

**FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS
CENTRO DE FORMAÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA
CURSO DE MESTRADO EM GESTÃO EMPRESARIAL**

**INOVAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS:
ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADE EM UMA
EMPRESA DE MINERAÇÃO NO BRASIL
(1994-2008)**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO
PÚBLICA E DE EMPRESAS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

ANDRÉ FONSECA DA SILVA
Rio de Janeiro - 2009

ANDRE FONSECA DA SILVA

**INOVAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS:
ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES EM UMA EMPRESA DE
MINERAÇÃO NO BRASIL
(1994-2008)**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre, na Escola
Brasileira de Administração Pública e de
Empresas, Centro de Formação e Pesquisa,
Fundação Getulio Vargas.

Orientador: Paulo N. Figueiredo (Ph.D.)

Rio de Janeiro

2009

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar meu caminho e me dar forças para não desistir e sempre seguir em frente.

Aos meus pais, Rosa e Edgar, pela educação, base para minha vida e apoio nos meus estudos. Agradeço-lhes também por aguentar meus momentos de grande *stress* durante a elaboração deste trabalho.

À minha namorada, Viviane, pelo apoio, incentivo e paciência, ao longo desta jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo N. Figueiredo. Seus ensinamentos, sua dedicação e seu apoio foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Mineração Caraíba S/A, pela boa vontade, cooperação e pelo tempo dedicado durante a pesquisa de campo desta dissertação.

À Aurizônia Empreendimentos S/A, pelo apoio e incentivo à educação ao longo de sua existência.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta obra.

RESUMO

Ao longo dos últimos 40 anos tem havido uma profusão de estudos sobre acumulação de capacidades tecnológicas em empresas de economias emergentes. Porém, são escassos os estudos que examinem, de maneira conjunta e de uma perspectiva dinâmica, o relacionamento entre trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas e os mecanismos subjacentes de aprendizagem. São ainda mais escassos estudos sobre este relacionamento em firmas atuando na indústria de processamento de recursos naturais. O interesse neste último está em oferecer uma visão alternativa de alguns autores quando se referem a estas indústrias como ‘maduras’, de ‘baixa tecnologia’ ou meramente produtoras de ‘*commodities*’ e ‘no fim da linha de inovação’. Logo, neste estudo, defende-se que as inovações tecnológicas estão bem presentes em empresas baseadas em processamento de recursos naturais, principalmente em empresas de mineração.

Buscando preencher essas lacunas da literatura, examinam-se, nesta dissertação, essas questões à luz de modelos analíticos disponíveis na literatura internacional –, adaptados para o contexto desta dissertação. O modelo para examinar a acumulação de capacidades tecnológicas identifica as capacidades para as funções tecnológicas de **processos e organização da produção**. Para a análise das fontes de capacidades tecnológicas, utiliza-se, nesta dissertação, o modelo para examinar as estratégias intraorganizacionais que desmembram o processo de aprendizagem em aquisição de conhecimento externo e interno e os convertem do nível individual para o organizacional pela socialização e codificação, com base em suas características-chave: variedade, intensidade e funcionamento. Esse conjunto de relacionamentos é examinado por meio de estudo de caso simples e de longo prazo (1994-2008) em uma empresa de processamento de recursos naturais (mineração de cobre) no Brasil.

Tomando-se por base evidências empíricas qualitativas e quantitativas, colhidas em primeira mão, verificou-se o seguinte.

1. A empresa acumulou capacidade inovadora em **processos e organização da produção** em Nível Inovador Intermediário, ou seja, a empresa já promove a expansão sistemática da capacidade por meio da manipulação de parâmetros-chave de processo. Verificou-se também que a firma tem potencial para atingir o Nível Inovador Avançado em virtude dos avanços obtidos em seu projeto de biolixiviação de cobre sulfetado. Este nível não foi atingido porque, ao final da pesquisa, a aplicação comercial bem-sucedida deste projeto ainda não tinha sido comprovada.
2. Os vários processos e mecanismos de aprendizagem tiveram um papel crucial na acumulação desse nível de capacidade inovadora. Especificamente a progressiva incidência e a maneira como os mecanismos de aprendizagem foram criados e geridos na empresa contribuíram decisivamente para criar uma base de conhecimento que permitiu à empresa desenvolver capacidades tanto para atividades de **produção** como para atividades de **inovação**. Não obstante, as evidências também sugerem que estes mesmos tipos de mecanismos não foram suficientes para que a empresa acumulasse capacidades além do nível alcançado. Ou seja, o alcance de níveis mais sofisticados de inovação implica a adoção de mecanismos mais complexos de aprendizagem. Naturalmente, outros fatores, como o comportamento da liderança empresarial, também contribuíram para o acúmulo dessas capacidades, embora este ponto tenha sido examinado aqui de maneira superficial.

Esses resultados fazem avançar nosso entendimento sobre as dificuldades e complexidades envolvidas no processo de acumulação de capacidades inovadoras em empresas de economias emergentes. O estudo contribui para mostrar que, se empresas dessa natureza objetivarem acumular níveis inovadores de capacidade tecnológica e, com isso, obter melhor *performance* competitiva, terão que desenhar estratégias robustas de aprendizagem. Finalmente, o estudo joga luz no entendimento sobre o processo de inovação em empresas em indústrias à base de processamento de recursos naturais, setores estes de grande importância para países ricos em recursos naturais como o Brasil.

ABSTRACT

Over the past 40 years there has been a profusion of studies on the accumulation of technological capacities in firms from emerging economies. However, there are few studies that examine, on a combined basis and through a dynamic perspective, the relationship between the trajectories of the accumulation of technological capacities and underlying learning mechanisms. There are even fewer studies that examine this relationship in firms in the natural resource-processing industry. The interest in examining the focus of this study in the natural resource-processing industry is to offer an alternative vision to some authors that refer to this industry as “mature”, with “low technology”, mere “commodities” producers or at the “end of the innovation line”. Thus, this study defends that technological innovations are very present in natural resource-processing firms, especially in mining firms.

Seeking to contribute to cover these gaps found in international literature, this dissertation examines these issues, through analytical frameworks available in international literature and adapted for this dissertation's context. The analytical framework applied to examine the accumulation of technological capabilities identifies the capabilities for the technological functions of *processes and production organization*. In order to examine the technological capabilities' sources, this dissertation uses a framework to inspect intra-firm learning strategies, breaking down the learning process and analyzing the external and internal knowledge acquisition, knowledge socialization, and knowledge codification. These strategies are examined focusing on its key features: variety, intensity and functioning. This set of relationships is examined through a single and a long-term (1994-2008) case study in a natural resource-processing firm (copper mining) in Brazil.

Based on first-hand quantitative and qualitative empiric evidence, gathered through extensive field research, it has been ascertained that:

1. The firm accumulated innovative capacity in *processes and production organization* at an Intermediate Innovative Level, meaning that the firm promotes the systematic expansion of the capacity through the manipulation of the process key parameters. It was also verified that the firm has the potential to reach the Advanced Innovative Level due to its copper-sulfate bioleaching project. This level was not achieved because by the end of this dissertation the projects' commercial application still had not been proven successfully.
2. The various learning processes and mechanisms have played a crucial role on the accumulation, in this level, of innovative capacity. Specifically, the gradual incidence and manner in which these learning mechanisms were created and managed in the firm contributed decisively to create a knowledge basis that allowed the firm to develop the capacities for both production and innovation activities. Nevertheless, the evidences also suggest that these very types of mechanisms are not enough for the firm to accumulate capacities beyond the reached level. Thus, the attainment of more sophisticated innovation levels implies in the adoption of more complex learning mechanisms. Naturally, other factors such as enterprise leadership behavior have also contributed to the accumulation of these capacities, even though this issue has been examined here in a superficial manner.

The study contributes to demonstrate that if firms of this nature objectify to accumulate innovative levels of technological capacity and, with them, obtain greater competitive performance, robust learning strategies will have to be drawn up. Finally, the study shines a light on the understanding of the innovation process in natural resource-processing firms, sectors of great importance to countries rich in natural resources, such as Brazil.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
1.1 PANORAMA DA DISSERTAÇÃO.....	12
1.2 QUESTÕES DA DISSERTAÇÃO	16
1.3 METODOLOGIA	17
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
CAPÍTULO 2 - BREVE REVISÃO DE ESTUDOS ANTERIORES	20
2.1 RECURSOS NATURAIS: UMA JANELA DE OPORTUNIDADE PARA A AMÉRICA LATINA?20	
2.2 ESTUDOS SOBRE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS	23
2.3 ESTUDOS EMPÍRICOS SOBRE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS EM MINERAÇÃO	27
CAPÍTULO 3 - MODELO ANALÍTICO DA DISSERTAÇÃO	33
3.1 CAPACIDADES TECNOLÓGICAS	33
3.2 INDICADORES CONVENCIONAIS DE INOVAÇÃO: PORQUE NÃO USAR?	35
3.3 MÉTRICA PARA EXAMINAR A ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS ...	36
3.3.1 TIPOS E NÍVEIS DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS EM PROCESSOS E ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	39
3.4 MECANISMOS DE APRENDIZAGEM SUBJACENTES À ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES	40
3.5 MÉTRICA PARA EXAMINAR OS PROCESSOS SUBJACENTES DE APRENDIZAGEM	41
3.5.1 CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES DAS CARACRÍSTICAS-CHAVES DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM	44
3.6 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	45
CAPÍTULO 4 - A MINERAÇÃO CARAÍBA E INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO DE COBRE ..	48
4.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA DO COBRE	48
4.1.1 CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DO COBRE.....	48
4.1.2 TECNOLOGIAS E PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE COBRE.....	52
4.2 A ATUAÇÃO DA MINERAÇÃO CARAÍBA	56
4.3 UM BREVE HISTÓRICO DA MINERAÇÃO CARAÍBA S/A.....	64

4.4 RELEVÂNCIA DA ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS PARA A MINERAÇÃO	65
CAPÍTULO 5 - DESENHO E MÉTODO DA PESQUISA.....	67
5.1 ELEMENTOS DO DESENHO DA PESQUISA	67
5.1.1 QUESTÕES DA DISSERTAÇÃO.....	67
5.1.2 ESCOLHA DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA	68
5.1.3 COLETA DE DADOS	68
5.1.4 TIPOS E FONTES DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS	69
5.1.5 MÉTODOS DE COLETA DE DADOS.....	70
5.2 ANÁLISE DAS EVIDÊNCIAS COLHIDAS	71
CAPÍTULO 6 - ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA (1994-2008).....	72
6.1 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES DE PRODUÇÃO BÁSICAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA - NÍVEL 1: 1994.....	72
6.2 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES DE PRODUÇÃO AVANÇADAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA – NÍVEL 2: 1995- 1998	73
6.3 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES INOVADORAS BÁSICAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA - NÍVEL 3: 1999-2002	79
6.4 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES INOVADORAS INTERMEDIÁRIAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA – NÍVEL 4: 2003 - 2008	82
6.4.1 POTENCIAL PARA ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES INOVADORAS AVANÇADAS – NÍVEL 5	87
CAPÍTULO 7 - MECANISMOS DE APRENDIZAGEM TECNOLÓGICA NA MINERAÇÃO CARAÍBA (1994 - 2008).....	89
7.1 MECANISMOS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO	89
7.1.1 MECANISMOS DE AQUISIÇÃO EXTERNA DE CONHECIMENTO.....	89
7.1.1.1 ASSISTÊNCIA TÉCNICA	90
7.1.1.2 TREINAMENTO EXTERNO	91
7.1.1.3 IMPORTAÇÃO DA EXPERTISE.....	93
7.1.1.4 IMPORTAÇÃO DE CONHECIMENTO	94

7.1.1.5 INTERAÇÃO COM FORNECEDOR E CLIENTE	95
7.1.1.6 PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS EM CONFERÊNCIAS.....	96
7.1.1.7 INFRA-ESTRUTURA EDUCACIONAL	97
7.1.2 MECANISMOS DE AQUISIÇÃO INTERNA DE CONHECIMENTO.....	97
7.1.2.1 APRIMORAMENTOS CONTÍNUOS	98
7.2 MECANISMOS DE CONVERSÃO DE CONHECIMENTO.....	99
7.2.1 MECANISMOS DE CODIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO.....	99
7.2.1.1 ELABORAÇÃO DE MANUAIS, APOSTILAS E GUIAS	99
7.2.1.2 PADRÕES BÁSICOS, DOCUMENTAÇÃO PARA QUALIDADE E SEGURANÇA	100
7.2.2 MECANISMOS DE SOCIALIZAÇÃO DE CONHECIMENTOS	100
7.2.2.1 OFERTA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E TREINAMENTO	100
7.2.2.2 SOLUÇÃO CONJUNTA DE PROBLEMAS.....	101
7.2.2.3 FORMAÇÃO DE EQUIPES	102
7.2.2.4 TREINAMENTO INTERNO	103
7.2.2.5 COMUNICAÇÃO INTERNA ESTRUTURADA.....	104
7.2.2.6 SEMINÁRIOS INTERNOS.....	105
7.2.2.7 PRÁTICAS DE DESENVOLVIMENTO DE CAPITAL INTELECTUAL	105
CAPÍTULO 8 - ANÁLISES E DISCUSSÕES	106
8.1 TRAJETÓRIA DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS.....	106
8.2 O PAPEL DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM NA CONSTRUÇÃO DE CAPACIDADES.....	112
8.2.1. VARIEDADE DE MECANISMOS DE APRENDIZAGEM	112
8.2.2. INTENSIDADE DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM.....	116
8.2.3. FUNCIONAMENTO DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM	117
CAPÍTULO 9 - CONCLUSÃO	121
9.1 QUESTÕES DA DISSERTAÇÃO	121
9.2 TRAJETÓRIA DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS.....	122

9.3 IMPLICAÇÕES DOS PROCESSOS SUBJACENTES PARA ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES 123

9.4 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO 125

9.5 SUGESTÕES PARA DISSERTAÇÕES FUTURAS 127

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 128

APÊNDICE A: ROTEIROS DE ENTREVISTA..... 134

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Métrica para aferir capacidades tecnológicas em empresas de mineração de cobre.....	38
Tabela 3.2 – Processos subjacentes de aprendizagem	44
Tabela 4.1 – Produção Mundial de Cobre de Mina	50
Tabela 5.1 – Fontes de informação na Mineração Caraíba.....	69
Tabela 8.1 – Velocidade de acumulação de capacidades tecnológicas (1994 - 2008).....	107
Tabela 8.2 – Variedade dos mecanismos de aprendizagem.....	113
Tabela 8.3 – Intensidade dos processos de aprendizagem	116
Tabela 8.4 – Funcionamento dos processos de aprendizagem	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Modelo de análise da dissertação	46
Figura 4.1 – Produção e Consumo de Cobre por Região.....	51
Figura 4.2 – Consumo Industrial de Cobre por segmento	52
Figura 4.3 – Localização da Mineração Caraíba S/A	56
Figura 4.4 – Planta de Beneficiamento de Cobre Sulfetado.	57
Figura 4.5 – Diagrama de Fluxo do Processo de Produção do Cobre Sulfetado.	58
Figura 4.6 – Fluxograma do circuito de beneficiamento do cobre da Mineração Caraíba.	60
Figura 4.7 – Planta de Beneficiamento de Cobre Oxidado.....	61
Figura 4.8 – Fluxograma da produção de catodos de cobre	62
Figura 4.9 – Localização dos Projetos da Mineração Caraíba S/A.....	63
Figura 4.10 – Mapa da Mina Caraíba	64
Figura 6.1 – Método de lavra com realces mantidos abertos por sub nível (Método de lavra Sublevel Stopping)	76
Figura 6.2 – Novo design estabelecido que elimina pilares permanentes.	78
Figura 6.3 – Plano para a incorporação do Sistema Integrado de Gestão.....	85
Figura 8.1 – Níveis de capacidades tecnológicas em processos e organização da produção.....	107
Figura 8.2 – Resumo da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na Mineração Caraíba durante o período de 1994 a 2008.....	111

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 PANORAMA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação insere-se no campo de estudo sobre desenvolvimento de capacidades tecnológicas em nível de empresas, no contexto da indústria de mineração em economias emergentes, particularmente no Brasil.

Nesta dissertação, toma-se por base um estudo de caso simples, realizado na empresa mineradora de cobre Mineração Caraíba S/A, localizada no Município de Jaguarari, no Estado da Bahia. A empresa é a segunda maior produtora de concentrado de cobre do Brasil e uma das dez maiores empresas de mineração do país.

Ao longo dos últimos 40 anos tem havido uma profusão de estudos sobre acumulação de capacidades tecnológicas em empresas de economias emergentes. Porém, ainda são escassos aqueles que examinam, de maneira conjunta e de uma perspectiva dinâmica, o relacionamento entre trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas e os mecanismos subjacentes de aprendizagem.

Apesar dos avanços nas últimas décadas, grande parte dos estudos acadêmicos relacionados a desenvolvimento industrial em países em desenvolvimento, influenciada pelo sucesso de alguns países Asiáticos, tem seu foco em indústrias baseadas em produtos e principalmente no setor de tecnologia de informação (FIGUEIREDO, 2009). A literatura ainda carece de estudos em empresas baseadas em processo e principalmente relacionadas a recursos naturais. Além disso, um estudo abordando o setor de mineração é de grande relevância, pois o mundo pode estar presenciando o início de uma nova revolução tecnológica baseada em recursos naturais (Perez, 2007), os quais a América Latina tem em abundância. Sendo assim, estudos que abordam este tema podem ajudar esta região a aproveitar-se dessa ‘janela de oportunidade’ para dominar a indústria de processamento e transformar gradualmente toda a sua economia (PEREZ, 2008).

Autores como Sachs e Warner (1995) defendem que países com abundância de recursos naturais tendem a apresentar, em relação aos demais, uma menor taxa de crescimento do PIB. Tais trabalhos sobre a ‘maldição dos recursos naturais’ motivam diversos questionamentos. Países abundantes em recursos naturais, como Austrália, Canadá, Estados Unidos, Noruega, Finlândia e Suécia, parecem ser os contra-exemplos mais evidentes da maldição dos recursos naturais. A correlação negativa entre abundância de recursos naturais e crescimento econômico evidenciada em Sachs e Warner (1995) é contestada por Brunnschweiler (2008), para quem a presença de instituições de boa qualidade transformaria a abundância daqueles recursos em uma ‘bênção’. O ponto que se pretende levantar é que a chave para o desenvolvimento pode estar na combinação de uma agressiva busca por inovações tecnológicas e recursos naturais, desde que bem administrados e situados na estrutura institucional adequada.

A Austrália teve grande sucesso na mineração e nas indústrias de derivados, o que transformou o país numa das economias mais ricas do mundo no começo do século XX. A descoberta de novas jazidas e a geração e exportação de conhecimentos em mineração – detecção mineral, práticas de mineração, tudo baseado numa sólida infraestrutura de educação e pesquisa – podem fazer o país voltar a ser uma das maiores economias do mundo.

Alguns estudos, como o de Cimoli e Di Maio (2002), referem-se ao setor de mineração como “maduro”, de “baixa tecnologia” ou meramente produtores de “*commodities*”. No entanto, indústrias de processamento, como as de mineração, têm garantido o crescimento industrial de vários países industrializados e principalmente dos países emergentes ao longo da história (FIGUEIREDO *et al.*, 2007). Neste estudo, defende-se que as inovações tecnológicas estão bem presentes em empresas baseadas em recursos naturais e principalmente em empresas de mineração. Os estudos de Barnett e Morse (1963), Barnett (1979) e Slade (1982, 1985) mostram que as *commodities* minerais tornaram-se menos escassas, e não mais escassas, no século passado, devido, em grande parte, às inovações tecnológicas que reduziram os custos para encontrar e processar o minério. Com estes fatos, observa-se a possibilidade de que inovações e novas tecnologias podem ser tão importantes como, ou até mais importantes que, as mudanças

nas riquezas naturais, na tentativa de compreender as tendências globais na mineração. Outros estudos como os de Tilton e Landsberg (1999) e Garcia *et al.* (2001) mostram que nem sempre a descoberta e o desenvolvimento de novas reservas minerais são o mais importante, mas, somente uma de muitas maneiras possíveis de aumentar a competitividade e criar valor em relação à redução de custos. Nesta dissertação, a visão é de que a indústria de mineração é de alta tecnologia, na qual os *players* não são meros espectadores às forças externas que determinam o destino deste mercado, ao contrário, são jogadores com papel fundamental, que com esforços inovadores influenciam o destino do setor.

Esses estudos são de grande valia para a literatura e trouxeram contribuições valiosas à indústria de mineração. Entretanto, possuem limitações pelo fato de adotarem uma perspectiva restrita da composição da capacidade tecnológica, sem referências a conhecimentos ou mecanismos de aprendizagem. E também por não utilizarem um enfoque de longo prazo, que lhes permitisse uma avaliação do processo de implementação, nos termos de Leonard-Barton (1988) e Voss (1988), e quanto à utilização, se bem ou mal sucedida (FIGUEIREDO, 2003).

São escassos os estudos que examinem, como nesta dissertação – no contexto de empresas em processo de acumulação tecnológica, utilizando-se de um modelo analítico apropriado, de maneira conjunta e numa perspectiva dinâmica – o relacionamento entre processos e mecanismos de aprendizagem e trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas, no setor de mineração. Assim, nesta dissertação, pretende-se contribuir para o preenchimento dessa lacuna, na literatura, sobre empresas em processo de acumulação de capacidade tecnológica.

Neste trabalho, adotou-se uma perspectiva dinâmica, no período compreendido entre 1994 e 2008, considerando os fatos ocorridos após a privatização da Mineração Caraíba. As informações qualitativas e quantitativas que deram sustentação empírica ao estudo foram coletadas em primeira mão por meio de pesquisa de campo envolvendo entrevistas, questionários, estudo de documentos e encontros informais.

A função **processos e organização da produção** na indústria de mineração é particularmente relevante e está diretamente ligada ao acúmulo de capacidades tecnológicas. Pode representar uma vantagem competitiva importante quando a empresa é capaz de desenvolver e melhorar os processos produtivos.

As **capacidades tecnológicas**, que constituem o elemento central desta dissertação, são definidas como os recursos necessários para gerar melhoria nos processos e organização da produção, de produtos, equipamentos e projetos. Esses recursos são incorporados e acumulados em sistemas organizacionais ou em indivíduos em forma de habilidades, conhecimentos tácitos e conhecimentos explícitos (BELL; PAVITT, 1995). Existe uma importante distinção entre dois tipos de capacidades tecnológicas: **capacidades rotineiras de produção** e **capacidades inovadoras**. As primeiras são as necessárias somente para usar/operar tecnologias e sistemas de produção existentes; já as segundas são as necessárias para gerar, modificar e gerir tecnologias e sistemas de produção.

Os processos subjacentes são aqueles que contribuem para a acumulação de capacidades inovadoras, como a **aprendizagem**, e, logo, os mecanismos particulares que as empresas utilizam para acumular conhecimento e outros recursos subjacentes a estas capacidades, como **mecanismos de aprendizagem**. Neste estudo, entende-se o conceito de aprendizagem como insumo para a acumulação de capacidade tecnológica inovadora em empresas (BELL; FIGUEIREDO, 1998).

As capacidades tecnológicas das empresas, com o estudo da estratégia empresarial, têm sido relacionadas à sua capacidade competitiva e inovadora. Mediante estratégias intraorganizacionais de aprendizagem se dão a acumulação e manutenção destas capacidades (LEONARD-BARTON, 1998), que geram conhecimento codificado e tácito. Tais estratégias envolvem fontes externas e internas às empresas e se subdividem em estratégias de aquisição e conversão de conhecimento (FIGUEIREDO, 2003).

A literatura sobre acumulação de capacidades tecnológicas em empresas de economias emergentes analisa a construção e acumulação gradual de capacidades tecnológicas, com base no engajamento em processos de aprendizagem tecnológica e na coordenação de bases de conhecimentos acumulados em, pelo menos, quatro diferentes dimensões

simbioticamente relacionadas. A saber: sistemas técnico-físicos; pessoas; sistema organizacional; e produtos e serviços (LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1995). A acumulação de capacidades segue uma sequência evolutiva e cumulativa, da ‘infância industrial’ dos estágios simples até a maturidade industrial dos estágios complexos (KATZ, 1985; LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1995). A velocidade deste progresso pode variar, em empresas, de um país para outro: algumas conseguem um rápido *catch-up*; outras, não (LEE; LIM, 2001). Entender o processo de acumulação de capacidades tecnológicas pode ajudar países a fazer rápido progresso e economizar tempo, pois, assim, poderiam pular estágios ou criar sua própria trajetória, de forma diferente dos atuais líderes, aproveitando melhor um novo paradigma tecno-econômico.

Ao responder as questões abaixo por meio de um estudo de caso individual e de um modelo analítico baseado na estrutura proposta por Figueiredo *et al.* (2007), adaptada de Lall (1992) e Bell e Pavitt (1995), visa-se, nesta dissertação, agregar evidências empíricas de um setor relevante para o desenvolvimento tecnológico de empresas e países. Com isto, colabora-se para o entendimento dos padrões de desenvolvimento de capacidades tecnológicas, que se pode converter em um instrumento para criar recomendações gerenciais, e levar à formulação deliberada de estratégias visando acelerar a velocidade de acumulação de capacidades tecnológicas e, conseqüentemente, otimizar o desempenho tecno-econômico da empresa.

1.2 QUESTÕES DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi estruturada para responder os seguintes pontos:

- Como evoluiu a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de **produção** e de **inovação**, para as atividades de **processo e organização da produção** da Mineração Caraíba, durante o período de 1994 a 2008?
- Até que ponto os processos subjacentes de aprendizagem influenciaram a trajetória de acumulação dessas capacidades tecnológicas durante o período examinado?

1.3 METODOLOGIA

A fim de responder às questões da dissertação, utilizou-se o método de estudo de caso simples, aplicado à Mineração Caraíba. Entende-se, aqui, da mesma forma que Yin (2005), ser este o método mais adequado para responder questões do tipo como e por quê. O período de cobertura da pesquisa vai de 1994 (ano em que a empresa foi privatizada) a 2008 (ano de conclusão da pesquisa). No que tange à cobertura dos dados a serem explicitados, há a preocupação com uma análise de longo prazo, calcada, sempre que possível, em séries históricas (FIGUEIREDO *et al.*, 2007).

Esta dissertação baseia-se em evidências empíricas primárias, colhidas diretamente da empresa pesquisada por meio de profundo trabalho de campo. A evidência, embora basicamente qualitativa, envolve também dados quantitativos. As fontes para a obtenção das evidências empíricas foram os diretores, gerentes, engenheiros e outros funcionários ligados aos **processos e organização da produção** da Mineração Caraíba. As evidências das fontes acima foram coletadas por meio de extensiva pesquisa de campo, envolvendo entrevistas, encontros informais, estudo de documentos e observação direta.

Para a descrição dos níveis de capacidades tecnológicas na empresa Mineração Caraíba, utilizou-se, neste estudo, a estrutura adaptada de Figueiredo *et al.* (2007), apresentada em Figueiredo (2003), baseada em Lall (1992) e Bell e Pavit (1995). A estrutura foi adaptada para a realidade da indústria de mineração e permite avaliar os processos de aprendizagem e suas implicações para a acumulação de capacidades tecnológicas.

A Mineração Caraíba S/A contribui, desde 1978, para a indústria de transformação nacional, e já colocou no mercado brasileiro mais de 750 mil toneladas de cobre contido. Representa uma rica fonte de evidências para esta investigação, que trata da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e dos processos subjacentes de aprendizagem.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em nove capítulos, que se seguem à introdução.

Capítulo 2 – Breve revisão de estudos anteriores. Revisão de alguns dos estudos empíricos mais importantes na literatura que antecederam este trabalho. Objetivo: estabelecer um contexto que posicione o tema dentro da literatura existente e justificar sua relevância acadêmica e prática.

Capítulo 3 – Modelos de Análise e Métricas da Dissertação. Descrição do modelo de análise desta dissertação e das métricas à luz das quais serão examinadas as evidências empíricas recolhidas, a fim de dar resposta às questões objeto desta dissertação. Exposição dos conceitos e de sua relevância à dissertação, e destaque à importância do estudo relacionando os processos de aprendizagem e acumulação de capacidades tecnológicas.

Capítulo 4 – Indústria de Cobre e a Mineração Caraíba S/A: Visão Geral. Principais aspectos do desenvolvimento e da tecnologia da indústria de cobre no Brasil e no mundo e sua situação atual para contextualizar a indústria na qual a dissertação se insere. Características da empresa em estudo.

Capítulo 5 – Desenho e Método da Pesquisa. Desenho e método utilizados na coleta e análise das informações nas quais se baseiam as respostas às questões desta dissertação.

Capítulo 6 – Acumulação de Capacidades Tecnológicas. Exame da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas da empresa para as atividades de **processo e organização da produção** analisadas no período.

Capítulo 7 – Os Mecanismos de Aprendizagem. Mecanismos de aprendizagem utilizados na empresa com objetivo de acumulação de capacidades tecnológicas para as atividades de **processo e organização da produção** analisadas no período.

Capítulo 8 – Análise e Discussões. Exame dos dados e verificação da implicação dos fatores organizacionais para os mecanismos de aprendizagem; bem como dos

mecanismos de aprendizagem com intuito de acumulação de capacidades tecnológicas para as atividades de **processo e organização** da produção da Mineração Caraíba.

Capítulo 9 – Conclusão. Resultados finais, recomendações estratégicas para a indústria de mineração e sugestões para estudos futuros.

CAPÍTULO 2

BREVE REVISÃO DE ESTUDOS ANTERIORES

Para examinar o desenvolvimento de capacidades tecnológicas, e os processos subjacentes de aprendizagem em nível de empresas, no contexto da indústria de mineração e de economias emergentes, este trabalho tem como apoio a literatura relacionada à acumulação de capacidades tecnológicas.

Este capítulo divide-se em três seções. Na Seção 2.1, chama-se atenção para uma possível janela de oportunidades na América Latina baseada em recursos naturais, e defende-se a ideia de que recursos naturais combinados com inovações tecnológicas podem trazer desenvolvimento econômico para a região. Na Seção 2.2, apresentam-se alguns estudos empíricos sobre capacidades tecnológicas em mineração. E, na Seção 2.3, conclui-se o capítulo com a apresentação de uma breve revisão de estudos sobre acumulação de capacidades tecnológicas.

2.1 RECURSOS NATURAIS: UMA JANELA DE OPORTUNIDADE PARA A AMÉRICA LATINA?

A direção que tomou o processo atual de globalização parece ter dado à Ásia o papel de fábrica do mundo. Esta especialização global criada baseia-se em uma população com mão-de-obra numerosa e barata e um grande número de engenheiros e pessoas altamente qualificadas. A escassez de matérias-primas nesse continente, em relação a seu crescimento, permitiu que América Latina e África exportassem quantidades crescentes de minério, energia e de produtos agrícolas a preços cada vez mais elevados. A América Latina apresenta grande dificuldade em competir em fabricação, especialmente na produção de produtos com custo baixo e volume alto. Além de a densidade populacional da América Latina ser bem menor que a da Ásia, sua mão-de-obra barata está ainda bem acima dos níveis asiáticos. Contudo, o continente é muito rico em recursos naturais e energia, o que gera oportunidades para que se especialize na indústria de processo, como a mineração, entre outras.

