciais e de Mercado – DGM.E, Coordenação Tereza Cristina Mello Mendes. Rio de Janeiro, Outubro 2005.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO 2005 – Ano base 2004, Departamento de Estudos Gerenciais e de Mercado – DGM.E, Coordenação Tereza Cristina Mello Mendes. Rio de Janeiro, Outubro 2004.

_____. Revista FURNAS; *Edição Especial 50 Anos de Furnas*, Ano XXXIII, n. 337. Editor e coordenador de conteúdo Eduardo Franklin Correia. Rio de Janeiro, Fevereiro 2007.

_____. Revista FURNAS – Energia para o Crescimento Sustentável; Coordenador Comunicação Social Mario Lima Rocha. Rio de Janeiro, Julho 2005.

_____. Homepage Institucional da Empresa. Disponível em: <http://wnotes.furnas.com.br/Administracao/fonline_Internet2.nsf/viewTodasNoticias/350C054D4295232F832573FC0049EC21?OpenDocument>. Acesso em 13 mar. 2008.

GOLDMAN, F. L.; “O Desafio de Preservar e Disseminar o Conhecimento no Segmento de Transmissão de Energia Elétrica”, *Seminário Nacional da Gestão da Informação e do Conhecimento no Setor de Energia Elétrica - VII SINCONEE*. Florianópolis, SC, Brasil, 20-22 Julho 2006.

GOLDMAN, F. L.; QUELHAS, O.; “Desenvolvimento de Inteligência Empresarial Voltada para o Segmento de Transmissão de Energia Elétrica”, *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - XIX SNPTEE*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 14-17 Outubro 2007.

GONÇALVES, C. D. F.; *Criação e Desenvolvimento do Conhecimento Organizacional – Pesquisa de Metodologias e Aplicação em FURNAS*. Monografia Programa de Especialização em Gestão Empresarial, Universidade Cândido Mendes. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

GÓZ, R. S.; *Gestão do Conhecimento e seu Efeito na Estrutura Organizacional*. Monografia Programa de Especialização em Gestão Empresarial, Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

GRINSPUN, M. P. S. Z.; “Educação Tecnológica”. Em: *Educação Tecnológica: desafios e perspectivas* / Mirian P. S. Zippin Grinspun (org.), 2 ed., São Paulo: Cortez, 2001.

GUERREIRO, A.; “Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro Desafios e Perspectivas”. Em: *Ciclo de Palestras Setor Elétrico Brasileiro*. Grupo de Estudos do Setor Elétrico – GESEL-IE-UFRJ / FURNAS. Rio de Janeiro, 11 Outubro 2006.

KATZ, J.; “A Dinâmica do Aprendizado Tecnológico no Período de Substituição de Importações e As Recentes Mudanças Estruturais no Setor Industrial da Argentina, do Brasil e do México”. Em: *Tecnologia, Aprendizado e Inovação: as experiências das economias de industrialização recente* / Linsu Kim; Richard Nelson (orgs.). Campinas: Editora da UNICAMP, 2005.

KINDERMAN, G.; *Curto-circuito*. 2 ed., Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997.

LALL, S.; Technological Capabilities and Industrialization. *World Development*, v.2, n. 20, pp. 165-186, Feb. 1992.

LANDES, D.; *Prometeu Desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa Ocidental desde 1750 até a nossa época*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

LASTRES, H. M. M.; FERRAZ, J. C.; “Economia da Informação, do Conhecimento e do Aprendizado”. Em: *Informação e Globalização na Era do Conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

LESSA, C.; “Do Medo ao Apagão: Reconstruir a Nação”. Em: *O Brasil à Luz do Apagão* / Carlos Lessa (org.), Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001.

LIMA, J. A.; “Conflitos de Visões sobre o Futuro das Estatais Elétricas”. *Seminários sobre Dinâmica do Setor Elétrico*, Grupo de Estudos do Setor Elétrico – GESEL-IE-UFRJ. 19 Julho 2007.

MARQUEZ, D. C.; KRAUSS, C. C.; FRISCH, A. C.; PAROLIN, E. L.; “A Experiência da Copel na Integração de Proteções Digitais ao Sistema de Automação de Subestações”. *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XVIII SNPTEE*. Curitiba, PR, Brasil, 16-21 Outubro 2005.

MARTINS, H. B.; MENDES, T. C. M.; FRADE, L. C. S.; FERRAZ, A.; “O Desenvolvimento Tecnológico no Sistema Eletrobrás e suas Ações no Estímulo e Fomento à Inovação”. *Seminário*

Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XVIII SNPTEE. Curitiba, PR, Brasil, 16-21 Outubro 2005.

