

Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Fortalecimento da Competitividade Industrial no Brasil:

Breve Análise Empírica da Indústria de Mineração

Paulo N. Figueiredo

Mauricio Canêdo Pinheiro

Rubia Wegner

Felipe Queiroz

Bernardo Cabral

Fernanda Perin

Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Fortalecimento da Competitividade Industrial no Brasil: Breve Análise Empírica da Indústria de Mineração *

Paulo N. Figueiredo

Professor Titular EBAPE/FGV

Mauricio Canêdo Pinheiro

Pesquisador IBRE/FGV e Professor Adjunto FCE/UERJ

Rubia Wegner

Assistente de Pesquisa EBAPE/FGV

Felipe Queiroz

Assistente de Pesquisa EBAPE/FGV

Bernardo Cabral

Assistente de Pesquisa EBAPE/FGV

Fernanda Perin

Assistente de Pesquisa EBAPE/FGV

* Trata-se de pesquisa financiada pela Rede de Pesquisa e Conhecimento Aplicado (RPCAP) da Fundação Getúlio Vargas (FGV) e com envolvimento de pesquisadores de duas unidades da FGV: a Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas (EBAPE) e o Instituto Brasileiro de Economia (IBRE). A pesquisa está sendo desenvolvida no âmbito do Programa de Pesquisa em Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial no Brasil, da EBAPE/FGV, pela equipe: Paulo N. Figueiredo e Mauricio Canêdo Pinheiro (coordenadores) e assistentes de pesquisa Bernardo Cabral, Felipe Queiroz, Fernanda Perin e Rubia Wegner. Colaboraram na elaboração deste documento, Paulo Peruchetti e Marcela Cohen. O conteúdo deste documento reflete as ideias e perspectivas dos autores e não necessariamente as da Fundação Getúlio Vargas ou de quaisquer outras instituições.



Primeiro Presidente Fundador

Luiz Simões Lopes

Presidente

Carlos Ivan Simonsen Leal

Vice-Presidentes

Sergio Franklin Quintella, Francisco Oswaldo Neves Dornelles e Marcos Cintra Cavalcante de Albuquerque

CONSELHO DIRETOR

Presidente

Carlos Ivan Simonsen Leal

Vice-Presidentes

Sergio Franklin Quintella, Francisco Oswaldo Neves Dornelles e Marcos Cintra Cavalcante de Albuquerque

Vogais

Armando Klabin, Carlos Alberto Pires de Carvalho e Albuquerque, Ernane Galvêas, José Luiz Miranda, Lindolpho de Carvalho Dias, Manoel Pio Corrêa Júnior, Marcílio Marques Moreira e Roberto Paulo Cezar de Andrade

Suplentes

Antonio Monteiro de Castro Filho, Cristiano Buarque Franco Neto, Eduardo Baptista Vianna, Gilberto Duarte Prado, Jacob Palis Júnior, José Ermírio de Moraes Neto, José Julio de Almeida Senna e Marcelo José Basílio de Souza Marinho.

CONSELHO CURADOR

Presidente

Carlos Alberto Lenz César Protásio

Vice-Presidente

João Alfredo Dias Lins (Klabin Irmãos e Cia)

Vogais

Alexandre Koch Torres de Assis, Angélica Moreira da Silva (Federação Brasileira de Bancos), Carlos Moacyr Gomes de Almeida, Dante Letti (Souza Cruz S.A.), Edmundo Penna Barbosa da Silva, Heitor Chagas de Oliveira, Jaques Wagner (Estado da Bahia), Luiz Chor (Chozil Engenharia Ltda.), Marcelo Serfaty, Marcio João de Andrade Fortes, Maurício Matos Peixoto, Orlando dos Santos Marques (Publicis Brasil Comunicação Ltda.), Pedro Henrique Mariani Bittencourt (Banco BBM S.A.), Raul Calfat (Votorantim Participações S.A.), Rodrigo Vaunizio Pires de Azevedo (IRB - Brasil Resseguros S.A.), Ronaldo Mendonça Vilela (Sindicato das Empresas de Seguros Privados, de Capitalização e de Resseguros no Estado do Rio de Janeiro e do Espírito Santo), Sérgio Ribeiro da Costa Werlang e Tarso Genro (Estado do Rio Grande do Sul).

Suplentes

Aldo Floris, José Carlos Schmidt Murta Ribeiro, Luiz Ildefonso Simões Lopes (Brookfield Brasil Ltda.), Luiz Roberto Nascimento Silva, Manoel Fernando Thompson Motta Filho, Murilo Pinto de Oliveira Ferreira (Vale S.A.), Nilson Teixeira (Banco de Investimentos Crédit Suisse S.A.), Olavo Monteiro de Carvalho (Monteiro Aranha Participações S.A.), Patrick de Larragoiti Lucas (Sul América

Companhia Nacional de Seguros), Rui Barreto (Café Solúvel Brasília S.A.) e Sérgio Lins Andrade (Andrade Gutierrez S.A.).

Sede

Praia de Botafogo, 190, Rio de Janeiro – RJ, CEP 22250-900 ou Caixa Postal 62.591 /

CEP 22257-970, Tel: (21) 3799-5498, www.fgv.br

Instituição de caráter técnico-científico, educativo e filantrópico, criada em 20 de dezembro de 1944 como pessoa jurídica de direito privado, tem por finalidade atuar, de forma ampla, em todas as matérias de caráter científico, com ênfase no campo das ciências sociais: administração, direito e economia, contribuindo para o desenvolvimento econômico-social do país.



Diretor

Flávio Carvalho de Vasconcelos

Vice-Diretor

Alvaro Bruno Cyrino

A ESCOLA

A Escola Brasileira de Administração Pública da Fundação Getúlio Vargas (EBAP/ FGV) foi criada no dia 15 de abril de 1952, na cidade do Rio de Janeiro, como a primeira escola de administração pública do Brasil e da América Latina. A EBAP surgiu por meio de uma parceria entre a FGV e a Organização das Nações Unidas (ONU) para atender à demanda por profissionais qualificados na área pública no país.

Em 2002, a EBAP passou a se chamar Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas (EBAPE), confirmando também a sua atuação no setor privado, que, na verdade, sempre existiu, desde sua origem. A EBAPE conquistou credibilidade, legitimidade e uma capacidade surpreendente de agregar conhecimento de alto nível aos seus estudantes, introduzindo-os em um processo produtivo de excelência.

PIONEIRISMO DA EBAPE

- Primeira escola a oferecer curso superior em Administração no Brasil e na América Latina.
- Os primeiros livros de administração no Brasil foram publicados na EBAPE.
- Primeira instituição a usar o sistema de crédito e matrícula por disciplina no Brasil.
- Primeira presidência e sede da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD).

Resumo Executivo

Os resultados da análise empírica da indústria de mineração brasileira são apresentados neste documento do projeto de pesquisa intitulado “Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Fortalecimento da Competitividade Industrial no Brasil: Análise Empírica e Recomendações Práticas para Políticas Públicas e Estratégias Empresariais”. Neste estudo, o objetivo foi analisar como a acumulação de capacidades tecnológicas em nível de empresas produtoras da indústria de mineração contribuiu para o fortalecimento da competitividade industrial do Brasil, no período de 2003 a 2014.

A pesquisa contou com evidências primárias obtidas por meio de entrevistas e aplicação de questionários a diretores e gestores de empresas produtoras e da realização de um *workshop* com vários agentes da indústria (empresários, fornecedores, consultores, pesquisadores de institutos de pesquisa e universidades e representantes de órgãos governamentais). Os questionários enviados classificam-se em três conjuntos de informações/dados que buscaram captar das empresas produtoras, quais sejam: (i) atividades tecnológicas executadas pelas empresas nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral, de modo a mensurar sua acumulação de capacidades tecnológicas na escala de níveis de capacidade inovadora utilizada; (ii) caracterização e desempenho competitivo das empresas, para a mensuração de variáveis de desempenho competitivo, que foi avaliado em termos de produtividade do trabalho e proporção das receitas obtidas com exportação; (iii) questionários de mecanismos de aprendizagem intra e interorganizacionais (internos e externos, respectivamente), os quais buscaram mensurar os tipos de mecanismo utilizados pelas empresas, tipos de parceria e tipos distintos de resultado que pudessem influenciar a acumulação de níveis de capacidade tecnológica. Os procedimentos da pesquisa pautaram-se em uma análise qualitativa e outra estatística, por meio da utilização de inferências estatísticas na busca por correlações e possíveis causalidades entre as variáveis das três etapas de análise.

Os principais resultados apontam para a variabilidade das empresas produtoras da indústria de mineração na acumulação de capacidades tecnológicas. Essa variabilidade foi também observada entre as áreas tecnológicas; por exemplo, na área de pesquisa e prospecção, houve empresas que estavam em capacidade de produção e passaram à capacidade inovadora básica; nas áreas de lavra, não foram registradas empresas em capacidade de produção; e, em processamento mineral, partiram de capacidade inovadora intermediária. Os mecanismos interorganizacionais de aprendizagem foram as fontes que melhor explicaram essa variabilidade, isto é, quanto mais capacidades tecnológicas as empresas acumularam, maior foi sua frequência de uso desses mecanismos, bem como a frequência de resultados de maior complexidade tecnológica gerados. Os resultados mostram, ainda, que acumular mais capacidades tecnológicas em processamento mineral representa maior produtividade no trabalho para as empresas produtoras, assim como maiores proporções de receitas obtidas com exportações.

O texto de discussão ora apresentado também objetiva, a partir de suas contribuições metodológicas, servir de base para outras instituições procederem ao exame dos diferentes impactos da acumulação de capacidades tecnológicas na competitividade entre os setores industriais da economia. Diferentes tipos de organização podem aplicar as contribuições metodológicas aqui apresentadas e discutidas para o aprimoramento do processo de gestão da inovação orientado à competitividade.

Apresentação

Este documento refere-se aos resultados da análise empírica da indústria de mineração no Brasil, que integra um dos setores industriais do projeto de pesquisa intitulado “Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Fortalecimento da Competitividade Industrial no Brasil: Análise Empírica e Recomendações Práticas para Políticas Públicas e Estratégias Empresariais”. Esse projeto tem o objetivo de examinar como a acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras, em nível de empresas e setores industriais, pode contribuir para fortalecer a competitividade industrial do país. Trata-se de pesquisa financiada pela Rede de Pesquisa e Conhecimento Aplicado (RPCAP) da Fundação Getúlio Vargas (FGV) e com o envolvimento de pesquisadores de duas unidades da FGV: a Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas (EBAPE) e o Instituto Brasileiro de Economia (IBRE).