A mera exportação de recursos-naturais pode se transformar em um setor com alta tecnologia e com rápido crescimento, uma vez que aproveite a corrente atual e use os futuros altos preços destes produtos para investir no desenvolvimento de novas tecnologias e em capital humano. O continente pode se posicionar bem como fornecedor para o mundo de produtos derivados de minérios, alimentos e de outros bens da agricultura. Segundo Perez (2008), esse processo envolveria um constante aprimoramento tecnológico das atividades baseadas em recursos, melhorando gradualmente o molde da produção e exportação com inovação contínua nos produtos, processos e atividades auxiliares, em particular com o propósito de criar nichos de alto valor agregado.

É relevante que o autor se posicione contra a ‘maldição dos recursos naturais’, pois há muito questionamento sobre sua existência, ainda que frequentemente se observem um nível de desenvolvimento humano baixo e desigualdade de renda na maioria dos países onde os recursos naturais são abundantes.

A literatura sobre a maldição dos recursos naturais procura explicar a existência de uma correlação negativa entre a abundância destes e o crescimento econômico (SACHS; WARNER, 1995). Aspectos negativos apontados por Sachs e Warner (1995) são os efeitos lesivos decorrentes da utilização ineficiente dos recursos naturais e das receitas provenientes da exportação dos produtos primários, além da apropriação indevida de recursos públicos por parte de administradores. Além desses aspectos, haveria o fato de os efeitos encadeadores de economias primário-exportadoras serem muito mais limitados, reduzindo os países a enclaves exportadores, sem a formação de uma economia dinâmica.

São exemplos evidentes e colocam a teoria em questionamento casos como o da Austrália, Canadá, Estados Unidos, Finlândia e Suécia, que basearam seu desenvolvimento nos respectivos recursos naturais. Outro país rico em recursos naturais, a Botsuana, apresentou entre 1965 e 1998, a maior taxa de crescimento econômico *per capita* em comparação a qualquer país no mundo. Brunnenschweiler (2008) contesta a correlação negativa entre abundância de recursos naturais e crescimento econômico evidenciada em Sachs e Warner (1995), quando observa que a presença de instituições

de boa qualidade transformaria a abundância daqueles recursos em uma ‘bênção’, em lugar de maldição.

O grande sucesso na mineração tornou a Austrália uma das economias mais ricas do mundo no começo do século XX. A descoberta de novas jazidas e a geração e exportação de conhecimentos em mineração – detecção mineral, práticas de mineração, com base em uma sólida infraestrutura de pesquisa e educação – podem fazer o país voltar a ser uma das maiores economias do mundo.

A questão que se pretende levantar com esses registros históricos é que, com uma boa administração e uma estrutura institucional adequada, a combinação de uma agressiva busca por inovações tecnológicas e recursos naturais pode ser a chave para o desenvolvimento. A lição recorrente daqueles que desenvolvem seus recursos naturais com êxito é a necessidade de gerar um alto nível de capital humano, desenvolver uma capacidade de aprendizado e inovação nacional.

A discussão em torno deste tema torna-se ainda mais relevante uma vez que, hoje, no mundo, pode-se estar presenciando o início de uma nova revolução tecnológica baseada em recursos naturais (PEREZ, 2007). Continente rico em recursos naturais, seria relevante focar os esforços para que a América Latina dominasse toda a indústria de processamento, o que implicaria uma transformação gradual de toda a economia.

Para Perez (2008), este esforço pode iniciar-se pelas capacidades já adquiridas por cada país da América Latina, em sua área específica, de recursos naturais e em outras indústrias de processamento. E avançaria ao longo das novas trajetórias tecnológicas que seriam abertas com base na ciência de materiais e nas ciências da vida. O objetivo estaria em migrar gradualmente para produtos com valor cada vez mais agregado, cada vez mais especializados e customizados, e estabelecer fortes redes de inovação, com a participação de empresas e universidades locais e internacionais para sustentar os esforços.

2.2 ESTUDOS SOBRE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

A literatura sobre acumulação de capacidades tecnológicas em países em desenvolvimento tem como foco organizações que entram em novos negócios com tecnologia adquirida em outros países e devem construir sua base tecnológica. Logo, a literatura sobre empresas em processo de acumulação de capacidade tecnológica preocupa-se com a trajetória completa de acumulação de capacidade tecnológica, desde quando a empresa entra no novo negócio até alcançar a fronteira internacional de inovação existente.

Essa literatura obteve ao longo dos últimos 40 anos grande progresso. Em uma revisão desses estudos empíricos, efetuada por Figueiredo (2003), adotou-se a seguinte cronologia: uma perspectiva técnica a partir da década de 1970, uma perspectiva da organização da produção nos anos 1980 e uma perspectiva mais ampla a partir de 1990.

A partir dos anos 1970, os estudos relacionados à tecnologia assumiram uma perspectiva dinâmica. Segundo Stewart e James (1982), esta abordagem buscava analisar as mudanças tecnológicas ao longo do tempo, não mais de forma estática, pela escolha de uma série de técnicas. O Programa de Pesquisa em Ciência e Tecnologia Ecla/IBD/IDRC/UNDP implementou boa parte dos estudos na América Latina. Tais estudos são parcialmente sintetizados por Katz (1987). Uma grande parte dos estudos asiáticos foi realizada pelo projeto de pesquisa do Banco Mundial e denominada “Aquisição de Capacitação Tecnológica”, sob direção de Carl Dahlman e Larry Westphal. O foco destes estudos eram o aumento do volume de produção, alongamento da capacidade produtiva e o desenvolvimento da infraestrutura tecnológica. O movimento resultou em estudos realizados em empresas da Índia, Coreia do Sul, Brasil e México.

Os estudos nessa década que adotaram esta perspectiva técnica mostraram o quanto é importante o papel da empresa no processo de geração de conhecimento técnico para a formação de capacidade tecnológica (KATZ, 1987). As pesquisas também mostram que acumulação de capacidades tecnológicas é base para a evolução técnica, principalmente de longo prazo (BELL, 1984). Segundo Figueiredo (2003), esses estudos apresentam

limitações, pois não comparam a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas entre empresas e, ao analisarem os mecanismos de aprendizagem subjacentes, concentram-se na aquisição de conhecimento e não levam em conta os processos pelos quais a aprendizagem individual é convertida em aprendizagem organizacional.

Durante a década de 1980, estudos sobre uma perspectiva da organização da produção foram influenciados pela reestruturação econômica e industrial de diversos países em desenvolvimento. Em meados dessa década, tiveram a influência da literatura sobre países de tecnologia de fronteira, cuja ênfase estava nos princípios do *just-in-time*, controle da qualidade total e aprimoramento contínuo (HUMPHREY, 1993, 1995; BESSANT; KAPLINSKY, 1995; KAPLINSKY, 1994). Tais estudos, entre outros, mostravam a importância de mudanças nas dimensões organizacionais da produção para que a empresa otimizasse os resultados (HOFFMAN, 1989) e o capital social (MEYER-STAMER, *et al.*, 1991). Ao contrário de estudos antecessores, não examinaram a acumulação de capacidades ao longo do tempo e, tampouco, as estratégias de aprendizagem e sua relação com a acumulação de capacidades (FIGUEIREDO, 2003).

Ainda que, nesses estudos, tenha-se analisado a difusão dessas técnicas de organização da produção no contexto de recém-industrialização e demonstrado que certos modelos não podem ser simplesmente copiados sem adaptações, Figueiredo (2003) aponta algumas limitações: os estudos tratam as práticas organizacionais como “técnicas dadas”, raramente mencionam ‘mecanismos de aprendizagem’ ou ‘conhecimentos’ e não apresentam visão de longo prazo, mas foco em apenas um ponto no tempo.

Na primeira metade dos anos 1990, mesmo sem estudar a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas ao longo do tempo, novos estudos surgem (TIRALAP, 1990; PICCININI, 1993) com ênfase nas dimensões organizacionais e gerenciais das capacidades tecnológicas, em mecanismos de aprendizagem, características da empresa e consequências para o desempenho.

A perspectiva mais recente, mais ampla que a dos estudos que abordam as capacidades tecnológicas realizados nas décadas de 1970 e 1980, ocorreu a partir da metade dos anos 1990. Estudos como os de Kim (1995, 1997), Dutrénit (2000) e Figueiredo (2003)

examinam as capacidades e sua trajetória de acumulação ao longo do tempo, considerando, ainda, as implicações das estratégias de aprendizagem nessa trajetória e, conseqüentemente, no desempenho das empresas.

Ariffin e Bell (1996), utilizando a estrutura desenvolvida por Bell e Pavitt (1995), adaptada de Lall (1992), encontraram trajetórias associadas a diferentes conexões entre a matriz e as subsidiárias, em empresas da área de eletrônica na Malásia. O estudo dá ênfase à evolução das capacidades tecnológicas rotineiras de produção e inovadoras, como o processo e organização da produção, equipamentos e produtos. Também foca o papel dos mecanismos de aprendizagem para a acumulação de capacidade.

Baseando-se em estudos de caso simples na Hyundai Motor e Samsung, Kim (1995, 1997) analisou a conversão dos processos de aprendizagem individual para a aprendizagem organizacional, detalhando estratégias de aprendizagem que empresas automobilísticas e de eletrônica coreanas utilizaram para cobrir o *gap* tecnológico entre elas e empresas líderes destes mercados. Esses estudos demonstraram que as empresas não implementavam processos em momentos críticos, mas os utilizavam como gerenciamento ativo de conhecimento que mudava de acordo com a acumulação de capacidade. Concluiu-se, também, que, para o desenvolvimento de sistemas nacionais de inovação, os investimentos governamentais são fundamentais para a aceleração dos processos de acumulação de capacidades em países em desenvolvimento.

Após Kim (1997) comprovar aspectos positivos dos processos de aprendizagem, Dutrénit (2000), em estudo de caso em uma empresa de vidro no México, identificou limitações na criação de uma base coerente de conhecimento para a acumulação de capacidades tecnológicas no longo prazo. Os principais motivos observados foram: (i) limitada conversão de conhecimento individual em organizacional, com um fraco processo de codificação e socialização das informações; (ii) pouca coordenação para diferentes estratégias de aprendizagem; (iii) pouca integração de conhecimento entre áreas funcionais; e (iv) pouca estabilidade do processo de criação do conhecimento. O estudo de Durénit (2000) demonstra o papel fundamental que os processos de aprendizagem internos da firma têm na acumulação de capacidades.

Porém, mesmo com uma análise profunda dos processos de aprendizagem intraempresarial a longo prazo, tanto o estudo de Kim (1995, 1997) quanto o de Dutrénit (2000), por se tratarem de casos simples, não levaram em consideração a variação, de uma empresa para outra, do mesmo setor; a relação entre acumulação de capacidade tecnológica e os processos de aprendizagem entre empresas. Estudos comparativos são importantes para identificar os fatores que influenciam tais processos e para distinguir os problemas específicos dos gerais.

Em um estudo de caso múltiplo, ou comparativo, Figueiredo (2003) analisa as trajetórias de duas siderúrgicas brasileiras, em um momento de privatização. O resultado é a avaliação assimétrica do valor de mercado de cada uma delas. No modelo analítico estabelecido pelo autor, é observada a relação entre as estratégias de intrafirma de aprendizagem e a acumulação de capacidades tecnológicas, bem como entre processos internos e externos de aprendizagem e a trajetória de acumulação de capacidades.

Nas últimas décadas, a maioria dos estudos acadêmicos relacionados a desenvolvimento industrial em países em desenvolvimento, muitos deles influenciados pelo sucesso de alguns países asiáticos, concentrou-se nas indústrias baseadas em produtos e principalmente no setor de tecnologias de informação (ver LALL, 1992; HOBDA, 1995; KIM, 1997). Entre os poucos estudos empíricos em empresas brasileiras baseadas em processos, que analisam a relação entre os mecanismos de aprendizagem e acumulação de capacidades tecnológicas, podem-se citar as seguintes pesquisas e respectivos autores: mecanismos de aquisição de conhecimento na indústria de papel e celulose no Brasil, de Scott-Kemmis (1998 *apud* Figueiredo 2000); associação entre capacidades tecnológicas e *performance* energética entre duas empresas de aço no Brasil, de Piccinini (1993 *apud* Figueiredo 2000); relação entre processos de aprendizagem e acumulação de capacidades tecnológicas em duas empresas de aço no Brasil, de Figueiredo (1999); exame de três grandes variáveis numa amostra de várias empresas na indústria florestal e de celulose e papel no Brasil, com uma análise da acumulação de capacidades tecnológicas para operação e inovação, das fontes dessas capacidades tecnológicas e de suas implicações para a *performance* competitiva, de

Figueiredo *et al.* (2007); exame da criação da trajetória da acumulação de capacidades tecnológicas no contexto de economias emergentes nas indústrias de processamento de recursos naturais durante regimes políticos descontínuos, de Figueiredo (2009). Este estudo examina 13 empresas da indústria florestal e de papel e celulose no Brasil (1950 - 2007).

Sendo assim, pretende-se contribuir, nesta dissertação, para fomentar estudos que reconstituam a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e analisem sua relação com os processos de aquisição e conversão de conhecimento para indústrias baseadas em processos e principalmente para a indústria de mineração. Desse modo, pode-se colaborar para o preenchimento de uma importante lacuna da literatura sobre empresas em processo de acumulação de capacidade tecnológica. Isto porque, adicionalmente aos estudos aqui citados, visa-se ao acréscimo de evidências empíricas ao debate sobre a importância de uma perspectiva mais ampla das capacidades tecnológicas, mais especificamente no que tange ao **processo e à organização da produção**.

2.3 ESTUDOS EMPÍRICOS SOBRE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS EM MINERAÇÃO

Neste estudo, defende-se que as inovações tecnológicas estão bastante presentes em empresas baseadas em recursos naturais e principalmente de mineração. Tradicionalmente economistas entendem que vantagens competitivas em mineração dependem de riquezas naturais. Nessa visão, países com os melhores depósitos teriam maior vantagem, pois apresentariam os custos mais baixos. Quando esses depósitos acabassem, esta vantagem estaria no próximo depósito de custo baixo, e assim por diante. Essa teoria faria muito sentido em um ambiente sem novas descobertas de depósitos de baixo custo e principalmente em um cenário sem inovações e novas tecnologias. Na literatura atual, há alguns estudos empíricos que desafiam essa visão tradicional e demonstram a importância das tecnologias de inovação em mineração. Os estudos de Barnett e Morse (1963), Barnett (1979) e Slade (1982, 1985) mostram que as *commodities* minerais se tornaram menos escassas, e não mais escassas, no século passado, devido, em grande parte, às inovações tecnológicas que reduziram os custos

para encontrar e processar o minério. Esses pontos levantam a possibilidade de que inovações e novas tecnologias podem ser tão importantes como, ou até mais importante do que, as mudanças nas riquezas naturais na tentativa de compreender as tendências globais na mineração.

Tilton e Landsberg (1999) analisam a influência de inovações tecnológicas na produtividade da indústria de mineração de cobre dos Estados Unidos, de 1970 até meados de 1990. De acordo com os autores, inovações tecnológicas têm grande influência na indústria de mineração, pois há uma tendência constante de elevação de custos em virtude da diminuição do teor do minério ao longo do tempo e do fato de as minas existentes estarem em lugares cada vez mais remotos para extração. Os autores rebatem o tratamento dado à indústria de mineração de cobre, e à indústria de mineração em geral, quando tratadas como ‘maduras’ e tecnologicamente estagnadas, demonstrando o aumento da produtividade do setor devido às inovações tecnológicas. A pesquisa mostra que, mesmo sem lavrar novas minas ou o fazendo com minas de baixo teor de cobre, a produtividade da indústria de mineração de cobre dos Estados Unidos deu um grande salto na década de 1980 em virtude de novas tecnologias e inovações.

Com base no estudo de Tilton e Landsberg (1999), Garcia *et al.* (2001) analisam a indústria de mineração de cobre no Chile, onde, diferentemente dos Estados Unidos, muitas novas minas foram descobertas e desenvolvidas. Na pesquisa de Garcia *et al.* (2001), investiga-se o aumento de produtividade da indústria: se causado pelas novas minas em operação ou pela mudança nas tecnologias e inovações. Conclui-se que, mesmo que a abertura de novas minas tenha ajudado a aumentar a produtividade da indústria de mineração no Chile, de 1970 até meados de 1990, as novas tecnologias e inovações foram fundamentais para manter as minas competitivas no mercado. A descoberta e o desenvolvimento de novas minas aumentaram extremamente as reservas de cobre do Chile nas últimas décadas, mas as inovações e as novas tecnologias tiveram, igualmente, um papel crítico, o que permitiu manter as reservas de Chuquicamata¹ e

¹ **Chuquicamata:** maior mina de cobre a céu aberto do mundo, localizada próxima à cidade de Calama, no deserto do Atacama, norte do Chile.

muitas das outras minas mais velhas. O estudo mostra, ainda, que sem inovações e novas tecnologias, muitas minas chilenas, principalmente as mais velhas, já não estariam em operação. A Codelco não seria a maior produtora de cobre do mundo, e as exportações de cobre do Chile estariam aproximadamente um terço abaixo de seus níveis atuais.

Esses estudos mostram que nem sempre a descoberta e o desenvolvimento de novas reservas são o mais importante. São apenas uma de muitas maneiras possíveis de se aumentar a competitividade e criar valor em relação à redução de custos. Quando eventualmente minas esgotarem suas reservas, inovações e novas tecnologias podem estender sua vida durante décadas. Nesta dissertação, o ponto de vista é de que a indústria de mineração é muito mais *high-tech* do que geralmente reconhecida pelo mercado, não sendo os *players* meros espectadores das forças externas que determinam seu destino. Ao contrário, são jogadores com papel fundamental, cujos esforços inovadores influenciam o destino do setor.

A indústria de mineração é muitas vezes considerada de baixa tecnologia e baixa inovação, porque o indicador convencional usado para decidir se uma indústria tem elevado, médio ou a baixo índice de inovação tecnológica somente mede a intensidade de despesas em P&D de empresas. Por causa desta medida, a indústria cai na categoria de baixa tecnologia: a intensidade de pesquisa para os metais básicos em 1997 foi de 0.7% (OECD, 1999) –, bem abaixo daqueles de outras indústrias, tais como farmacêutica e de processamento de informação. Mas este indicador pode conduzir a um diagnóstico equivocado e a uma falha no entendimento do papel da tecnologia e da inovação na indústria de mineração. Esta simples avaliação de intensidade de investimento em pesquisa não considera despesas que não sejam em P&D, como, por exemplo, em atividades de projeto, em desenvolvimento de engenharia e em experimentos, ou exploração de mercados para novos produtos (SMITH, 2004). Os indicadores convencionais ignoram as atividades minerais da exploração, que envolvem o uso extensivo de equipamento de alta tecnologia e abordagens frequentemente inovadoras: em 2006 as despesas em exploração de metais não-ferrosos foram estimadas em US\$7.5 bilhões (METALS ECONOMICS GROUP, 2006).

Não é difícil ignorar inovações tecnológicas nas indústrias consideradas por muitos como ‘maduras’, como é o caso da mineração, na qual as mudanças tecnológicas e as condições de mercado são relativamente lentas (VON TUNZELMANN; ACHA, 2004). Pavitt (1984) reconheceu que os processos de inovação variam de acordo com a indústria, e a de mineração é mais bem compreendida como uma indústria de escala engajada em inovação, com suas próprias características. No entanto, cada indústria oferece o espaço para a inovação, sendo ela considerada nova ou ‘madura’.

Em **processos e organização da produção** em mineração, o objetivo da tecnologia é melhorar a eficiência e a confiabilidade dos processos empregados para recuperar os metais do minério. Dada a elevada produção envolvida, melhorias incrementais podem fazer uma grande diferença. Os processos são constantemente adaptados para responder à individualidade de cada depósito mineral. A melhoria incremental traz vantagens econômicas com o aumento no ganho de escala característico desta indústria. Tecnologias de processo e de produto desenvolvem-se incrementalmente com base em experiências de operações anteriores e melhorias de funcionamento em componentes, maquinaria e subsistemas (TIDD *et al.*, 2001).

No entanto, melhorias no processo não incrementais, ou radicais, em mineração, exigem plantas com novos projetos e operações, que são caras e de risco elevado. Os riscos práticos e financeiros envolvidos no processo de elaboração de novos projetos começam em laboratórios, passam por plantas pilotos e até chegarem a ser projetos em plantas normais de grande escala. Segundo, Dry *et al.* (2002), o tempo médio para desenvolver tecnologias radicais nesse setor fica em torno de 20 anos; e para o desenvolvimento bem-sucedido não há maneira de evitar as fases caras das plantas pilotos.

Outro fator importante nesse setor são as questões ambientais e sociais. Torna-se cada vez mais importante o atendimento a normas ambientais, sociais e de segurança para que as empresas mantenham suas licenças de operação para exploração, mineração e atividades de processamento. A preocupação com o ambiente e o desenvolvimento sustentável leva a que a indústria procure desenvolver métodos de produção mais limpos e mais eficientes em relação à energia (SWEETING; CLARK, 2000). Warhurst e Bridge (1996) demonstram que inovações tecnológicas em processamento de minério

podem permitir que as empresas de mineração combinem ganhos em produtividade com melhorias na gestão ambiental. Embora o setor de mineração tenha uma reputação de conservantismo tecnológico, os autores observam que o desenvolvimento, a aquisição e a assimilação de novas tecnologias podem ser uma questão determinante e cada vez mais importante para que as mineradoras se posicionem competitivamente no contexto crescente do mercado e lidem com pressões reguladoras. Nessa pesquisa são revistos alguns processos específicos e tecnologias inovadoras em mineração, como o processo de biolixiviação do minério. Demonstra-se, ainda, como estes processos e tecnologias podem melhorar a competitividade e sustentar melhores práticas de gestão ambiental ligadas à capacidade da empresa em controlar mudanças tecnológicas e organizacionais.

A indústria de mineração enfrenta uma série de desafios, neste novo século, que dependem de novas tecnologias de inovação. Entre esses desafios estão: necessidade de descobertas de novos depósitos de minério, pressões e exigências para utilização de métodos e processos mais seguros e mais eficientes, e melhorias no que diz respeito a impacto ambiental e social (WAGNER; FETTWEIS, 2001; HITZMAN, 2002).

Todos os estudos citados são de grande valia para a literatura e trouxeram contribuições importantes para a indústria de mineração. Entretanto, é possível identificar as seguintes limitações.

- São escassos, na literatura, estudos que examinem a acumulação de capacidades tecnológicas em empresas de mineração à luz de um modelo analítico amplo e que examine tais capacidades na função de **processos e organização da produção**, exercidas nas empresas diariamente, identificando pequenas variações incrementais.
- São ainda mais escassos os estudos que fazem esse exame ao longo do tempo, captando a direção e taxa (velocidade) nas quais ocorre esta acumulação de capacidades.

Busca-se, nesta dissertação, o preenchimento dessa lacuna da literatura sobre empresas em processo de acumulação de capacidade tecnológica, por meio de um estudo de caso simples e de um modelo analítico baseado na estrutura proposta por Figueiredo *et al.* (2007). Pretende-se, aqui, também, agregar evidências empíricas de um setor relevante para o desenvolvimento tecnológico de empresas e países, colaborando para o entendimento dos padrões de desenvolvimento de capacidades tecnológicas. Tal contribuição pode converter-se em um instrumento para gerar recomendações gerenciais, levando à formulação deliberada de estratégias que visem acelerar a velocidade de acumulação de capacidades tecnológicas e, conseqüentemente, otimizar o desempenho técnico-econômico da empresa.

Logo, considerando-se a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas como elemento central da análise, o fato de a empresa inserir-se no contexto de acumulação tecnológica e de atuar no setor de mineração, toma-se por base a literatura anteriormente exposta para buscar respostas às seguintes questões:

- Como evoluiu a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de **produção** e de **inovação**, para as atividades de **processo e organização da produção** da Mineração Caraíba, durante o período de 1994 a 2008?
- Até que ponto os processos subjacentes de aprendizagem influenciaram a trajetória de acumulação dessas capacidades tecnológicas durante o período examinado?

CAPÍTULO 3

MODELO ANALÍTICO DA DISSERTAÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se a base analítica por meio da qual as evidências empíricas desta dissertação serão analisadas. Em outras palavras, conclui-se a base conceitual para o exame da acumulação de capacidades tecnológicas e o papel dos processos subjacentes de aprendizagem da empresa estudada.

O capítulo está organizado em quatro seções. Na Seção 3.1, apresenta-se o conceito de capacidades tecnológicas, bem como as abordagens conceituais para trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas. Na Seção 3.2, tem-se a base conceitual para o exame dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais. Na Seção 3.3, apresentam-se as delimitações do estudo.

3.1 CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

Na literatura em contexto, existem diferentes conceitos para o termo ‘capacidades tecnológicas’. Lall (1982, 1987) define ‘capacidades tecnológicas’ como um esforço tecnológico interno para adquirir o domínio de novas tecnologias, adaptá-las à realidade local e aperfeiçoá-las. Bell (1982), Scott-Kennis (1988) e Dahlman e Westphal (1982) têm semelhante conceito de ‘domínio tecnológico’: alcançado mediante ‘esforço tecnológico’ para adquirir, adaptar e/ou criar tecnologia. Para Westphal *et al.* (1984) o conceito é apurado e define o termo como a capacidade de utilizar efetivamente o conhecimento tecnológico.

Ao decorrer dos anos, o conceito de capacidade tecnológica vem se sofisticando à medida que é discutido em estudos (ver VERA-CRUZ, 2000; DUTRÉNIT, 2000; FIGUEIREDO, 2003). Nesta dissertação, utiliza-se a conceituação de Bell e Pavitt (1993, 1995). Para estes autores, o termo ‘capacidades tecnológicas’ refere-se aos recursos incorporados e acumulados em indivíduos (habilidades, conhecimentos e

experiência), em sistemas organizacionais e técnico-físicos e em produtos e serviços, necessários para gerenciar e gerar mudanças tecnológicas.

A utilização do conceito de Bell e Pavitt (1993, 1995) justifica-se por ser amplo o suficiente para descrever trajetórias de acumulação associadas às dimensões técnica e organizacional das firmas. Já utilizado em outros estudos, como o de Ariffin (2000) e Figueiredo (2003), o conceito está incorporado às características de empresas de países em industrialização.

As empresas de países em desenvolvimento iniciam suas operações em condição não competitiva no mercado mundial. Necessitam, desse modo, acumular capacidade tecnológica para se tornarem e se manterem competitivas no mercado mundial (BELL *et. al.*, 1984). Tais operações iniciam-se com níveis de capacidades básicas ou rotineiras de produção, de forma que as empresas possam usar/operar tecnologia e sistemas de produção existentes. Caso avancem, podem chegar a níveis mais complexos de capacidades inovadoras, o suficiente para modificar, gerar e gerir tecnologias e sistemas de produção.

A acumulação de capacidades apresenta uma sequência evolutiva e cumulativa, da ‘infância industrial’ de estágios simples até a maturidade industrial de estágios complexos (KATZ, 1985; LALL, 1992; BELL; PAVITT, 1995). Entender a trajetória de construção e a acumulação de capacidade tecnológica em níveis intermediários é uma pré-condição para que a empresa alcance níveis avançados. A velocidade do progresso pode variar de uma empresa para outra, algumas conseguem um rápido *catch-up* e outras não.

Em relação ao progresso desigual de acumulação, uma linha de pesquisa centra-se no *gap* de conhecimento entre os ricos e os pobres e em como imitar, aprender e criar novo conhecimento no país em desenvolvimento (AMSDEN; CHU, 2003; ERNST; KIM 2002; MATHEWS, 2001). Aplicando a ideia da criação de conhecimento e do conceito de rede global de produção, Ernst e Kim (2002) discutem como as empresas em desenvolvimento aprendem conhecimentos existentes e criam novos conhecimentos. Mathews (2002) usa *resource-based view* (PENROSE, 1959) para analisar a

aprendizagem e as vantagens competitivas das empresas em desenvolvimento.

No entanto, outro tipo de pesquisa indica que a trajetória de *catch-up* seguida por empresas ocorre de forma diferente, pois há casos de escolhas de estratégia. Lee e Lim (2001) identificaram os três padrões diferentes de *catch-up*: *path-following catch-up*, em que se segue a mesma trajetória tomada pelos líderes; o *stage-skipping catch-up*, em que as empresas em desenvolvimento seguem a mesma trajetória tomada pelos líderes, mas pulam alguns estágios, e o *path-creating catch-up*, em que as empresas em desenvolvimento exploram seu próprio trajeto de desenvolvimento tecnológico. Assim, alguns países fazem progresso rápido, ao economizar tempo pulando estágios ou criando sua própria trajetória, de forma diferente dos líderes, com melhor aproveitamento dos novos paradigmas técnico-econômicos.

Existe outra literatura que tem como foco empresas de tecnologia de fronteira ou empresas que já desenvolvem capacidades tecnológicas inovadoras. Entre seus autores, destacam-se Leonard-Barton (1995, 1998), Nonaka (1997), Nelson e Winter (1982), Teece e Pisano (1994). Essa literatura não analisa o processo de acumulação de capacidades tecnológicas. Em boa parte dos trabalhos, demonstra-se somente como empresas conseguem se manter, renovar, rotinizar e integrar capacidades tecnológicas que já acumularam, sem que se investigue como as empresas alcançaram o nível atual de capacidades tecnológicas. Outra limitação refere-se à pouca informação sobre taxas de evolução das capacidades tecnológicas ao longo do tempo e ao fato de se considerar, normalmente, as unidades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) como mecanismos de dados e como elementos utilizados pelas empresas para construção de capacidades (FIGUEIREDO, 2003).

3.2 INDICADORES CONVENCIONAIS DE INOVAÇÃO: POR QUE NÃO USAR?

Antes de se introduzir a métrica adotada neste estudo para a medição das capacidades tecnológicas, é importante mostrar as principais limitações dos indicadores convencionais de inovação.

Indicadores relacionados à P&D têm sido muito utilizados para mensurar as capacidades acumuladas pelas empresas e setores da economia. Para explicar a dinâmica de organizações, em pesquisas da literatura que tem como foco empresas de tecnologia de fronteira, utilizam-se indicadores como: gastos em P&D (MANSFIELD *et al.*, 1979), retorno sobre investimento em P&D (COHEN; LEVINTHAL, 1990), investimentos em setores de P&D da empresa (WORTMAN, 1990), e número de patentes (PATEL, 1995). Porém, estudos como os de Bell e Pavitt (1993, 1995), Dutrénit (2000), Ariffin (2000) e Figueiredo (2003) apontam que estes indicadores não são adequados para explicar a dinâmica de empresas em países em desenvolvimento, pois analisam a empresa em um determinado ponto no tempo, sem considerar a trajetória de acumulação de capacidades inovadoras.

Existem outros modelos, disponíveis na literatura, para medir a acumulação de capacidade tecnológica, que também não se enquadram no contexto de empresas em países em desenvolvimento. Um exemplo é o modelo de Kim (1997), que divide a acumulação de capacidades em três estágios: imitação duplicativa, imitação criativa e inovação. No entanto, sua aplicabilidade se restringe à dimensão de produtos (FIGUEIREDO, 2003). Outro exemplo é o proposto por Hobday (1995, 1999), que mostra a trajetória em diferentes níveis de atividades, desde as básicas de produção, até as atividades de P&D, mas não faz uma análise mais detalhada dos níveis de capacidade ao longo do tempo, ignorando a importância da acumulação das capacidades em níveis intermediários, com pouca atenção às dimensões gerenciais, organizacionais e intraorganizacionais, como os mecanismos de acumulação de capacidades tecnológicas. Esses modelos tendem a ignorar como se dá a evolução da acumulação das capacidades tecnológicas e em quanto tempo as empresas evoluem da acumulação das capacidades de produção para capacidades inovadoras.