MARTINS, M. P. S.; *Inovação Tecnológica e Eficiência Energética*. Monografia Pós-Graduação MBA em Energia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1999.

MASON, C. R.; *The Art and Science of Protective Relaying*. General Electric Series. Written for the advancement of engineering practice. USA: John Wiley & Sons Inc, June 1956.

MEDEIROS, P. M.; *Nova Regulação do Setor Elétrico: um quadro de incertezas*. Monografia Programa Pós-Graduação em Administração e Economia, IBMEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

MIRANDA, L. R.; “Norma Global de Comunicação em Subestações – IEC 61850”. *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XVIII SNPTEE*. Curitiba, PR, Brasil, 16-21 Outubro 2005.

NUNES, L.; BERTASI, D.; VALLADARES, A.; “A Gestão do Conhecimento como Fator de Transferência de Tecnologia no Setor Elétrico”. *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XVIII SNPTEE*. Curitiba, PR, Brasil, 16-21 Outubro 2005.

OCDE; “Pesquisas sobre Inovação em Países em Desenvolvimento”. Em: *Manual de Oslo - Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação*. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE / Palmira Moriconi (coord. Editorial), 3 ed., FINEP, 1997.

OLIVEIRA, A.; “A Economia Real, Existe!”. Em: *O Brasil à Luz do Apagão* / Carlos Lessa (org.), Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001.

PELLINI, E. P.; YAMADA, P.; “Digitalização de Subestações: conceitos, vantagens e aplicações”, *Revista Controle & Instrumentação*, n. 58, São Paulo: Valete Editora, Maio 2001.

PEREIRA, A. C.; GARCIA, D. R.; TARANTO, G. N.; ALMEIDA, P. C.; CÁCERES, D.; MOSZKOWIKS, M.; “Integração dos Sistemas de Proteção, Controle e Automação de Subestações e Usinas – Estado da Arte e Tendências”. *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XVIII SNPTEE*. Curitiba, PR, Brasil, 16-21 Outubro 2005.

PEREIRA, R. M.; “Faltas de Alta Impedência”. Em: *Entre Homens e Máquinas* / Maurício Castanheira; Ray Pereira (orgs.). Rio de Janeiro: Publit Soluções Editoriais, 2006.

PEREIRA, R. M.; SPRITZER, I. M. P. A.; “Automação e Digitalização em Subestações de Energia Elétrica: Um Estudo de Caso”. *Encontro Nacional da Engenharia de Produção – XXVI ENEGEP*. Fortaleza, 9-11 Outubro 2006.

PEREIRA, R. M.; SPRITZER, I. M. P. A.; RODRIGUEZ, M. B.; RANGEL, C. X., FARNEZE, H. N.; SOUZA, L. H. L.; “Ciclo da Inovação Tecnológica: Influência e Metamorfose da Arquitetura Organizacional – Estudo de Caso sobre um novo multimetro para o Mercado Atacadista de Energia”. *Encontro Nacional da Engenharia de Produção – XXVII ENEGEP*. Foz do Iguaçu, 9-11 Outubro 2007.

PIRES, J. C. L.; “Desafios da Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro”, *Textos para Discussão*, n. 76. Gerência de Políticas, DEPEC, BNDES. Rio de Janeiro, Mar. 2000.

PIRES, J. C. L.; GIAMBIAGI, F.; SALES, A. F.; “As Perspectivas do Setor Elétrico após o Racionamento”, *Textos para Discussão*, n. 97. Gerência de Políticas, DEPEC, BNDES. Rio de Janeiro, Out. 2002.

PIRRÓ E LONGO, W.; “O Enfoque da Academia”. *II Encontro de Propriedade Intelectual e Comercialização de Tecnologia*. 21-46, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1-2 Julho 1999.

PITHON, A. J. C.; *Projeto Organizacional para Engenharia Concorrente no Âmbito das Empresas Virtuais*. Tese de Doutorado, Universidade do Minho, Portugal, 2004.

PUPPI, L. V. S.; FILHO, J. N. R. R.; “Análise Comparativa de Relés Numéricos”. *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XVIII SNPTEE*. Curitiba, PR, Brasil, 16-21 Outubro 2005.

ROSA, L. P.; “A Crise de Energia: uma reputação empírica do modelo econômico neoliberal”. Em: *O Brasil à Luz do Apagão / Carlos Lessa (org.)*, Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001.