A pesquisa está sendo desenvolvida no âmbito do **Programa de Pesquisa em Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial no Brasil**, da EBAPE/FGV, criado em 1999 e cujo propósito é contribuir para a compreensão do processo de desenvolvimento tecnológico e de inovação na indústria brasileira. Esse programa de pesquisa reconhece que a acumulação de capacidades tecnológicas, especialmente as capacidades para inovação, em nível de empresas e indústrias, representa insumo fundamental para o crescimento econômico e desenvolvimento do país. Ademais, caracteriza-se pelo desenvolvimento de estudos que, por um lado, contribuem para avanços significativos na fronteira internacional do conhecimento nesse campo e, por outro, têm uma orientação para a aplicação prática, ou seja, conectam-se com problemas objetivos e questões prementes da indústria brasileira.

É importante ressaltar que a noção de inovação usada neste projeto (e no programa de pesquisa mais amplo) transcende as perspectivas convencionais sobre inovação que a associam somente a atividades altamente complexas derivadas de esforço científico em sofisticados laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). O projeto apoia-se em uma ampla ideia de inovação que abrange mudanças em produtos e serviços, processos e sistemas organizacionais e gerenciais. As atividades incluem desde imitação duplicativa e imitação criativa até as mais sofisticadas ações de desenho e desenvolvimento à base de engenharia, P&D e patentes. Essas atividades podem ter graus de novidade que variam de novas para a empresa, novas para a economia a novas com relação ao mercado internacional.

Nesse sentido, o principal objetivo do projeto de pesquisa é justamente examinar como a acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras, em nível de empresas e setores industriais, pode contribuir para fortalecer a competitividade industrial do Brasil. Busca-se, também, compreender que fatores – internos e externos às empresas – influenciam a acumulação dessas capacidades e quais seus efeitos sobre o desempenho das empresas e dos setores. Além disso, atenção especial é dada para como a dinâmica desse processo de acumulação ocorre entre empresas e setores. Para tanto, as pesquisas são desenvolvidas a partir de extensivos trabalhos de campo e pelo uso de metodologias inovadoras para coleta, análise e interpretação dos dados. Há, ainda, constantes interações com tomadores de decisão em nível de indústria e governos, no intuito de captar problemas, demandas e questões práticas que merecem a atenção de pesquisa.

Sumário

Lista de Figuras	10
Lista de Quadros.....	11
Lista de Tabelas.....	12
1 Introdução	13
1.1 Por que desenvolvimento industrial é importante para o crescimento econômico?	13
1.2 A indústria da mineração no Brasil: alguns estudos anteriores	14
1.3 Por que os estudos e abordagens existentes não são suficientes?	15
1.4 Questões e foco da pesquisa	16
2 Base Conceitual	17
2.1 A perspectiva sobre inovação nesta pesquisa	17
2.2 Apresentação da base analítica da pesquisa.....	18
3 Desenho e Método da Pesquisa	25
3.1 Estratégia de pesquisa	25
3.2 Procedimentos e critérios para escolha da indústria e suas organizações	26
3.3 Procedimentos e critérios para coleta de evidências.....	28
3.3.1 <i>Workshop</i>	28
3.3.2 Entrevistas	29
3.3.3 Questionários.....	29
4 Características da Indústria de Mineração.....	35
4.1 Delimitação da natureza das indústrias de recursos naturais.....	35
4.2 Indústria de mineração: ideias básicas e foco da pesquisa.....	36
4.3 Principais tendências tecnológicas da indústria de mineração	38
4.4 A indústria de mineração: breve panorama dos aspectos econômicos e da organização industrial no mundo e no Brasil	40
4.4.1 Panorama da mineração no mundo	40
4.4.2 Panorama da indústria de mineração no Brasil	42

4.4.3 Aspectos de políticas públicas e tributação no Brasil	44
5 Resultados da Pesquisa	48
5.1 Acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014) ..	48
5.1.1 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	49
5.1.1.1 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção.....	49
5.1.1.2 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica na área de lavra.....	51
5.1.1.3 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica na área de processamento mineral.....	54
5.1.1.4 Comparação entre a acumulação de níveis de capacidade tecnológica nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral	57
5.1.2 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	60
5.1.2.1 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção.....	60
5.1.2.2 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra.....	65
5.1.2.3 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral.....	69
5.2 Influência dos mecanismos de aprendizagem na acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	75
5.2.1 Evolução dos mecanismos de aprendizagem utilizados pela indústria de mineração no Brasil (2003-2014).....	75
5.2.1.1 Evolução dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais.....	75
5.2.1.2 Evolução dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais.....	79
5.2.2 Influência dos mecanismos de aprendizagem nos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014).....	87
5.2.2.1 Relação entre mecanismos de aprendizagem e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção.....	88
5.2.2.2 Relação entre mecanismos de aprendizagem e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra	99
5.2.2.3 Relação entre mecanismos de aprendizagem e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral	106
5.2.3 Influência dos mecanismos de aprendizagem nos níveis de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	115

5.3 Impactos da acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	118
5.3.1 Impactos dos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	118
5.3.1.1 Relação entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção e desempenho competitivo.....	118
5.3.1.2 Relação entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra e desempenho competitivo	120
5.3.1.3 Relação entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral e desempenho competitivo	122
5.3.2 Impactos dos níveis de acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	124
6 Discussão dos Resultados.....	126
6.1 Discussão dos resultados.....	126
6.1.1 Acumulação de capacidades tecnológicas na indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	127
6.1.2 Influência dos mecanismos de aprendizagem nos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014).....	133
6.1.3 Impactos da acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)	137
6.1.3.1 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e desempenho competitivo das empresas produtoras	137
6.2 Implicações para estratégias empresariais e políticas públicas voltadas para a indústria de mineração no Brasil.....	139
6.3 Limitações e recomendações para próximos estudos.....	148
Referências.....	150

Lista de Figuras

Figura 2.1. Escala de tipos e graus de inovação a ser usada na pesquisa.....	17
Figura 2.2. Modelo analítico da pesquisa	19
Figura 2.3. Escala de níveis de capacidade tecnológica.....	21
Figura 4.1. Indústria de mineração: áreas tecnológicas delimitadas	38
Figura 4.2. Produção mundial de minerais por continente entre 1984 e 2013 – US\$ milhões.....	40
Figura 4.3. Brasil: arrecadação total e de <i>royalties</i> (R\$ milhões)	46
Figura 4.4. Brasil: arrecadação total da TAH (R\$ milhões)	47
Figura 5.1. Número de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção (2003-2014).....	50
Figura 5.2. Proporção de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção (2003-2014)	50
Figura 5.3. Número de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de lavra (2003-2014)	53
Figura 5.4. Proporção de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de lavra (2003-2014)	53
Figura 5.5. Número de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de processamento mineral (2003-2014)	56
Figura 5.6. Proporção de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de processamento mineral (2003-2014)	56
Figura 5.7. Comparação entre o nível de capacidade nas áreas tecnológicas de processamento mineral e lavra (2012-2014).....	58
Figura 5.8. Comparação entre o nível de capacidade nas áreas tecnológicas de processamento mineral e pesquisa e prospecção (2012-2014)	59
Figura 5.9. Comparação entre o nível de capacidade nas áreas tecnológicas de pesquisa e prospecção e lavra (2012-2014)	60
Figura 5.10. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em pesquisa e prospecção (2003-2014)	61
Figura 5.11. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em lavra (2003-2014)	66
Figura 5.12. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em processamento mineral (2003-2014)	70
Figura 5.13. Evolução dos tipos de mecanismo de aprendizagem intraorganizacional, valores em % (2003-2014)	77
Figura 5.14. Evolução dos tipos de resultado dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)	78
Figura 5.15. Relação entre os mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais e os resultados, valores médios em % (2003-2014)	79
Figura 5.16. Evolução dos tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacionais, valores em % (2003-2014)	81
Figura 5.17. Evolução dos tipos de parceiro em mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)	82

Figura 5.18. Evolução dos tipos de resultado dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores em % (2003-2014)	83
Figura 5.19. Relação entre os tipos de parceiro e os resultados em mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)	84
Figura 5.20. Relação entre os tipos de parceiro interorganizacional e seus tipos de resultado, valores médios em % (2003-2014).....	85
Figura 5.21. Relação entre os tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional e seus tipos de resultado, valores médios em % (2003-2014)	87

Lista de Quadros

Quadro 3.1. Visão geral do progresso da pesquisa de campo.....	27
Quadro 3.2. Instituições e respectivos participantes do <i>workshop</i> de pesquisa	28
Quadro 3.3. Tipos de questionário aplicados, agentes respondentes e variáveis coletadas	29
Quadro 3.4. Escala de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção	30
Quadro 3.5. Escala de capacidades tecnológicas na área de lavra	31
Quadro 3.6. Escala de capacidades tecnológicas na área de beneficiamento mineral	31
Quadro 3.7. Variáveis de desempenho competitivo	32
Quadro 3.8. Mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais	32
Quadro 3.9. Mecanismos de aprendizagem interorganizacionais	33
Quadro 4.1. Indústria de mineração e bens minerais: classificação	37
Quadro 4.2. <i>Ranking</i> dos líderes de produção mineral por tipo de minério (2014)	41
Quadro 5.1. Empresa Lambda e metodologia de desenvolvimento e implantação de projetos de capital	65
Quadro 5.2. Empresas Lambda e Beta: projetos de P&D na área de lavra	69
Quadro 5.3. Atividades inovadoras em parceria entre a empresa Lambda e fornecedores.....	86
Quadro 5.4. Empresa Alfa: desenvolvimento da nova tecnologia ocorre dentro da empresa e torna-se um <i>spin-off</i> , sem posterior criação de parcerias de aprendizado entre fornecedor e Alfa	87
Quadro 5.5. Empresas Lambda e Beta e a formalização dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais.....	90
Quadro 5.6. Projetos de P&D em empresas produtoras da indústria de mineração	95
Quadro 5.7. Empresa Lambda e a distribuição geográfica de P&D em parceria com universidades brasileiras	97
Quadro 5.8. Funcionamento das parcerias colaborativas da empresa Lambda em processamento mineral	113
Quadro 5.9. Fatores de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais – ACP	116