3.3 MÉTRICA PARA EXAMINAR A ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS







O modelo utilizado, neste estudo, para descrever a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas foi adaptado de Figueiredo *et al.* (2007), em que o autor examina várias empresas na indústria de celulose. Essa métrica foi desenvolvida em

Lall (1992) e adaptada e refinada por Bell e Pavitt (1995). Pelo modelo, entende-se que a acumulação das capacidades tecnológicas ocorre dos níveis mais básicos para os mais complexos. Em outras palavras, com esse modelo é possível a descrição não só das capacidades de produção, mas também das capacidades inovadoras. Adaptado para captar as capacidades tecnológicas acumuladas em empresas em desenvolvimento, sua aplicação empírica permite analisar a trajetória de acumulação das capacidades tecnológicas ao longo do tempo e a velocidade com que esta acumulação aconteceu.

O modelo é organizado numa estrutura matricial, que dispõe, na coluna, as capacidades tecnológicas por função e, nas linhas, o nível de dificuldade ou complexidade, para avaliar os níveis de acumulação de capacidades nas funções tecnológicas em estudo. A métrica consiste em seis níveis de capacidade: básico; avançado; inovador básico; inovador intermediário, inovador avançado e fronteira de inovação internacional, para a função tecnológica **processo e organização da produção**. As capacidades de produção são desagregadas nos dois primeiros níveis, as inovadoras se aproximando da fronteira de inovação internacional nos três seguintes, e a inovadora na fronteira de inovação internacional no último nível. A Tabela 3.1 apresenta a estrutura adaptada de Figueiredo *et al.* (2007) para a indústria de mineração de cobre, setor no qual atua a Mineração Caraíba.

Mesmo que o modelo apresente os níveis de capacidades de forma linear, a acumulação das capacidades não necessariamente precisa seguir esta linearidade. Existe, porém, um conjunto mínimo de capacidades que deve amadurecer e evoluir para que a empresa seja capaz de executar suas principais funções e ser inovadora (FIGUEIREDO, 2003).

Tabela 3.1 – Métrica para aferir capacidades tecnológicas em empresas de mineração de cobre

Tipos e Níveis de Capacidades		PROCESSO E ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO
Capacidades Inovadoras	 [6] Fronteira internacional de inovação	Capacidades para gerir e gerar atividades tecnológicas inovadoras na fronteira tecnológica internacional de inovação. Neste nível ocorre produção de classe mundial. A empresa já tem integração total entre sistemas operacionais e sistemas corporativos e está envolvida no desenho e desenvolvimento de novos processos baseados em engenharia e P&D. Ocorre o desenvolvimento de processos inovadores, baseados em engenharia e P&D, e a empresa é referência para criação de novos processos e produtos, atingindo a fronteira tecnológica na função de processo.
	 [5] Avançado	Neste nível a empresa já esta alcançando a fronteira internacional de inovação. A empresa já faz o aprimoramento contínuo de processos produtivos e organizacionais. A empresa pode utilizar sistemas automatizados de controle de processos e integrá-los aos sistemas de planejamento e controle da produção. Isto pode promover a expansão rotinizada de capacidade via redução de perdas, paradas e eliminação de etapas manuais.
	 [4] Intermediário	Promove a expansão sistemática da capacidade por meio da manipulação de parâmetros-chave de processo.
	 [3] Básico	Faz uso de sistemas para integração de informações e já esta capacitada para pequenas adaptações e intervenções em processos com o objetivo de eliminar gargalos e a expansão esporádica da capacidade. A empresa utiliza técnicas organizacionais.
Capacidades de Produção / Operação	 [2] Avançado	Maior capacidade de coordenação da planta, com foco na garantia da estabilidade dos processos, para minimizar perdas no processo de produção. A empresa já detém certificados internacionais e posição competitiva no mercado exportador.
	 [1] Básico	As atividades neste nível se concentram na coordenação rotineira da planta de produção. As ferramentas de controle são simples e a preocupação está associada à absorção da capacidade efetiva da planta. O Planejamento e Controle da Produção e o Controle de Qualidade são voltados para a manutenção dos fluxos básicos da produção e para o controle de qualidade intermitente e baseado em inspeções visuais.

Fonte: Adaptado de Figueiredo et al., 2007

3.3.1 TIPOS E NÍVEIS DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS EM PROCESSOS E ORGANIZAÇÃO DA PRODUÇÃO

Apesar de o método de análise aqui adotado apresentar as capacidades tecnológicas em níveis, não se deve presumir que as empresas necessariamente construam sua capacitação linearmente (BELL; PAVITT, 1995; ARIFFIN, 2000; LEE; LIM, 2001).

Os **processos e organização da produção** são as capacidades da empresa em gerenciar e aprimorar os processos produtivos. Essa função na indústria de mineração é particularmente relevante, está diretamente ligada ao acúmulo de capacidades tecnológicas e pode representar uma vantagem competitiva importante quando a empresa é capaz de desenvolver e melhorar os processos produtivos. As capacidades de produção para a função tecnológica de **processos e organização da produção** em empresas na indústria de mineração são divididas em dois níveis:

1. **básico**: as atividades concentradas na coordenação rotineira da planta de produção. As ferramentas de controle são simples e a preocupação está focada na absorção da capacidade efetiva da planta. O Planejamento e Controle da Produção e o Controle de Qualidade são voltados para a manutenção dos fluxos básicos da produção e para o controle de qualidade intermitente e baseado em inspeções visuais;
2. **avançado**: maior capacidade de coordenação da planta e foco na garantia da estabilidade dos processos para minimizar perdas no processo de produção.

No nível avançado, a firma passa a desenvolver atividades inovadoras, também de complexidade crescente (níveis 3 a 5), aproximando-se da fronteira internacional de inovação:

3. **Inovador-básico**: uso de sistemas para integração de informações e dados, embora restritos a um departamento; capacitada para pequenas adaptações e intervenções em processos com o objetivo de eliminar gargalos e a expansão esporádica da capacidade;

4. ***Inovador intermediário***: expansão sistemática da capacidade pela manipulação de parâmetros-chave de processo e utilização de técnicas organizacionais;
5. ***Inovador Avançado***: aprimoramento contínuo de processos produtivos e organizacionais. A empresa pode utilizar sistemas automatizados de controle de processos e integrá-los aos sistemas de planejamento e controle da produção. Isto pode promover a expansão rotinizada de capacidade via redução de perdas, paradas e eliminação de etapas manuais.

No nível inovador avançado, a firma passa a desenvolver atividades inovadoras na fronteira internacional de inovação (Nível 6):

6. ***Fronteira internacional de Inovação***: produção de classe mundial. A empresa já tem integração total entre sistemas operacionais e sistemas corporativos e está envolvida no desenho e desenvolvimento de novos processos baseados em engenharia e P&D. Ocorre o desenvolvimento de processos inovadores, baseados em engenharia e P&D, e a empresa é referência para criação de novos processos e produtos, atingindo a fronteira tecnológica na função de processo.

3.4 MECANISMOS DE APRENDIZAGEM SUBJACENTES À ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES

Neste trabalho, é feita a avaliação da forma pela qual as empresas adquirem e desenvolvem suas capacidades tecnológicas baseando-se na Teoria da Acumulação e na Teoria da Assimilação. A Teoria da Acumulação enfatiza a oferta de investimentos em capital físico e humano como suficientes, uma vez que as empresas otimizarão tais recursos com o acesso simétrico à informação e ao conhecimento (CHENERY *et al.* 1986 *apud* FIGUEIREDO, 2006a). A Teoria da Assimilação também reconhece a importância em investimentos de capital físico e humano, mas enfatiza o papel da acumulação de conhecimento por meio de processos de aprendizagem, para a implementação de estratégias de inovação voltadas à aceleração do crescimento (DOSI, 1988; LALL, 1990, 1992; NELSON, 1992; BELL; PAVITT, 1993, 1995 *apud* FIGUEIREDO, 2006a).

A aprendizagem é fundamental para que indivíduos relacionados aos **processos e**

organização da produção engajem-se numa ampla variedade de mecanismos de aprendizagem com o intuito de aquisição e posterior conversão do conhecimento para a organização, permitindo a acumulação de capacidade tecnológica, necessária ao desempenho de diversas atividades tecnológicas cada vez mais complexas. Entende-se, neste estudo, que os processos subjacentes que influenciam a acumulação de capacidades inovadoras como a **aprendizagem** e, logo, os mecanismos que as empresas usam para acumular o conhecimento e outros recursos subjacentes a estas capacidades, como **mecanismos e estratégias de aprendizagem**.

3.5 MÉTRICA PARA EXAMINAR OS PROCESSOS SUBJACENTES DE APRENDIZAGEM

A trajetória e a velocidade de acumulação de capacidades organizacionais estão fortemente associadas à gestão dos vários processos de aprendizagem nas empresas ao longo do tempo (FIGUEIREDO, 2003). A construção do conhecimento organizacional é um processo que se desenvolve ao longo do tempo e que comporta, para além do esforço individual, práticas coletivas que permitam a socialização e a integração dos diversos tipos de conhecimento.

Utilizou-se nesta dissertação o modelo analítico desenvolvido por Figueiredo (2003) para examinar processos subjacentes de aprendizagem. O modelo permite analisar as implicações das práticas dos processos subjacentes de aprendizagem para a acumulação de capacidade tecnológica e organizacional em empresas. O modelo identifica os vários processos, por meio dos quais a empresa adquire conhecimentos técnicos para a construção de capacidades tecnológicas.

Estão listadas abaixo e na Tabela 3.2 as definições teóricas e operacionais apresentadas por Figueiredo (2003).

Processos de aquisição de conhecimentos externos: refere-se ao conjunto de estratégias de aprendizagem pelo qual a firma, com seus indivíduos ou organização, adquire conhecimentos tácitos e/ou codificados de fontes externas da empresa na busca da construção e acumulação de suas próprias capacidades tecnológicas. Estratégia também

chamada de ‘alavancagem dos recursos internos’ (MATHEWS, 2002). Nessa categoria podem-se incluir consultoria, assistência técnica, transferência de conhecimento (de clientes, fornecedores ou outras empresas), projetos compartilhados, parcerias com instituições de ensino e pesquisa, cursos e treinamentos externos, contratação de profissionais recém-formados ou especialistas ou experientes, entre outros.

Processos de aquisição de conhecimentos internos: Conjunto de mecanismos de aprendizagem pelo qual os indivíduos adquirem conhecimentos tácitos (modelos mentais e/ou aptidões técnicas), exercendo diferentes atividades na empresa. Alguns exemplos seriam: processos de *learning by doing*, resolução de problemas do dia a dia, melhoria contínua em processos, treinamentos e atividades de P&D.

Processos de codificação de conhecimentos: Etapa fundamental para disseminação e solidificação do conhecimento dentro da empresa. São atividades nas quais o conhecimento tácito é transformado em conhecimento explícito, mediante criação de processos, manuais e técnicas documentadas.

Processos de socialização de conhecimentos: Estratégias pelas quais os conhecimentos tácitos adquiridos são compartilhados por meio de técnicas informais compartilhadas com os demais indivíduos da empresa. Exemplos: solução compartilhada de problemas, reuniões em grupos, rodízio de funções, *coaching*, observação de atividades, de técnicas informais compartilhadas e *on the job training*.

Os processos subjacentes de aprendizagem são examinados à luz de três características: variedade, intensidade e funcionamento (Tabela 3.2).

Variedade: é a presença ou ausência de diferentes processos de aprendizagem na empresa. A variedade está relacionada à diversidade de tipos de mecanismos que se verifica em cada um dos processos de aquisição e de conversão do saber. A variedade dos mecanismos de aprendizagem apresenta-se de três formas: limitada, moderada ou diversa.

Intensidade: é definida aqui como a frequência através do tempo na criação, na atualização, no uso, aprimoramento e/ou fortalecimento dos processos de aprendizagem.

Quanto maior a intensidade de utilização de um mecanismo de aprendizagem, maior o volume de conhecimento que se adquire. Os processos de aprendizagem utilizados esporadicamente provavelmente não levarão a uma efetiva aquisição de conhecimentos nem à sua incorporação no plano organizacional. A intensidade dos mecanismos de aprendizagem pode se apresentar de três maneiras: uma vez, intermitente e contínua.

Funcionamento: modo pelo qual os processos de aprendizagem operam ao longo do tempo. A intensidade e a variedade não garantem que os processos de aquisição e conversão do saber gerem os resultados positivos. Assim, esta variável busca avaliar a eficácia com que são organizados e operacionalizados os mecanismos de aprendizagem. O funcionamento dos mecanismos de aprendizagem apresenta-se sob três aspectos: fraco, moderado, bom ou excelente.

Assim o modelo apresentado na Tabela 3.2 contribui para gerar explicações sobre a maneira e os níveis de capacidade organizacional acumulada nas empresas, podendo orientar estratégias empresariais e também intensificar a inovação organizacional.

Tabela 3.2 – Processos subjacentes de aprendizagem

Processo de Aprendizagem	Características-chave dos processos subjacentes de aprendizagem		
	Variedade	Intensidade	Funcionamento
	Ausente-Presente (Limitada-Moderado-Diversa)	Baixa-Intermitente-Contínua	Ruim-Moderado-Amplo
PROCESSOS E MECANISMOS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO			
Aquisição Externa de Conhecimento	Presença/ausência de processos para adquirir conhecimento localmente ou no exterior.	Modo como a empresa usa este processo ao longo do tempo, pode ser contínuo, intermitente, ou ocorrer uma única vez.	Modo como o processo foi criado e como ele opera ao longo do tempo.
Aquisição Interna de Conhecimento	Presença/ausência de processos para adquirir conhecimento fazendo atividades internas. Essas atividades podem ser de produção ou inovadoras.	Modo como a empresa usa diferentes processos para aquisição interna de conhecimento.	Modo como o processo foi criado. Sua forma de operar ao longo do tempo tem implicações práticas para variedade e intensidade.
PROCESSOS E MECANISMOS DE CONVERSÃO DE CONHECIMENTO			
Codificação de Conhecimento	Presença/ausência de diferentes processos e mecanismos para codificar o conhecimento tácito.	O modo como processos de padronização das operações é repetidamente feito. Codificação ausente e/ou intermitente pode limitar a aprendizagem organizacional.	Modo como a codificação do conhecimento foi criada e opera ao longo do tempo. Tem implicações para o funcionamento de todo o processo de conversão de conhecimento.
Socialização de Conhecimento	Presença/ausência de diferentes processos através dos quais indivíduos compartilham seu conhecimento tácito.	Modo como processos prosseguem ao longo dos anos. Intensidade contínua do processo de socialização de conhecimento pode influenciar codificação de conhecimento.	Modo como mecanismos de socialização de conhecimento foram criados e operam ao longo do tempo. Tem implicações para a variedade e intensidade do processo de conversão de conhecimento.

Fonte: Adaptada de Figueiredo (2003)

3.5.1 CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES DAS CARACRÍSTICAS-CHAVE DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM

Serão utilizados os seguintes critérios para a determinação dos indicadores das características-chave dos processos de aprendizagem.

1. A **variedade** é analisada pela existência ou não de processos, utilizando-se a seguinte escala:

- limitada: até 3 mecanismos;
- moderada: 4 ou 5 mecanismos;
- diversa: 6 ou mais mecanismos.

Os valores obtidos para a variedade nos processos de aquisição interna e externa e os mecanismos de socialização e codificação são agrupados em um único indicador.

2. A **intensidade** foi avaliada pelo modo segundo o qual a empresa utilizou os processos e mecanismos de aprendizagem ao longo do tempo, de acordo com a classificação:

- Uma única vez: mecanismo de aprendizagem implementado uma vez, sem continuidade.
- Intermitente: mecanismo de aprendizagem implementado com interrupções.
- Contínuo: mecanismo implementado sem interrupções durante o período examinado.

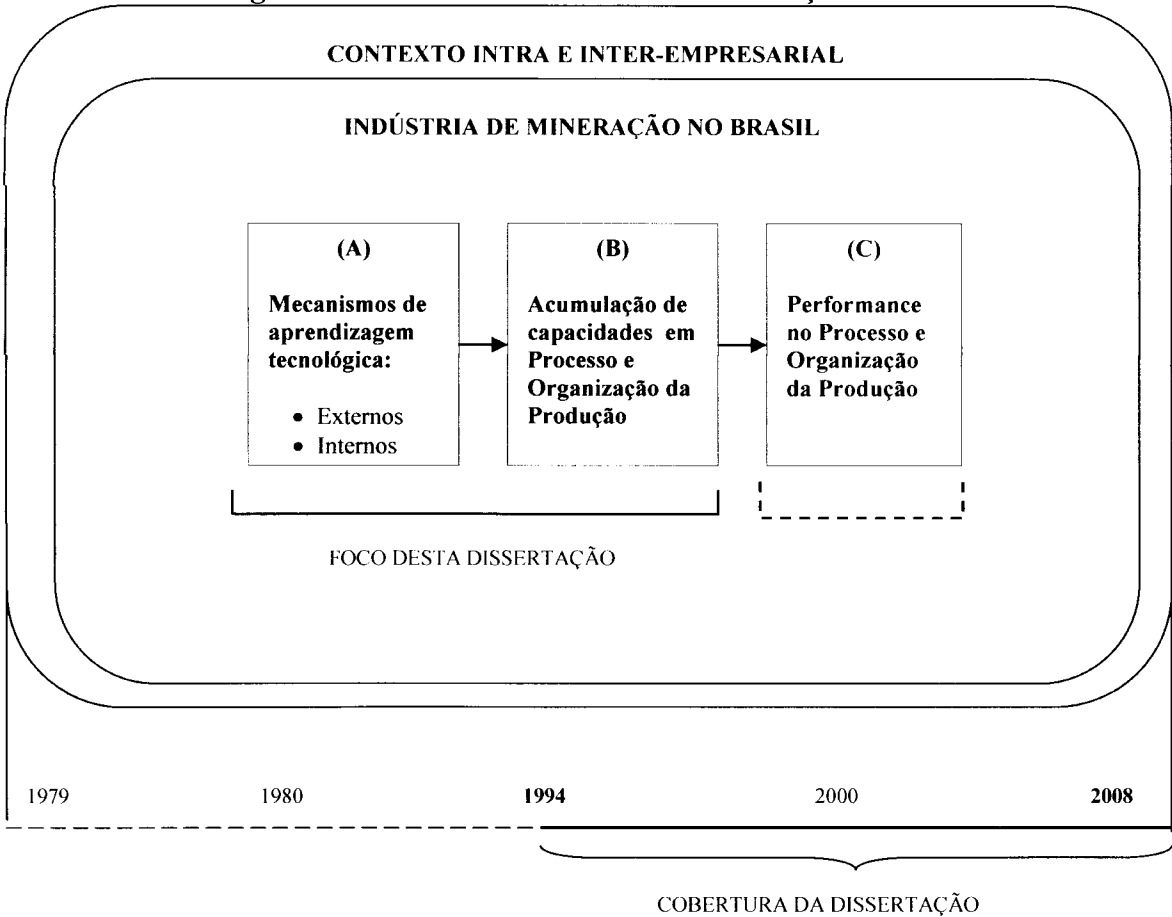
3. O **funcionamento** é determinado de forma a avaliar como a empresa organizou e operou seus processos de aprendizagem durante sua trajetória, segundo a classificação: ruim, moderado, bom ou excelente. Tal classificação é definida com base em dois critérios: (1) de acordo com o julgamento dos entrevistados a respeito de como os processos de aprendizagem foram criados e como eles **operaram** ao longo do tempo; (2) por meio das evidências coletadas ao longo do período examinado que ratificaram o julgamento dos entrevistados.

3.6 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este estudo examina a relação entre duas variáveis: a trajetória (natureza e velocidade) de acumulação de capacidades inovadoras em **processo e organização da produção** (B) e os mecanismos de aprendizagem (A) subjacentes a essas capacidades tecnológicas. Esse ponto é examinado na Mineração Caraíba no período de 1994 e 2008. O modelo de análise desta dissertação, representado na Figura 3.1, mostra essa relação.

Nesta dissertação, não se pretende analisar as implicações da acumulação de capacidades tecnológicas em **processo e organização da produção** (C) para a melhoria na *performance* econômica da empresa, embora haja uma ligação desta com a *performance* técnica-operacional (FIGUEIREDO, 2002).

Figura 3.1 – Modelo de análise da dissertação



Mecanismos de aprendizagem tecnológica	$B = f(A)$	Acumulação de Capacidades em Processo e Organização da Produção
(A)		(B)
Capítulo 7	Cap. 8	Capítulo 6

Fonte: Adaptado de Figueiredo et al., 2007

Nesta dissertação, estuda-se unicamente a função **processo e organização da produção**. Assim, estão fora do escopo do trabalho outras funções, tais como **engenharia de sistemas, equipamentos de processo, gestão de projetos**, entre outras.

Ainda que fora do escopo deste estudo, se reconhece que a capacidade de acumulação tecnológica pode ser influenciada por fatores externos ao ambiente da empresa (LALL, 1987; BELL; PAVITT, 1995; KIM, 1995, 1997; FIGUEIREDO, 2003), como, por exemplo: o governo, o ambiente de mercado, a estrutura e a qualidade do sistema de educação formal e o ambiente sociocultural (KIM, 1997). Também está fora do escopo a influência de fatores internos tais como: liderança, valores, cultura e crenças organizacionais (VERA-CRUZ, 2000); relacionamento com subordinados, motivação e comprometimento, fluxo de informação, interação e influência, e oportunidade organizacional (ASSUMPÇÃO, 2005).

CAPÍTULO 4

A MINERAÇÃO CARAÍBA E A INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO DE COBRE

Neste capítulo, apresentam-se alguns dos principais aspectos da indústria de cobre e sua atual situação. Contextualiza-se a indústria na qual esta dissertação se insere, e se efetua a caracterização da mineradora Mineração Caraíba S/A. Este capítulo está organizado em quatro seções. Na Seção 4.1, ilustram-se algumas características e aspectos técnicos da indústria do cobre. Na Seção 4.2, apresenta-se a empresa objeto de estudo e suas principais características técnicas. Na Seção 4.3, faz-se um breve histórico da Mineração Caraíba, e na Seção 4.4, resume-se a relevância da acumulação de capacidade tecnológica em empresas atuando na indústria de mineração.

4.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA DO COBRE

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DO COBRE

Após o alumínio, o cobre é o metal não-ferroso mais utilizado no mundo. A indústria de cobre primário organiza-se em torno de quatro tipos de produtos, que se originam em etapas distintas dos processos de extração, fundição e refino, os quais estão relacionados a seguir, segundo dados do BNDES (1997)..

Minério de Cobre: mineral extraído da mina, cujo conteúdo oscila entre 0,7% e 4,5% de cobre;

Concentrado de Cobre: minério de cobre que, por um processo de moagem das rochas e mistura com água e reagentes, passa a apresentar entre 30% e 38% de cobre fino. Este produto representa 80% da produção da Mineração Caraíba.

Cobre Fundido: são os concentrados que, por meio de processos pirometalúrgicos, transformam-se no chamado cobre *blister* (98,5%) e, posteriormente, no anodo de cobre, cujo teor é de 99,7% de cobre.

Cobre Refinado: são os anodos e às soluções (no caso da lixiviação) que são refinados por processo de eletrólise, resultando nos catodos, com pureza de 99,9% de cobre. Este produto representa 20% da produção da Mineração Caraíba.

Em relação ao cobre secundário, podem-se citar dois tipos principais de sucata.

Sucata para Refino: sucata industrial de processo, assim como a sucata comprada de terceiros no mercado; necessita de processamento de refino;

Sucata para uso Direto: direcionada aos transformadores, sem necessidade de refino.

O cobre pode aflorar na superfície e ser explorado a céu aberto. Geralmente, na capa superficial, são encontrados minerais oxidados (cuprita) junto ao cobre nativo em pequenas quantidades, o que explica a sua utilização milenar, já que o metal podia facilmente ser extraído em fornos de fossa. Na continuação, por debaixo do nível freático, são encontradas as piritas (sulfetos) primárias, calcosina e covelina e, finalmente, as secundárias calcopiritas, cuja exploração é mais rentável que as anteriores. Acompanhando estes minerais, encontram-se outros, como a bornita, os cobres cinzas, os carbonatos azurita e malaquita, que formam massas importantes nas minas de cobre por serem as formas normalmente derivadas dos sulfetos.

Em relação as reservas mundiais, cerca de 80% são de minério sulfetado, e mais da metade é do tipo sulfetado porfirítico, como as da mina de Escondida², no Chile. Geralmente, são reservas de grande significado econômico pelo volume de minério, que podem ser lavradas a céu aberto e apresentam baixo teor de cobre, até 1,5%, visto que este encontra-se disseminado em rochas (BNDES, 1997).

² **Escondida** é o nome de uma mina de cobre chilena com o maior índice de produtividade do mundo, representando, sozinha, 8% da produção mundial daquele metal.

Apesar das questões semânticas, existe grande diferença de significado entre as palavras **recursos** e **reservas** na mineração. Consideram-se **recursos** aquele material disponível em quantidade e qualidade adequadas para uso industrial, mas que não foi submetido a uma avaliação econômica; **reservas** é o **recurso** disponível para lavra e que pode ser produzido economicamente, por seus custos, demanda e preços atuais.

Estima-se que os recursos mundiais de cobre ultrapassem 1.600 milhões de toneladas na crosta terrestre e 700 milhões de toneladas nos leitos marítimos. As reservas comprovadas, segundo dados da agência estadunidense de prospecções geológicas, US Geological Survey, é de 940 milhões de toneladas, 40% delas no Chile, o principal minerador de cobre, com cerca de 5 milhões de toneladas anuais, aproximadamente 36% da produção mundial. Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), as reservas brasileiras atingiram, em 2007, 11 milhões de toneladas de cobre contido, representando 1,9% do total mundial.

Tabela 4.1 – Produção Mundial de Cobre de Mina

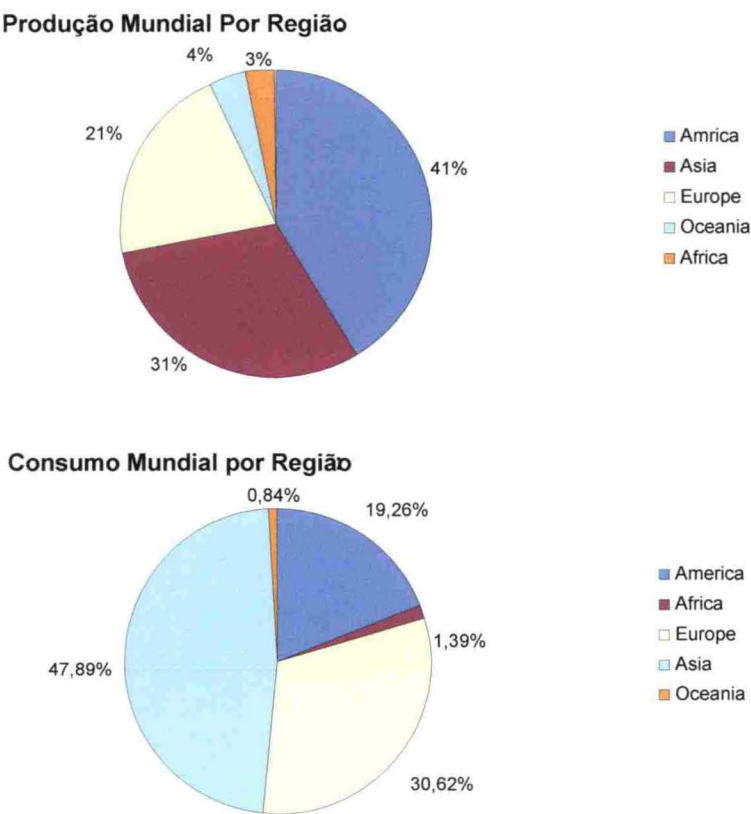
País	Milhares Toneladas/Ano	%
Chile	5.360,80	35,60
Estados Unidos	1.221,80	8,10
Perú	1.049,10	7,00
China	889,00	5,90
Austrália	858,80	5,70
Indonésia	816,20	5,40
Rússia	675,00	4,50
Canadá	607,00	4,00
Zâmbia	509,40	3,40
Polónia	497,20	3,30
Outros	2.575,20	17,10
Total	15.059,50	100%

Fonte: International Copper Study Group 2006

Segundo a International Copper Study Group, em 2007 a oferta mundial de cobre foi de 16.200.000 toneladas e a demanda, de 18.440.000 toneladas. Considerando esta demanda de cobre, as reservas mundiais dariam para abastecer o mundo por cerca de 50 anos. Isso reflete uma tendência de valorização do preço do cobre no longo prazo.

O desenvolvimento da indústria dos BRIC's – Brasil, Rússia, Índia e China; principalmente a China –, ao longo de contínuo período de crescimento acelerado da economia mundial, tem mantido aquecida a demanda pelo metal. Como se pode observar na comparação entre os dois gráficos da Figura 4.1, apesar de grande produtora, a Ásia ainda tem um grande *deficit* de cobre, consumindo muito mais do que pode produzir.

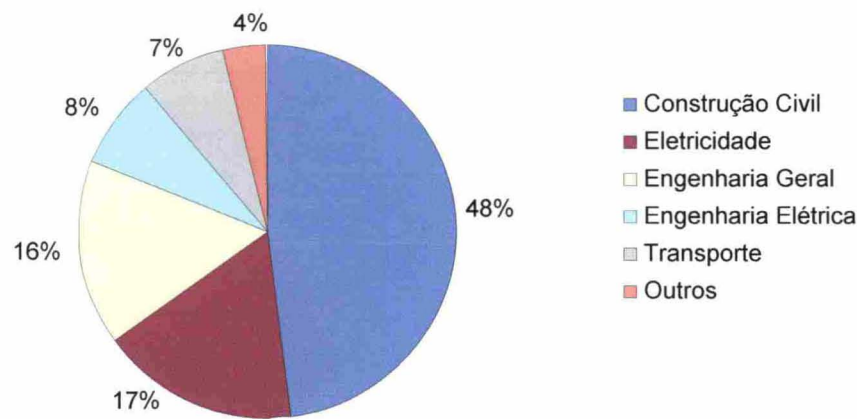
Figura 4.1 – Produção e Consumo de Cobre por Região



Fonte: International Copper Study Group, 2006.

Os setores que mais consomem cobre, conforme a Figura 4.2, são os de construção civil e eletroeletrônico. Juntos eles absorvem 65% do consumo de cobre. Este é um dos motivos que fazem o preço do cobre estar fortemente atrelado ao crescimento econômico.

Figura 4.2 – Consumo Industrial de Cobre por segmento



Fonte: International Copper Study Group, 2006.

Em 2002 antes do ‘boom das commodities’ e o aquecimento da economia mundial, o cobre chegou a ser negociado por US\$ 1.500 a tonelada. Em 2008, no auge do aquecimento econômico e pouco antes da desaceleração da economia mundial desencadeada pela crise financeira, chegou a US\$ 8.900. Em poucos meses o cobre teve uma queda em torno de 65% no preço, chegando a ser negociado abaixo dos US\$ 3.000 por tonelada, tudo isso em virtude da previsão de menor crescimento da economia mundial para os anos seguintes.