ROSAL, A. C. L.; *Trajatória de Desenvolvimento Tecnológico na Indústria de Transmissão de Energia Elétrica: a experiência das Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – ELETRONORTE*. Dissertação de Mestrado, FGV-EBAPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

ROSSATTO, M. A.; CAVALCANTI, M.; “Modelo Estratégico de Gestão do Conhecimento”. *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XVI SNPTEE*. Campinas, SP, Brasil, 21-26 Outubro 2001.

SAUER, I. L.; MERCEDES, S. S. P.; KIRCHNER, C. A. R.; VIEIRA, J. P.; JUHAS, J. L.; “Um Novo Modelo para o Setor Elétrico Brasileiro”. Em: *A Reconstrução do Setor Elétrico / Sauer, I. L. (org.)*, São Paulo: Paz e Terra, 2003.

SILVEIRA, P. M.; GUIMARÃES, C. A. M.; “Reflexões sobre o Futuro do Ensino da Engenharia Elétrica”. *Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – XIV SNPTEE*. Belém, PA, Brasil, 26-30 Outubro 1997.

STAIR, R. M.; “Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas”. Em: *Princípios de Sistemas de Informação*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos Científicos, 1998.

STRACHMAN, E.; **Relatório Setorial: Equipamentos Elétricos sob Encomenda**. Rio de Janeiro: FINEP, 2005. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br>>. Acesso em: 26 maio 2005.

TIGRE, P. B.; *Gestão da Inovação: a economia da tecnologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

TORRES, M. F. P.; OLIVEIRA, R. R.; “A Gestão do Conhecimento e a Inovação Tecnológica numa Empresa do Setor Elétrico Brasileiro: Evidências da Existência de Capital Social Organizacional”. Em: *Taller Internacional sobre Inteligencia Empresarial y Gestión del Conocimiento en la Empresa – V IntEmpres*. Recife, PE, Brasil, 29 Novembro – 3 Dezembro 2004.

TURBAN, E.; MCLEAN, E.; WETHERBE, J.; *Tecnologia da Informação para Gestão*, 3.ed., Porto Alegre: Bookman, 2004.

VICTER, W. G.; *A Construção e a Destruição do Setor Elétrico Brasileiro: uma análise crítica e histórica – de Getúlio Vargas a Fernando Henrique Cardoso*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2002.

VIEIRA, J. P.; *Energia Elétrica como Antimercadoria e sua Metamorfose no Brasil: A Reestruturação do Setor e as Revisões Tarifárias*. Tese de Doutorado, Programa Interunidades Pós-Graduação em Energia, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2005.

YIN, R. K.; *Estudo de Caso: planejamento e métodos*, 2.ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.

Apêndice A
Roteiro Básico de Perguntas

ACUMULAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL: Metodologia para Análise da Capacidade Tecnológica na Proteção e Controle de Subestações - O Caso FURNAS

ROTEIRO BÁSICO DE PERGUNTAS

Este questionário foi elaborado com base na Síntese de Atribuições da Divisão de Engenharia de Proteção, Controle e Supervisão de FURNAS – DPCS.E. A finalidade das perguntas é fornecer subsídios que permitam identificar capacidades tecnológicas rotineiras e inovadoras nas atividades relacionadas à Função Engenharia relacionada aos SPCS, bem como sua evolução ao longo do tempo.

Planejamento

1. A DPCS.E faz o acompanhamento dos últimos preços contratados para fazer o planejamento orçamentário anual? Desde quando? (Marco Específico). Onde ficam registrados? É feita a comparação com os valores orçados inicialmente nas requisições de compra?
2. A Divisão tem como atribuição municiar o Departamento de Engenharia Elétrica (DEL.E) com informações sobre características dos SPCS, custos e prazos para Solicitações de Autorização de empreendimentos remunerados pela ANEEL para aquisição de Novos Ativos. Desde quando foi iniciada esta atividade? Saberá informar o(s) primeiro(s) empreendimento(s)? Existe algum documento padronizado?
3. Existe preocupação em sincronizar as atividades da Divisão com os órgãos de aquisição, construção e operação para conclusão dos empreendimentos dentro dos prazos fixados pela ANEEL? Quais os mecanismos/ferramentas utilizados para alcançar esse objetivo? Desde quando estão implementados?
4. O acompanhamento dos projetos é realizado por meio da definição de Centros de Custo para cada empreendimento?
5. Uma das atividades da DPCS.E é a gestão de novos conectantes à rede de Furnas. Pode-se dizer que a Divisão exerce um papel de consultora em relação a essas ligações? O acompanhamento dos empreendimentos é realizado com base em práticas de Gerenciamento de Projetos? Quais as vantagens que o aplicativo GIEP – Gerenciamento Integrado de Engenharia de Projetos pode oferecer nesta tarefa?
6. Existe algum trabalho ou projeto de P&D conjunto com os Órgãos Reguladores para aumento da disponibilidade do Sistema? Que tipo de avanço se poderia alcançar nesta área?