Lista de Tabelas

Tabela 5.1. Evolução do número e proporção de empresas que acumularam níveis específicos de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção (2003-2014)	49
Tabela 5.2. Número e proporção de empresas que atingiram níveis de capacidade tecnológica na área de lavra (2003-2014)	52
Tabela 5.3. Número e proporção de empresas que atingiram níveis específicos de capacidade tecnológica em processamento mineral (2003-2014)	55
Tabela 5.4. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais.....	89
Tabela 5.5. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados intraorganizacionais.....	91
Tabela 5.6. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais.....	93
Tabela 5.7. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média das parcerias interorganizacionais.....	96
Tabela 5.8. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados interorganizacionais.....	98
Tabela 5.9. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais.....	100
Tabela 5.10. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados intraorganizacionais	101
Tabela 5.11. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais.....	102
Tabela 5.12. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média das parcerias interorganizacionais	104
Tabela 5.13. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados interorganizacionais.....	105
Tabela 5.14. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais.....	106
Tabela 5.15. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados intraorganizacionais.....	108
Tabela 5.16. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais	109
Tabela 5.17. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média das parcerias interorganizacionais.....	111
Tabela 5.18. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados interorganizacionais.....	113
Tabela 5.19. Relação entre níveis de capacidade tecnológica e fatores de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais	116

Tabela 5.20. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção e variáveis de desempenho.....	119
Tabela 5.21. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra e variáveis de desempenho.....	121
Tabela 5.22. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral e variáveis de desempenho.....	123
Tabela 5.23. Relação entre capacidades tecnológicas e produtividade do trabalho	125

1 Introdução

O objetivo do projeto de pesquisa “Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Fortalecimento da Competitividade Industrial no Brasil: Análise Empírica e Recomendações Práticas para Políticas Públicas e Estratégias Empresariais” é examinar como a acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras, em nível de empresas e setores industriais, pode contribuir para fortalecer a competitividade industrial do Brasil.

Como argumentado no âmbito do projeto de pesquisa mencionado e de suas publicações relacionadas, grande parte do alcance e do fortalecimento da competitividade industrial brasileira depende de esforços eficazes de acumulação de capacidades tecnológicas para inovação e aumento de produtividade.¹ O Brasil é um país de renda *per capita* média e há o risco de estagnação de longo prazo nesse nível de desenvolvimento – a chamada “armadilha da renda média”. Para que o país dobre seu nível de renda *per capita* em 20 anos, é preciso um crescimento econômico médio anual de 3,5%, muito mais elevado do que o experimentado nas últimas décadas, seja qual for a data de corte utilizada.

1.1 Por que o desenvolvimento industrial é importante para o crescimento econômico?

O desenvolvimento industrial e tecnológico é um dos fatores decisivos para que os países avancem para a categoria de alta renda *per capita*. Não se trata de uma panaceia, mas a história ensina que nações que se desenvolveram industrialmente, por meio da acumulação de capacidades tecnológicas para inovação, também obtiveram significativo desenvolvimento socioeconômico. Tornaram-se países de alta renda, transformaram-se em líderes no mercado global e em fornecedores de tecnologia para vários tipos de indústria.

A indústria joga importante papel de viabilizar um ritmo adequado de crescimento econômico por várias razões: (i) é uma das mais importantes fontes de inovações tecnológicas; (ii) as várias inovações tecnológicas que emergem da indústria podem se difundir e influir outros tipos de inovação nos demais setores da economia; (iii) a produtividade na indústria manufatureira tende a crescer mais rapidamente do que a do setor de serviços; (iv) a indústria manufatureira é grande demandadora e impulsionadora de uma ampla gama de atividades e serviços; (v) a indústria manufatureira demanda e gera recursos humanos altamente qualificados; (vi) essas demandas por serviços e recursos humanos qualificados têm efeitos multiplicadores na economia, que, por sua vez, contribuem para o crescimento industrial e econômico. Portanto, o fortalecimento da

¹ Ver Pinheiro et al. (2015) e Pinheiro e Figueiredo (2015).

capacidade tecnológica da indústria brasileira é uma das condições necessárias ao crescimento econômico do país.

Neste projeto, adotou-se uma perspectiva abrangente para a indústria, que, indo além do setor manufatureiro, envolve várias atividades relacionadas a recursos naturais. Isso porque, a partir de 2000, se intensificou amplo debate internacional sobre o papel das indústrias intensivas em recursos naturais (por exemplo, florestas e celulose, mineração, petróleo e gás) no crescimento e desenvolvimento de países ricos nesses recursos. Essas indústrias contribuíram enormemente para o desenvolvimento socioeconômico de países hoje avançados, como Austrália, nações da Escandinávia, além de Canadá e Estados Unidos.² Ao contrário das generalizações comuns (e negativas) sobre essas indústrias, evidências de pesquisas recentes, especialmente no contexto de economias em desenvolvimento, demonstram que elas oferecem amplas oportunidades para desenvolvimento tecnológico e inovação.³ Um exemplo é a indústria de mineração no Brasil.

1.2 A indústria da mineração no Brasil: alguns estudos anteriores

A indústria de mineração tem sido considerada uma indústria na qual existem baixas oportunidades para inovação e aprendizagem, assim como uma indústria em que ocorrem inovações com baixa intensidade tecnológica. Além disso, tem sido tratada como incapaz de promover interações com os demais setores da economia (enclave). No entanto, a indústria brasileira de mineração tem desenvolvido capacidades tecnológicas, nas áreas de prospecção/exploração, mineração/lavra, processamento mineral e logística, a ponto de gerar inovações em escala mundial capazes de mover essa fronteira tecnológica internacional e alavancar sua competitividade no Brasil.

Nos anos recentes, a organização da produção mineral experimentou rápida transformação. Empresas mineradoras e fornecedores que, até a década de 1980, desempenhavam suas atividades dentro das mineradoras passaram a realizá-las como fornecedores independentes e especializados, bem como intensivos em tecnologia. Sabe-se que há movimentos de países como Chile, Austrália e África do Sul em políticas específicas de estímulo à emergência e desenvolvimento dessa categoria específica de fornecedores, qual seja, *Knowledge-Intensive Mining Services* (KIMS), que atuam em todas as etapas da mineração, incluindo serviços, tecnologia e equipamento. Os objetivos de tais políticas, tanto cooperativas quanto governamentais, são acumular capacidades tecnológicas ao longo da cadeia de valor e promover interações de aprendizagem, visando ao aumento da competitividade da mineração.

A indústria brasileira de mineração tem enfrentado grandes desafios para manter níveis competitivos de custo e produtividade, tendo em vista o ritmo da demanda por minérios em cenários de complexidade de mineralogia e de variação dos preços. Diante disso, buscar o aprimoramento tecnológico é fundamental para sustentar um processo de crescimento no setor

² Ver Andersen et al. (2015) e Perez (2015).

³ Ver Dantas e Bell (2011), Figueiredo (2010) e Marin, Petralia e Ortega (2012).

da mineração no longo prazo. Entretanto, devido à recente queda do preço das *commodities*, muitas empresas no Brasil têm abandonado projetos relacionados à pesquisa, desenvolvimento e inovação.

1.3 Por que os estudos e abordagens existentes não são suficientes?

Durante os últimos anos, têm emergido diversos estudos que objetivam examinar a relação entre inovação e competitividade industrial no Brasil. Não obstante os méritos desses estudos e abordagens, eles possuem algumas limitações quanto aos métodos e *proxies* adotados, como, por exemplo:

- (1) Há forte tradição de examinar questões relacionadas à inovação industrial e competitividade a partir de uma perspectiva macro ou agregada, geralmente à base de dados derivados de *surveys* de inovação. A despeito dos méritos dessa abordagem, perde-se a oportunidade de captar detalhes e nuances importantes sobre o processo de desenvolvimento tecnológico e suas implicações para a competitividade em nível de setores industriais e suas empresas. No Brasil, há justamente uma escassez de dados primários e análises em nível de empresas, que possam gerar insumos para desenho e implementação de políticas públicas e ações corporativas mais eficazes relativas ao desenvolvimento industrial. Como se sabe, quanto mais se agrega, mais se escondem detalhes importantes do processo de inovação industrial.
- (2) Especificamente, os chamados *surveys* de inovação, amplamente utilizados em diversos países, ainda que sejam muito relevantes para fornecer uma perspectiva agregada, possuem importantes e inerentes limitações, como, por exemplo: (i) insuficiência para captar as capacidades tecnológicas que possibilitam a implementação das atividades inovadoras; (ii) desenho estático, que não apreende o processo de evolução das atividades inovadoras e suas fontes; (iii) limitados em termos do estudo sobre o processo, causas e consequências da acumulação de capacidades tecnológicas em nível de empresas e indústrias.
- (3) Há, também, o uso de *proxies* ou medidas inadequadas para examinar atividades inovadoras, como é o caso de indicadores de gastos em P&D, número de laboratórios e estatísticas de patentes. Esses indicadores, ainda que clássicos, têm sérias limitações: (i) representam apenas uma pequena fração (quando muito) das reais atividades inovadoras; (ii) negligenciam importantes atividades inovadoras de natureza incremental, derivadas de esforços de engenharia e experimentações diversas. Esses esforços, por sua vez, de um lado, são precondições para avançar para níveis mais sofisticados de inovação e, de outro, geram grande impacto positivo na produtividade.
- (4) Ademais, tende-se a enxergar a inovação basicamente como *produto* ou resultado direto da oferta de certos insumos, como laboratórios de P&D e capital humano, representado pelo número de mestres e doutores. Ainda mais problemáticos são crité-

rios como: publicações; percepção de gestores que exclui as nuances que as próprias empresas fazem sobre suas atividades de inovação; foco num momento específico do tempo e não em processos que evoluem dinamicamente; fixação num determinado fator, como capital físico ou humano, sem avaliar como o conjunto amplo de recursos interage ao longo do tempo.

1.4 Questões e foco da pesquisa

Com esse pano de fundo, a pesquisa mencionada foi desenhada para examinar duas questões. A primeira refere-se *até que ponto* e *como* empresas da indústria de mineração no Brasil têm acumulado capacidades tecnológicas, tanto para atividades operacionais quanto para inovação; a segunda objetiva explicar *como* esse processo de acumulação de capacidades tecnológicas tem influenciado o alcance e o fortalecimento (ou enfraquecimento) da competitividade industrial.