4.1.2 TECNOLOGIAS E PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE COBRE

Os dois principais processos de produção de cobre primário são: o pirometalúrgico, mais utilizado para os minérios sulfetados; e o hidrometalúrgico, apropriado para a extração de cobre de minérios oxidados de baixo teor. A seguir, segundo o BNDES (1997), são descritas as características de cada processo.

Processo Pirometalúrgico

A transformação do cobre inicia-se com a extração do minério a céu aberto ou em minas subterrâneas. O minério é submetido à britagem, moagem, flotação e secagem, obtendo-se o concentrado cujo teor de cobre contido já alcança em média 30%. Essa primeira fase do processo acontece na mineradora; as fases seguintes acontecem na metalúrgica.

O concentrado é então submetido ao forno *flash*, de onde sai o mate com teor de 45% a 60%, e este ao forno conversor, em que se obtém o *blister* com 98,5% de cobre. Dependendo da pureza desejável para o cobre, tendo em vista a sua utilização final, o *blister* pode ser submetido apenas ao refino a fogo, no qual se obtém cobre com 99,7% (anodo), ou ser refinado eletroliticamente, atingindo um grau de pureza de 99,9% (catodo).

Processo Hidrometalúrgico

A hidrometalurgia é apropriada, principalmente, para a extração de cobre de minérios oxidados de baixo teor. A utilização desse processo para minérios sulfetados implica uma etapa anterior de beneficiamento do minério para obtenção do concentrado sulfetado, o qual deve sofrer processo de ustulação para transformação em produto intermediário oxidado.

O processo hidrometalúrgico consiste, basicamente, em lixiviar o minério moído com solventes adequados – sendo o mais utilizado o ácido sulfúrico – para obtenção de soluções ricas. Segue-se a filtração da solução e a precipitação do metal por meio de concentração (utilizando-se ferro), de aquecimento ou por eletrólise.

No caso da eletrólise, promove-se a eletrodeposição do cobre sob a forma de catodos com 99,9% de pureza derivada de soluções ricas. Trata-se do processo SX-EW (*solvent extraction and electrowinning*).

Processo SX-EW

O processo SX-EW foi desenvolvido há, aproximadamente, 35 anos e sua utilização vem crescendo devido às facilidades de aproveitamento de depósitos oxidados de baixo teor, partindo-se diretamente do minério e obtendo-se o catodo com teor de 99,9% de cobre, sem necessitar de fundição e refinaria. Além do menor custo de produção do cobre obtido pelo processo SX-EW, podem ser citadas vantagens relativas ao meio ambiente, visto que não há emissão de gases poluentes.

Nos anos 1980 e 1990, restrições ambientais, bem como a necessidade de tratar concentrados de baixo teor, impulsionaram o desenvolvimento do processo hidrometalúrgico. Há que se considerar também o elevado custo do transporte de concentrados até as metalurgias, as variações nas taxas de tratamento e refino, e da moeda americana, com grande impacto, em especial, nas pequenas e médias operações. Também há um crescente interesse em que a mineração torne-se independente da metalurgia, com produção de cobre metálico no próprio local da mina. Dependendo do preço e do site de localização, os custos totais de transporte e processamento do concentrado podem significar algo em torno de 20%-40% do valor do metal. Outro fator significativo de perdas é a defasagem entre a entrega e o recebimento do pagamento, bem como as penalidades para as impurezas (TAYLOR; JANSEN, 1999).

Todos estes fatores têm impulsionado o desenvolvimento da tecnologia pela via hidrometalúrgica. No entanto, limitadas fontes de minério de cobre oxidado e o longo tempo de lixiviação da calcopirita, o mais difícil sulfeto de cobre de ser lixiviado, bem como as dificuldades de recuperar metais preciosos dessas mesmas fontes, vêm, de certa forma, contrapondo uma força restritiva a um maior crescimento desta rota processual.

O tratamento de concentrados de cobre pela via hidrometalúrgica já ocorre há décadas, sendo estudado como alternativa à pirometalurgia. O sucesso no tratamento hidrometalúrgico de sulfetos de ouro e do zinco pela bio-oxidação e pela oxidação/pressão tem permitido escalas comerciais e forçado a evolução da engenharia

e dos equipamentos para o processamento do cobre. Outro fator de incentivo significativo ao tratamento dos concentrados calcopiríticos são os minérios calcocíticos com tratamento hidrometalúrgico cada vez mais bem-sucedido pela biolixiviação em pilhas.

A Sociedad Minera Pudahuel, ao final dos anos 1970, iniciou um desenvolvimento tecnológico que iria ter fortes consequências, nas décadas seguintes, na estrutura de produção do cobre no Chile. Esse desenvolvimento consistia basicamente no aperfeiçoamento do conceito da aplicação industrial das tecnologias de lixiviação. Isto levou ao desenvolvimento e surgimento de serviços especializados de consultoria e engenharia, ao desenvolvimento de novos equipamentos e materiais, e, certamente, também estimulou a investigação científica, tecnológica e da docência, em campos como a hidrometalurgia e biotecnologia. Nesse período, um otimismo propagou-se pela fraternidade hidrometalúrgica, embalado pelo sucesso do SX/EW e impulsionado por drásticas mudanças no clima e pelas restrições ambientais. Muitos chegaram a profetizar o declínio das metalúrgicas, especialmente nos EUA (TAYLOR; JANSEN, 1999).

No entanto, apesar de todos esses esforços dos hidrometalurgistas, e do progresso feito, as metalurgias ainda continuaram supremas no mercado de processamento de concentrados calcopiríticos.

4.2 A ATUAÇÃO DA MINERAÇÃO CARAÍBA

Localizada no Município de Jaguarari, no Estado da Bahia (Figura 4.3), a Mineração Caraíba S/A é a segunda maior produtora de concentrado de cobre do Brasil, com mais de 30 anos de experiência, uma das dez maiores empresas de mineração do País.

Figura 4.3 – Localização da Mineração Caraíba S/A



Fonte: Acervo da empresa

Com 2000 empregados, a empresa foca as atividades na extração de minérios em minas de portes pequeno e médio. Em 2007, produziu 76.109,0 toneladas de concentrado de cobre com um teor médio de 33,07% de cobre, resultando em uma produção de 25.191,0 toneladas de cobre contido. Os recursos totais de minério de cobre sulfetado na Mina Caraíba, e em seus depósitos adjacentes no Vale do Curaçá, estão estimados em 70,9 milhões de toneladas, com um teor médio de 1,6%. Adicionalmente, como forma de maximizar a exploração dos ativos minerais, iniciaram-se, em outubro de 2007, operações para o beneficiamento do minério de cobre oxidado, visando à produção de catodo de cobre.

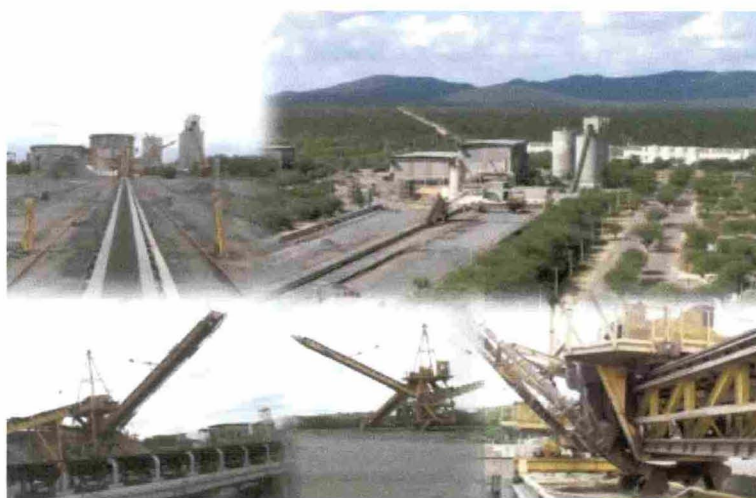
Todo o minério de cobre sulfetado transformado em concentrado de cobre produzido pela empresa é vendido para a metalúrgica Caraíba Metais. Esta termina o processo de

transformação do concentrado em catodo de cobre (cobre metálico com grau de pureza de 99,99% de cobre contido). Já o cobre oxidado é transformado em catodo de cobre na Mineração Caraíba e vendido diretamente ao mercado.

Cobre Sulfetado

Atualmente, o minério de cobre sulfetado, matéria-prima do concentrado de cobre, é extraído, principalmente, da mina subterrânea da Mina Caraíba, localizada no Vale do Curaçá, no Estado da Bahia. A Mina Caraíba conta hoje com recurso total estimado de 32,0 milhões de toneladas de minério de cobre sulfetado, teor médio de 2,5% de cobre, uma reserva total estimada de 15,21 milhões de toneladas de minério de cobre sulfetado, com teor médio de 2,5% de cobre. A perspectiva de vida útil adicional estimada é de aproximadamente 15 anos, e a capacidade de extração anual máxima da mina é de 1,2 milhões de toneladas de minério. O concentrado de cobre da Mineração Caraíba é considerado de boa qualidade por sua baixa quantidade de impurezas. A Mina Caraíba localiza-se próxima ao seu principal cliente, a Caraíba Metais e do Porto de Aratu, o que possibilita escoar a produção de forma rápida e eficiente. A Planta de Beneficiamento da empresa fica próxima à Mina Caraíba, que conta com uma capacidade de processamento de 3,2 milhões de toneladas de minério ao ano.

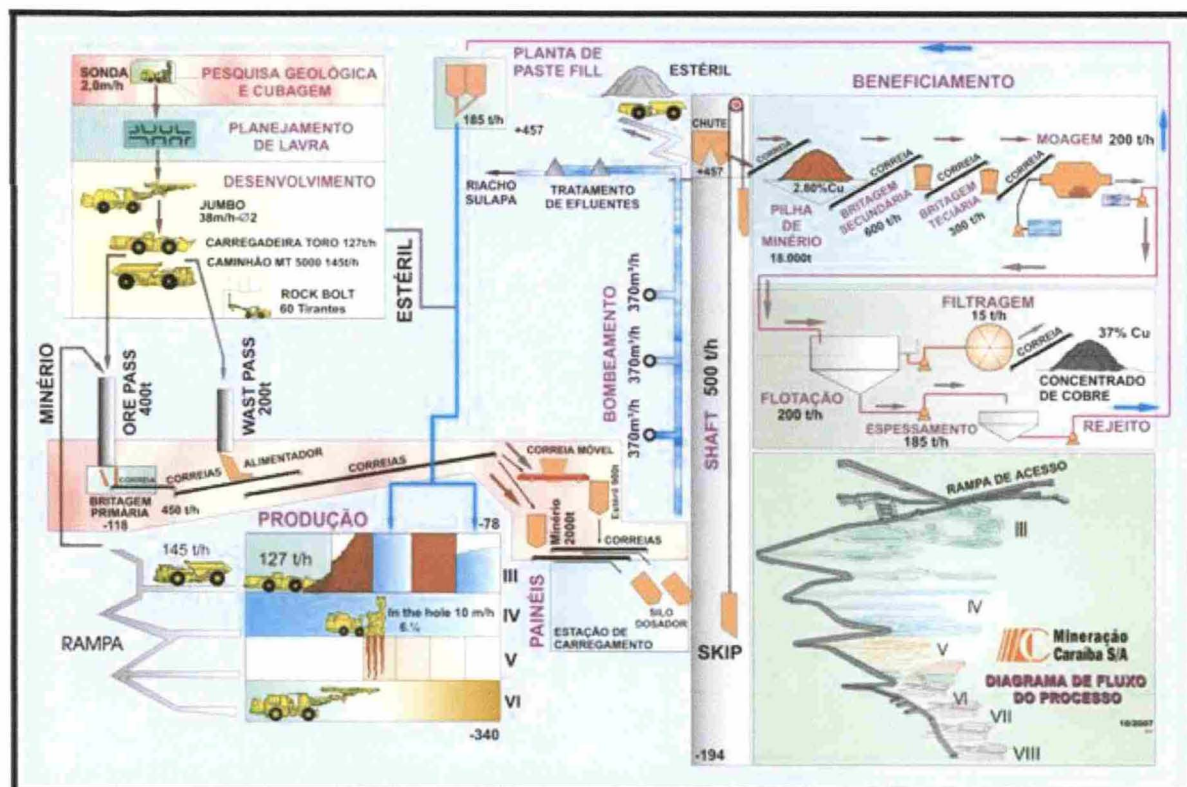
Figura 4.4 – Planta de Beneficiamento de Cobre Sulfetado



Fonte: Acervo da empresa

A Figura 4.5 demonstra o processo de produção de cobre sulfetado, que representa atualmente 80% da produção de cobre da Mineração Caraíba. Os outros vinte por cento vêm do cobre oxidado.

Figura 4.5 – Diagrama de Fluxo do Processo de Produção do Cobre Sulfetado



Fonte: Acervo da empresa

O processo de produção do cobre sulfetado é dividido em duas partes: a primeira é a lavra da jazida onde o cobre é extraído da natureza; a segunda é o beneficiamento do cobre, em que este é parcialmente separado do estéril e transformado no concentrado de cobre.

O método de lavra é aplicado atualmente pela mineração Vertical Retreat Mining, com tecnologia de Paste Fill. Como a introdução deste método de lavra representou uma grande revolução no processo da empresa, será detalhado mais à frente na Seção 6.2.

Depois que o minério é lavrado, inicia-se a segunda etapa do processo de produção do cobre sulfetado, o beneficiamento. O minério proveniente das minas é depositado em uma pilha e, em seguida, retomado por correias transportadoras, até uma planta de

rebritagem onde são realizados o peneiramento primário, a britagem secundária, o peneiramento secundário e a britagem terciária. O produto da rebritagem é enviado por correias transportadoras para a formação das pilhas de homogeneização. Concluída a formação, a pilha é retomada e enviada por correias transportadoras para os silos, antes da etapa de moagem. O minério armazenado nos silos é transferido para os moinhos de bolas por meio de correias transportadoras e, em seguida, classificado por hidrociclones, quando então o *overflow* segue para o circuito de flotação e o *underflow* retorna diretamente para os moinhos. O processo de flotação é o convencional, passando pelas etapas *rougher*, *cleaner*, *scavenger* e *recleaner*. O concentrado final é transferido para os espessadores de concentrado, e o rejeito, para os espessadores de rejeito.

A polpa do rejeito adensada nos espessadores é bombeada para a planta de Paste Fill ou para a barragem de rejeito, ou ainda, quando necessário, para a cava a céu aberto da Mina Caraíba. A água obtida na operação de desaguamento é reaproveitada no processo de beneficiamento. Na planta de Paste Fill, a polpa é desaguada (a água retorna para o processo industrial) em filtros de discos e enviada por correia transportadora a um condicionador de polpa, onde é feita a correção da densidade. Em seguida, a polpa é enviada para um misturador onde é adicionado cimento para produzir a pasta. Finalmente, o produto é transportado por gravidade para o preenchimento de realces na mina subterrânea.

Cobre Oxidado

Em outubro de 2007, iniciou-se a produção de catodos de cobre na recém-construída planta de beneficiamento de minério de cobre oxidado (Figura 4.7), próxima à atual planta de beneficiamento de minério de cobre sulfetado da Mina Caraíba. Essa planta tem capacidade de produção de aproximadamente 4,5 mil toneladas de catodo de cobre por ano.

Figura 4.7 – Planta de Beneficiamento de Cobre Oxidado

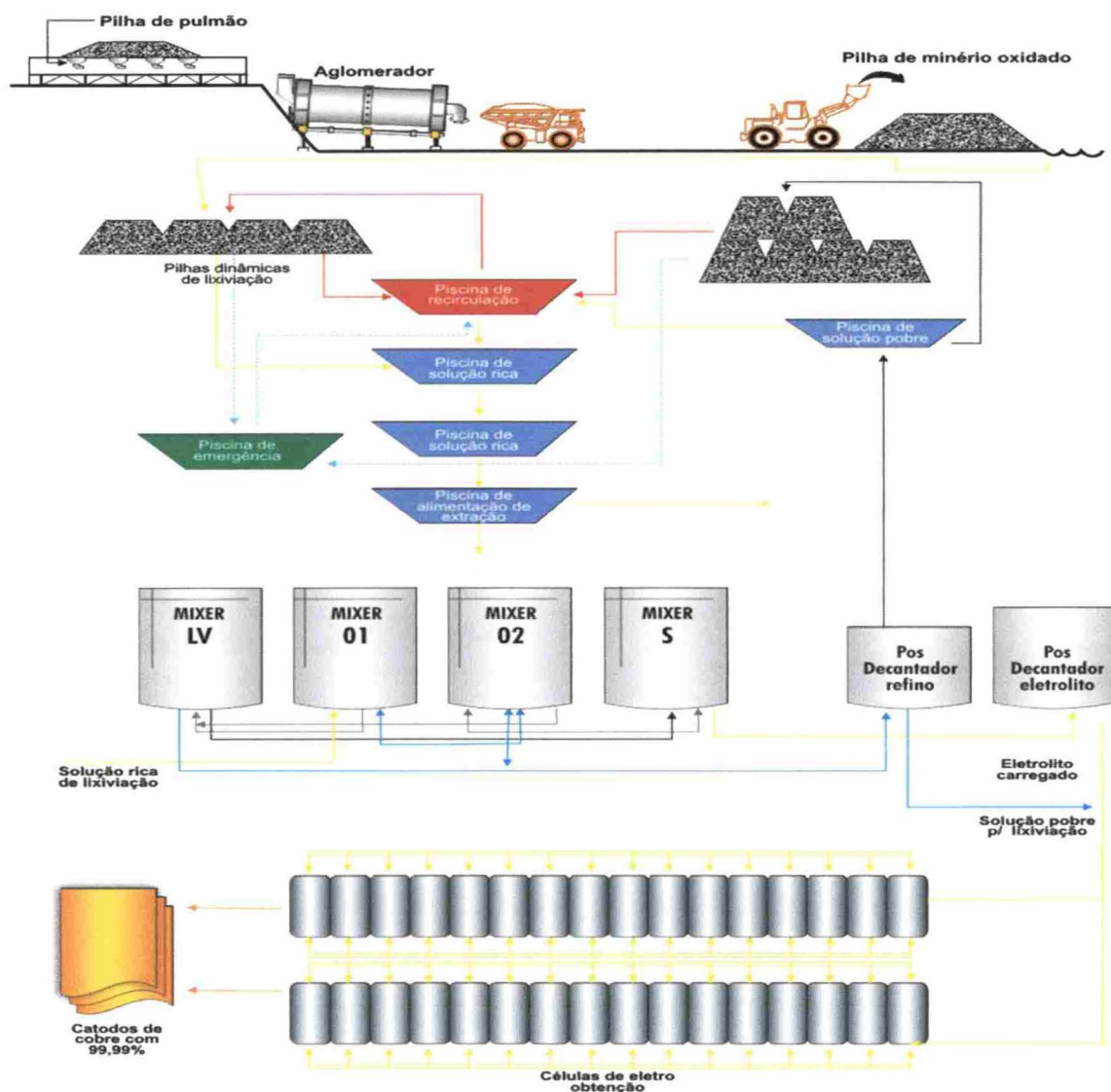


Fonte: Acervo da empresa

O processo inicia-se com uma redução do minério a uma granulometria aproximada de $\frac{1}{2}$ polegada, por intermédio de uma unidade de britagem. Em seguida esse minério é empilhado e passa por um processo de lixiviação sulfúrica, no qual se inicia a formação da solução de sulfato de cobre, que será concentrada até que se obtenha uma solução rica, cuja concentração de cobre esteja adequada para alimentar o processo conhecido como extração por solvente.

A extração por solvente é responsável pela purificação dessa solução. Permite que a concentração da solução de sulfato de cobre alcance valores compatíveis ao processo de eletrodeposição. Neste, ocorre a obtenção do cobre metálico pela aplicação de corrente elétrica, que irá formar um metal com 99,99% de pureza.

Figura 4.8 – Fluxograma da produção de catodos de cobre



Fonte: Acervo da empresa

A Mineração Caraíba possui diversos projetos de expansão. Em outubro de 2007, foram adquiridos os direitos minerários da jazida de cobre sulfetado de Boa Esperança, localizada no sul do Estado do Pará, com recurso total estimado de 74,9 milhões de toneladas, e com um teor médio de 0,83%. Como forma de diversificar o *portfolio* de produtos e de alavancar a experiência, infraestrutura e o *know-how*, com o intuito de se tornar uma empresa polimetálica, estão sendo desenvolvidos projetos para a extração de minérios de novas fontes minerais. A empresa possui projetos em diferentes estágios de desenvolvimento para a produção de ouro, ferro-vanádio e ferro-gusa, que deverão entrar em operação entre os anos de 2010 e 2012.

Entre os projetos, o mais avançado é o Nova Xavantina, para produção de ouro, localizado no Município de Nova Xavantina, Estado do Mato Grosso, a aproximadamente 665 km da Cidade de Cuiabá. A empresa possui os direitos minerários da área e pretende iniciar a operação em 2010. Os estudos têm indicado, até agora, um recurso total de 2,6 milhões de toneladas de minério de ouro com um teor de 5,3 g/t, e uma produção anual máxima de 300 toneladas de minério ao ano.

A Mineração Caraíba tem também um projeto para produzir ferro-vanádio e ferro-gusa do minério de ferro existente no rejeito vindo da planta de beneficiamento do minério sulfetado. Seu aproveitamento está planejado para começar ao final de 2012. Acredita-se que o projeto tem um diferencial importante, pois irá reaproveitar o minério já extraído e com granulometria adequada (fino) para o seu processamento, proporcionando custos competitivos. Além disso, acredita-se em um impacto ambiental baixo, pois o minério para produção será extraído da bacia de rejeito, o que diminui, consequentemente, a área de deposição.

Figura 4.9 – Localização dos Projetos da Mineração Caraíba S/A



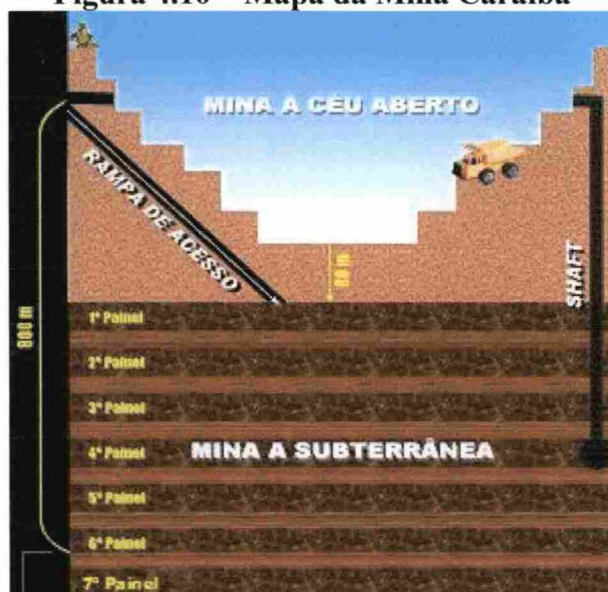
Fonte: Acervo da empresa

4.3 UM BREVE HISTÓRICO DA MINERAÇÃO CARAÍBA S/A

As operações de mineração na Mina Caraíba começaram em 1979, com a Caraíba Metais, uma empresa controlada pela BNDESPAR. A partir de 1988, houve a separação da unidade de mineração da Caraíba Metais, para facilitar seu processo de privatização. A Mineração Caraíba ficou como empresa estatal até 1994, quando foi privatizada.

A Mina Caraíba foi descoberta em 1874, no Vale do Curaçá, e entre 1980 e 1986, a exploração de cobre foi realizada, exclusivamente, a céu aberto. A partir de 1986, iniciou-se também a operação em mina subterrânea, localizada abaixo da mina de céu aberto. Em 1998, a produção da mina a céu aberto teve de ser interrompida, pois sua profundidade se aproximava à da mina subterrânea. A Figura 4.11 ilustra a mina a céu aberto já lavrada e bem próxima à mina subterrânea.

Figura 4.10 – Mapa da Mina Caraíba



Fonte: Acervo da empresa

Entre 1997 e 2004, devido às baixas cotações do cobre no mercado internacional, a empresa não realizou novos investimentos em aquisições e expansões, mantendo apenas sua atividade de exploração da Mina Caraíba. A partir de 2005, com a recuperação dos preços das *commodities* metálicas e o aquecimento do setor mineral mundial, a Companhia iniciou um programa de expansão de suas atividades no Vale do Curaçá e a prospecção de oportunidades.

Em 2004, a Companhia, junto com a Codelco Brasil, constituiu a Coligada Mineração Vale Curaçá, com o intuito de explorar o Vale do Curaçá à procura de novos depósitos minerais.

4.4 RELEVÂNCIA DA ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS PARA A MINERAÇÃO

A Indústria Extrativa Mineral brasileira é bastante diversificada. Segundo o DNPM, há pelo menos 55 minerais sendo explorados atualmente no Brasil, cada um com uma dinâmica de mercado específica.

A mineração foi historicamente relevante como fator de atração de contingentes populacionais para a ocupação do interior do território brasileiro e, ainda hoje, é um vetor importante para o desenvolvimento regional. Uma vez que não se pode mudar o lugar de origem natural das jazidas, seu impacto econômico cresce à medida que são identificadas minas em regiões de baixa densidade demográfica, com atividades produtivas pouco diversificadas.

A intensidade e efetividade da assimilação de tecnologia em empresas de indústrias de processo, como a de mineração, principalmente em países em desenvolvimento, dependem muito do grau em que elas acumulam as capacidades tecnológicas suficientes para desempenhar suas atividades com os diferentes atores no sistema de inovação de sua indústria. A acumulação de tais capacidades envolve um processo contínuo de aprimoramento, por meio da integração dos mecanismos internos e externos de aprendizagem.

O empreendimento mineral, ao contrário do que o senso comum faz parecer, é intensivo em capital e demandante de mão-de-obra altamente qualificada. O desenvolvimento de uma área até que se inicie sua exploração requer grande capacidade financeira própria ou acesso a linhas de financiamento especiais em virtude da presença de custos irre recuperáveis.

Os processos subjacentes de aprendizagem são muito importantes para empresas deste setor, uma vez que podem reduzir os custos e tornar a empresa mais competitiva. Por

estarem na base de inúmeras cadeias produtivas, os bens minerais, ao sofrerem elevações de preços advindas de imperfeições de mercado, impõem à indústria custos maiores, o que, inevitavelmente, afeta o custo de vida das famílias, o nível dos salários e/ou empregos da economia. No entanto, o longo período de retorno exigido pelas inversões em mineração implica um comportamento cíclico de preços. Nas épocas de alta, viabilizam-se áreas, contratam-se novos funcionários e há tendência a superinvestimento, o que, anos depois, causará excesso de oferta, preços aviltados, fechamento de minas e desemprego setorial. Dessa forma, a acumulação de capacidades tecnológicas nas empresas mostra-se primordial ao fortalecimento da indústria de mineração e ao cumprimento dos objetivos das empresas brasileiras.

Entender os processos subjacentes de aprendizagem que influenciam a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas nas atividades de processo e organização da produção em empresas deste setor é uma importante ferramenta gerencial. Associado a esse esforço de investimento, a indústria nacional deverá intensificar seu processo de reestruturação e atenção no que diz respeito à acumulação de capacidades tecnológicas, na busca de maiores ganhos de produtividade e de redução de custos, a fim de assegurar a competitividade no mercado nacional e internacional e garantir, assim, o retorno esperado dos investimentos e, conseqüentemente, o crescimento e a expansão da atividade.

CAPÍTULO 5

DESENHO E MÉTODO DA PESQUISA

Neste capítulo, apresentam-se o desenho e o método nos quais se baseiam a pesquisa, sua concepção, análise e resultados finais. Assim, para alcançar os objetivos desta dissertação, efetua-se uma descrição das características da pesquisa – apresentando as formas de classificação, a estrutura da pesquisa, definição de seu desenho – bem como das etapas e delimitações da pesquisa e das técnicas de coleta e análise dos dados.

Os elementos da pesquisa são apresentados na Seção 5.1: perguntas que se investiga e a escolha da estratégia da pesquisa. Na Seção 5.2, descreve-se como foi conduzida a pesquisa da dissertação, e na Seção 5.3 apresenta-se a metodologia de análise das evidências colhidas.

5.1 ELEMENTOS DO DESENHO DA PESQUISA

5.1.1 QUESTÕES DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi estruturada para responder os seguintes pontos.

- Como evoluiu a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de **produção** e de **inovação** para as atividades de **processo e organização da produção** da Mineração Caraíba, durante o período de 1994 a 2008?
- Até que ponto os processos subjacentes de aprendizagem influenciaram a trajetória de acumulação dessas capacidades tecnológicas durante o período examinado?

5.1.2 ESCOLHA DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia usada no exame da relação entre essas variáveis permite capturar, com razoável nível de detalhe, informações qualitativas que propiciem a reconstrução dos contextos interno e externo à empresa, durante o período em análise. Permite, ainda, junto a dados quantitativos, o estabelecimento ou o reforço da relação causal entre as variáveis de interesse. Essas condições conduziram à escolha da estratégia do estudo de caso, segundo a tipologia adotada por Yin (2005).

A metodologia do estudo de caso é a mais adequada para responder questões do tipo ‘como’ e ‘por que’ a respeito de uma série de eventos. É também recomendada para estudos de eventos no passado, quando pessoas relevantes para o estudo ainda estão disponíveis para serem entrevistadas e reportarem o ocorrido (YIN, 2005).

O método qualitativo é o mais apropriado quando, para a compressão do contexto organizacional, se utilizam observação, registros e análise de aspectos subjetivos, bem como as interações reais entre pessoas e sistemas organizacionais.

Ainda que o estudo seja basicamente qualitativo, envolve também dados quantitativos. No método qualitativo, permite-se abordar questões relativas ao percurso e aos processos de aprendizagem durante um determinado período. O método quantitativo torna mais consistente os resultados dessas questões.

Nesta dissertação, a unidade de amostra é o que se procura primeiro apresentar e, em seguida, explicar. Desse modo, efetua-se a análise do percurso de acumulação da capacidade tecnológica seguido pela Mineração Caraíba.

5.1.3 COLETA DE DADOS

Utiliza-se o método de pesquisa qualitativa para alcançar os objetivos definidos nesta dissertação. Pode-se dizer que os métodos qualitativos são derivados dos estudos de campo, sendo descrições detalhadas de fenômenos, e de comportamentos tais como (PATTON, 1990):

- citações de pessoas sobre suas experiências;
- documentos, registros, correspondências;
- gravações de entrevistas;
- dados com maior riqueza em detalhes e profundidade; e
- interações entre indivíduos, grupos e organizações.

5.1.4 TIPOS E FONTES DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Na Tabela 5.1, apresentam-se as principais fontes de informação. Os dados foram coletados de fonte primária, mediante as seguintes técnicas: análise de documentos, entrevistas individuais estruturadas e não estruturadas com pessoas-chave no processo da empresa e observações diretas no local.