Projeto

1. A DPCS.E possui capacitação para elaboração do projeto básico dos SPCS? Desde quando?
2. Quando começou a atividade de coordenação e análise dos projetos elétricos elaborados pelas consultorias externas?

3. Desde quando a Divisão é responsável pela elaboração direta ou fiscalização/liberação, quando contratados, dos projetos executivos dos SPCS?
4. A partir de quando a Divisão se tornou responsável pela coordenação do projeto da integração dos SPCS junto aos fabricantes e demais órgãos de apoio durante o fornecimento? Quando foi implementado o banco digital de dados – SGDT - para arquivamento de projetos, desenhos e especificações? Quais as vantagens obtidas por sua implantação?
5. Existe algum esforço para a padronização nos novos projetos dos SPCS? Desde quando? Em que fase está?
6. O banco de dados do SGDT está 100% atualizado? Existe alguma programação para alcançar este objetivo? Existe a intenção de adotar a norma IEC 61850 como padrão nos novos projetos? Quais inovações tecnológicas podem ser pensadas para melhorar a qualidade dos projetos da DPCS.E?

Especificações

1. No início das atividades da DPCS.E, de que forma os funcionários adquiriram conhecimentos básicos sobre filosofias de proteção e em sistemas de controle e supervisão convencionais?
2. Desde quando as especificações técnicas e técnico-comerciais começaram a ser feitas pela DPCS.E, sem a participação de consultorias externas?
3. Quando foram adquiridos conhecimentos em *relés digitais de proteção*? Qual(is) o(s) primeiro(s) projeto(s) em que Furnas especificou relés digitais? Quando foram especificados os primeiros sistemas de controle baseados em RTU's? A partir de quando as especificações de FURNAS foram compatibilizadas com os *Procedimentos de Rede* do ONS para o SIN? Em que momento o Sistema SAGE desenvolvido pelo CEPEL passou a ser especificado como padrão?
4. Desde quando a realização de ensaios de modelo em modelagem ATP passou a fazer parte das especificações? E os ensaios de plataforma em Sistemas Digitais de Supervisão e Controle, quando começaram a ser exigidos? A Divisão também prepara especificações técnicas para SPSC mais complexos, tais como o HVDC e Compensadores Série?
5. Existe uma Especificação Técnica padronizada para SPCS? Quando foi criada? A Especificação Técnica para SPCS contempla a Norma IEC 61850 como um dos padrões aceitos para implantação de projetos de digitalização de subestações? Desde quando?
6. Existe a previsão de adoção da IEC 61850 como padrão para todos os novos projetos de SPSC? Quais as tendências de avanço em tecnologias para o Setor? Qual(is) o(s) critério(s) para que passe(m) a fazer parte das especificações para futuros sistemas?

Licitações

1. A DPCS.E é responsável pela coordenação das licitações, elaborando especificações, prestando esclarecimentos técnicos e analisando documentos e propostas. Desde quando desempenha essas atribuições? Onde são arquivados esses registros?

2. Há uma preocupação em sincronizar a entrega das requisições para compra em tempo hábil para a licitação pelo órgão de aquisição? De que forma? Quando se iniciou esta prática?
3. Os funcionários da Divisão possuem algum conhecimento sobre processos de aquisições em empresas públicas (Lei 8.666/93 e pregões)? Já houve experiências de concorrência pela modalidade técnica e preço? Quais os resultados obtidos?
4. Existe algum banco de dados onde são registrados os preços dos elementos constituintes dos SPCS? A empresa troca informações com outras concessionárias do grupo Eletrobrás?
5. A Divisão se mantém atualizada com informações sobre o mercado de fornecedores nacionais e estrangeiros dos SPCS? De que forma? Essa informação fica registrada em algum repositório?
6. Existe algum banco de dados para acompanhamento da qualidade das aquisições, baseado em indicadores tais como preço, cumprimento de prazos, medição do tempo médio entre falhas (MTBF) durante a garantia e assistência técnica pós-vendas?