A investigação abrange não apenas a acumulação de capacidades tecnológicas em si, mas também seus fatores internos (dentro de setores industriais) e externos, como as políticas públicas. A motivação para contribuir com a geração de novas evidências e explicações sobre a relação entre acumulação de capacidades tecnológicas e competitividade industrial no Brasil relaciona-se não apenas à situação preocupante na qual a última encontra-se, mas também às limitações dos estudos e abordagens existentes.

Além desta introdução, o presente estudo inclui as seguintes seções: (2) apresentação da base conceitual que fundamenta as questões da pesquisa; (3) apresentação do desenho e do método da pesquisa; (4) características da indústria de mineração no Brasil; (5) resultados da pesquisa, isto é, acumulação de capacidades tecnológicas por níveis e padrões para cada área tecnológica, influência dos mecanismos inter e intraorganizacionais de aprendizagem nos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas para cada área tecnológica e relação entre a acumulação de capacidades tecnológicas, em níveis e padrões, e o desempenho competitivo das empresas produtoras da indústria de mineração de 2003 a 2014. Na última seção (6), apresenta-se a discussão dos resultados, bem como recomendações de políticas públicas para a indústria.

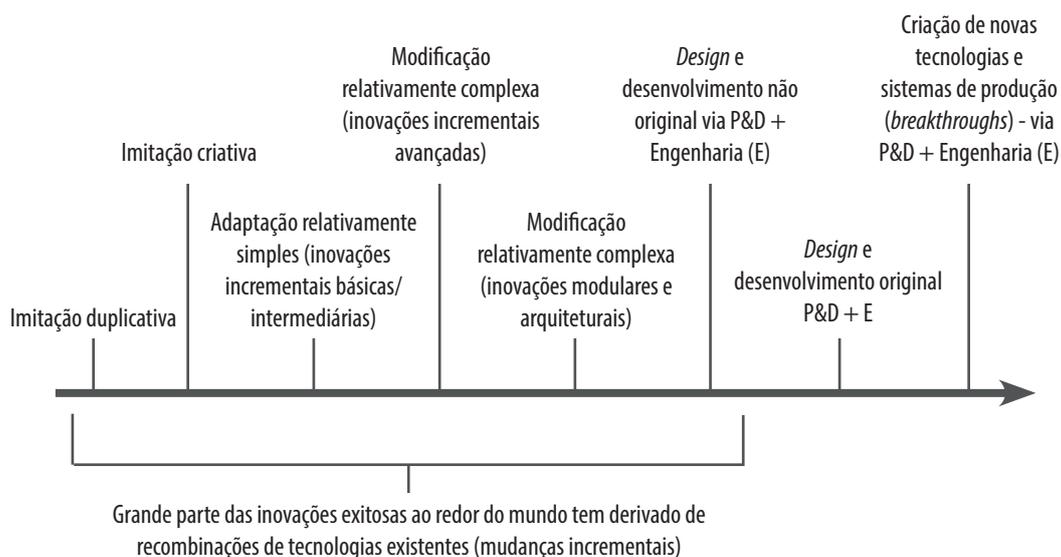
2 Base Conceitual

A base conceitual que dá sustentação a esta pesquisa envolve o exame da relação entre a acumulação de capacidades tecnológicas (para atividades de produção e inovação), os mecanismos subjacentes de aprendizagem (fontes para acumulação de capacidades tecnológicas) e os impactos gerados em termos de competitividade à luz de mudanças na moldura institucional.

2.1 A perspectiva sobre inovação nesta pesquisa

Antes de apresentar a base analítica do projeto e definir seus principais componentes, é importante esclarecer a ideia sobre inovação que permeia esta pesquisa, a qual transcende as perspectivas limitadas que tratam a inovação somente como atividades altamente complexas derivadas de esforço científico em sofisticados laboratórios de P&D. Como mostrado na Figura 2.1, uma ampla ideia de inovação abrange a implementação de mudanças em produtos/serviços, processos e sistemas organizacionais e gerenciais – da iniciação à adaptação menor e daí até os estágios mais avançados. As atividades incluem imitação duplicativa, imitação criativa e as mais sofisticadas ações de *design* e desenvolvimento à base de engenharia e P&D (Figura 2.1). Essas atividades podem ter graus de novidade que variam de novas para a empresa a novas para a economia, como também para o mercado internacional.

Figura 2.1. Escala de tipos e graus de inovação a ser usada na pesquisa



Fonte: Figueiredo (2015, p. 24).

A Figura 2.1 sugere que a ideia de classificar empresas (ou países), segundo uma perspectiva “binária”, como “inovadora” *versus* “não inovadora” é limitada e equivocada. Aliás, a perspectiva de inovação como um contínuo de atividades com crescentes **graus de complexidade e novidade** é particularmente importante para a compreensão do processo de inovação em empresas que operam em economias em desenvolvimento e emergentes. Várias dessas empresas iniciam suas atividades tecnológicas com base em imitação duplicativa, para poderem avançar ao outro extremo do espectro da Figura 2.1.

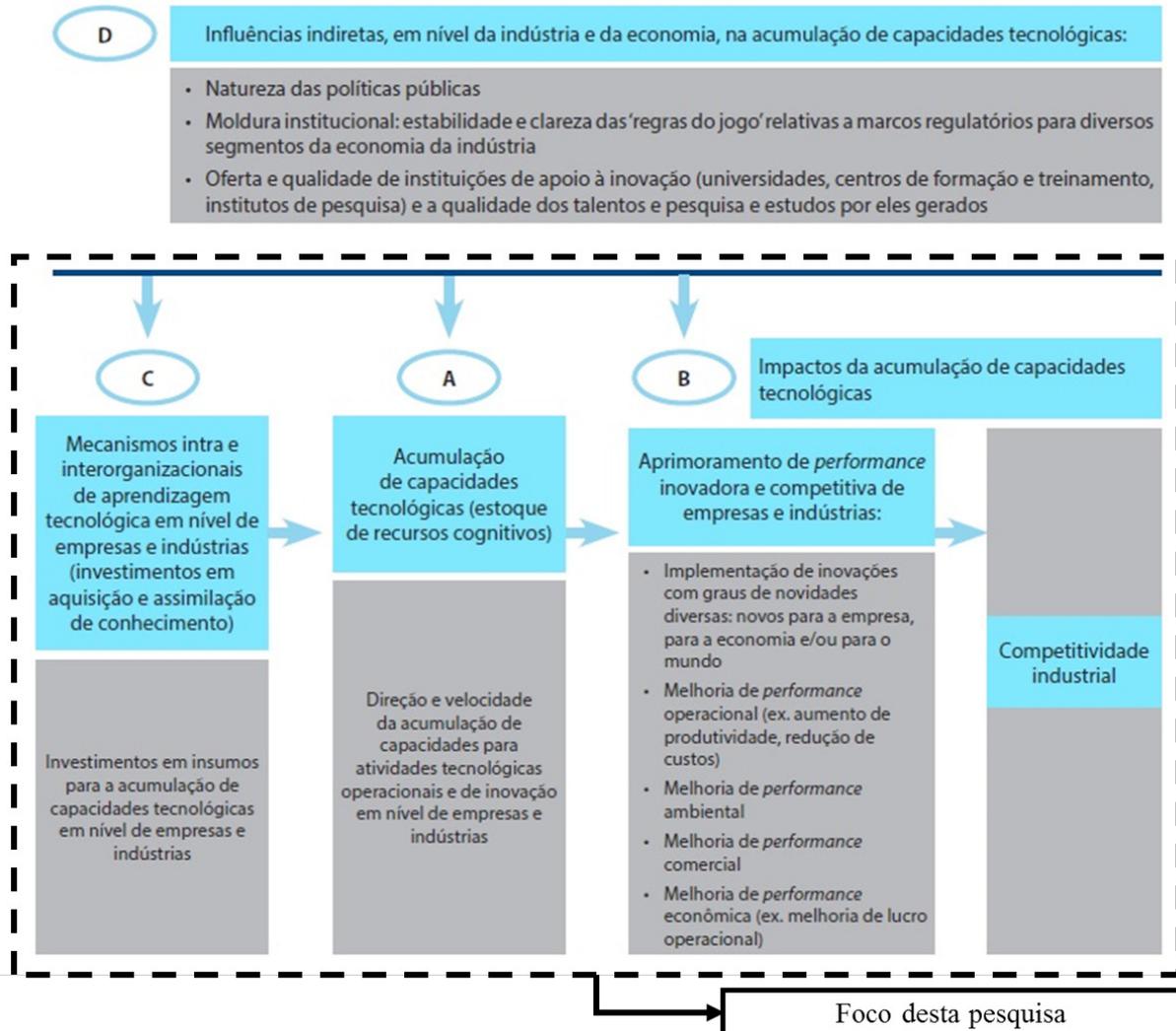
Dessa forma, a visão de inovação da pesquisa é abrangente e não se limita à alta tecnologia de fronteira, podendo derivar de uma forte base de engenharia nas empresas – como é típico, por exemplo, das indústrias de máquinas alemãs, líderes globais em vários segmentos – e até mesmo do chão de fábrica, de uma sólida ferramentaria capaz de fazer modificações básicas em produtos e processos. Inovação é entendida, assim, como *processo* e não como evento isolado, muito menos “linha de chegada”.

Não se pense, porém, que a ênfase nesse espectro de estágios de capacidade tecnológica e inovadora significa, de alguma forma, negligenciar as etapas superiores de P&D e os *rankings* patentários. É exatamente o contrário. O problema é que a visão, por vezes predominante, de enfatizar somente o desenvolvimento de capacidades nos estágios superiores fracassa exatamente por dar pouca atenção à massa crítica das fases anteriores, que compõem o tipo de tecido produtivo em que é possível surgir com mais frequência os expoentes de fronteira.

2.2 Apresentação da base analítica da pesquisa

O modelo analítico do projeto está representado na Figura 2.2 a seguir. Esse modelo é importante para fornecer avanços em termos de novo entendimento sobre a relação entre as questões estudadas, assim como um claro esclarecimento às autoridades públicas sobre as diferenças e semelhanças entre as empresas, no que diz respeito às causas e resultados da formação de capacidade de inovação e competitividade. Isso é importante para adaptar suas políticas e estratégias de negócios.