Tabela 5.1 – Fontes de informação na Mineração Caraíba

Origem	Detalhes	
Entrevistas abertas semiestruturadas com auxílio de roteiros: entrevistas-chave organizadas em grupos. (14 entrevistas)	Grupo 1:	Presidente, Diretor de produção, Gerentes de produção, de desenvolvimento, de qualidade.
	Grupo 2:	Supervisores de produção.
Entrevistas informais (5 entrevistas)	Encontros informais, em contato via telefone e via mensageiros eletrônicos. Objetivo: identificar outras possíveis fontes de informação, verificar informações obtidas nas entrevistas formais, coletar opiniões individuais sobre eventos, causa e consequências.	
Arquivos, documentos e páginas na internet	Relatórios anuais, publicações comemorativas e históricas, atas de reuniões. Objetivo: coletar informações que complementem as histórias a respeito dos projetos e eventos; verificar a consistência das informações obtidas nas entrevistas, identificar/ratificar eventos marcantes, obter dados quantitativos (indicadores de <i>performance</i> técnica).	
Observações diretas no local	Departamentos de produção e qualidade. Objetivo: coletar informações sobre como os problemas são resolvidos, quais os recursos e ferramentas utilizados e como ocorre o fluxo de informação	

Fonte: Elaborado pelo Autor

5.1.5 MÉTODOS DE COLETA DE DADOS

Durante a coleta de dados, foram realizadas entrevistas formais semiestruturadas com diretores, gerentes e supervisores da Mineração Caraíba S.A. A maioria das entrevistas foi gravada, posteriormente transcrita, e um resumo submetido aos entrevistados para aprovação. Cada entrevista teve duração de aproximadamente uma hora e meia. A Tabela 5.2 apresenta a relação dos participantes das entrevistas por cargo ou função e fornece uma visão do período coberto pela entrevista.

Entrevistas

Foram realizadas 14 entrevistas na Mineração Caraíba S.A., representando a maioria dos funcionários das empresas relacionados à área estratégica de **processos e organização da produção**. Algumas conversas realizadas informalmente, fora do expediente de trabalho, foram usadas também para validar as informações.

Elaborou-se um roteiro, apresentado no Apêndice A, para cada grupo de entrevistados, antes da realização das entrevistas. Na elaboração do roteiro buscaram-se perguntas não-estruturadas e semiestruturadas, sempre tentando conduzir a entrevista de forma espontânea. Esse tipo de pergunta, por ser aberto, permitiu que o entrevistado se sentisse à vontade para contar histórias e levantar questões sobre outros assuntos. O autor, ao iniciar a entrevista, explicava o contexto do estudo e sugeria que o entrevistado contasse casos da empresa relativos ao assunto. Em virtude das dificuldades de se fazer o questionamento direto sobre a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e seus mecanismos de aprendizagem, as perguntas foram relacionadas às etapas do processo de produção pelo qual cada entrevistado era responsável.

Observação Direta

Ainda que, em sua rotina de trabalho, faça visitas frequentes à mina de cobre, onde se situa a sede da empresa, e tenha afinidade com o processo produtivo e com a organização da produção da Mineração Caraíba, o autor realizou uma visita com o objetivo único de observar diretamente as atividades diárias, tanto nos escritórios como na planta de operação. Assim foram coletadas informações adicionais sobre tipos de

comportamento, formas de organização de trabalho, tecnologias e sistemas, aptidões, dificuldades, problemas, interações dos indivíduos e grupos de trabalho.

Documentação da Empresa

A empresa permitiu o acesso a documentos como relatórios de procedimentos e normas, organogramas, apresentações de treinamentos, manuais do sistema de qualidade, revistas internas e documentos técnicos publicados por alguns dos empregados da empresa. Esses documentos ajudaram a confirmar informações dadas pelos entrevistados.

5.2 ANÁLISE DAS EVIDÊNCIAS COLHIDAS

Mediante entrevistas transcritas, observações diretas, documentos da empresa e outras informações recolhidas na pesquisa empírica de campo, os dados quantitativos e qualitativos foram organizados e analisados com o propósito de serem entendidos de acordo com as questões do estudo.

As informações colhidas foram organizadas em relação às ferramentas metodológicas do estudo: a métrica para a descrição da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e a métrica para a descrição dos mecanismos de aprendizagem estão representadas na Tabela 3.1 e Figura 3.2.

No Capítulo 6, descreve-se a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas com base na montagem das métricas, apresentada na Tabela 3.1, com posterior revisão e validação durante o período de análise do estudo.

No Capítulo 7, descrevem-se, juntamente com as trajetórias de acumulação, os mecanismos de aprendizagem utilizados, no período estudado, com base no ciclo de quatro etapas de construção de capacidades inovadoras, que estão apresentadas na Figura 3.2.

CAPÍTULO 6

ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA (1994-2008)

Este capítulo destina-se a descrever a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na Mineração Caraíba na dimensão de **processos e organização da produção**, entre os anos de 1994 e 2008. Para a realização dessa avaliação, foi usada a estrutura da Tabela 3.1, que indica os diferentes níveis de capacidade tecnológica nos quais a empresa poderia se encontrar em um determinado período de tempo. O capítulo está dividido em 4 seções. Nas Seções 6.1 e 6.2, apresenta-se um panorama da trajetória de acumulação do nível de Capacidades de Produção Básicas e Avançadas (Níveis 1 e 2). Na Seção 6.3, descreve-se a acumulação de Capacidades Inovadoras Básicas (Nível 3), e na Seção 6.4, a acumulação de Capacidades Inovadoras Intermediárias (Nível 4) na Mineração Caraíba.

6.1 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES DE PRODUÇÃO BÁSICAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA - NÍVEL 1: 1994

A Mineração Caraíba, no ano de 1994, atuava para a função **processos e organização da produção** no nível de Capacidades de Produção Básicas (Nível 1), coordenando, plena e independentemente, as atividades rotineiras de produção de sua planta, integrando processos operacionais básicos de planejamento e controle da produção e de controle de qualidade em suas áreas produtivas (Lavra e Beneficiamento). As ferramentas de controle nessa época são simples, e a preocupação está associada à absorção da capacidade efetiva da planta. O planejamento e o controle da produção e o controle de qualidade são voltados à manutenção dos fluxos básicos da produção e ao controle de qualidade intermitente e baseado em inspeções visuais. Apesar de a empresa, nessa época, ter profissionais capacitados a desempenhar atividades de rotina de produção, antes da privatização da Mineração Caraíba havia pouca preocupação dos

controladores com a eficiência do processo. Esta foi a principal razão que fez a empresa não passar do Nível 1 desde sua fundação em 1979. Segundo relato de funcionários que trabalharam na empresa antes da privatização, os controladores não tinham como estratégia melhorar a gestão e os processos da empresa e somente pequena parte do lucro era reinvestido visando ao aperfeiçoamento dos processos. Abaixo, o depoimento do gerente do processo de lavra que também trabalhou na empresa quando ainda era uma estatal.

Enquanto a Mineração Caraíba era uma empresa estatal, havia uma grande preocupação com a escala da produção, por volume, e se preocupava pouco a eficiência da planta. A empresa estava com uma série de problemas técnicos, mas quando foi privatizada, em 1994, passou-se a investir, pois a empresa estava há anos estacionada em investimentos. A Mineração Caraíba passou a buscar novas tecnologias, comprou equipamentos modernos, passou a se preocupar mais com condições de trabalho e melhoria no processo.

Talvez pelo fato de ter sido uma estatal, os funcionários relataram que a empresa era altamente burocrática e que isso influenciava de forma negativa em seu desempenho. Quando materiais, peças e novos equipamentos eram solicitados, havia demora e complicações. Entretanto, tudo foi muito bem documentado: procedimentos, manuais que apoiavam e embasavam a experiência dos profissionais que iam sendo contratados pela empresa. Isso ajudou bastante a que os novos controladores dessem continuidade aos processos que já havia na empresa.

6.2 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES DE PRODUÇÃO AVANÇADAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA — NÍVEL 2: 1995- 1998

Nos anos seguintes à privatização, a Mineração Caraíba introduziu algumas técnicas de solução de problemas, com esforços concentrados na estabilização e numa maior coordenação dos processos das áreas de produção (Lavra e Beneficiamento), permitindo também a introdução de pequenas melhorias nos processos de produção.

Em 1995 adotou-se o modelo de Gestão pela Qualidade Total (GQT), da Fundação Cristiano Ottoni (FCO). Foi necessário um processo de sensibilização do pessoal, com a realização de palestras, distribuição de materiais sobre o assunto, já que, até então, não havia preocupação em relação ao assunto. O primeiro programa de qualidade implantado na empresa foi o 5S, com o objetivo de liberar áreas, evitar desperdícios, melhorar relacionamentos, facilitar as atividades e localização de recursos disponíveis –; contou com expressiva participação dos empregados e teve excelentes resultados. A gestão pela qualidade trouxe um redirecionamento na forma de pensar e agir em relação aos processos de trabalho, sedimentando de forma crescente os preceitos de melhoria e de agregação de valor aos serviços e produtos. A gestão pela qualidade foi imprescindível para impulsionar e sustentar uma mudança cultural necessária, sendo base do modelo de gestão adotado. Nesse período, a empresa percebia, ainda, que existia pouco comprometimento dos funcionários com melhorias no processo e nos resultados da empresa. Entre as ações tomadas para aumentar esse comprometimento, tem-se a distribuição de participação nos resultados e a divulgação do desempenho a todos os funcionários.

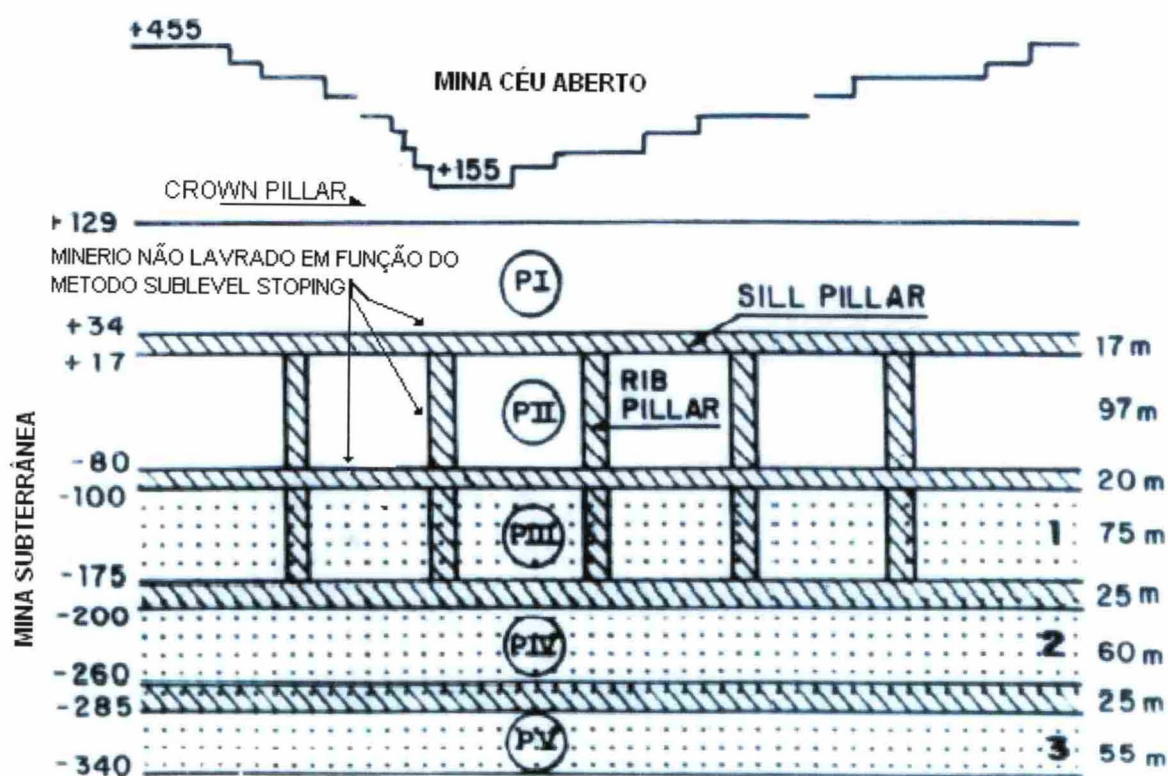
Em 1996, a Mineração Caraíba criou o Programa de Complementação Educacional em parceria com a Secretaria de Educação do Estado da Bahia, visando à complementação dos ensinos fundamental e médio de todos os empregados. O programa tinha o objetivo de formar todos os funcionários de operação ('chão de fábrica'). Assim eles estariam aptos a ler procedimentos, escrever relatórios e operar melhor os equipamentos, o que traria, conseqüentemente, melhorias aos processos da empresa.

Em 1997 a empresa deu início a diversos programas de aprimoramento dos processos. Foi implantado o programa de Gerenciamento pelas Diretrizes como instrumento para o estabelecimento e implementação do plano anual de melhorias de organizações em todos os níveis da estrutura organizacional. Iniciou-se, também, o Programa de Sugestões, em que os funcionários apresentavam sugestões para melhorar o processo e o programa de Círculos de Controle da Qualidade, cuja meta é formar grupos que discutem idéias para melhorar os processos.

Ainda que de maneira incompleta, pois não possui certificados internacionais, a Mineração Caraíba já desempenha atividades do nível de Capacidades de Produção Avançadas (Nível 2) de capacidade tecnológica em **processos e organização da produção**. Um ponto que merece destaque na evolução dos processos da Mineração Caraíba refere-se à mudança de tecnologia e de método de lavra subterrânea, pois, trouxe maior capacidade de coordenação dos processos e também foi um dos fatores que permitiram a continuidade das operações da empresa até hoje.

Em 1996, iniciou-se a lavra subterrânea na Mina Caraíba, que era constituída de dois painéis denominados Painel I e Painel II. Nesse período, o método empregado foi o de realces mantidos abertos por subnível (*Sublevel Stopping*). Nesse método de lavra, tem de se deixar de lado pilares de minério para sustentação da mina. Conforme a Figura 6.2, entre a mina a céu aberto e o Painel I, há um *crow pillar* de minério de 25m, e entre os painéis I e II também um *sill pillar* de minério de 20m de altura, que foi abandonado pela adoção do método de lavra. A existência desse *sill pillar* era imposta pela necessidade de isolar os realces dos dois painéis, uma vez que não havia nenhum tipo de preenchimento das escavações existentes. Esses pilares de minério abandonados, em virtude do método de lavra, representam 50% do recurso da mina.

Figura 6.1 – Método de lavra com realces mantidos abertos por subnível (Método de lavra Sublevel Stopping)



Fonte: Adaptado do acervo da empresa

Ainda nesse ano, elaborou-se um projeto de aprofundamento da mina com o propósito de aumentar a sua vida útil. O projeto previa, originalmente, a aplicação do mesmo método de lavra, realces mantidos abertos nos painéis III, IV e V. Isso implicaria uma produção baseada em realces, entre os quais haveria pilares permanentes (*rib pillars*) dentro de um mesmo painel, com os painéis intercalados também por pilares permanentes (*sill pillars*).

Contudo, tal concepção para o projeto de aprofundamento da mina apresentava uma série de fatores cujos benefícios tornavam-no pouco atrativo. Podem-se citar como principais:

- a imposição de pilares permanentes limitava a recuperação de lavra a apenas 50% da reserva geológica medida, reduzindo a vida útil da mina;

- nos painéis I e II, acentuadas taxas de diluição já eram verificadas em virtude da geometria dos realces e do método de lavra que permitiam a exposição de suas paredes de forma permanente. Para os futuros painéis, haveria uma forte tendência de elevação dessa taxa, devido principalmente ao aumento das tensões induzidas pela lavra com o seu aprofundamento;
- em adição aos problemas de diluição, a manutenção do método poderia contribuir também para uma incidência maior de matacões nos braços dos realces, aumentando o custo do desmonte, transporte, britagem e o risco de acidentes, além de reduzir a produtividade na lavra.
- a sequência estabelecida para a lavra de forma descendente (*top-down*) oferecia, em geral, condições menos favoráveis diante da redistribuição das tensões, se comparada ao sistema ascendente (*bottom-up*).

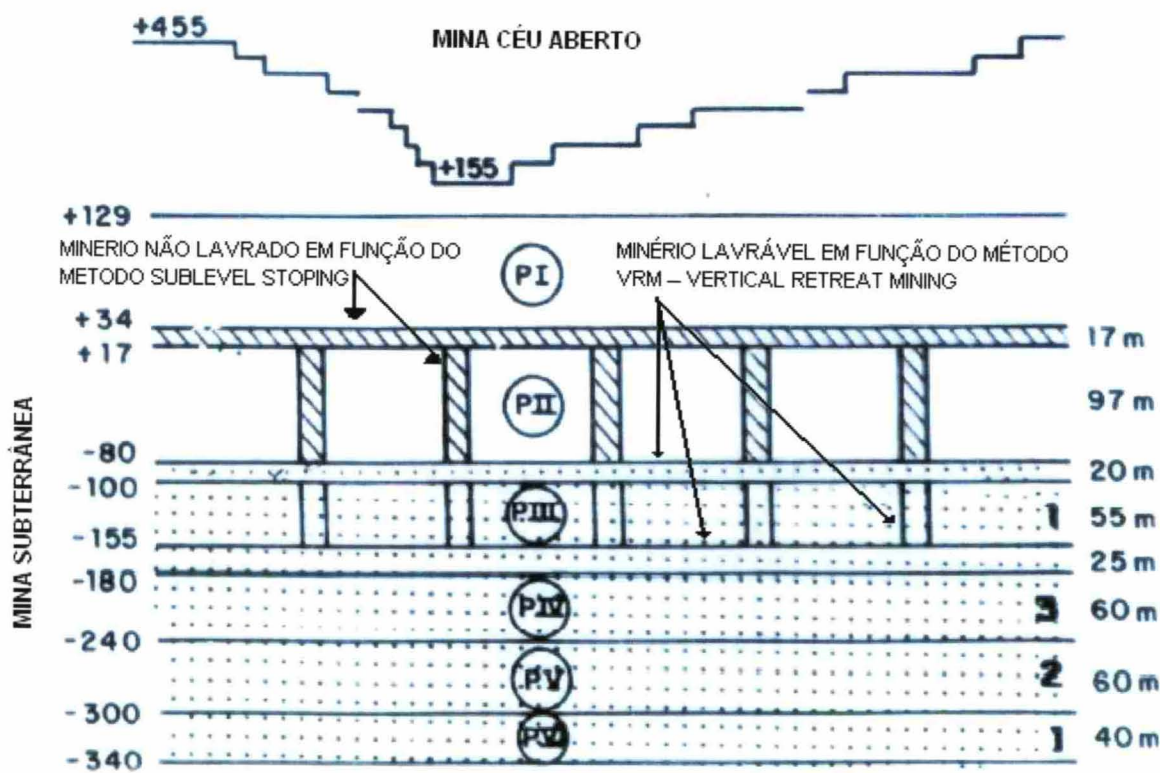
Por esse método de lavra o prognóstico era de que a Mina Caraíba tivesse reservas lavráveis por mais três anos. Desse modo, a Mineração Caraíba fecharia em 1998.

Visando transformar esse quadro desfavorável, a empresa, em parceria estabelecida com a RedPath McIntosh Engineering Limited e a Golder Associates, inicia uma série de estudos cujas premissas básicas eram:

- uma revisão dos aspectos geotécnicos e de mecânica de rochas visando otimizar a recuperação de lavra;
- iniciar estudos para o estabelecimento de uma sequência *bottom-up* com o objetivo de otimizar a sequência de lavra e o controle das escavações subterrâneas;
- incrementar de forma substancial a reserva lavrável com a implantação da tecnologia de Paste Fill; eliminando os pilares permanentes, enchendo-os com uma pasta de cimento com rejeito (estéril de mina) para preencher locais já lavrados;
- otimizar a geometria dos realces, proporcionando uma maior recuperação de lavra, redução no risco de diluição e uma maior flexibilidade na sequência de lavra.

Como resultado desse trabalho, o projeto de aprofundamento assumiu uma nova concepção. As principais alterações foram: introdução do método de lavra VRM – Vertical Retreat Mining – e da tecnologia de Paste Fill. A reserva lavrável passou de 6 milhões para 10 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de mais de 50%. A recuperação de lavra prevista passou de 50% para 75%.

Figura 6.2 – Novo design estabelecido que elimina pilares permanentes



Fonte: Adaptado do acervo da empresa

A mudança do método de lavras e a implantação da tecnologia de Paste Fill aumentou demasiadamente a vida útil da mina subterrânea e permitiu que suas operações continuassem. Apesar do acréscimo no custo com a planta do Paste Fill, o ganho em termos de recuperação de lavra pagou 10 vezes o que foi investido no projeto. (Gerente do Planejamento do Processo de Lavra)

Pode-se considerar que esse projeto, pioneiro no Brasil, foi o grande divisor de águas na Mineração Caraíba em matéria de processos. A implantação do método VRM fez a vida útil da Mina Caraíba passar de três anos a, no mínimo, dez anos, adiando seu fechamento e o procedimento de utilizar Paste Fill para enchimento dos realces abertos. Permitiu, também, a redução na deposição de rejeito da usina para barragem de rejeitos, atenuando substancialmente o impacto ambiental.

Ainda que o projeto tenha sido vital para a continuidade da empresa, seus funcionários, à época, tinham conhecimento limitado do novo processo, o que deixou a empresa totalmente dependente de assistência técnica durante um período. Este fato é comprovado pelo gerente do departamento de geotecnia:

Quando adotamos a tecnologia VRM e Paste Fill, todas as adaptações feitas em virtude das particularidades da mina, como seu *design* e condição das rochas, foram com suporte da consultoria externa que forneceu a tecnologia e a planta de Paste Fill. A consultoria nos ensinava principalmente como a pasta deveria ser gomada, a composição do cimento, qual seu percentual de água, em função das características da mina.

Ainda que o período de 1995 até 1998 tenha sido de muita importância para a empresa, não só pela aquisição de novas tecnologias, mas principalmente por criar um ambiente organizacional propício ao desenvolvimento de capacidades inovadoras por meio de mecanismos de aprendizagem, só foi possível constatar resultados em relação à inovação a partir de 1999.

6.3 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES INOVADORAS BÁSICAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA - NÍVEL 3: 1999-2002

Os processos de produção do cobre envolvem operações de alto risco e devem ser controlados com extremo rigor. Logo, o profundo conhecimento do processo produtivo e a implantação de sistemas de gestão que privilegiem políticas rígidas de segurança operacional são fundamentais para minimizar acidentes. Esse nível de capacidade tecnológica, com procedimentos relacionados às normas ISO 9001, ISO 14001 e

OHSAS 18001, ainda está associado ao Nível 2 para a função tecnológica **processos e organização da produção**. Neste caso, pode-se afirmar que a Mineração Caraíba avançou ao Nível 3 de forma incompleta, pois não possuía certificados internacionais. Porém, em 1999, a empresa aderiu às práticas do Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001, sendo certificada em 2000, especificamente em seus dois principais processos (Lavra e Beneficiamento).

A busca pela certificação ISO ocorreu de maneira espontânea, como forma de melhorar o sistema de gestão. A Mineração Caraíba não sofreu, portanto, exigência por parte de clientes; e, também, por não ter na certificação uma obrigação, teve o tempo necessário para consolidar os processos. Para ser certificada, a Mineração Caraíba criou um sistema de gestão de qualidade chamado Sistema de Gestão da Mineração Caraíba (SGMC) e passou por um processo de aprimoramento técnico obtido com treinamentos operacionais, mitigação de riscos operacionais, automação de processos produtivos e introdução de procedimentos e normas relacionadas a políticas de segurança. A ISO 9001 tornou os resultados dos processos mais previsíveis, trouxe diminuição dos custos e, conseqüentemente, o aumento da produtividade. Isso resultou em maior rentabilidade para a empresa, numa indicação de que a acumulação de capacidade tecnológica foi incorporada ao tecido organizacional da empresa.

Ainda em 1999, a empresa passou a usar o modelo de Gestão pela Qualidade Total do Instituto Nacional de Desenvolvimento Gerencial (INDG). Engajada nesta gestão, a Mineração Caraíba também aderiu aos critérios de excelência PGQB (Prêmio Gestão Qualidade da Bahia), sendo certificada em 2001. Em consequência à melhoria de sua gestão, a empresa ganhou, em 2002 e 2003, o Troféu Prata PGQB e, em 2004, o Troféu Ouro PGQB. Em 2002, a empresa tornou-se membro da Fundação Nacional de Qualidade (FNQ).

A Mineração Caraíba, a partir de 1999, já estava capacitada para fazer pequenas adaptações e intervenções nos processos com o objetivo de eliminar gargalos e a expansão esporádica da capacidade. Assim, a empresa passou a desempenhar atividades do nível de Capacidades Inovadoras Básicas (Nível 3) na função tecnológica **processos e organização da produção**. Os programas de qualidade total, que tinham, entre seus

objetivos, formar equipes de funcionários e os incentivar a desenvolver melhorias no processo, começam a surtir efeito relevante. Diversas pequenas adaptações no processo de produção são apresentadas, em 1999, no Seminário Anual de Melhorias Contínuas. Além de proporcionar economia financeira para a empresa, essas eliminações de gargalos no processo de produção demonstram a acumulação de capacidade tecnológica incorporada pela empresa.

No Seminário Anual de Melhorias Contínuas, de 1999, uma das equipes vencedoras desenvolveu um aparelho para a planta de beneficiamento que, além de trazer retorno financeiro substancial, reduziu o impacto ambiental da empresa. Esta equipe notou que havia, constantemente, perda de minério quando era preciso fazer drenagem das caixas das bombas de polpa, por conta de manutenção preventiva ou corretiva, limpeza operacional ou até mesmo quando ela era desarmada por algum dispositivo de segurança. O minério, durante a drenagem, transbordava dessa caixa. Era, então, bombeado para uma bomba vertical que o direcionava para a caixa de rejeito, sendo liberado no ambiente. Para solucionar este problema, a equipe de funcionários solicitou material à empresa e contou com a ajuda de um caldeireiro para confeccionar em ferro fundido um aparelho para desviar o minério da bomba vertical e fazê-lo voltar para o circuito.

Em 2000, iniciam-se testes mais complexos para aperfeiçoar etapas no processo, feitos pelo corpo técnico da empresa e sem apoio de consultores. Foram realizados testes-piloto para inclusão da célula de flotação Flash no processo de concentração da Mineração Caraíba. As células Flash evitam a sobre모agem, acarretando maior recuperação e menor custo operacional de processo. A inclusão da nova tecnologia trouxe resultados durante um período de tempo, mas começou a apresentar problemas técnicos devido às características da Planta de Beneficiamento da empresa. Em junho de 2005, a célula Flash parou para manutenção, e está fora de operação até hoje.

Embora avanços significativos na acumulação de capacidades tecnológicas em **processos e organização da produção** tenham sido observados, as intervenções nos processos ainda são limitadas.

6.4 ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES INOVADORAS INTERMEDIÁRIAS NA MINERAÇÃO CARAÍBA — NÍVEL 4: 2003 - 2008

Neste período a Mineração Caraíba atua na função **processos e organização da produção** no nível de Capacidades Inovadoras Intermediárias (Nível 4), promovendo a expansão sistemática da capacidade mediante a manipulação de parâmetros-chave de processo, tanto no processo de lavra quanto no de beneficiamento do cobre.

Em 2003, por intermédio do laboratório químico e físico nas instalações da empresa, o Departamento de Geotecnia iniciou estudos e testes com o intuito de criar novas pastas para preencher os realces (Paste Fill) na mina subterrânea. A pasta é composta de água, cimento e estéril da mina. Com o objetivo de diminuir o custo com cimento, em virtude de seu aumento de preço por causa do aquecimento do mercado imobiliário no Brasil, a Mineração Caraíba iniciou testes para analisar um substituto do cimento. Analisou-se a aplicabilidade de produtos como cal, gesso, escória de altos-fornos e *microsilica*. O laboratório da Mineração Caraíba verificou que a escória de alto forno e *microsilica* eram os produtos que tinham melhor resistência às particularidades da Mina Caraíba. Com o propósito de averiguar esses resultados, a empresa fez uma parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais para validar seus experimentos. Apesar de os dois produtos terem sido validados pela universidade, o desligamento de muitos altos-fornos, em virtude da crise econômica de 2008, fez subir o preço da escória, tornando o produto inviável hoje. Se voltarmos para a Seção 6.2, nota-se que naquele período (1995-1998), quando ainda desempenhava funções de **Capacidades de Produção Avançadas (Nível 2)**, a empresa era totalmente dependente de assistência técnica para essa tecnologia. Logo, este exemplo demonstra claramente a acumulação de capacidades ocorridas ao longo dos anos, uma vez que a empresa já manipula de forma independente a tecnologia de Paste Fill, adquirida em 1995.

O bom funcionamento e o contínuo uso dos mecanismos de aprendizagem ao longo do tempo não só resultaram em um aumento no número de inovações incrementais apresentadas pelos funcionários no Seminário Anual de Melhorias Contínuas, como também um aumento na complexibilidade destas inovações.

Um exemplo é a criação de uma das equipes ganhadoras no Seminário Anual de Melhorias Contínuas de 2003, um densímetro. O que demonstra o aumento na complexibilidade das inovações e a manipulação de parâmetros do processo de produção. Esta equipe verificou que os densímetros utilizados pela empresa estavam se descalibrando constantemente.

A aplicação de equipamentos de densímetro nas linhas de bombeamento de polpa das áreas (moagem, filtragem, espessamento de rejeito e dosagem de cal) tem como objetivo medir a densidade do material bombeado e enviar os dados para o controle do processo no sistema operacional da planta. Em virtude do funcionamento incorreto do densímetro, os operadores realizavam coletas de polpa de forma manual, de trinta em trinta minutos, com resultados bastante imprecisos por não se tratar de uma informação contínua. Um aumento da densidade acima de 65% de sólido pode causar obstrução de tubulação do bombeamento de polpa, aterramento do espessador, sobrecarga nos equipamentos e desgaste dos revestimentos das bombas de polpa e, conseqüentemente, paralisação em todo o circuito. Após perdas de produção pela falha nos densímetros e pela tentativa de trocar de fornecedor por diversas vezes, chegou-se à conclusão de que os densímetros disponíveis no mercado não resistiam ao atrito com o material, tornando incompatível a sua aplicação no processo da Mineração Caraíba. Por motivo de segurança do processo e pelo custo que era gerado com a manutenção e reposição dos densímetros, a equipe criou um instrumento próprio, promovendo economia e melhoria operacional significativa. Hoje a Mineração Caraíba fabrica e utiliza seu densímetro em todas as linhas de bombeamento e está em processo de patentear o equipamento.

Em 2004, visando aumentar a intensidade dos programas que buscam o melhoramento contínuo do processo produtivo, foram implantadas novas técnicas organizacionais na empresa. Entre os programas estão: o Programa TOC, baseado na Teoria das Restrições, e o Programa Seis Sigma. O Programa TOC auxilia a empresa a alcançar seus objetivos continuamente por meio de inovações, e o Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada que objetiva aumentar a lucratividade da empresa por meio da melhoria da qualidade do processo, buscando reduzir a variabilidade para ‘zero defeito’ ou ‘zero falha’. O funcionamento destes dois programas foi tão bom, que a empresa calculou um

ganho de US\$10 milhões até 2008. Esses projetos são conduzidos por um quadro de consultores internos da Mineração Caraíba, o que demonstra um aumento de estoque de conhecimento trazido e internalizado até este período na empresa.