Fornecimentos

1. A DPCS.E é responsável pela coordenação técnica dos fornecimentos dos SPCS, acompanhando as atividades de fabricação e responsabilizando-se pela inspeção nos testes de aceitação em fábrica e no campo. Desde quando desempenha essas atribuições? Onde ficam arquivados esses registros?
2. A Divisão envia funcionários para acompanhamento de ensaios especiais e de tipo nas sedes das empresas fornecedoras dos SPCS, inclusive no exterior? Existe alguma forma de registro de informações relevantes obtidas durante esses testes?
3. A Divisão presta assistência aos órgãos de construção e de operação durante a implantação dos projetos, e na instalação e comissionamento dos SPSC?
4. Desde quando a Divisão também passou a acompanhar os ensaios de modelo em relés de proteção com base na reprodução das características dos sistemas (Modelagem ATP)? E os ensaios de plataforma dos SDSC, desde quando são acompanhados? São feitos registros sobre o resultado desses testes?
5. Quando foram realizados os primeiros ensaios de modelo com base em modelagem ATP no Simulador Digital em Tempo Real – RTDS - de Furnas? Quais os principais benefícios obtidos? A DPCS.E já prestou algum serviço externo de consultoria técnica para o acompanhamento de fornecimentos de SPCS? Em que empreendimento(s)?
6. A Divisão já desenvolveu alguma metodologia ou solução inovadora para o acompanhamento de testes durante os fornecimentos? Pode dar algum exemplo?

Novas Tecnologias

1. Quando FURNAS começou a aplicar as primeiras RTU's para o telecontrole de subestações e usinas? Quando se iniciou o processo de migração de tecnologia de relés de proteção, pela aplicação dos primeiros relés estáticos? Como foi a experiência inicial?

2. Quando foram aplicados os primeiros relés digitais numéricos para proteção de linhas, subestações e usinas? Qual foi a primeira aplicação do SAGE para o controle de subestações e usinas?

3. Quando ocorreu a adesão definitiva aos relés de proteção digitais em larga escala? O telecontrole das subestações e usinas de FURNAS está implementado em todas as instalações da empresa? Desde quando? Quando foram adquiridos os primeiros conhecimentos em TIC's aplicadas aos SPCS (protocolos, softwares de ajuste etc.)?

4. Quando foi iniciado o processo de digitalização das proteções das subestações e usinas da empresa? Em que instalações? Quando foram aplicadas as primeiras UAC's para a digitalização do controle e supervisão? Os testes no exterior envolvendo novas soluções para a proteção e o controle de sistemas especiais (HVDC, capacitores série etc.) são acompanhados pelos funcionários da Divisão? A informação obtida por meio dessas inspeções é registrada?

5. Quando foram iniciados os seguintes projetos: *ECS – Medição de Fronteira – Sinocon – RDP - RARP*? Os funcionários da Divisão participam de grupos de estudos e comitês técnicos internacionais para discussão de novas tecnologias?

6. Com relação aos avanços tecnológicos

6.1. Qual o estágio de digitalização dos SPCS's da empresa?

a) Instalações com 100% da proteção digitalizada:

() menos de 25% () 25% a 50% () 50% a 75% () 75% a 90% () mais de 90%

b) Instalações parcialmente digitalizadas (acima de 50% da proteção)

() menos de 25% () 25% a 50% () 50% a 75% () 75% a 90% () mais de 90%

c) Instalações com 100% do controle digitalizado:

() menos de 25% () 25% a 50% () 50% a 75% () 75% a 90% () mais de 90%

d) Instalações parcialmente digitalizadas (acima de 50% do controle)

() menos de 25% () 25% a 50% () 50% a 75% () 75% a 90% () mais de 90%

6.2. São estimuladas as parcerias com fornecedores que possam trazer novas tecnologias para SPCS? Essas tecnologias são apenas aplicadas pela empresa ou a partir delas, decorrem processos de pesquisa interna que resultam em aprimoramentos? Pode citar algum exemplo?

6.3. A DPCS.E estimula seus colaboradores a desenvolver projetos de P&D relacionados com novas tecnologias para SPCS's? Algum projeto de inovação tecnológica da Divisão já resultou em patente para a empresa? O uso de novas tecnologias já resultou em sugestão de melhorias para fabricantes? Pode citar algum exemplo?

* * *

A capacitação tecnológica incorpora os recursos necessários para “*gerir e gerar mudanças tecnológicas*” acumuladas nos sistemas físicos suportados pela TI; no capital intelectual; no tecido organizacional; e nos produtos e serviços resultantes dessa combinação (FIGUEIREDO, 2005).

Segundo esta abordagem, qual tem sido a contribuição da DPCS.E para que FURNAS não seja apenas usuária da tecnologia mas se aproxime da fronteira tecnológica nas áreas de proteção e controle?

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](#)