Figura 2.2. Modelo analítico da pesquisa



Fonte: Adaptado de Bell e Figueiredo (2012) e Figueiredo (2015).

Esse conjunto de relações representado na Figura 2.2 será analisado como um conjunto de setores industriais e suas principais empresas produtoras e fornecedores, como também organizações de apoio à inovação, como universidades e institutos de pesquisa. Esclarece-se, a seguir, o significado dos elementos da estrutura analítica da pesquisa, conforme apresentado na Figura 2.2. Destaca-se que a pesquisa dá atenção especial aos *inputs*, isto é, aos fatores que levam a inovar, e não apenas ao *output* (inovação em si). Entretanto, o foco recai sobre as relações existentes entre as etapas A, B e C. As influências indiretas em nível de indústria e economia apresentadas na etapa D são levadas em consideração, principalmente na elaboração de *insights* sobre políticas públicas, mas não integram o método estatístico de mensuração das relações entre as etapas.

A: acumulação de capacidades tecnológicas. *Capacidades tecnológicas* são definidas aqui como os recursos (base de conhecimento) para administrar e gerar as mudanças tecnológicas. Envolvem o capital humano, que não se limita a cientistas com PhD, mas pode incluir engenheiros, técnicos e até pessoal de “chão de fábrica”; o capital físico, representado por laboratórios, bancos

de dados, *software* etc.; e o capital organizacional, que inclui processos organizacionais, procedimentos e rotinas. Ainda com relação a elas, será feita distinção entre aquelas voltadas à operação (ou produção) e à inovação.

As *capacidades tecnológicas operacionais (ou de produção)* referem-se àquelas que permitem às empresas usar ou adotar tecnologias e sistemas de produção existentes, ou seja, são os recursos necessários para realizar atividades de produção de bens ou serviços com dado grau de eficiência. Já as *capacidades tecnológicas inovadoras* possibilitam às empresas implementar diferentes tipos e graus de atividades inovadoras, estando relacionadas aos recursos necessários para gerar e gerir mudanças tecnológicas, em termos de inovações em processos, produtos, sistemas técnico-físicos, serviços e organização. Dessas capacidades provém a diferença, por exemplo, entre uma empresa capaz de manufaturar um celular e outra que, além de fabricar, pode desenvolver o *software* do aparelho móvel; entre uma empresa que monta automóveis e outra capaz de projetá-los; ou entre um país com capacidade tecnológica para lançar foguetes, mesmo tendo uma renda baixa, como a Índia, e outro que não tem a mesma capacidade, como o Brasil.

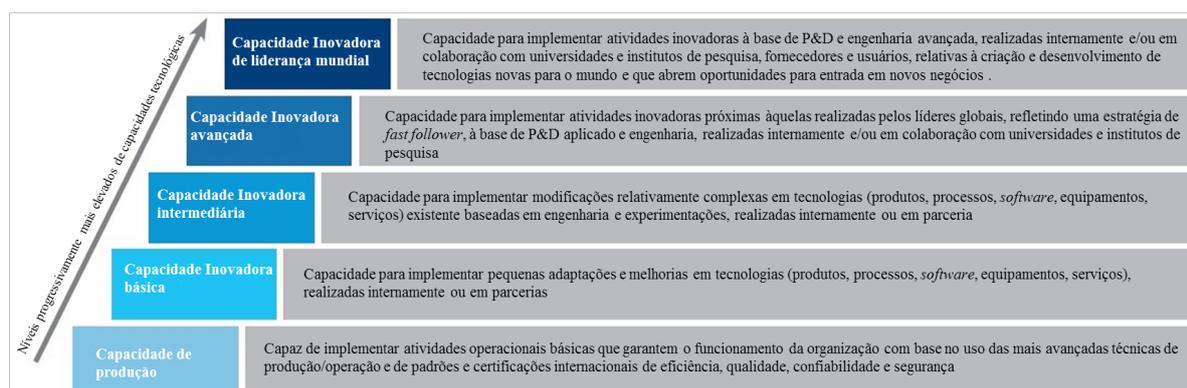
Reitera-se que é importante distinguir entre uma operação avançada tecnologicamente, como no caso de uma empresa que *opera* maquinário ou sistema de produção de última geração, e atividades que *alteram, inovam* ou *criam* novas tecnologias e sistemas de produção. A realização de cada uma dessas atividades tecnológicas implica a acumulação de **capacidades distintas** em nível de empresas e indústrias. Consequentemente, os investimentos empresariais – e as políticas públicas – relativos ao desenvolvimento de capacidades tecnológicas operacionais e de inovação são significativamente diferentes.

Para medir os tipos e níveis de capacidade das empresas, este projeto trabalha com uma escala de estágios de capacidade tecnológica. Isso é importante exatamente para entender até que ponto e como empresas e setores industriais estão se movendo ao longo desse gradiente. Um dos principais objetivos de políticas públicas que venham a se valer do tipo de conhecimento obtido com este projeto pode perfeitamente ser o de que o Brasil evolua para um elevado nível patentário e de concentração de laboratórios de P&D (o lado extremo direito da Figura 2.1). Contudo, para que se caminhe nessa direção, é indispensável entender como as próprias empresas comportam-se nessa trilha.

Especificamente, o projeto emprega uma abordagem comprovada e adotada nos estudos de formação de capacidade das empresas de economias emergentes, que tem como fundamento a aquisição direta de informações descritivas sobre as atividades tecnológicas das empresas. Em outras palavras, baseia-se em evidências sobre as **atividades que as empresas são, de fato, capazes de realizar tecnologicamente, individualmente e/ou em parceria**. Com base nessas informações, diversos procedimentos subsequentes são utilizados para classificar as atividades tecnológicas das empresas em níveis sucessivos de complexidade e novidade. A partir dessa classificação, podem-se inferir os níveis de capacidade tecnológica das empresas à luz da escala na Figura 2.3, o que normalmente envolve sequências que se iniciam nos níveis de capacidade de produção até os níveis de capacidade inovadora.

A Figura 2.3 fornece um exemplo ilustrativo que faz distinção entre os quatro níveis de capacidade inovadora (integrando os níveis tecnológicos e organizacionais), abrangendo das capacidades básicas inovadoras (para adaptações menores etc.) até a capacidade inovadora em nível de liderança mundial, para superação dos líderes globais. Esse modelo é utilizado para coletar evidências e analisar a natureza das trajetórias e a razão por que as empresas estudadas nesta pesquisa caminham pelos diferentes níveis de capacidade. A escala da Figura 2.3 alinha-se à perspectiva ampliada de inovação representada na Figura 2.1.

Figura 2.3. Escala de níveis de capacidade tecnológica



Fonte: Adaptado de Bell e Figueiredo (2012) e Figueiredo (2001, 2015).

A fim de evitar avaliações de natureza “subjetiva” acerca dos níveis de capacidade tecnológica alcançados pela empresa em estudo, a avaliação com base na escala da Figura 2.3 é substantiada por evidências concretas (fatos) que comprovam se a empresa é capaz ou não de realizar certa atividade tecnológica, com determinado grau de novidade e complexidade. Com relação a essa taxonomia para medição de capacidades tecnológicas, é relevante esclarecer que: (i) ela não pressupõe que todas as unidades de uma mesma empresa necessariamente se capacitem em uma sequência linear; (ii) tampouco pressupõe que as capacidades sejam acumuladas e sustentadas (ou debilitadas) ao mesmo tempo e à mesma velocidade para as diferentes funções tecnológicas; (iii) para certa função ou área tecnológica (por exemplo, processo, produto, engenharia de projeto), pode-se alcançar uma profundidade de capacidade tecnológica, enquanto, para outra, se pode acumular um nível mais superficial; (iv) é possível uma empresa adquirir partes de certas capacidades inovadoras, sem que a acumulação de suas capacidades operacionais esteja consolidada, o que é denominado acumulação incompleta; (v) é possível ocorrer enfraquecimento (ou mesmo perda) de capacidades inovadoras já acumuladas ou reversão tecnológica.

A aplicação desse sistema de mensuração de capacidades tecnológicas teve grande ímpeto a partir de 1999, no âmbito do Programa de Pesquisa em Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial da EBAPE/FGV. Já foram realizados mais de 20 estudos em empresas de vários setores industriais ao redor do Brasil, que chegaram a resultados extremamente reveladores sobre capacidades tecnológicas e de inovação no país. Ademais, esse sistema de mensuração tem sido amplamente aceito pela comunidade científica internacional, refletindo na sua aplicação em vários

estudos publicados em prestigiadas revistas científicas internacionais, bem como em iniciativas de desenvolvimento industrial.

Convém esclarecer que não se está sugerindo aqui qualquer tipo de superioridade dessa abordagem para exame de capacidades tecnológicas empresariais sobre a abordagem à base de *surveys* de inovação, a qual adota uma perspectiva macro ou agregada que permite, metaforicamente falando, obter uma visão da “floresta”, enquanto a abordagem baseada em tipos e níveis de capacidade tecnológica *nas* empresas fornece uma perspectiva de “árvores” específicas ou de um grupo ou espécies de uma floresta. São abordagens complementares. Ambas são importantes para o desenho e implementação de estratégias empresariais e governamentais de inovação industrial, assim como para decisões de investimentos em inovação.

No entanto, uma perspectiva sobre o *processo* de acumulação de capacidades tecnológicas em empresas específicas de determinados setores industriais, como feito na abordagem baseada em tipos e níveis de capacidade tecnológica em empresas, possibilita a identificação de nuances e pormenores altamente importantes para obter uma visão com adequado nível de detalhe e profundidade, além de captar a dinâmica de acumulação de capacidades para funções tecnológicas específicas de produção e inovação.

Uma abordagem dessa natureza, pouco explorada em larga escala no Brasil até recentemente, permite a captação de nuances, especificidades empresariais, setoriais e regionais do processo de acumulação de capacidades tecnológicas, tornando-se de crucial importância como clarificadora, iluminadora e apoiadora do processo de desenho, redesenho, implementação e ajuste de estratégias de desenvolvimento de capacidades tecnológicas em empresas na indústria. Serve, portanto, como uma perspectiva complementar à abordagem em nível agregado. Por sua simplicidade, associada ao seu nível de detalhe e rigor analítico e de aplicação, também pode ser empregada pela própria empresa por meio de iniciativas de seus gerentes, como um exercício de autoavaliação de sua capacidade tecnológica.