A planta de beneficiamento do cobre possui o mesmo fluxograma do início das operações da empresa. Ainda assim, a Mineração Caraíba promove a expansão sistemática da capacidade por meio de melhorias nos processos. A instalação dos novos equipamentos trouxe para a planta de beneficiamento maior automação dos processos de produção, implicando maior controle. Em 2004, instalou-se, na planta, um analisador *on-line* de cobre, que possibilitou o controle *on-line* da flotação e otimizou os resultados. Após a implantação desse equipamento foi possível reduzir os custos com análises químicas, que passaram de intervalos de 2 para 8 horas. O desafio que os funcionários do processo de beneficiamento enfrentam fica claro durante a entrevista com a Coordenadora do Processo de Beneficiamento:

Ainda que existam novas tecnologias no mercado, muitas delas são de difícil adaptação para nossa planta de beneficiamento e inviável financeiramente. Na etapa do beneficiamento tentamos otimizar os resultados com o equipamento disponível. Estamos constantemente indo a congressos, em contato com consultores e fornecedores de reagente e equipamentos, em busca de soluções para aumentar a produtividade e reduzir custos. Nós temos controle total de nossa planta, sabemos nossas limitações e como explorar os equipamentos para que trabalhem da melhor forma. Nosso grande desafio é adaptar nossa antiga planta para trazer melhores resultados.

No ano de 2003 e 2004, como processo para adquirir os certificados OHSAS 18001 e ISO 14001, a Mineração Caraíba desenvolveu uma série de ações relacionadas ao gerenciamento dos impactos ambientais e integrou todo o seu sistema de acordo com as normas. A empresa ainda usou jornal interno, exposto na Figura 6.4, para envolver todos os funcionários no processo e socializar, pelo menos, uma parte do conhecimento. Quando se fez uma pré-auditoria para certificar as normas, constataram-se alguns

problemas que impediriam a certificação. Uma destas pendências, a mais crônica, era a necessidade de criação de uma saída de emergência secundária na mina subterrânea, o que exigiria um alto investimento. A empresa ainda estuda a viabilidade de criar esta saída.

Figura 6.3 – Plano para a incorporação do Sistema Integrado de Gestão

A Mineração está incorporando ao Sistema de Gestão Integrado a ISO 14001 e a OHSAS 18001

Por Luiz Carlos Menezes

A ISO 14001 contém seis requisitos. Embutidos nestes requisitos estão vários conceitos da ISO 9001. Objetivando a sinergia entre sistemas, a ISO 14001 será integrada à Norma ISO 9001. O programa da Mineração Caraíba para a ISO 14001, baseia-se em um levantamento completo dos processos de negócio da empresa e suas interações. A identificação dos aspectos ambientais cobre assim todas atividades internas e externas e os potenciais impactos destas atividades no ambiente.

O Programa inclui o desenvolvimento do SGA - Sistema de Gestão Ambiental, identificação dos aspectos e potenciais impactos ambientais da empresa, o desenvolvimento de controles, prioridades e planos de ação para melhoria e o desenvolvimento de um sistema de monitoramento.

Os procedimentos que adotamos, assegurarão que a documentação seja mantida no volume mínimo possível, eliminando-se a burocracia, aumentando a

produtividade e permitindo que os sistemas melhorem natural e continuamente.



**Qualidade, Segurança e
Respeito por Você.**

OHSAS 18001

A Mineração Caraíba vem se preocupando cada vez mais com a saúde e a segurança de seus colaboradores. A

certificação segundo a norma OHSAS 18001 vem ao encontro da necessidade da empresa demonstrar seu compromisso com a redução dos riscos no ambiente de trabalho e com a melhoria contínua de seu desempenho em saúde ocupacional e segurança de seus empregados. A OHSAS 18001 é um instrumento reconhecido internacionalmente.

INTEGRAÇÃO

A norma OHSAS 18001 prescreve um sistema de Gestão de Saúde Ocupacional e Segurança compatível com a ISO 14001, apoiando nas mesmas ferramentas do ciclo PDCA de melhoria contínua. Esta compatibilidade permite a unificação de ambas as normas e a integração com a norma ISO 9001, voltada para qualidade de produtos e serviços, formando uma poderosa ferramenta de gestão. O SGMC - Sistema de Gestão da Mineração Caraíba, busca e aproveita as vantagens desta integração.

Fonte: Jornal Interno Mineração Caraíba, Fevereiro, 2003

Mesmo que a empresa não tenha adquirido os certificados OHSAS 18001 e ISO 14001, pode-se afirmar que se acumularam capacidades durante este processo em virtude de ações tomadas pela empresa e dos avanços em relação à obtenção das certificações.

Em 2005, a Mineração Caraíba, aproveitando-se da alta cotação do cobre, iniciou diversos projetos de expansão. A empresa triplicou seus recursos de minério somente com a compra da jazida de cobre e cobalto Boa Esperança; e pretendendo consolidar sua posição como mineradora polimetálica deu início a projetos em ouro, ferro-vanádio e ferro-gusa, além do concentrado e catodos de cobre. Para implementação dos novos projetos, além dos profissionais formados na própria empresa, foram contratados profissionais oriundos de diversas empresas do setor, com longa experiência na

indústria de mineração e em minérios como ouro, barita, níquel, zinco, manganês, chumbo, calcário, ferro, cobre, cromo e cobalto.

Um projeto muito desafiador para a empresa foi o estabelecimento da planta para produzir catodo de cobre processando minério oxidado. Desde o início das operações em 1978, a empresa vinha estocando cobre oxidado, pois sua planta de beneficiamento não processava esse tipo de cobre. Como não havia projeto similar no Brasil, a empresa, em 2005, teve de mandar funcionários ao Chile para analisar outros projetos parecidos. Após a pesquisa destes funcionários e o profundo entendimento da tecnologia que seria implantada, assuntos referentes à viabilidade financeira do projeto passaram a ser a principal preocupação da Mineração Caraíba. Em nenhuma parte no mundo existia um projeto nesse molde, com o porte que a empresa desejava criar. Projetos parecidos no Chile e em outras partes do mundo eram muito maiores; logo, o ganho de escala os viabilizava. A Figura 4.11, no Capítulo 4, ilustra o processo de produção do projeto. Foram quase dois anos de pesquisa para chegar à conclusão de que o projeto era viável, porém seria preciso muito entendimento sobre cada parte desse processo, pois um simples erro colocaria sua viabilidade em xeque. Em 2006, durante a execução da planta, foram feitas diversas adaptações no processo em virtude das características do minério e da localização da empresa. As primeiras placas de catodo de cobre foram produzidas em outubro de 2007. Pioneira no país neste tipo de processo, a Mineração Caraíba produz anualmente 4,500 toneladas de catodo de cobre com teor de 99,99%, que é vendido diretamente no mercado, não necessitando de passar por uma metalúrgica.

Outro projeto da Mineração Caraíba que também pretende usar material antes considerado rejeito, como o cobre oxidado, é o projeto ferro-vanádio e ferro-gusa. A empresa, ao longo dos anos de operação, criou uma imensa área de rejeitos oriundos da planta de beneficiamento de cobre. O ferro será produzido deste rejeito que contém aproximadamente 4% de óxido de ferro (magnetita) e vanádio. Outro diferencial importante é o reaproveitamento do minério já extraído e com a granulometria adequada (fino) para seu processamento, proporcionando custos competitivos. Para o desenvolvimento do projeto, a Mineração Caraíba contratou *expertise* externa, pois não

tinha *know-how* em relação a este processo. Firmou, ainda, parcerias com instituições de ensino para certificar a composição do minério. O projeto, planejado para começar a partir do final de 2011, diminuirá o impacto ambiental causado durante anos de operação, assim como o projeto do cobre oxidado.

6.4.1 POTENCIAL PARA ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES INOVADORAS AVANÇADAS – NÍVEL 5

O projeto de biolixiviação de cobre sulfetado é um exemplo que mostra o potencial da Mineração Caraíba no desempenho de atividades do nível de Capacidades Inovadoras Avançadas (Nível 5), pois demonstra esforços da empresa em desenvolver inovações que poderiam levá-la a alcançar a fronteira internacional de inovação. Apesar de a lixiviação bacteriana ser atualmente aplicada em escala industrial para recuperação de metais como cobre, urânio e ouro, em países como EUA, Rússia, Chile, Espanha, Canadá, África do Sul, Austrália, entre outros, a lixiviação bacteriana do cobre sulfeto ainda não é possível no mundo.

A Mineração Caraíba vem desenvolvendo, desde 2005, estudos para processamento de minério e concentrado de cobre pela via bio-hidrometalúrgica, com o objetivo de implantar uma tecnologia inovadora e pioneira no mundo: a biolixiviação de concentrados de cobre sulfetado em pilhas. Este projeto vem sendo desenvolvido em parceria com o CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e a empresa americana Geobiotics.

O processo bio-hidrometalúrgico destaca-se sobre o modelo convencional, pois o cobre eletrolítico é retirado do concentrado de flotação por um processo biológico. A tecnologia se utiliza de bactérias nativas, que são extraídas do próprio minério e cultivadas em laboratório para que se multipliquem. Desta forma, as bactérias permitem que os sulfetos calcopirita e bornita sejam dissolvidos em solução e purificados para a obtenção do cobre eletrolítico. A biolixiviação permite reduzir não apenas a emissão de gases poluentes durante a extração do concentrado de cobre, mas também as emissões que contribuem para o efeito estufa na atmosfera. Mais positiva no quesito ambiental, a

nova tecnologia é, também, financeiramente mais rentável, com um custo operacional estimado em 50% menor em relação ao do atual processo de pirometalurgia.

Em 2006, foi desenvolvida no laboratório do CETEM uma miniplanta piloto, alinhada com a tecnologia Geocoat da Geobiotics, para o desenvolvimento da tecnologia. Os resultados indicaram recuperações acima de 90%, com prazos em torno de 60 dias (recuperação e prazos semelhantes aos da lixiviação de óxidos). Os testes prosseguem agora em maior escala com objetivo de adquirir parâmetros para a expansão de pilhas de demonstração, cuja implantação é planejada para 2010. O projeto tem grande diferenciador em termos de custos, de impacto ambiental e de responsabilidade social; caso os testes em escala industrial tenham sucesso, a nova tecnologia poderá revolucionar o setor.

CAPÍTULO 7

MECANISMOS DE APRENDIZAGEM TECNOLÓGICA NA MINERAÇÃO CARAÍBA (1994 - 2008)

Neste capítulo, descrevem-se e examinam-se os mecanismos de aprendizagem tecnológica utilizados pela Mineração Caraíba S/A, ao longo do período compreendido entre 1994 e 2008, à luz de modelos analíticos disponíveis na literatura sobre acumulação de capacidades tecnológicas, expostos no Capítulo 3.

O capítulo está dividido em duas seções. Na Seção 7.1, apresentam-se os mecanismos de aquisição de conhecimento, e na Seção 7.2, os mecanismos de conversão de conhecimento utilizados pela empresa.

As seções classificam e agrupam por tipo de processo cada mecanismo de aprendizagem tecnológica utilizado pela Mineração Caraíba, detalhando como foram utilizados e abordando aspectos referentes à sua cronologia e implementação. A descrição, nestas seções, fundamentará as análises que serão feitas no Capítulo 8, no qual se abordam as influências de processos subjacentes de aprendizagem na acumulação de capacidades tecnológicas.

7.1 MECANISMOS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

Os mecanismos de aquisição de conhecimento utilizados pela Mineração Caraíba no período em estudo serão apresentados a seguir, de acordo com a Seção 3.2.1, abordando aspectos relativos à sua cronologia e implementação.

7.1.1 MECANISMOS DE AQUISIÇÃO EXTERNA DE CONHECIMENTO

Os mecanismos de aquisição de conhecimento externo referem-se ao conjunto de estratégias de aprendizagem pelo qual a empresa, com seus indivíduos ou organização, adquire conhecimentos tácitos e/ou codificados de fontes externas a ela, na busca da construção e acumulação de suas próprias capacidades tecnológicas.

7.1.1.1 ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Convênio com Instituições de Pesquisa, Ensino e Extensão

Principalmente a partir de 2002, a Mineração Caraíba firmou vários convênios com instituições de ensino e pesquisa. Para suprir algumas necessidades de equipamentos técnicos, a empresa utilizou laboratórios de várias instituições. Em 2002, a empresa firmou um convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para testar reagentes, visando à otimização do processo de produção no setor do beneficiamento. Em 2003, utilizou os laboratórios da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para testar as novas pastas de preenchimento dos realces da mina subterrânea. Em 2005, foi feito um convênio com a Universidade de São Paulo (USP) para a assistência no desenvolvimento do Projeto Ferro Vanádio e para a caracterização dos minérios. Neste mesmo ano também foi firmado um convênio com o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) para desenvolver pesquisas e testes sobre a biolixiviação de concentrados de cobre sulfetado.

Transferência de Tecnologia entre Empresas

A parceria feita, em 1995, entre a Mineração Caraíba, RedPath McIntosh Engineering e Golder Associates, foi um importante mecanismo de aquisição externa de conhecimento que contribuiu para a acumulação de competências de várias maneiras. A Mineração Caraíba, durante o processo de aquisição, via esta parceria, da Tecnologia VRM e Paste Fill, explicadas em detalhe na Seção 6.2, enviou uma equipe de engenheiros ao Canadá com a intenção de entender em profundidade o funcionamento da nova técnica, para, depois, socializá-lo na empresa. Mesmo que no início houvesse limitado domínio da tecnologia por parte dos funcionários da Mineração Caraíba, até porque a tecnologia foi pioneira no Brasil, em 2003 a empresa já conseguia fazer adaptações na tecnologia sem assistência técnica.

Outra aquisição de conhecimento via acordo de transferência de tecnologia entre a empresa americana Geobiotics e Mineração Caraíba deu-se em 2005, com o intuito de

testar sua tecnologia patenteada, Geocoat, e desenvolver por esta tecnologia uma técnica de biolixiviação de concentrado de cobre ainda não comprovada no mundo.

Parcerias como estas contribuíram significativamente para que novas capacidades fossem desenvolvidas.

7.1.1.2 TREINAMENTO EXTERNO

Visitas técnicas

A prática da realização de visitas técnicas a outras empresas e fornecedores do setor de mineração, no Brasil e no exterior, configurou-se em importante mecanismo para a aquisição de novos conhecimentos. Entre as empresas visitadas, destacam-se: Codelco (Minas Escondida, Chuquicamata, El Teniente, dentre outras), Vale do Rio Doce, Minas do Grupo Votorantim, MBR Minerações Brasileiras Reunidas, Fosfertil, Politen, Caraíba Metais, Deten, USIBA – Unidade do Grupo Gerdau na Bahia, Mineração Fazenda Brasileiro e Jacobina Mineração – pertencente ao Grupo Yamana Gold e Ferbasa Mineração pertencentes à Companhia Ferro Ligas da Bahia. Estas visitas técnicas intensificaram-se durante dois períodos ao longo dos anos em estudo. O primeiro período foi em 1996, quando a empresa buscava novas tecnologias de lavra; e o outro período, em 2005, durante os projetos de expansão, quando pretendia consolidar sua posição como mineradora polimetálica.

Essas visitas tinham objetivos tais como avaliação de equipamentos e de novas tecnologias de processo. O contato com engenheiros, técnicos e operadores destas empresas permitiu à Mineração Caraíba verificar novas formas de organização e controle da produção. Todo o conteúdo destas visitas foram documentados, servindo de base para a discussão, adaptação e implementação de novos padrões técnicos e operacionais.

Técnicas e ferramentas da qualidade

Desde a privatização, a empresa ofereceu cursos e treinamentos externos tratando de assuntos relativos a técnicas e ferramentas de qualidade. A partir de 1995, treinamentos externos relativos a técnicas e ferramentas da qualidade foram iniciados e vêm sendo ministrados de forma constante, com destaque para: auditores internos em qualidade, segurança, meio ambiente e saúde; organização normativa; análise e solução de problemas em grupo; Seis Sigma; além de todos os treinamentos específicos voltados à preparação para as certificações (ISO 9001 e 14001, OHSAS 18001).

Treinamentos gerenciais

A Mineração Caraíba adotou, a partir de 1995, alguns programas de treinamento e desenvolvimento gerencial, tais como: o Programa de Desenvolvimento Individual e o Programa de Desenvolvimento Gerencial. Estes programas de desenvolvimento foram conduzidos pelo Instituto Nacional de Desenvolvimento Gerencial (INDG) e destinados a executivos, supervisores e profissionais ocupantes de cargos de nível superior e médio. Após o treinamento, os profissionais repassavam o conhecimento adquirido participando de reuniões, palestras e seminário, compartilhando o conhecimento adquirido com o restante da empresa.

Treinamentos operacionais

Treinamentos operacionais vêm sendo feitos, sistematicamente, desde 1995, na Mineração Caraíba, com o objetivo de melhorar a operação dos equipamentos, buscar a qualificação e a reciclagem dos conhecimentos de seus funcionários. Além do treinamento na empresa, o desenvolvimento de empregados do quadro operacional se processa também mediante especialização em técnicas e ferramentas operacionais de qualidade, visando ao aperfeiçoamento das práticas de processo de produção, apoio ou administração, realizado tanto na empresa quanto em entidades externas.

Treinamentos técnicos

Iniciados em 2005 com o objetivo de melhorar o nível de qualificação técnica de seus funcionários de nível técnico e operacional, a Mineração Caraíba passou a oferecer treinamentos técnicos, ministrados em parceria com outras instituições, tais como Sesi e SENAI. São oferecidos cursos de: técnico em eletromecânica, técnico em segurança do trabalho e técnico em mineração.

Técnicas de segurança

Desde 1999, áreas de segurança e de recursos humanos da Mineração Caraíba promovem o Programa de Formação e Reciclagem das Brigadas de Resgate e Combate a Incêndio, com o objetivo de preparar os funcionários para prevenir, identificar e classificar os tipos de incêndio, como também de combatê-los de forma adequada. Para isto, foi estabelecido um calendário anual de treinamentos e simulados, realizados pelo Corpo de Bombeiros Militar.

Treinamentos de informática

Em convênios com instituições de ensino e contratos com empresas de consultoria e treinamento, os empregados da Mineração Caraíba participaram, ao longo do período de 1994 a 2008, de treinamentos diversos na área de informática, incluindo: microinformática básica, sistemas operacionais e ferramentas de escritório. Em 2003, funcionários também foram treinados durante implantação do software RM Vitae para o planejamento e controle.

7.1.1.3 IMPORTAÇÃO DA EXPERTISE

Contratação de Profissionais com Experiência

A Mineração Caraíba, principalmente no período 2002 a 2005, durante o ‘boom das commodities’, contratou profissionais com ampla experiência no setor de mineração. Estes profissionais, que atuavam em funções distintas, como especialistas, engenheiros, técnicos e operadores, e com experiência em minérios como ouro, barita, níquel, zinco,

manganês, chumbo, calcário, ferro, cobre, cromo e cobalto, foram trazidos durante os projetos de expansão da empresa. Foram contratados para desempenhar funções tanto na operação quanto na gestão do negócio, permitindo que a empresa internalizasse diversos tipos e níveis de conhecimentos, habilidades e experiências.

7.1.1.4 IMPORTAÇÃO DE CONHECIMENTO

Contratos de Assessoria e Consultoria

Durante todo o período de 1995 a 2008, a Mineração Caraíba assinou contratos de assessoria e consultoria com várias empresas, para a condução total ou parcial do processo de implementação de diversos de seus projetos, tais como: RedPath McIntosh Engineering Limited, Golder Associates, ABS Produtividade, INDG Gerenciamento da Rotina e TOC (Teoria das Restrições).

A troca de experiências entre os grupos foi fundamental para acelerar a curva de aprendizado após a partida dos novos processos. Além disso, depois de absorver o conhecimento para a empresa, a Mineração Caraíba sempre procurou multiplicar internamente o que alguns tinham aprendido durante os processos.

Auditorias Externas

A Mineração Caraíba, a partir de 1999, submeteu seus processos organizacionais e operacionais a auditorias externas, que se intensificaram para auxiliar a obtenção e manutenção das certificações ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001. Estas ações configuram-se um significativo meio de aquisição e socialização de conhecimento. Algumas das auditorias contratadas foram a Bureau Veritas Quality International (BVQI), Inmetro Extintores, Ernest Young Contabilidade.

Interações com outras empresas

Sejam do mesmo setor de atuação ou de outros, a interação com outras empresas, como a Inbras Eriez, Vale do Rio Doce e Votorantim Metais, vem ocorrendo na Mineração Caraíba, principalmente a partir de 2001, como um canal de troca de informações e

conhecimentos, tanto em termos de processos e técnicas de mineração, quanto de gestão. Estas interações formais e informais se deram sob diversas formas: em contratos de prestação de serviços, participação conjunta em comissões técnicas e grupos de trabalho, contatos via telefone, *e-mail* e visitas de aproximação. Durante as visitas às empresas, permitiam o acesso a algumas práticas típicas de cada empresa, presentes no conhecimento tácito daquelas pessoas que operam as máquinas ou solucionam problemas do dia a dia. Após as visitas eram feitos relatórios para codificar as transferências de conhecimento adquiridos.

Palestras de especialistas externos e profissionais de outras empresas

Desde 1994, a Mineração Caraíba promove regularmente diversos simpósios técnicos internos, tais como a Sipatmin (Semana Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho na Mineração), a Semana de Meio Ambiente e Semana de Prevenção a Acidentes de Trabalho. A empresa também promove eventualmente encontros para discussão de temas específicos, conforme demandas pontuais. Sempre que pertinente busca trazer especialistas externos e profissionais de outras empresas para apresentarem suas experiências relacionadas aos temas.

7.1.1.5 INTERAÇÃO COM FORNECEDOR E CLIENTE

Células interativas com fornecedores

A Mineração Caraíba, principalmente a partir de 1999, com a intenção de identificar e incorporar novos equipamentos, componentes, técnicas e tecnologias a serem adotadas no processo produtivo, tanto na lavra quanto na planta de beneficiamento, utilizou uma série de mecanismos de interação com seus fornecedores: catálogo de produtos e equipamentos; visitas técnicas; desenvolvimento conjunto de projetos; solução conjunta de problemas e programas de desenvolvimento de novos parceiros de negócios.

Esta interação ganha ainda mais relevância se levarmos em conta que, quando um contrato era feito com um fornecedor – seja para automatizar ou para adaptar alguma etapa do processo de produção –, este é que passava seus conhecimentos aos

funcionários, até que eles entendessem o novo sistema implantado na planta. Esses processos também levam a uma intensa codificação do saber tácito.

Células interativas com clientes

Durante todo o período em estudo, constatou-se que a Mineração Caraíba realiza um conjunto de ações com o objetivo de promover uma maior interação com seu principal cliente, a metalúrgica Caraíba Metais. Visitas e palestras técnicas são dirigidas ao cliente com o objetivo de absorver informações, servindo de base para a identificação de necessidades e oportunidades de melhoria em termos de processos.

7.1.1.6 PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS EM CONFERÊNCIAS

A participação frequente em feiras e conferências permite à Mineração Caraíba o estabelecimento de um canal direto de comunicação com clientes e fornecedores, e serve também como instrumento de acesso às tendências do mercado, constituindo-se em um meio de internalização de conhecimento.

A Mineração Caraíba, principalmente a partir de 1999, passou a participar de congressos e seminários, nacionais e internacionais, tais como a EXPOSIBRAM (Exposição Internacional de Mineração e Congresso Brasileiro de Mineração), Internacional Copper Conference, Hidroprocess Santiago, Exposição Internacional de Mineração e Congresso Brasileiro de Mineração (IBRAM), Congresso Brasileiro de Geologia, Congresso Brasileiro de Manutenção, Congresso Ambiental, Seminários sobre Atuação no Licenciamento Ambiental, Congresso Nacional de Recursos Humanos, Congresso Brasileiro de Higiene Ocupacional, Seminário Nacional sobre Gestão da Segurança, Saúde do Trabalho, Seminário Benchmark FPNQ, Seminário Nacional sobre Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho em Minas.

A participação nesses eventos direciona-se à aquisição e à socialização de conhecimento de novas técnicas para o desenvolvimento de processos inovadores ou visa à aproximação de fornecedores importantes para integrá-los ao desenvolvimento de novos processos.

7.1.1.7 INFRAESTRUTURA EDUCACIONAL

Educação Avançada

Procurando aumentar e acelerar o aprendizado e o potencial do grupo de recursos humanos que a compõe, a empresa criou, em 2003, o Programa de Desenvolvimento de Habilidades para supervisores. Este programa oferece cursos de especialização e MBA para os colaboradores de nível gerencial. São de extrema importância para a capacitação dos executivos no desempenho de suas funções e para que a empresa esteja sempre atualizada com as novas técnicas de gestão empresarial disponíveis no mercado.

Educação básica, ensino técnico e formação humana

Em 1996, a Mineração Caraíba procurou instruir o seu corpo funcional, com o objetivo de ampliar a sua capacidade produtiva. A empresa desenvolveu e implementou projetos nos quais investiu para aumentar as condições de educação básica e a formação profissional, resultando na melhoria formal e técnica do nível educacional de seus funcionários. O Programa de Assistência Educacional e o Programa de Complementação Educacional são alguns exemplos destes projetos. Em 2008, demonstrando a constante preocupação em relação à capacitação dos funcionários, a empresa fechou uma parceria com o SESI para implantação de cursos técnicos profissionalizantes, como Automação, Segurança do Trabalho e Eletromecânica.

7.1.2 MECANISMOS DE AQUISIÇÃO INTERNA DE CONHECIMENTO

Conforme a Seção 3.2.1, os mecanismos de aquisição de conhecimento interno referem-se ao conjunto de mecanismos de aprendizagem pelos quais os indivíduos adquirem conhecimentos tácitos (modelos mentais e/ou aptidões técnicas) exercendo diferentes atividades na empresa. Nesta seção abordam-se os mecanismos relativos ao processo de aquisição de saber interno utilizados pela Mineração Caraíba ao longo do período de análise da dissertação, tratando de aspectos relativos à sua cronologia e implementação.

7.1.2.1 APRIMORAMENTOS CONTÍNUOS

Automação de processos e controles

Com início em 1995 e continuidade ao longo do período analisado, a empresa – em convênios e parcerias com universidades e centros de pesquisa, e também com o Programa de Sugestões e pelos projetos de melhoria contínua – desenvolveu diversos projetos de automação de processos e controles de gestão e de produção, consequentes de melhorias contínuas e incrementais, muitas das quais realizadas pelos próprios profissionais envolvidos na rotina diária de operação.

Equipes de Melhoria Contínua e Programa de Sugestões

As Equipes de Melhoria Contínua e o Programa de Sugestões têm como objetivo estimular os funcionários a buscar ideias para melhorar os processos da empresa. Estes dois programas, implantados em 1995, são os principais instrumentos de incentivo ao aprendizado interno na Mineração Caraíba, viabilizando a criação de novos métodos, técnicas, acessórios e equipamentos.

Esforços sistemáticos para redução de acidentes

Durante todo o período analisado, a Mineração Caraíba implementou diferentes ações com o propósito de diminuir a exposição de seus funcionários ao risco, o que fez reduzir continuamente, ao longo dos anos, os índices de acidente no trabalho. A diminuição dos acidentes é resultado do treinamento oferecido aos empregados pela Comissão Interna de Prevenção de Acidentes, criada em 1979 e renovada anualmente. O Programa de Sugestões e as Equipes de Melhoria Contínua têm uma orientação, também, no sentido de propor alterações e adaptações nos procedimentos e nos equipamentos para torná-los mais seguros.

Esforços sistemáticos para redução de custos

Devido à alta volatilidade do setor de cobre, os gerentes, engenheiros, técnicos e operários da Mineração Caraíba são continuamente orientados a buscar alternativas de

redução de custos, com a melhoria dos processos e a busca de maior produtividade. A constante pressão para reduzir custos conduz os funcionários a buscarem sempre melhores formas de produzir, acelerando a aquisição de conhecimentos tácitos ao longo dos anos.

7.2 MECANISMOS DE CONVERSÃO DE CONHECIMENTO

Os mecanismos de aquisição de conhecimento, conforme visto na Seção 3.2.1, são divididos em mecanismos de codificação e socialização de conhecimento. Nas Seções 7.2.1 e 7.2.2, será explicitado como a Mineração Caraíba utilizou tais mecanismos.

7.2.1 MECANISMOS DE CODIFICAÇÃO DE CONHECIMENTO

Os mecanismos de codificação de conhecimento são uma etapa fundamental para a disseminação e a solidificação do conhecimento dentro da empresa. Trata-se de atividades nas quais o conhecimento tácito é transformado em conhecimento explícito, pela criação de processos, manuais, e técnicas documentadas. Nas subseções a seguir, expõe-se a utilização dos mecanismos de codificação do saber na Mineração Caraíba, abordando aspectos relativos à sua cronologia e implementação.

7.2.1.1 ELABORAÇÃO DE MANUAIS, APOSTILAS E GUIAS

Na Mineração Caraíba, desde o início das operações, todas as áreas trabalhavam orientadas no sentido de que tudo fosse documentado, com procedimentos muito bem definidos, sendo a definição inicial e a formalização de manuais apoiadas e embasadas na experiência dos profissionais que iam sendo efetivados. Durante as etapas de preparação à certificação ISO 9001, em 1999, e posteriormente às ISO 14001 e OHSAS 18001, em 2003, assim como de preparação do processo de adoção dos critérios do PGQB (Prêmio Gestão Qualidade da Bahia) e da Fundação Nacional da Qualidade (FNQ), também neste período, a empresa elaborou diversos manuais, apostilas e guias tratando de seus conceitos, princípios e políticas, com o objetivo de facilitar o aprendizado e melhorar a condição de assimilação por parte dos funcionários de nível operacional.

7.2.1.2 PADRÕES BÁSICOS, DOCUMENTAÇÃO PARA QUALIDADE E SEGURANÇA

A partir de 1999, a empresa teve de rever grande parte de sua documentação gerencial e de processos para se adaptar a padrões de trabalho, em conformidade com as exigências das certificações ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001. Com a criação das equipes para este fim, foram revistos e criados procedimentos, manuais, registros e normas. Esses processos levam a uma intensa codificação de conhecimento tácito existente.

7.2.2 MECANISMOS DE SOCIALIZAÇÃO DE CONHECIMENTOS

Os mecanismos de socialização de conhecimento, conforme visto na Seção 3.2.1, são as estratégias pelas quais se compartilham os conhecimentos tácitos adquiridos em técnicas informais compartilhadas com os demais indivíduos da empresa. Nas próximas subseções, descrevem-se os mecanismos de socialização do saber utilizados pela Mineração Caraíba ao longo do período de análise da dissertação, bem como os aspectos relativos à sua cronologia e implementação.

7.2.2.1 OFERTA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E TREINAMENTO

Assistência Técnica ou Treinamento a outras Empresas de Mineração

A Mineração Caraíba, ao longo do período em análise, prestou assistência técnica e ofereceu treinamento a outras empresas de mineração.

A partir de 2000, a Mineração Caraíba ofereceu assistência técnica – em serviços de perfuração para abertura de poços de ventilação e chaminés em Mina Subterrânea – a Mineração Serra Grande, Ferbasa Mineração, Companhia Ferro Ligas da Bahia, Edex Engenharia e Companhia Mineira de Metais.

A empresa também ofereceu, em 2001, assistência técnica à unidade Taquari, pertencente a Vale do Rio Doce, e à Mineração Fazenda Brasileiro, pertencente a Yamana Gold, em serviços de inspeção em cabos de aço com o Magnograph –

equipamento importado pela Mineração Caraíba para manutenção do Shaft (elevador para transporte vertical de minério).