C: mecanismos de aprendizagem tecnológica (intra e interorganizacionais). Referem-se aos vários mecanismos pelos quais as empresas formam e acumulam suas capacidades inovadoras. Em outras palavras, a “aprendizagem” é analisada como *dados para formação da capacidade de inovação das empresas*. Portanto, se as empresas buscam aprofundar suas capacidades inovadoras rapidamente para cruzar as descontinuidades tecnológicas de forma efetiva e inovar na fronteira, precisam envidar esforços na aprendizagem intensiva para adquirir e criar os recursos necessários. Neste projeto de pesquisa, toma-se como base a afirmação de que a aprendizagem no sentido de formação e aprofundamento das capacidades para inovar é consciente, deliberada e não automática e passiva.

Serão coletadas evidências, bem como examinados e medidos esses *esforços de aprendizagem*, dentro de empresas individuais, com relação aos mecanismos de aprendizagem e atividades de dois tipos: aqueles *internos à empresa* e aqueles em que a empresa adquire elementos de capacidade por meio de *vínculos externos* a outras organizações. Esses dois tipos de mecanismo de aprendizagem envolvem, por exemplo, aquisições de conhecimento via contratação de pro-

fissionais, vários tipos de treinamento para adquirir conhecimento para inovação, assim como mecanismos de aprendizagem para assimilar ou absorver os vários tipos de conhecimento obtidos externamente para a realização de atividades inovadoras.

B: “impactos” da acumulação de capacidades tecnológicas. Os “impactos” de capacidades inovadoras e de aprendizagem serão examinados conforme seu efeito sobre o desempenho das empresas e da indústria. A forma como as empresas acumulam suas capacidades tecnológicas é algo que impacta sua *performance* competitiva. Especificamente, o alcance de *performance* distintiva está associado aos tipos e níveis de capacidade tecnológica que as firmas acumulam, permitindo a elas implementar atividades de produção e, principalmente, de inovação. Como a inovação agrega valor a produtos e serviços, possui impacto direto no crescimento da indústria e da economia. Por meio dela, podem-se ampliar mercados, criar demandas novas, antecipar-se a demandas do mercado e, conseqüentemente, conquistar e assegurar mercados internos e internacionais. Desse modo, a acumulação de capacidades tecnológicas, especialmente as inovadoras, impacta no alcance, sustentação e ampliação da competitividade industrial. Portanto, em nível de empresas e indústrias, constitui insumo fundamental para o crescimento industrial e econômico. Entre os indicadores de desempenho, serão examinadas: (i) a produtividade do trabalho e do capital; (ii) a capacidade para exportar; (iii) a implementação de atividades derivadas da capacidade inovadora e da aprendizagem.

D: influências indiretas, em nível de indústria e economia, na acumulação de capacidades tecnológicas de empresas. É óbvio o papel exercido pelas estruturas institucionais no processo de desenvolvimento tecnológico e industrial de uma nação. Muito embora o processo de inovação ocorra em nível de empresas, as universidades e institutos de pesquisa apoiam-no de várias formas: fornecendo capital humano qualificado, complementando atividades de pesquisa demandadas pela indústria e gerando ciência, que pode ser utilizada pela indústria (embora não haja linearidade, ou seja, a produção de ciência nas universidades e institutos públicos de pesquisa não significa necessariamente a geração de inovação industrial e, em vários casos, esta não depende da ciência produzida em universidades).

Trata-se, aqui, das políticas em nível federal, estadual e local, desenvolvidas intencionalmente, isto é, regulamentos, leis, normas, regras do jogo, instruções de política e programas que possuem objetivos implícitos e explícitos de influenciar o desenvolvimento da Ciência, Tecnologia & Inovação (CT&I). As regularidades do comportamento incluídas nas orientações de política, normas, regras, leis e rotinas podem criar incentivos positivos ou negativos que estimulam ou inibem o progresso tecnológico nas empresas selecionadas e o progresso industrial nas empresas e setores industriais escolhidos.

Especificamente, é útil classificar as políticas públicas em duas dimensões: quanto ao seu tipo – provisão de bens públicos ou intervenções no mercado – e quanto à sua transversalidade – vertical (limitada a alguns poucos setores) ou horizontal (de alcance setorial mais amplo). Prover educação de qualidade, investir em infraestrutura, garantir direitos de propriedade e reduzir a burocracia nos negócios são exemplos de políticas horizontais na provisão de bens públicos. Criar

universidades de engenharia, por exemplo, implica a provisão de bens públicos, mas de natureza vertical, pois atende a determinados setores (eletrônicos, por exemplo), mas não a outros. Por sua vez, existem políticas que distorcem os preços relativos de setores específicos (subsídios e proteção comercial para determinados setores). Finalmente, há intervenções de mercado que buscam atingir certas atividades (subsídios para P&D, treinamento de mão de obra e investimento em capital, por exemplo) e não determinados setores.

3 Desenho e Método da Pesquisa

Esta seção descreve o desenho e o método utilizados nesta pesquisa, dividindo-se em: (i) apresentação da estratégia da pesquisa; (ii) procedimentos e critérios para escolha da indústria e suas organizações; (iii) procedimentos e critérios para coleta de evidências.

3.1 Estratégia de pesquisa

À luz das questões a ser investigadas e da base analítica da pesquisa, a implementação da metodologia envolveu um exame intra e intersetorial e em nível de empresas, com cobertura ao longo do período de 2003 a 2014. Essa cobertura permitiu captar nuances e mudanças ao longo do tempo nas questões investigadas, ou seja, a dinâmica do processo de acumulação de capacidades tecnológicas e seu impacto na competitividade industrial.

A estratégia de pesquisa segue o modelo analítico de três etapas apresentado na Figura 2.2. Primeiramente, identificaram-se, ao longo do tempo, níveis e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas de empresas da indústria de mineração. Num segundo momento, analisou-se o que influenciou os níveis e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas por meio da incidência de diferentes mecanismos de aprendizagem implementados pelas empresas. Por fim, testaram-se os resultados gerados pela acumulação de capacidades tecnológicas por meio de impactos no desempenho competitivo das empresas (produtividade e inserção internacional). Essas três etapas buscaram analisar não apenas diferenças e semelhanças entre as empresas pesquisadas da indústria de mineração, como também áreas tecnológicas distintas dentro das próprias empresas. Para esta pesquisa, foram analisadas as áreas de pesquisa e prospecção, mineração, lavra e processamento mineral

A pesquisa foi baseada em evidências empíricas primárias colhidas diretamente da indústria de mineração (em nível de setores industriais e empresas), por meio da aplicação de questionários, combinada com trabalhos de campo. Essas evidências foram complementadas por evidências secundárias de fontes oficiais industriais e governamentais e por evidências empíricas obtidas, *a priori*, de uma base de dados composta por trabalhos desenvolvidos no âmbito do Programa de Pesquisa em Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial no Brasil, da EBAPE/FGV.

No intuito de aumentar o potencial de impacto a ser gerado por esta pesquisa na sociedade e sua aplicabilidade, uma de suas características marcantes foi a forte conexão e interação com tomadores de decisão (indústria e governo), que foram integrados ao processo da pesquisa desde a etapa inicial. Para isso, foi realizado um *workshop* com gestores empresariais, tanto de

empresas produtoras quanto fornecedores das indústrias pesquisadas, gestores governamentais, dirigentes de associações industriais e agências reguladoras, pesquisadores de universidades e institutos de pesquisa. Todos esses atores discutiram as principais questões prementes e as necessidades em nível empresarial, de indústria e governamental, concernentes à inovação e à competitividade industrial. Assim, o projeto baseia-se numa forte interação com empresas e outras instituições vinculadas aos respectivos setores, sendo esse outro grande diferencial em relação a pesquisas mais convencionais sobre inovação.

3.2 Procedimentos e critérios para escolha da indústria e suas organizações

Foram selecionadas para participar da pesquisa algumas das principais empresas que, no ano de 2014, realizaram atividades relacionadas à produção mineral. O primeiro levantamento feito sugeriu a participação de aproximadamente 40 empresas, que representavam praticamente a totalidade da indústria de mineração brasileira em termos de participação de mercado. Todas as empresas identificadas foram contatadas e convidadas a responder aos questionários desenvolvidos por esta pesquisa. Optou-se, também, pela realização de entrevistas com representantes de cinco empresas produtoras com características distintas e tamanhos variados. Essa escolha partiu de um direcionamento deliberado a partir da disponibilidade das empresas e possuiu o objetivo de captar informações que refletiam a variabilidade necessária para o entendimento do fenômeno estudado na pesquisa⁴. No fim, dez empresas produtoras da indústria de mineração no Brasil aceitaram responder ao questionário de pesquisa, as qual representavam, aproximadamente, 63% da produção mineral do país em 2014.

O Quadro 3.1 apresenta uma visão geral do progresso da pesquisa de campo realizada para a construção deste trabalho. Ressalta-se que a abordagem metodológica utilizada foi implementada em três estágios distintos, quais sejam: exploratório, piloto e principal. No fim do estágio principal, foi feita ainda uma etapa de pós-pesquisa, com o objetivo de operacionalizar completamente os constructos e validar os dados encontrados nos questionários.

⁴ Ver Eisenhardt (1989) e Patton (1990) sobre esse tipo de metodologia.

Quadro 3.1. Visão geral do progresso da pesquisa de campo

Elemento da pesquisa	Estágio da pesquisa			
	Exploratório	Piloto	Principal	Pós-pesquisa
Foco e propósito	<ul style="list-style-type: none"> Estudo de viabilidade da pesquisa. Estudo setorial prévio (principais empresas, instituições e fornecedores, cadeia produtiva, políticas públicas). 	<ul style="list-style-type: none"> Seleção da amostra de empresas. Teste para validação dos questionários. 	<ul style="list-style-type: none"> Coleta definitiva de dados quantitativos e qualitativos para a pesquisa. Implementação da análise de dados. 	<ul style="list-style-type: none"> Operacionalização completa dos constructos e validação dos dados.
Fonte de dados	<ul style="list-style-type: none"> Especialistas do setor. Literatura sobre o setor. 	<ul style="list-style-type: none"> Profissionais das empresas do setor. Documentos públicos das empresas selecionadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Profissionais das empresas do setor. Especialistas do setor. Eventos e atividades dos agentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Profissionais-alvo das empresas selecionadas.
Técnicas de coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> Realização de <i>workshop</i> com principais agentes do setor. Pesquisa documental. Entrevistas informais. 	<ul style="list-style-type: none"> Envio de questionário para um representante de cada tipo de agente (produtor, instituição e fornecedor). Envio de carta-convite para agentes participantes da etapa principal. 	<ul style="list-style-type: none"> Seis entrevistas formais. Envio de questionário para todas as organizações selecionadas. Cobrança de resposta dos questionários por telefone e <i>e-mail</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Follow-up</i> dos questionários respondidos. Dupla validação das informações obtidas nos questionários.
Análise dos dados	<ul style="list-style-type: none"> Descrição simples das informações encontradas na forma de texto. 	<ul style="list-style-type: none"> Identificação das atividades tecnológicas realizadas pelas empresas do setor. Validação dos questionários-piloto respondidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Análise estatística descritiva das informações obtidas. Uso de ferramentas estatísticas e econométricas para entender causalidades e correlações dos dados. 	<ul style="list-style-type: none"> Descrição dos resultados encontrados e confrontação com as informações obtidas anteriormente.