Outros exemplos foram os treinamentos *on-the-job* nas instalações da Mineração Caraíba, em 2000, oferecidos à equipe de operação da Mineração Maracá – pertencente ao Grupo Yamana Gold – e à equipe de operação da Usina da Mina do Sossego – Vale do Rio Doce.

Essa socialização do conhecimento demonstra o conhecimento tácito internalizado e acumulado ao longo dos anos na empresa. A prestação de assistência técnica a essas empresas, nesse período, expressa o domínio que a Mineração Caraíba tem sobre seu processo de produção, fruto de anos de aprendizado.

7.2.2.2 SOLUÇÃO CONJUNTA DE PROBLEMAS

Equipes que visam melhorias

A criatividade e a inovação são permanentemente estimuladas pelo Programa de Sugestões e pelos programas de qualidade total, bem como pelos grupos de PDCA (Plan-Do-Check-Act) e por equipes multidepartamentais formadas para análise e implementação de melhorias apontadas em auditorias formais e informais do Sistema de Gestão.

Implantado em 1997, o Programa de Círculo de Controle da Qualidade (CCQ) estimula a criatividade, trabalho em grupo e resolução de problemas com resultados positivos na satisfação pessoal e profissional. Em 1999, estabeleceu-se o Programa de Sugestões cujo objetivo é a participação dos colaboradores na solução de problemas e na melhoria dos processos, com distribuição de prêmios. No Programa PDCA (Plan-Do-Check-Act), cada colaborador de cargo estrutural e de nível universitário tem a incumbência de resolver, no mínimo, 4 grandes problemas por ano. Periodicamente, o andamento dos trabalhos é apresentado em um fórum, com a presença dos envolvidos e da diretoria.

As equipes treinadas para buscar melhorias são o principal fator de estímulo à criatividade e inovação na empresa, pois atuam com base na construção coletiva do

capital intelectual, formando estratégias pelas quais os conhecimentos tácitos adquiridos são compartilhados com os demais indivíduos da empresa.

Reuniões gerenciais periódicas

Para a condução rotineira de seu processo, a Mineração Caraíba, em 1995, passou a ter grande interação com os funcionários, promovendo constantemente reuniões com assuntos como planejamento estratégico, análise de custos, análise de relatórios de auditorias internas e externas, entre outros temas. Estas discussões têm papel importante no compartilhamento de conhecimentos tácitos na empresa. Pode-se dizer que, antes da privatização, este mecanismo de aprendizagem era muito pouco usado, o que levava a um menor comprometimento dos funcionários com os resultados da empresa.

7.2.2.3 FORMAÇÃO DE EQUIPES

Auditorias internas

Com o objetivo de avaliar o atendimento aos requisitos das certificações ISOs, a partir de 1999, foram adotadas auditorias internas. Estas auditorias são um importante mecanismo de socialização do saber, pois, por meio delas, os auditores compartilham seus conhecimentos com os colaboradores da empresa.

Comissões, comitês e grupos de trabalho

A Comissão Técnica de Garantia Ambiental e o Comitê de Saúde e Segurança do Trabalho foram implementados na Mineração Caraíba nos anos 1970. Têm como objetivo, respectivamente, avaliar os aspectos e impactos do processo produtivo da planta sobre o meio ambiente e a saúde e segurança de seus colaboradores.

Além desses comitês, a partir da fase de preparação para a certificação ISO 9001, em 1999, a Mineração Caraíba criou também diversos comitês e grupos de trabalho com vistas a tratar assuntos referentes à implementação das ISOs, como, por exemplo, o Comitê de 5S, o Comitê de Gestão e o Comitê de RH. Estes comitês são, para a

empresa, um importante mecanismo de compartilhamento do saber tácito entre seus colaboradores.

7.2.2.4 TREINAMENTO INTERNO

Técnicas e ferramentas da qualidade

Desde 1995, a Mineração Caraíba oferece treinamentos relacionados ao uso de técnicas e ferramentas da qualidade. Além dos treinamentos contratados externamente, a Mineração Caraíba desenvolveu e aplicou, ao longo deste período, diversos treinamentos internos, com auxílio do que chamou de “SGIMC” (Sistema de Gestão Integrado Mineração Caraíba), cuja incumbência era adaptar os conhecimentos adquiridos à realidade da empresa e repassá-los aos demais funcionários por meio de cursos, palestras, *workshops*, seminários, etc. Entre estes treinamentos, podemos citar os relativos a análise e solução de problemas em grupo, 5S, Normas Certificadoras (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001), Critérios de Excelência da FNQ, Seis Sigma e TOC.

On the job training

Para os recém-contratados e estagiários, ocorrem mensalmente, desde 1995, treinamentos nos quais são abordados temas como apresentação da empresa, gestão da qualidade, meio ambiente, direitos e deveres do colaborador, segurança básica, primeiros socorros, combate a incêndio, controle de finanças, programas sociais desenvolvidos pela empresa, reunião com a diretoria, apresentação do “fale com a empresa” e ambientação nas áreas de trabalho.

O programa de *trainees*, com duração de um ano, tem como objetivo capacitar e desenvolver profissionais de nível superior, com diferencial significativo em capacidades técnicas e humanas para atuar nas diversas áreas da empresa.

A Mineração Caraíba também realiza treinamentos de reciclagem periódica em segurança, higiene e medicina do trabalho. Pratica, também, treinamentos de segurança, de forma massificada, com pequena duração (cerca de 10 minutos), que são chamados

de Palestras de Curta Duração. Adota, ainda, treinamentos em que o supervisor revisa com os operadores os procedimentos operacionais das tarefas.

Cursos de formação básica

Em 1996, a empresa criou o Programa de Complementação Educacional, em parceria com a Secretaria de Educação do Estado da Bahia, visando à complementação dos ensinos fundamental e médio dos colaboradores. Na época, a meta da Mineração Caraíba era de que todos os colaboradores tivessem o ensino médio completo até dezembro de 2004. Para melhorar o nível de escolaridade da força de trabalho, contribuindo para sua empregabilidade e desenvolvimento de carreira, a Mineração Caraíba tem investido intensamente nessa modalidade de treinamento. O programa, em sua evolução, vem sendo referência na educação de adultos e desperta interesses dos docentes das instituições de ensino da região. Os cursos de conclusão do ensino fundamental e médio não têm ônus para as pessoas. Este projeto possibilitou a leitura de comunicados, textos, manuais, apostilas e procedimentos por parte destes funcionários. Além disso, ao entender a relevância e a pertinência do tema desses textos, o funcionário pode propor uma leitura e uma análise conjunta. Isto se constitui em um mecanismo de aquisição de saber externo, numa primeira fase, e na socialização do conhecimento, numa segunda fase.

7.2.2.5 COMUNICAÇÃO INTERNA ESTRUTURADA

Quadros de aviso, periódicos internos e intranet

Com o objetivo de reestruturar a comunicação interna na empresa, em 1995, foram implantados em todas as áreas quadros de aviso personalizados, onde são divulgadas informações de interesse da empresa e de seus colaboradores.

Em 1999, A Mineração Caraíba iniciou a publicação de seus periódicos internos. Desde então, complementarmente ao cunho informativo característico desse tipo de veículo, os periódicos também são utilizados como instrumento de formalização e transmissão de informações. Além disso, a partir de 2000, as informações passaram a ser divulgadas em página de acesso interno da central de informática denominada Intramina.

A evolução da interação da empresa com seus funcionários foi uma ferramenta de socialização de conhecimento muito importante no sentido de aumentar o comprometimento das pessoas com os resultados e acontecimentos da empresa.

Sala de Convenção

A sala de convenção da Mineração Caraíba, em 1995, passou a ter o objetivo de democratizar e possibilitar o acesso de todos os empregados aos objetivos, resultados e principais indicadores operacionais e organizacionais, bem como de fomentar a análise, discussão e a proposição de medidas corretivas ou de melhoria dos processos, com vistas a atingir as metas traçadas.

7.2.2.6 SEMINÁRIOS INTERNOS

Anualmente, desde 2000, ocorre o Seminário Anual de Melhorias Contínuas, que tem como objetivo a divulgação dos melhores projetos em cada diretoria e a promoção do intercâmbio de informações e novas ideias dentro da empresa. Iniciada em 1979, também ocorre anualmente, a Semana de Prevenção aos Acidentes de Trabalho.

7.2.2.7 PRÁTICAS DE DESENVOLVIMENTO DE CAPITAL INTELECTUAL

O departamento de recursos humanos, desde 1994, tem atuado ao longo dos anos como um agente incentivador à aquisição e manutenção de capital intelectual, na medida em que estimula os empregados à aquisição de conhecimentos externos e estabelece políticas que visam à manutenção de seus empregados na empresa num horizonte de longo prazo.

CAPÍTULO 8

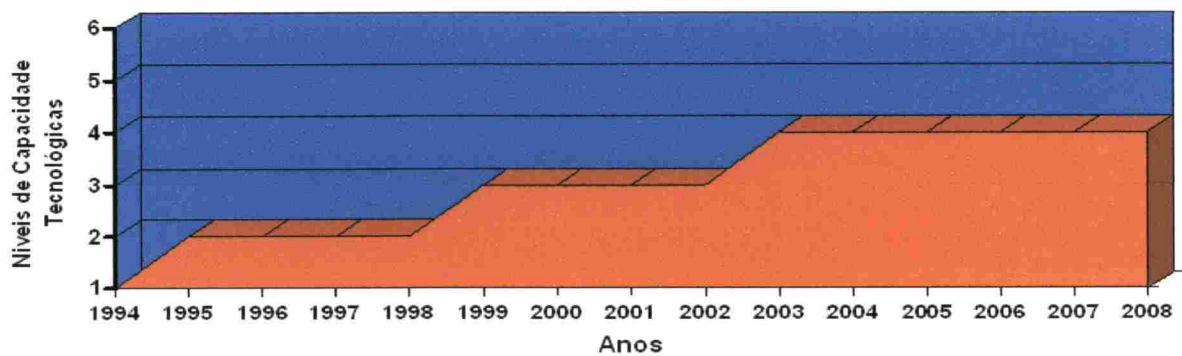
ANÁLISES E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentadas a análise e a discussão dos resultados obtidos pelas evidências descritas nos Capítulos 6 e 7, nos quais se expõem a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas e os mecanismos de aprendizagem em **processos e organização da produção** na Mineração Caraíba. Com a análise e discussão dos resultados, procura-se explicar a influência dos mecanismos de aprendizagem sobre a acumulação de capacidades tecnológicas na Mineração Caraíba. Na Seção 8.1, apresenta-se um resumo da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas em processos e organização da produção na Mineração Caraíba. Na Seção 8.2, analisam-se a relação entre os processos de aprendizagem, com base em suas características-chave (Tabela 3.3), e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas.

8.1 TRAJETÓRIA DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

A velocidade de acumulação de capacidades tecnológicas em **processos e organização da produção** foi medida pelo número de anos que a empresa levou para completar o desenvolvimento de atividades pertinentes a cada um dos níveis. A Figura 8.1 demonstra a trajetória de acumulação de capacidades da Mineração Caraíba no período em estudo.

Figura 8.1 – Níveis de capacidades tecnológicas em processos e organização da produção



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados empíricos apresentados no Capítulo 6, e de acordo com a métrica na Seção 3.2, a Tabela 8.1 demonstra o número de anos que a Mineração Caraíba levou para acumular os diferentes níveis de capacidade tecnológica em **processos e organização da produção**. O Nível 1 e Nível 2 são níveis de capacidade para atividades de rotina de produção. Do Nível 3 em diante estão os níveis de capacidade para atividades inovadoras.

Tabela 8.1 – Velocidade de acumulação de capacidades tecnológicas (1994 - 2008)

MINERAÇÃO CARAÍBA			
Nível de Capacidade Tecnológica	Período	Número de Anos que a Empresa Permaneceu em Cada Nível	Número de Anos que a Empresa levou para se mover do Nível 1 a Níveis mais altos.
[6] Fronteira internacional de inovação	Não alcançou	Não alcançou	Não alcançou
[5] Inovador avançado	Não alcançou	Não alcançou	Não alcançou
[4] Inovador intermediário	2003-2008	6	15
[3] Inovador Básico	1999-2002	4	9
[2] Avançado	1995-1998	4	5
[1] Básico	1994	1	1

Fonte: Derivado do estudo empírico

Em 1994, ano de sua privatização, a Mineração Caraíba atuava na função **processos e organização da produção**, no nível de Capacidades de Produção Básicas (Nível 1) de capacidade tecnológica, coordenando, plena e independentemente, as atividades rotineiras de produção de sua planta, integrando processos operacionais básicos de planejamento e controle da produção e de controle de qualidade em todas as suas áreas produtivas (Lavra e Beneficiamento). As ferramentas de controle nessa época são simples e a preocupação está em absorver a capacidade efetiva da planta. O planejamento e controle da produção e o controle de qualidade são voltados para a manutenção dos fluxos básicos da produção e para o controle de qualidade intermitente e baseado em inspeções visuais.

Um ano depois da privatização da Mineração Caraíba, em 1995, implantaram-se programas de gestão pela qualidade que trouxeram um redirecionamento na forma de pensar e agir em relação aos processos de trabalho, sedimentando de forma crescente os preceitos da melhoria e de agregação de valor aos serviços e produtos. A Gestão pela Qualidade Total foi imprescindível para impulsionar e sustentar uma mudança cultural necessária, sendo base do modelo de gestão adotado. No ano de 1996 foi adotado um novo método de lavra, VRM (Vertical Retreat Mining), pioneiro no Brasil, e introduzida a tecnologia de Paste Fill, que permitiram a continuidade das operações até hoje. Nesse período empresa já demonstra estabilização e maior coordenação dos processos das áreas de produção. Em 1997, a empresa deu início a alguns programas de aprimoramento dos processos. Foi implantado o Programa de Gerenciamento pelas Diretrizes, que visa à melhoria de organizações em todos os níveis da estrutura organizacional. Tiveram início, também, o Programa de Sugestões para detectar possíveis falhas da gestão e o Programa de Círculos de Controle da Qualidade (CCQ), que forma grupos para discutir ideias com o objetivo de melhorar os processos, levando a empresa a desempenhar atividades no nível de Capacidades de Produção Avançadas (Nível 2) em processos e organização da produção, ainda que de maneira incompleta, já que a Mineração Caraíba não possuía certificados internacionais.

A partir de 1999, a Mineração Caraíba estava capacitada a fazer pequenas adaptações e intervenções em processos, com o objetivo de eliminar gargalos e a expansão

esporádica da capacidade, levando a empresa a desempenhar atividades do nível de Capacidades Inovadoras Básicas (Nível 3) de capacidade tecnológica em processos e organização da produção. A empresa já faz diversas pequenas adaptações no processo de produção, como, por exemplo, o projeto criado por funcionários da empresa para desviar o minério – que transbordava e ia direto para a caixa de rejeito – para as bombas de polpa, que o levam de volta ao circuito. Outro exemplo é a inclusão da célula de flotação Flash no processo de concentração do cobre.

A certificação ISO 9001, no ano de 2000, tornou os resultados dos processos mais previsíveis, trouxe diminuição dos custos e consequente aumento da produtividade, resultando em maior rentabilidade.

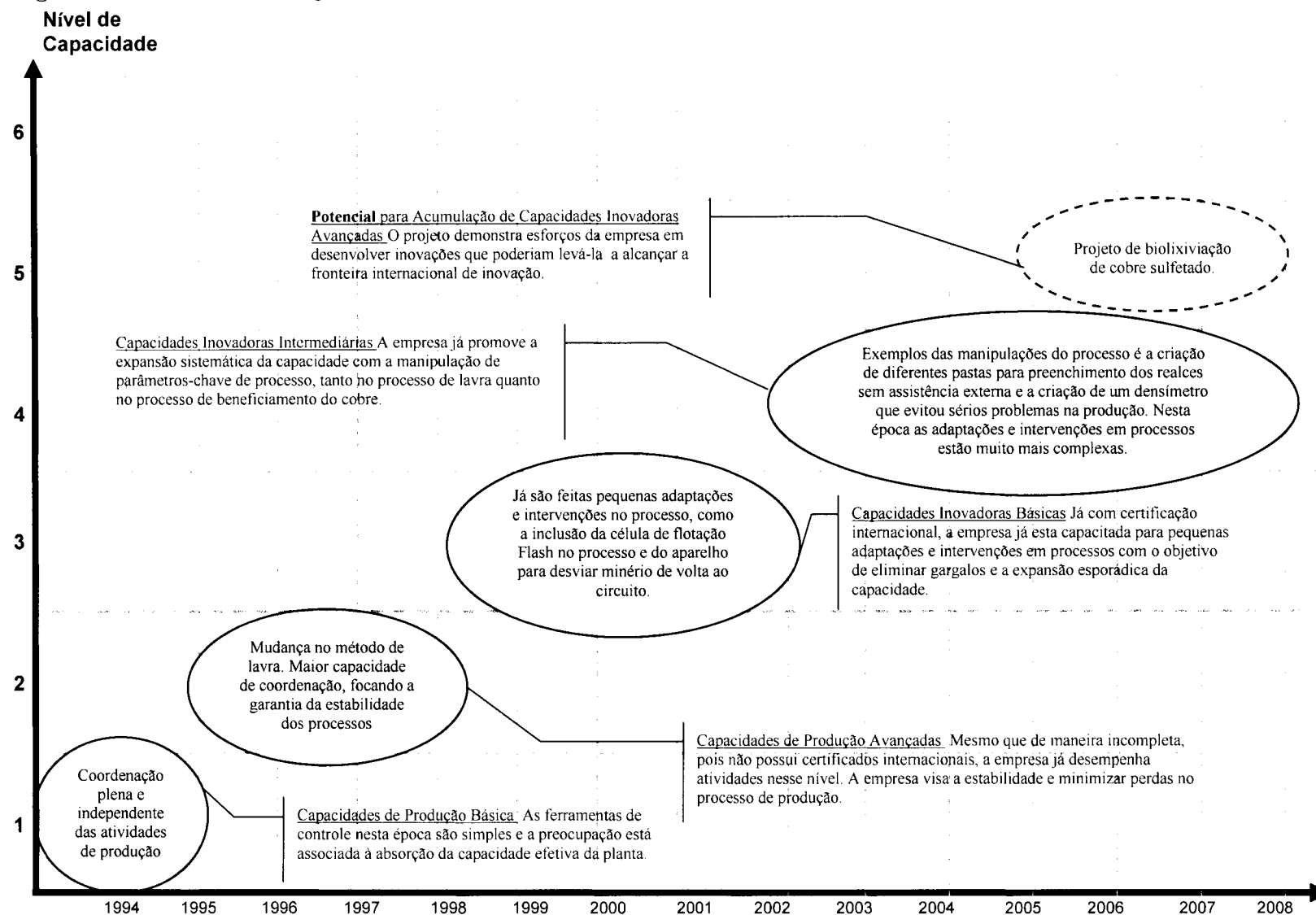
No ano de 2003, a empresa passa a desempenhar atividades do nível de Capacidades Inovadoras Intermediária (Nível 4) de capacidade tecnológica em processos e organização da produção, promovendo expansão sistemática da capacidade com a manipulação de parâmetros-chave do processo. O bom funcionamento e o contínuo uso dos mecanismos de aprendizagem ao longo do tempo não só resultaram em um aumento no número de inovações incrementais na empresa, como também em um aumento na complexibilidade destas inovações. Um exemplo é a fabricação, pela empresa, de um equipamento de densímetro que atendesse as características do minério da Mineração Caraíba. Isso porque os densímetros comprados no mercado estavam causando obstrução de tubulação do bombeamento de polpa, sobrecarga nos equipamentos e desgaste dos revestimentos das bombas de polpa. Existe plano para que este equipamento seja patenteado. Nesse período, já foram feitos estudos no laboratório da empresa com o objetivo de criar novas pastas para preencher os realces (Paste Fill) na mina subterrânea, em parceria com universidades para certificação de seus resultados. Vale lembrar que, em 1995, a empresa era totalmente dependente de assistência técnica para esta tecnologia, e nesse período a empresa já manipula de forma independente a planta de Paste Fill. Ainda nesse período, a Mineração Caraíba iniciou o processo para adquirir o certificado OHSAS 18001 e ISO 14001. A empresa implantou e integrou todo o seu sistema de acordo com as normas e chegou a fazer uma pré-auditoria para adquirir

as certificações. No entanto, a auditoria constatou que algumas questões impediriam a certificação das normas.

Em 2004, visando ao melhoramento contínuo do processo produtivo, foi implantado o Programa TOC, baseado na Teoria das Restrições, e o Programa de Seis Sigma, tendo por objetivo aumentar a lucratividade da empresa com a melhoria da qualidade de produto ou processo, buscando reduzir a variabilidade para ‘zero defeito’ ou ‘zero falha’. O funcionamento destes dois programas foi tão bom, que a empresa calculou um ganho de US\$10 milhões até 2008.

Em 2005, a empresa contratou diversos profissionais com longa experiência na indústria de mineração, oriundos de diversas empresas do setor, com experiência em diferentes tipos de minérios, para gerenciar seus vários projetos de expansão, e consolidar-se como empresa polimetálica. Nesse período, a Mineração Caraíba começa a demonstrar seu potencial para desempenhar atividades do nível de Capacidades Inovadoras Avançadas (Nível 5) ao tentar alcançar a fronteira internacional de inovação com seu projeto de biolixiviação mineral. A Mineração Caraíba vem desenvolvendo, desde 2005, estudos e testes para processamento de minério e concentrado de cobre pela via bio-hidrometalúrgica, com o objetivo de implementar uma tecnologia inovadora e pioneira no Brasil: a biolixiviação de concentrados de cobre sulfetado em pilhas.

Figura 8.2 – Resumo da trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas na Mineração Caraíba durante o período de 1994 a 2008



Fonte: Derivado do estudo empírico

A Figura 8.2 acima apresenta a estrutura dos tipos e níveis de capacidade tecnológica adaptada de Figueiredo (2003), que norteou as evidências empíricas examinadas no Capítulo 6, ao longo do período de 1994-2008. Contribuiu para identificar, na função de **processos e organização da produção** da empresa, as capacidades necessárias, com base nos mecanismos de aprendizagem, para assistir a empresa na trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas.

8.2 O PAPEL DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM NA CONSTRUÇÃO DE CAPACIDADES

Nesta seção, analisa-se a influência dos processos de aprendizagem sobre a acumulação de capacidades tecnológicas na Mineração Caraíba, na função de **processos e organização da produção**. Para a elaboração desta análise, foram usadas as estruturas conceituais apresentadas no Capítulo 3, Subseção 3.2.1, e na Tabela 3.2. Serão consideradas, nesta seção, as evidências empíricas descritas no Capítulo 7 que abordam os mecanismos de aprendizagem e as características-chave, em termos de variedade, intensidade e funcionamento.

8.2.1. VARIEDADE DE MECANISMOS DE APRENDIZAGEM

Para a análise da variedade, serão considerados tanto os processos de aquisição de conhecimento externo e interno, como os mecanismos de conversão do conhecimento por socialização e codificação. Conforme demonstrado na Tabela 3.2, a variedade pode apresentar quatro níveis de acordo com o número de mecanismos de aprendizagem envolvidos no período considerado: ausente, limitada, moderada ou diversa.

Tabela 8.2 – Variedade dos mecanismos de aprendizagem

Mecanismos de Aprendizagem	Períodos da Trajetória da Empresa			
	Níveis 1 1994	Níveis 2 1995- 1998	Níveis 3 1999-2002	Níveis 4 2003 - 2008
Processos de aquisição de conhecimento				
Aquisição de conhecimento externo	Limitada (2)	Diversas (6)	Diversas (7)	Diversas (8)
Aquisição de conhecimento interno	Moderada(4)	Diversas (6)	Diversas (6)	Diversas (6)
Mecanismos de conversão de conhecimento				
Socialização do conhecimento	Limitada (3)	Diversas (7)	Diversas (9)	Diversas (9)
Codificação do conhecimento	Diversas (6)	Diversas (7)	Diversas (8)	Diversas (8)
Total de Mecanismos	15	26	30	31

Fonte: Derivado do estudo empírico

Em 1994, enquanto a empresa atuava em nível de Capacidades de Produção Básicas (Nível 1), os mecanismos de aquisição de conhecimento externo apresentam uma variedade limitada, mas, a partir de 1995, já passa a apresentar diversos processos.

Em 1994, as atividades voltadas para a aquisição de conhecimentos externos estiveram concentradas em dois mecanismos. Em virtude das limitações existentes nesse período, o nível dos conhecimentos adquiridos externamente era suficiente apenas para coordenar as atividades rotineiras de produção da planta e integrar os processos operacionais básicos de planejamento e controle da produção. Apesar do resultado limitado em 1994, no período seguinte, em 1995, os mecanismos de aquisição de conhecimentos externos empregados triplicaram, apresentando variedades diversas e passando para seis o número de processos. A busca da Mineração por novos mecanismos de aprendizagem contribuíram para que novas capacidades fossem acumuladas na função de processos e organização da produção.

As limitadas atividades que a empresa tinha, em 1994, foram mantidas, e os novos mecanismos foram adquiridos no período seguinte, como a participação da empresa em congressos e seminários, investimentos em infraestrutura educacional, visitas técnicas a outras empresas do setor de mineração, acordos de transferência de tecnologia e contratos de assessoria e consultoria. Esses mecanismos foram fundamentais para a construção e acumulação das próprias capacidades tecnológicas da empresa, e a auxiliaram a subir de nível de capacidade.

A partir de 1995, contratou-se uma consultoria para a aplicação de programas relacionados à gestão pela qualidade. Isso trouxe para a empresa um redirecionamento na forma de pensar e agir em relação aos processos de trabalho, sedimentando de forma crescente os preceitos de melhoria e de agregação de valor aos serviços e produtos. Esses fatos mostram que os processos de aquisição de conhecimentos externos foram fortemente usados para acumulação de capacidades tecnológicas na Mineração Caraíba.

A partir de 1999, quando já desempenhava atividades do nível de Capacidades Inovadoras Básicas de Nível 3, a empresa submeteu seus processos organizacionais e operacionais a contínuas auditorias externas que se intensificaram para auxiliar a obtenção e manutenção das certificações ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001. Adotou, também, diversos treinamentos externos, principalmente na área de segurança. Durante o ano de 2002 e 2005, a Mineração Caraíba contratou, de outras empresas, profissionais com ampla experiência no setor de mineração, em diferentes funções, como especialistas, engenheiros, técnicos e operadores, acumulando estoque de conhecimento – consequentemente, capacidades tecnológicas.

Os mecanismos de aquisição de conhecimento interno apresentaram, no primeiro ano da análise, uma variedade moderada. Mas, a partir do ano seguinte, a empresa aumenta o número de mecanismos, passando a empregar diversos processos que funcionam como forma de transferir conhecimentos tácitos e explícitos, adquiridos externamente, do nível individual para o organizacional (NONAKA; TAKEUCHI, 1997). Além do treinamento dos funcionários em virtude da nova tecnologia adquirida – Vertical Retreat Mining e Paste Fill –, foi criado, em 1996, o Programa de Complementação Educacional, em parceria com a Secretaria de Educação do Estado da Bahia, visando à complementação dos ensinos fundamental e médio de todos os empregados – fundamental para desenvolver as habilidades dos funcionários da empresa. A formação de equipes para a solução de problemas, a formação de grupos de Círculo de Controle da Qualidade e os mais variados tipos de cursos ministrados internamente permitiram que, por meio de esforços para a acumulação incremental de capacitação própria, novas capacidades fossem acumuladas na função de **processos e organização da produção** ao longo dos anos na Mineração Caraíba.

A socialização do conhecimento apresentou uma limitada variedade de processos no ano de 1994, e passou para diversas a partir de 1995, permanecendo assim até o ano de 2008. O ‘salto’ na variedade de processos de socialização ocorreu quando a empresa tomou uma série de ações ao notar que havia pouco comprometimento dos funcionários com melhorias nos processos da Mineração Caraíba. Assim, a empresa deu início à divulgação de seu desempenho a todos os funcionários, a programas de melhorias no processo, treinamento no posto de trabalho para operadores, auditorias de processo e promoção de atividades coletivas que estimulam o contato direto entre engenheiros, técnicos e operadores. Proporcionou, assim, a difusão do conhecimento tácito das pessoas e também o desenvolvimento de novas maneiras informais de troca de conhecimento. Estes mecanismos de conversão do conhecimento constituem ótimas oportunidades de transferência de conhecimento do nível individual para o organizacional. E o aumento em sua variedade ajuda a empresa a acumular novas capacidades tecnológicas.

O número de mecanismos de codificação mostra que, à época da privatização, em 1994, já havia, na empresa, preocupação em formalizar e tornar explícitos os conhecimentos incorporados pelas pessoas por intermédio das mais diferentes fontes (aquisição de conhecimento externo e interno). É possível dizer que, pelo fato de a empresa ter sido estatal e altamente burocrática, atividades como padronização de processos, confecção de relatórios técnicos, utilização de manuais de equipamentos sempre estiveram presentes. A evolução percebida nos períodos seguintes está associada, em grande parte, ao Sistema de Gestão da Qualidade Total e às auditorias em virtude das certificações internacionais. O aumento na complexidade dos processos exigiu que a documentação de procedimentos e o registro de atividades voltadas para o aperfeiçoamento das funções tecnológicas da empresa fossem aprimorados de forma a funcionar como um banco de dados de conhecimentos, disponível para consulta, quando pertinente aos funcionários.

8.2.2. INTENSIDADE DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM

Para analisar a intensidade dos mecanismos de aprendizagem, usou-se o critério estabelecido na Subseção 3.2.1, segundo o qual a intensidade dos mecanismos de aprendizagem pode ser caracterizada como: “uma vez”, “intermitente” ou “contínua”.

Como pode ser observado na Tabela 8.3, a intensidade dos mecanismos de aprendizagem em todos os processos de aquisição de conhecimento e processos de conversão foi contínua. A pesquisa demonstrou que a empresa manteve seus principais mecanismos de aprendizagem de forma contínua e, conforme a seção anterior, sempre à procura de novas fontes de conhecimentos para auxiliar o desenvolvimento de capacidades tecnológicas.

Tabela 8.3 – Intensidade dos processos de aprendizagem

Mecanismos de Aprendizagem	Períodos da trajetória da Empresa			
	Níveis 1 1994	Níveis 2 1995- 1998	Níveis 3 1999-2002	Níveis 4 2003 - 2008
Processos de aquisição de conhecimento				
Aquisição de conhecimento externo	Contínua	Contínua	Contínua	Contínua
Aquisição de conhecimento interno	Contínua	Contínua	Contínua	Contínua
Mecanismos de conversão de conhecimento				
Socialização do conhecimento	Contínua	Contínua	Contínua	Contínua
Codificação do conhecimento	Contínua	Contínua	Contínua	Contínua

Fonte: Derivado do estudo empírico

As ações direcionadas a aquisição e conversão de conhecimentos foram perenes e se mantiveram ativas ao longo dos anos. Esses mecanismos de aprendizagem são ligados a ações gerenciais, implantadas como rotinas na busca de melhores resultados operacionais e de introdução de inovações incrementais nos processos da empresa. É normal que algumas atividades voltadas para a ampliação da capacitação técnica dos funcionários tenham uma duração limitada e objetivo específico, como, por exemplo, visitas técnicas, importação de *expertise*, assistências técnicas externas e alguns cursos ou treinamentos específicos.