Fonte: Os autores (2016).

3.3 Procedimentos e critérios para coleta de evidências

A existência prévia de uma base de dados ajudou o processo de coleta de dados. Os dados permitiram dar o primeiro olhar para os movimentos recentes da indústria de mineração. Já as informações desejadas pela pesquisa e não presentes na literatura foram buscadas por meio de três tipos de evidência primária: *workshop*, entrevistas e aplicação de questionários.

3.3.1 *Workshop*

A primeira iniciativa na busca por respostas para as perguntas da pesquisa foi a realização de um *workshop*, que contou com a presença de 20 representantes do setor, como empresas produtoras, fornecedores, institutos de pesquisa e representantes do governo (Quadro 3.2). Realizado no período de uma tarde, nas dependências da FGV, no bairro da Candelária, o *workshop* ocorreu em duas etapas distintas: (i) formação de grupos de debate com uma amostra dos representantes, em que se discutiram tópicos específicos voltados para aquele público, sempre acompanhados de um pesquisador e em duas rodadas distintas; (ii) debates em plenária com a presença de todos os participantes, em que foram apresentados e discutidos os resultados encontrados nos grupos de trabalho. O *workshop* foi filmado e gravado, tendo as suas discussões transcritas pelos pesquisadores. As transcrições foram utilizadas para compor o roteiro de entrevistas que seria realizado na etapa posterior, bem como para fundamentar qualitativamente os resultados encontrados pela análise quantitativa.

Quadro 3.2. Instituições e respectivos participantes do *workshop* de pesquisa

Nº	Participante	Empresa/organização
1	Ana Carolina Gomes	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)
2	Anderson Constante	Andritz Brasil Ltda.
3	Audrei Caroline Moron	Metso Brasil Indústria e Comércio Ltda.
4	Bruno Barros	Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)
5	Claudia Villa Diniz	Anglo American Brasil S.A.
6	Claudio Porto	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
7	Domenica Blundi	Vale S.A.
8	Edgar Sepulveda	Vale S.A.
9	Eduardo Côrtes	Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM)
10	Elzivir Azevedo Guerra	Ministério de Minas e Energia (MME)
11	Fernando Andina	Eirich Industrial Ltda.
12	Gilberto Calaes	ConDet Ltda.
13	Horacício Leal Barbosa Filho	ABM
14	Jair Koppe	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
15	Júlio Marcos da Costa	Useligas Indústria e Comércio Ltda.
16	Leonardo Rezende	ABB Brasil Ltda.
17	Lucio Silva	FLSmidth Ltda.
18	Luiz Mello	Vale S.A.
19	Marcelo Marinho	Vallourec Mineração Ltda.

	Participante	Empresa/organização
20	Pedro Mesquita	BNDES
21	Renata Afonso	CETEM
22	Rodrigo Gomes	Votorantim Metais Holding S.A.
23	Sergio Corrêa	Useligas Indústria e Comércio Ltda.
24	Silvia França	CETEM

Fonte: Os autores (2016).

3.3.2 Entrevistas

Foram realizadas entrevistas com cinco representantes de empresas produtoras da indústria de mineração com diferentes portes e portfólio produtivo, as quais seguiram um roteiro elaborado pelo grupo de pesquisa, que cobria as três áreas designadas para o setor (pesquisa e prospecção, lavra e beneficiamento mineral), e foram semiestruturadas com caráter aberto para que o entrevistado tivesse liberdade de tratar temas que não estavam presentes *a priori* no roteiro de entrevista. Todas as entrevistas foram gravadas e transcritas para serem inseridas com caráter qualitativo no trabalho.

3.3.3 Questionários

A elaboração dos questionários buscou levantar evidências das três etapas do modelo analítico da pesquisa representado pela Figura 2.2, quais sejam: (i) acumulação de capacidades tecnológicas; (ii) impactos da acumulação de capacidades tecnológicas (desempenho competitivo); (iii) mecanismos intra e interorganizacionais de aprendizagem tecnológica. Esses questionários foram respondidos pelas dez empresas da indústria de mineração selecionadas para quatro triênios distintos de tempo: 2003-2005, 2006-2008, 2009-2011 e 2012-2014, divisão importante para averiguar a trajetória da acumulação de capacidades tecnológicas das empresas ao longo do tempo. O Quadro 3.3 sintetiza os tipos de questionário aplicados e as variáveis coletadas.

Quadro 3.3. Tipos de questionário aplicados, agentes respondentes e variáveis coletadas

Nº	Tipo de questionário	Variáveis coletadas
1	Atividades tecnológicas nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e beneficiamento mineral executadas pelas empresas.	Níveis de capacidade tecnológica nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e beneficiamento mineral das empresas.
2	Caracterização da organização e desempenho competitivo.	Características gerais da empresa e variáveis de desempenho competitivo (produtividade do trabalho e inserção internacional).
3	Mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais.	Tipos de mecanismo de aprendizagem intraorganizacional utilizados e resultados do uso desses mecanismos para as empresas.

Nº	Tipo de questionário	Variáveis coletadas
4	Mecanismos de aprendizagem interorganizacionais.	Tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional utilizados, parceiros envolvidos e resultados do uso desses mecanismos para as empresas.

Fonte: Os autores (2016).

O questionário 1 de atividades tecnológicas nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e beneficiamento mineral executadas pelas empresas buscou mensurar sua acumulação de níveis de capacidade tecnológica, ou seja, a etapa A do modelo de pesquisa; para tanto, seguiu a escala de níveis de capacidade tecnológica apresentada pela Figura 2.3, mas adaptada às especificidades tecnológicas das referidas áreas. Essa abordagem envolve a aquisição direta de informações descritivas sobre as atividades tecnológicas implementadas pelas empresas. A metodologia é baseada em uma série de estudos que medem as capacidades inovadoras de empresas *latecomers* em períodos e indústrias distintos⁵. Os Quadros 3.4 a 3.6 apresentam a escala de níveis de capacidade tecnológica, respectivamente, para as áreas de pesquisa e prospecção, lavra e beneficiamento mineral da indústria de mineração.

Quadro 3.4. Escala de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção

Níveis de capacidade tecnológica		Atividades tecnológicas da área pesquisa e prospecção
Níveis de capacidade de inovação	Nível 5: Capacidade inovadora de Liderança Mundial	Capacidade de criar novas tecnologias de ponta (<i>cutting-edge innovation</i>) em pesquisa e prospecção à base de P&D básico e aplicado com grau de novidade mundial e que provocam impacto disruptivo no modelo de negócio, ambiente competitivo, como por exemplo: pesquisa básica relacionada a sistemas de interpretação geológica; P&D básico em inversão 3D para exploração mineral.
	Nível 4: Capacidade inovadora avançada	Capacidade de implementar modificações complexas de tecnologias em pesquisa e prospecção com base em atividades de pesquisa aplicada e desenvolvimento exploratório, por exemplo: P&D aplicado para geração de modelos prospectivos; P&D aplicado em metodologias de exploração mineral.
	Nível 3: Capacidade inovadora intermediária	Capacidade de implementar modificações relativamente complexas em pesquisa e prospecção com base em experimentações, engenharia & <i>design</i> não originais e mudanças arquiteturas, por exemplo: adaptação e implementação baseada em tecnologia e engenharia de tecnologia de perfuração; adaptações e experimentações de metodologias de gerenciamento de projetos minerais.
	Nível 2: Capacidade inovadora básica	Capacidade de implementar pequenas adaptações em pesquisa e prospecção, por exemplo: condução da pesquisa mineral a partir da caracterização de ambiente metalogenético a partir do contexto geológico, geotectônico, geoquímico e/ou geofísico de uma dada área.
Nível de capacidade de produção	Nível 1: Capacidade de produção	Capacidade de executar atividades operacionais com base no uso das mais avançadas tecnologias e sistemas de produção existentes em pesquisa e prospecção baseados em padrões globais de eficiência e qualidade, por exemplo: implementação de viveiros com controle de qualidade de mudas e controle de doenças etc.

Fonte: Os autores (2016).

⁵ Ver, por exemplo, Bell e Pavitt (1995), Dantas e Bell (2009), Figueiredo (2010) e Lall (1992).

Quadro 3.5. Escala de capacidades tecnológicas na área de lavra

Níveis de capacidade tecnológica		Atividades tecnológicas da área lavra
Níveis de capacidade de inovação	Nível 5: Capacidade inovadora de Liderança Mundial	Capacidade para criar novas tecnologias de ponta (<i>cutting- edge innovation</i>) em lavra com base em P&D de classe mundial e que provocam impacto disruptivo no modelo de negócio, ambiente competitivo, como por exemplo: pesquisa básica para novos sistemas de perfuração de rochas; P&D básico em sistema a laser para perfuração de rochas; P&D básico em lixiviação <i>in situ</i> ; P&D básico em tecnologias de automação.
	Nível 4: Capacidade inovadora avançada	Capacidade de implementar modificações complexas de tecnologias em lavra com base em atividades de pesquisa aplicada e desenvolvimento exploratório, por exemplo: P&D aplicado em fragmentação de rochas; P&D aplicado em implementação de equipamentos autônomos etc.
	Nível 3: Capacidade inovadora intermediária	Capacidade de implementar modificações relativamente complexas em lavra com base em experimentações, engenharia & <i>design</i> não originais e mudanças arquiteturais, por exemplo: adaptação e implementação baseada em engenharia de equipamentos e transporte de minérios.
	Nível 2: Capacidade inovadora básica	Capacidade de implementar pequenas adaptações/melhorias em tecnologias de lavra, como por exemplo: pequenas melhorias nos equipamentos de mineração como escavadeiras e caminhões por meio de atividades de manutenção etc.
Nível de capacidade de produção	Nível 1: Capacidade de produção	Capacidade de executar atividades operacionais com base no uso das mais avançadas tecnologias e sistemas de produção existentes em lavra baseados em padrões globais de eficiência e qualidade, por exemplo: uso de equipamentos e processos adequados à escala de lavra estabelecida; realização das atividades de mineração estendendo às normas ambientais e de qualidade (certificação).