8.2.3. FUNCIONAMENTO DOS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM

O resultado do funcionamento dos mecanismos de aprendizagem na Mineração Caraíba, apresentados na Tabela 8.4, foi analisado conforme os critérios estabelecidos na Seção 3.2.1. Os resultados correspondentes a cada período variaram de ruim a moderado, bom ou excelente.

Mecanismos de Aprendizagem	Períodos da Trajetória da Empresa			
	Níveis 1 1994	Níveis 2 1995- 1998	Níveis 3 1999-2002	Níveis 4 2003 - 2008
Processos de aquisição de conhecimento				
Aquisição de conhecimento externo	Ruim	Moderado	Bom	Bom
Aquisição de conhecimento interno	Ruim	Moderado	Bom	Bom
Mecanismos de conversão de conhecimento				
Socialização do conhecimento	Ruim	Moderado	Moderado	Moderado
Codificação do conhecimento	Bom	Bom	Bom	Bom

Fonte: Derivado do estudo empírico

Observa-se que o funcionamento dos mecanismos de aquisição de conhecimento externo e interno nos **processos e organização da produção** na Mineração Caraíba evoluiu de ruim, em 1994, a moderado, no período de 1995 até 1998, e passou a bom a partir de 1999.

No ano de 1994, quando a empresa desempenhava atividades de nível de Capacidades de Produção Básicas (Nível 1), o funcionamento dos mecanismos de aquisição de conhecimento externo e interno era ruim. Esse conceito justifica-se porque, antes de a empresa ser privatizada, pouco esforço vinha sendo feito no sentido de adquirir novos conhecimentos por parte dos controladores antigos. Já os novos controladores, durante este período, ainda estavam elaborando as estratégias para a empresa. No período de 1995 a 1999, a empresa passou por uma fase de forte adaptação, pois triplicou as aquisições de conhecimento externo e aumentou em 50% aquisições de conhecimento

interno, o que impediu que os mecanismos funcionassem de maneira melhor. A partir de 1999 já se vê um bom funcionamento dos mecanismos após sua adaptação e internalização na empresa.

Em relação à conversão do conhecimento, o funcionamento foi ruim para a socialização do saber no período de 1994. Essa constatação sugere que boa parte dos conhecimentos adquiridos com os mecanismos de aprendizagem existentes se mantiveram no nível individual. Em compensação, neste período, o funcionamento da codificação de conhecimento já era bom: muitos procedimentos eram documentados, criavam-se manuais que apoiavam e embasavam a experiência dos profissionais contratados pela empresa. Isso ajudou bastante os novos controladores a dar continuidade aos processos que já havia na empresa.

No período de 1995 até 1998, enquanto a empresa já desempenhava atividades do nível de Capacidades de Produção Avançadas (Nível 2), pode-se observar uma melhora na aquisição de conhecimento (externo e interno) e na socialização deste, mostrando que houve esforços significativos no sentido de adquirir novos conhecimentos e socializá-los. Estes esforços visavam principalmente ao aumento da capacitação técnica dos funcionários como forma de prepará-los para o investimento nas novas tecnologias de lavra de mineração – Vertical Retreat Mining e Paste Fill –, bem como para a introdução de novas técnicas de gestão.

A partir de 1999, a aquisição de conhecimento (externo e interno) da empresa passa a ter funcionamento bom, as práticas voltadas para a difusão destes conhecimentos do nível individual para o organizacional encontravam-se igualmente boas e a codificação do conhecimento excelente. Estas evidências sugerem que os mecanismos usados para converter os conhecimentos adquiridos externa e internamente foram eficientes e que novas capacidades foram acumuladas pela Mineração Caraíba. A associação entre a melhoria nas práticas voltadas para conversão de conhecimentos e o investimento em novas tecnologias permitiram que novas capacidades fossem acumuladas. Nesse período, a empresa submeteu seus processos organizacionais e operacionais a contínuas auditorias externas que se intensificaram para auxiliar a obtenção das certificações ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001. A empresa teve também que rever sua

documentação gerencial e de processos, para se adaptar a padrões de trabalho de acordo com as exigências das certificações. Com a criação de equipes para este fim, foram revistos e criados procedimentos, manuais, registros e normas. Estas ações configuram-se um significativo meio de aquisição e socialização de conhecimento, mostrando que a existência de processos de aquisição de conhecimentos internos e externos foi fortemente usada para a acumulação de capacidades tecnológicas nos **processos e organização da produção** da Mineração Caraíba.

Ao longo dos outros períodos nos quais a empresa chegou a desempenhar atividades do nível de Capacidades Inovadoras Intermediárias (Nível 4), a ampliação na variedade e o aumento na intensidade dos processos de aprendizagem contribuíram para que o funcionamento dos processos também melhorasse. A necessidade de integrar os conhecimentos existentes com novos conhecimentos também contribuiu para a melhora do funcionamento ao longo do tempo. A concentração em atividades externas e internas voltadas para a solução de problemas específicos dos **processos e organização da produção** tornaram os processos de aprendizagem mais efetivos. A conversão de conhecimentos também foi importante para ampliar o número de mecanismos voltados para a melhoria da capacidade organizacional. A criação de novas formas de socialização de conhecimentos e o forte trabalho para a documentação de trabalhos e atividades de interesse coletivo permitiram que o funcionamento dos processos de aprendizagem apresentasse melhorias, implicando acumulação de novas capacidades tecnológicas.

As descrições feitas para a característica-chave do funcionamento dos processos de aprendizagem na Mineração Caraíba mostram que houve uma grande evolução nos mecanismos de conversão do conhecimento e principalmente na aquisição de novos conhecimentos, que se encontravam em um estágio ruim no primeiro período, evoluindo para bom durante a trajetória de acumulação de capacidades. Os resultados empíricos confirmam a importância do funcionamento da aquisição de novos conhecimentos e da conversão destes para a empresa. A relação encontrada entre o funcionamento dos mecanismos de aprendizagem e a acumulação de capacidades tecnológicas na Mineração Caraíba confirma as perspectivas de Nonaka e Takeuchi (1997), no que diz

respeito a conhecimentos na organização, e de Leonard-Barton (1998), no tocante à transferência de aptidões estratégicas.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÃO

Nesta dissertação, analisou-se, em um estudo de caso, o relacionamento entre os mecanismos de aprendizagem e a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas em **processos e organização de produção** na empresa mineradora de cobre Mineração Caraíba. Procurou-se identificar, por meio de evidências empíricas, os elementos que contribuem para o desenvolvimento destas capacidades por estes mecanismos. Para examinar estes relacionamentos, utilizou-se a estrutura analítica baseada em pesquisas realizadas por Figueiredo (2003).

Este capítulo está dividido em quatro seções que concluem esta dissertação. Na Seção 9.1, reapresentam-se as questões da dissertação. Nas Seções 9.2 e 9.3, revisam-se as questões. Na Seção 9.4, examinam-se as principais contribuições desta pesquisa para **processos e organização de produção** em empresas de mineração de cobre e empresas baseadas em recursos naturais. Na Seção 9.5, sugerem-se alguns temas para futuras pesquisas.

9.1 QUESTÕES DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi estruturada para responder as seguintes questões.

- Como evoluiu a trajetória de acumulação de capacidades tecnológicas de **produção** e de **inovação**, para as atividades de **processo e organização da produção** da Mineração Caraíba, durante o período de 1994 a 2008?
- Até que ponto os processos subjacentes de aprendizagem influenciaram a trajetória de acumulação dessas capacidades tecnológicas durante o período examinado?

9.2 TRAJETÓRIA DE ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS

De acordo com as evidências apresentadas no Capítulo 6, e utilizando-se as métricas apresentadas no Capítulo 3, descreveu-se a trajetória, na Mineração Caraíba, de acumulação de capacidades tecnológicas para a função **processos e organização da produção**.

Os resultados obtidos sugerem que a acumulação de capacidades variou de um nível elementar até níveis mais avançados, migrando de uma situação em que as atividades eram de produção, para outra, voltada para atividades inovadoras.

Em 1994, ano em que a empresa foi privatizada e primeiro ano de cobertura do estudo, evidenciou-se uma limitada preocupação em buscar mecanismos de aprendizagem, visto que a empresa parecia estar pouco engajada em aperfeiçoar os **processos e a organização da produção**. Nos anos seguintes, os novos controladores, com auxílio de assistência externa, trouxeram à empresa um redirecionamento na forma de pensar e agir em relação aos **processos e organização da produção**. Como resultado, construíram-se e acumularam-se as capacidades de Nível 1 (básico) e Nível 2 (avançado), ou seja, complementaram-se as capacidades para a realização de atividades rotineiras de produção.

A partir do ano de 1999, os mecanismos de aprendizagem foram utilizados sistematicamente, de forma coordenada e contínua na empresa. As evidências mostraram que, a partir desse período, a Mineração Caraíba passou a utilizar técnicas organizacionais avançadas e se capacitou para efetuar pequenas adaptações e intervenções nos processos, com o objetivo de eliminar gargalos e fazer a expansão esporádica da capacidade, levando a empresa a desempenhar atividades que lhe permitiram a construção e a acumulação de capacidades de Nível 3 (inovador básico).

Em 2003, a empresa iniciou a expansão sistemática da capacidade com a manipulação de parâmetros-chave de processo, permitindo a construção e acumulação de capacidades de Nível 4 (inovador intermediário). Nesse período, as características dos mecanismos de aprendizagem melhoraram sensivelmente. Baseada numa sólida infraestrutura de aprendizagem e pesquisa, em 2005, a empresa envolveu-se com o projeto de biolixiviação de cobre sulfetado, em parceria com outras instituições, ganhando potencial para atingir o Nível 5 (inovador avançado) de capacidades tecnológicas em **processos e organização da produção**. O exame das evidências coletadas para este estudo aponta na direção de que os mecanismos de aprendizagem permitem à empresa construir e acumular capacidades tecnológicas ao longo dos anos (BELL, 1984; HOBDAV, 1995; KIM, 1995, 1997; ARIFFIN; BELL, 1996; DUTRÉNIT, 2000; FIGUEIREDO, 2003).

9.3 IMPLICAÇÕES DOS PROCESSOS SUBJACENTES PARA A ACUMULAÇÃO DE CAPACIDADES

Os vários processos e mecanismos de aprendizagem tiveram um papel crucial na acumulação desse nível de capacidade inovadora. Especificamente a progressiva incidência e a maneira como os mecanismos de aprendizagem foram criados e geridos na empresa contribuíram decisivamente para criar uma base de conhecimento que permitiu à empresa desenvolver capacidades tanto para atividades de produção, como para atividades de inovação. Não obstante, as evidências também sugerem que estes mesmos tipos de mecanismo não foram suficientes para que a empresa acumulasse capacidades além do nível alcançado. Ou seja, o alcance de níveis mais sofisticados de inovação implica a adoção de mecanismos mais complexos de aprendizagem. Naturalmente, outros fatores, como o comportamento da liderança empresarial, também contribuíram para o acúmulo dessas capacidades, embora esse ponto tenha sido examinado aqui de maneira superficial.

Durante o período examinado, a Mineração Caraíba demonstrou uma atitude ativa na construção e acumulação de suas capacidades tecnológicas inovadoras em **processos e organização da produção**. Pode-se concluir que os mecanismos de aprendizagem

usados pela empresa influenciaram diretamente sobre a construção (e sustentação) de capacidades tecnológicas na função analisada.

Embora nos primeiros anos analisados a empresa precisasse de assistência externa para iniciar a acumulação, adquirindo conhecimento externo, fica claro que houve empenho no sentido de construir e acumular suas próprias capacidades tecnológicas em **processos e organização da produção**, se engajando rapidamente num processo cíclico de mecanismos de aprendizagem internos e externos, para assimilar e aperfeiçoar essa aquisição externa de conhecimento. Também se constatou que os mecanismos de aprendizagem, à luz de suas características-chave, intencionalidade, intensidade e funcionamento, melhoraram substancialmente ao longo do tempo.

Para a empresa acumular os níveis de capacidades inovadoras, foi necessária uma gestão intencional, intensa e coordenada de vários mecanismos de aprendizagem. A Mineração Caraíba resolveu a deficiência de seus recursos internos mediante recursos externos e usou de habilidade para criar uma base organizacional com o propósito de facilitar a internalização destes recursos, alinhando-se com o que já foi apontado por outros estudos sobre a construção e acumulação de capacidades de firmas em países emergentes (cf. KIM, 1997, 1998; DUTRÉNIT, 2000; ARIFFIN, 2000; FIGUEIREDO, 2003).

Pode-se dizer que a empresa acumulou competências tecnológicas inovadoras porque sempre procurou ampliar a variedade de processos de aquisição de conhecimentos e de mecanismos de conversão, buscando novas fontes de conhecimentos necessárias ao aprimoramento da capacitação técnica individual e coletiva. A Mineração Caraíba sempre manteve intensos esforços para adquirir e converter conhecimentos e gerenciar o funcionamento dos processos de aprendizagem de forma a ampliar e sustentar competências. Essas conclusões confirmam a necessidade de estas características-chave evoluírem em conjunto para que a empresa possa ampliar sua capacitação tecnológica (FIGUEIREDO, 2003).

9.4 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO

Esses resultados contribuem para avançar nosso entendimento sobre as dificuldades e complexidades envolvidas no processo de acumulação de capacidades inovadoras em empresas de economias emergentes. O estudo contribui no sentido de mostrar que se empresas dessa natureza objetivam acumular níveis inovadores de capacidade tecnológica e, com isso, obter melhor *performance* competitiva, terão que desenhar estratégias robustas de aprendizagem. O estudo joga luz no entendimento sobre o processo de inovação em empresas em indústrias à base de processamento de recursos naturais, setores estes de grande importância para países ricos em recursos naturais como o Brasil.

Segundo a revisão da literatura, são poucos os estudos que, no contexto de países em desenvolvimento, analisam em profundidade a relação entre a acumulação de capacidades tecnológicas e os mecanismos de aprendizagem subjacentes em indústrias fortemente baseadas em processo (e não no produto), e mais escassos os estudos sobre a indústria de mineração em si. Visto que o Brasil é um dos países líderes na produção de minério, estudos deste tipo têm a contribuir para a compreensão de estratégias que possam levar a um aumento da capacidade tecnológica de empresas atuando nesta e para esta indústria.

As indústrias baseadas em recursos naturais estão se transformando em um setor de alta tecnologia, rápido crescimento e de investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias e em capital humano. Este processo envolve um constante melhoramento tecnológico das atividades baseadas em recursos naturais, e também, gradualmente, do molde da produção pela inovação contínua de produtos, processos e atividades auxiliares, em particular com o propósito de criar nichos com valor cada vez mais agregado para esta indústria.

Contrariamente a Cimoli e Katz (2003), esta dissertação demonstrou com evidência empírica que empresas de indústrias baseadas em recursos naturais não são meras produtoras de *commodities* e não estão estagnadas tecnologicamente. Desse modo, não se concorda, aqui, com a forma como outros estudos julgam a indústria baseada em

recursos naturais: mera produtora de *commodities*, setor ‘maduro’ e com pouca relação com atividades tecnológicas inovadoras. Em vez disso, defende-se, neste estudo, que as inovações tecnológicas estão bem presentes em empresas baseadas em recursos naturais e principalmente em empresas de mineração.

Em resumo, as principais sugestões e contribuições, para gestores de empresas de mineração, que podem ser extraídas desta dissertação são:

- os dados de taxa (velocidade) apresentados nesta pesquisa permitem que os gestores tenham um exemplo empírico do tempo necessário para a acumulação de capacidades tecnológicas na função de **processos e organização da produção**. O que pode ajudá-los a estabelecer prazos e expectativas de acordo com sua estratégia corporativa;
- para sustentar os atuais níveis de capacidades tecnológicas da empresa, um gestor deve criar, incentivar e gerenciar as fontes de capacidades tecnológicas;
- além da variedade de mecanismos de aprendizagem, é importante gerenciar a intensidade com que estes são utilizados e principalmente garantir o seu funcionamento.

9.5 SUGESTÕES PARA DISSERTAÇÕES FUTURAS

Com base nesta dissertação, podem ser sugeridos alguns estudos futuros sobre acumulação de capacidades tecnológicas.

- Aprofundar o estudo realizado para examinar as implicações da acumulação de capacidades tecnológicas na *performance* operacional e econômico-financeira da empresa.
- Apesar de este estudo concentrar-se na função de **processos e organização da produção**, notou-se a importância da integração de capacidades de outras funções, tais como engenharia, gestão de projetos, equipamentos, entre outras.
- Aprofundar o estudo realizado buscando analisar fatores organizacionais no ambiente externo das firmas.
- Realizar estudo envolvendo duas ou mais empresas na indústria de mineração. O resultado seria uma análise comparativa das diferenças entre as trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas de diferentes empresas do mesmo setor.
- Realizar outros estudos comparativos buscando analisar as diferenças no relacionamento entre mecanismos de aprendizagem e a acumulação de capacidades tecnológicas em empresas fortemente baseadas no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMSDEN, A.; CHU, W. **Beyond Late Development**. MIT Press, 2003.

ARIFFIN, N.; BELL, M. Patterns of subsidiary-parent linkages and technological capability building in Electronics TNC subsidiaries in Malaysia. In: JOMO, K.S.; FELKER, GH. (Eds.). **Industrial Technology development in Malasia**. Routledge, 1996.

ASSUMPÇÃO, J. **Gestão de capacidades e desempenho: Evidências de uma amostra de organizações do terceiro setor no Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Gestão Empresarial), EBAPE, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2005.

BARNETT, H.J. Scarcity and growth revisited. In: SMITH, V.K. (Ed.). **Scarcity and Growth Reconsidered**. Johns Hopkins Press for Resources for the Future, Baltimore, 1979.

_____; MORSE, C. **Scarcity and Growth**. Baltimore: Johns Hopkins Press for Resources for the Future, 1963.

BELL, M. **Learning and The Accumulation of Industrial Technological Capacity in Developing Countries, Technological Capability in The Third World**. M. Fransman and K.King. London: Mac Millan Press, 1984.

_____; FIGUEIREDO, P.N. **Enterprise learning and innovative capability building in emerging economies: Current understanding and outstanding issue**. 1998.

_____; PAVITT, K. The Development of Technological Capabilities. In: UL HAQUE, I.; BELL, M.; DAHLMAN, C; LALL, S.; PAVITT, K. **Trade, Technology and International Competitiveness**. Washington, DC: The World Bank, p. 69-101, 1995.

BNDES, Indústria do Cobre, Setores Minero-Metalúrgico e Siderúrgico, 1997.

BRUNNSCHWEILER, C. Cursing the Blessings? Natural Resource Abundance, Institutions, and Economic Growth. **World Development**, v., 36(3), p. 399-419, 2008.

CIMOLI, M.; DI MAIO, M. **Technological Gaps, De-Industrialization and Catching-Up: Is the Chilean Case a Paradox?** CESPRI Working Papers 131, CESPRI, Centre for Research on Innovation and Internationalization, Università Bocconi, Milano, Italy, 2002.

_____ ; KATZ, J. (2003), Structural reforms, technological gaps and economic development: a Latin American perspective. **Industrial and Corporate Change**, Oxford University Press, v. 12(2), p. 387-411, 2003.

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Absorptive Capacity: a New Perspective on Learning and Innovation. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n. 1, p. 128-152, 1990.

DOSI, G. The nature of the innovative process. In: DOSI, G.; FREEMAN, R.; NELSON; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Eds.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter Publishers, 1988.

DRY, R.J.; BATTERHAM, R.J.; BATES, C.P.; PRICE, D.P. **Direct smelting: why have so few made it?** AATSE Focus July/Aug., p. 8-17, 2002.

DUTRÉNIT, G. **Learning and Knowledge Management in the Firm: from Knowledge Accumulation to Strategic Capabilities**. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing, 2000.

ERNST, D.; KIM, L. Global Production Networks, Knowledge Diffusion, and Local Capability Formation. **Research Policy**, v. 31, 2002.

FIGUEIREDO, P. N. **Technological capability-accumulation paths and the underlying learning processes in the latecomer context: a comparative analysis of two large steel companies in Brazil**. D. Phil. Thesis, SPRU, University of Sussex, 1999.

_____. **Technological Learning and Competitive Performance**. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing, 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**, 3 (2) jul./dez., p. 323-362, 2004.

_____. **Pesquisa empírica sobre aprendizagem tecnológica e inovação industrial: alguns aspectos práticos de desenho e implementação**. In: FALCÃO, M.M.V.; ZOUAIN, D.M. (Orgs.). **Pesquisa Qualitativa em Administração**. 2. ed. Capítulo 10. Editora FGV, p. 201-223, 2006.

_____. **Industrial Policy, Innovation Capability Accumulation and Discontinuities**. Paper present at the Summer Conference 2009, Copenhagen Business School, Denmark, June, 2009.

_____. Capacidade Tecnológica e Inovação em Organizações de Serviços Intensivos em Conhecimento: evidências de institutos de pesquisa em Tecnologias da

Informação e da Comunicação (TICs) no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 5, n. 2, jul./dez, 2006a.

_____. *et al.* **Acumulação de capacidades tecnológicas, inovação, estratégias de aprendizagem e performance competitiva: Evidências de empresas dos setores florestal, de celulose e de papel no Brasil (1950-2006) – perspectiva 2020.** Relatório final de pesquisa. Rio de Janeiro: EBAPE/Fundação Getulio Vargas, 2007.

GARCIA, P.; KNIGHTS, P.F.; TILTON, J.E. Labor productivity and comparative advantage in mining: The copper industry in Chile. **Resources Policy**, 27, p. 97–105, 2001.

HITZMAN, M.W. R&D in a ‘declining’ industry mining. Support for the development of revolutionary technologies? **Technol. Soc.**, 24, p. 63–68, 2002.

HOBDAY, M. **Innovation in East Asia: the Challenge to Japan.** Aldershot: Edward Elgar, 1995.

_____. **Understanding innovation in electronics in Malaysia.** In: JORNO, K.S.; FELKER, G.; RASIAH, R. (Orgs.) **Industrial technology development in Malaysia: Industry and firm studies.** UK: Routledge, 1999.

KATZ, J. **Domestic Technology Generation in LDCs: a Review of Research Findings.** In: KATZ, J. (Org.). **Technology Generation in Latin American Manufacturing Industries.** Nova York: St Martin’s Press, 1987.

KIM, L. **Crisis Construction and Organizational Learning: Capability Building in Catching-up at Hyndai Motor.** Paper present at the Hitotsubashi-Organization Science Conference, Tokio, Oct, 1995.

_____. **Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea’s Technological Learning.** Boston, MA: Harvard Business School Press, 1997.

LALL, S. **Technological Capabilities and Industrialization, in World Development**, v.20, n.2, p.165- 86, 1992.

LEE, K.; LIM C. Technological Regimes, Catching-up and Leapfrogging: the Findings from the Korean Industries. **Research Policy**, p. 459-483, 2001.

LEONARD-BARTON, D. Implementation as mutual adaptation of technology and organization. **Research Policy**, v. 17, p. 251-267, 1998.

_____. **Wellsprings of Knowledge: Building and Sustaining the Sources of Innovation.** Boston, MA: Harvard Business School Press, 1995.

_____. **Nascentes do Saber.** Criando e sustentando as fontes de inovação. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1998.

MATHEWS, J. A. National System of Economic Learning: The Case of Technology Diffusion Management in East Asia. **International Journal of Technology Management**, v. 22, n. 5-6, p. 455-479, 2001.

_____. Competitive Advantages of the Late-comer Firms: A Resources Based Account of Industrial Catch-up Strategies. **Asia Pacific Journal of Management**, v. 19, n. 4, p. 467-488, 2002.

MANSFIELD, E. *et al.* Overseas research and development by US-based firms, **Economica**, May, v. 46: 187-196, 1979.

METALS ECONOMICS GROUP. Disponível em: www.metalseconomics.com/frame_press_releases. HtmlS, sighted 21 Nov. 2006.

NELSON, R.; WINTER, S. **An Evolutionary Theory of Economic Change**, Cambridge, Mass: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação**. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

OECD. **Science, Technology and Industry Scoreboard**. OECD, Paris, 1999.

PATEL, P. Localized production of technology for global markets. **Cambridge Journal of Economics**, 19: 141-53, 1995.

PATTON, M.Q. **Qualitative evaluation and research methods**. 2. ed. Newbury Park, California: Sage, 1990.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a theory and a taxonomy. **Res. Policy**, 13, 343-373, 1984.

PENROSE, E. **The Theory of the Growth of the Firm**. New York: John Wiley, 1959.

PEREZ, C. **Paradigm change and the role of technology in development, Keynote speech in the series of seminars Science and Technology for the future of the country**, organized by the Ministry of Science and Technology, Caracas, Venezuela. June, 2000.

_____. **Respecialisation and the deployment of the ICT paradigm: An essay on the present challenges of globalisation**. (published in Compano *et al.*, The Future of the Information Society in Europe: Contributions to the Debate, Technical Report EUR22353EN, IPTS, Joint Research Centre, Directorate General, European Commission). Nov., 2007.

_____. **A Vision for Latin America: A resource-based strategy for technological dynamism and social inclusion.** Paper presented to the ECLAC Program Technology Policy and Development in Latin America. 5 July, 2008.

PICCININI, M. **Technical Change and Energy Efficiency: a Case Study in the Iron and Steel Industry in Brazil.** Tese (Doutorado) – SPRU, University of Sussex, Brighton, 1993.

SACHS, J.; WARNER, A. **Natural Resources Abundance and Economic Growth.** NBER Working Paper, 5398, 1985.

SLADE, M.E. (1982). Trends in natural-resource commodity prices: an analysis of the time domain. **Journal of Environmental Economics and Management**, 9, 122–137.

_____. Noninformative trends in natural resource commodity prices: U-shaped price paths exonerated. **Journal of Environmental Economics and Management**, 12, 181–192, 1985.

SMITH, K. Measuring innovation. In: FAGERBERG, J.; NELSON, R.; MOWERY, D. (Eds.). **The Oxford Handbook of Innovation.** Oxford: Oxford University Press, 2004.

SWEETING, A.R.; CLARK, A.P. **Lightening the Lode: A Guide to Responsible Large Scale Mining.** Conservation International USA, Washington, DC, 2000.

TAYLOR, A.; JANSEN, M.L. **Hydrometallurgical Treatment of Copper Sulphides - Are We On The Brink?** Alta, Copper Sulphides Symposium, 1999.

TEECE, D.; PISANO G. **The Dynamics Capabilities of Firms: an Introduction, Industrial and Corporate Change**, v. 3, n. 3, p. 537-56, 1994.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change.** Wiley, UK, p. 113, 2001.

TILTON, J.E.; LANDSBERG, H.H. Innovation, productivity growth, and the survival of the U.S. copper industry. In: DAVID SIMPSON, R. (Ed.). **Sources of Productivity Improvement in U.S. Natural Resources Industries.** Resources for the Future, Washington, DC, 1999.

TIRALAP, A. **The Economics of the Process of Technical Change of the Firm: the Case of the Electronics Industry in Thailand.** Tese (Doutorado) – SPRU, University of Sussex, Brighton, 1990.

TREMBLAY, P.J. **Comparative Analysis of Technological Capability and Productivity Growth in the Pulp and Paper Industry in Industrialized and Industrializing Countries.** Thesis (D. Phil.), SPRU, Brighton: University of Sussex, 1994.

TREMBLAY, P.J. Technological capability and productivity growth: an industrialized/industrializing country comparison. **Scientific Series**, Montreal, 1998.

VERA-CRUZ, J.A. **Major Changes in the Economic and Policy Context, Firm's Culture and Technological Behaviour: The Case of Two Mexican Breweries**. Thesis (D. Phil.), SPRU, Brighton: University of Sussex, 2000.

VON TUNZELMANN, N.; ACHA, V. Innovation in 'low-tech' industries. In: FAGERBERG, J.; NELSON, R.; MOWERY, D. (Eds.). **The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford: Oxford University Press, 2004.

VOSS, C. A. Implementation: a key issue in manufacturing technology: the need for a field of study. **Research Policy**, v. 17, n. 2, p. 55-63, 1988.

WAGNER, H.; FETTWEIS, G.B.L. About science and technology in the field of mining in the Western world at the beginning of the new century. **Resour. Policy**, 27, 158-168, 2001.

WARHURST, A.; BRIDGE, G. Improving Environmental Performance through Innovation: recent trends in the mining industry. **Minerals Engineering**, v. 9(9): 907-921, 1996.

WERTMANN, M. Multinationals and the internationalization of R&D: New developments in German companies. **Research Policy**, 19: 175-83, 1990.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICE A: ROTEIROS DE ENTREVISTA

Questionário 1(Diretoria / Consultores Estratégicos)
Em que ano começou a trabalhar na empresa? Foi contratado já com experiência na sua área ou começou a carreira aqui? Quantas pessoas formam sua equipe de trabalho?
Quais foram as mudanças mais importantes no Processo Produtivo de 1994 até agora?
Porque essas mudanças foram feitas?
Essas mudanças tiveram auxílio de agentes externos?
<u>Caso sim</u> , que agente? Qual foi exatamente o papel deste agente externo?
<u>Caso não</u> , de que fonte partiu o conhecimento para fazer tais mudanças?
Ao longo do tempo vocês deixaram de ser menos dependentes de consultores?
Quais mecanismos (cursos, treinamentos, palestras etc.) vocês utilizaram para se tornarem mais independentes?
Quando seu departamento foi criado? Como foi a evolução de seu departamento em relação a pessoal? Pode me descrever exatamente essa evolução: número de funcionários, formação de cada funcionário, origem de cada funcionário?
Existe algum tipo de programa, ferramenta, sistema, que vise melhorar o Processo Produtivo. Como são detectados os problemas? E de que maneira esse problema é tratado e solucionado.
As lições que se aprendem de erros e acertos são codificadas? Existe algum sistema ou ferramenta formal para reportar as experiências ou lições aprendidas?
Você pode considerar a Mineração Caraíba uma empresa inovadora? Por quê?
A Mineração Caraíba já prestou serviço de consultoria para outros <i>players</i> do mercado? Conte como foi a consultoria.
Existe algum projeto em andamento para a melhoria do processo? Fale sobre.

Questionário 2 (Gerência)
Em que ano começou a trabalhar na empresa? Foi contratado já com experiência na sua área ou começou a carreira aqui? Quantas pessoas formam sua equipe de trabalho?
Descreva em etapas como é o Processo de Produção que você trabalha hoje.
Em alguma destas etapas houve mudança de 1994 até agora? Quais mudanças?
Essas mudanças tiveram auxílio de agentes externos?
<u>Caso sim</u> , que agente? Qual foi exatamente o papel deste agente externo?
<u>Caso não</u> , de que fonte partiu o conhecimento para fazer tais mudanças?
Ao longo do tempo vocês deixaram de ser menos dependentes de consultores?
Quais mecanismos (cursos, treinamentos, palestras etc.) vocês utilizaram para se tornarem mais independentes deles?
Quando seu departamento foi criado? Como foi a evolução de seu departamento em relação a pessoal? Pode me descrever exatamente essa evolução: número de funcionários, formação de cada funcionário, origem de cada funcionário?
Existe algum tipo de programa, ferramenta, sistema, que vise melhorar o Processo Produtivo. Como são detectados os problemas? E de que maneira esse problema é tratado e solucionado. Você sente que a empresa se preocupa com a melhora contínua do Processo Produtivo?
As lições que se aprendem de erros e acertos são codificadas? Existe algum sistema ou ferramenta formal para reportar as experiências ou lições aprendidas?