Fonte: Os autores (2016).

Quadro 3.6. Escala de capacidades tecnológicas na área de beneficiamento mineral

Níveis de capacidade tecnológica		Atividades tecnológicas da área beneficiamento mineral
Níveis de capacidade de inovação	Nível 5: Capacidade inovadora de Liderança Mundial	Capacidade de realizar atividades inovadoras e/ou criar novas tecnologias em beneficiamento mineral à base de P&D básico e aplicado que provocam impacto disruptivo no modelo de negócio, ambiente competitivo ou abrem oportunidades para entrada em novos negócios, como por exemplo: P&D básico em nanotecnologia; P&D básico em modelagem e simulação do comportamento de partículas durante a flotação; P&D básico em biolixiviação.
	Nível 4: Capacidade inovadora avançada	Capacidade de realizar modificações complexas e/ou criar novas tecnologias à base de P&D aplicado em tecnologias de beneficiamento mineral, como por exemplo: P&D aplicado para desenvolvimento de novos tipos de pelotas; P&D aplicado em técnicas de caracterização mineral.
	Nível 3: Capacidade inovadora intermediária	Capacidade de realizar modificações e/ou criar novas tecnologias de beneficiamento mineral a partir de atividades de desenvolvimento baseado em engenharia e experimentações, como por exemplo: realização de atividades de dimensionamento de usinas baseadas em engenharia; desenvolvimento e implantação de rota SAG.
	Nível 2: Capacidade inovadora básica	Capacidade de realizar pequenas adaptações/melhorias em tecnologias de beneficiamento mineral, como por exemplo: melhorias no balanço metalúrgico; melhorias nas atividades de moagem.
Nível de capacidade de produção	Nível 1: Capacidade de produção	Capacidade de executar atividades operacionais de beneficiamento mineral baseadas em tecnologias dominantes com níveis globais de eficiência e qualidade, como por exemplo: realização de atividades de beneficiamento mineral com controle de qualidade do minério e atendimento das especificações do cliente.

Fonte: Os autores (2016).

O questionário 2 de caracterização da organização e desempenho competitivo das empresas buscou coletar suas informações gerais para a mensuração de variáveis de desempenho competitivo, ou seja, a etapa C do modelo de pesquisa. O desempenho competitivo foi medido nesta pesquisa por meio das variáveis de produtividade do trabalho (receita bruta de vendas dividida pelo número de empregados) e inserção internacional (proporção das receitas obtidas com exportação). Esses dados financeiros e comerciais foram coletados para os últimos anos de

cada um dos quatro triênios pesquisados, quais sejam: 2005, 2008, 2011 e 2014. O Quadro 3.7 sintetiza as variáveis de desempenho competitivo selecionadas.

Quadro 3.7. Variáveis de desempenho competitivo

Tipo de variável	Variável averiguada
Produtividade do trabalho	Receita bruta de vendas (em R\$) por número de empregados.
Inserção internacional	Proporção das receitas obtidas com exportação (em %).

Fonte: Os autores (2016).

Por fim, os questionários 3 e 4 de mecanismos de aprendizagem intra e interorganizacionais (internos e externos, respectivamente) buscaram mensurar os tipos de mecanismo utilizados pelas empresas, tipos de parceria e tipos distintos de resultado que pudessem influenciar a acumulação de níveis de capacidade tecnológica, ou seja, a etapa B do modelo de pesquisa. Os mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais são caracterizados pela geração interna de saber tecnológico, que pode acontecer por meio da criação, compartilhamento, integração e codificação interna de conhecimento. Em teoria, tornam as empresas capazes de absorver os recursos trazidos de fora, isto é, possibilitam a integração das aprendizagens interna e externa, internalizando-a em suas próprias capacidades de processo e de produto⁶. O Quadro 3.8 apresenta os tipos de mecanismo intraorganizacionais utilizados na pesquisa.

Quadro 3.8. Mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Mecanismo intraorganizacional	Exemplos
Criação interna de conhecimento	Treinamento para geração de novos materiais, processos e equipamentos; experimentação e testes em laboratórios e plantas; solução de problemas por profissionais individuais.
Compartilhamento de conhecimento	Times multidisciplinares para troca de conhecimento interno; disseminação de especialistas dentro da empresa; troca de conhecimento por redes internas; soluções compartilhadas de problemas entre áreas funcionais.
Integração interna de conhecimento	Arranjos internos para integração de conhecimento desenvolvido em diferentes áreas da organização; uso de comitês e projetos de longo alcance para compartilhar e integrar conhecimento inovativo; uso de profissionais especializados em compartilhamento de integração de experiência dentro de diferentes áreas da empresa; arranjos interfuncionais (por exemplo, engenharia, produção, <i>marketing</i> , P&D) para solução de problemas específicos e/ou projetos de desenvolvimento.
Codificação de conhecimento e arranjos organizacionais relacionados	Documentação de atividades realizadas no processo produtivo; padronização das práticas de engenharia; documentação de procedimentos administrativos; criação de normas e regulações internas.

Fonte: Os autores (2016).

⁶ Ver Bell e Figueiredo (2012), Figueiredo (2015) e Figueiredo, Cohen e Gomes (2013).

Já os mecanismos de aprendizagem interorganizacionais são caracterizados pelos fluxos e ligações de saber tecnológico entre empresas e demais organizações, como universidades, institutos de pesquisa, consultores, competidores ou outras empresas ao longo da cadeia produtiva (fornecedores e clientes). Seus fluxos e ligações podem apresentar diversos tipos de interação, desde uma contratação ou treinamento de mão de obra até arranjos mais complexos de parcerias em projetos de P&D. A aquisição de conhecimento tecnológico externo é um dos principais meios pelos quais as empresas de economias em desenvolvimento podem avançar em níveis de capacidade tecnológica para inovação⁷. O Quadro 3.9 apresenta os tipos de mecanismo interorganizacional e parceiro utilizados na pesquisa.

Quadro 3.9. Mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

Mecanismo interorganizacional	Exemplos	
Contratação de profissionais	Contratação de profissionais com competências específicas para determinado processo produtivo.	
Treinamentos técnicos/gerenciais específicos	Treinamentos realizados dentro da firma com parceria de outras organizações.	
Diferentes formas de ensino	Programas de graduação e pós-graduação; participação em congressos etc.	
Assistência técnica	Interações com consultores e especialistas para o desenvolvimento de um projeto.	
Aquisição de conhecimento codificado	Busca de documentação de patentes; compra de algoritmos de <i>design</i> ; acesso a conhecimento científico diverso; compra de padrões técnicos, patentes e especificações de produto.	
Aprendizado com usuários líderes	Troca de experiências para resolução de problemas; desenho e desenvolvimento produtivo conjunto; criação de novas formas de distribuição.	
P&D	Interações em projetos de inovação avançada.	
Tipos de parceiro		
Universidades e institutos de pesquisa locais	Fornecedores	Consultorias
Universidades e institutos de pesquisa internacionais	Firmas competidoras	Clientes

Fonte: Os autores (2016).

Para cada tipo de mecanismo de aprendizagem intra e interorganizacional, buscou-se também entender os resultados gerados, concebidos a partir da visão mais ampla de inovação, de etapas mais básicas a etapas mais complexas (Figura 2.1), quais sejam: (i) informações técnicas sobre processos e produtos existentes; (ii) melhorias e adaptações em processos e produtos exis-

⁷ Ver Figueiredo (2015) e Figueiredo, Cohen e Gomes (2013).

tentes; (iii) criação de novos processos e produtos; (iv) criação de novos conhecimentos científicos; (v) patentes.

Os procedimentos adotados decorreram tanto de análises qualitativas quanto estatísticas. A análise qualitativa foi realizada por meio da interpretação das discussões entre especialistas e agentes da indústria de mineração no Brasil no *workshop* e nas entrevistas individuais com diretores e gestores de algumas das principais empresas produtoras. Já a análise estatística foi realizada pela utilização de inferências estatísticas na busca por correlações e possíveis causalidades entre as variáveis das três etapas de análise (acumulação de capacidades tecnológicas, mecanismos de aprendizagem e desempenho competitivo)⁸. Buscou-se, em todas as etapas, a confrontação entre resultados quantitativos e informações qualitativas, ou seja, os resultados estatísticos foram validados, na medida do possível, por exemplos e evidências práticas observados nas empresas pesquisadas.

⁸ Os procedimentos estatísticos e a mensuração de algumas variáveis são apresentados no decorrer de sua utilização na seção 5.

4 Características da Indústria de Mineração

Esta seção apresenta um panorama do contexto empírico no qual foi realizada esta pesquisa. Na subseção 4.1, faz-se uma delimitação da natureza das indústrias de recursos naturais, enquanto, na subseção 4.2, se trata de questões básicas sobre o processo de produção na mineração, bem como é apresentada a delimitação do foco da pesquisa. A subseção 4.3 apresenta questões relacionadas às rotas tecnológicas da mineração e, por fim, a subseção 4.4 destaca aspectos econômicos e competitivos dessa indústria no mundo e no Brasil, além de descrever e apresentar, em linhas gerais, as empresas da amostra desta pesquisa.

4.1 Delimitação da natureza das indústrias de recursos naturais

Existem duas compreensões sobre as indústrias de recursos naturais, as quais determinaram dois modelos opostos de interpretação de suas atividades econômicas: de um lado, a visão de que se trata de um ativo intangível isolado e, de outro, de um ativo de complexas relações tangíveis e intangíveis.

A perspectiva do fluxo linear pauta a primeira interpretação (visão do ativo intangível isolado). Nesse contexto, o sistema de produção mineral é entendido como estático e a atividade econômica resulta da mera aplicação do estado da arte existente⁹. É a concepção de indústria extrativa, que atua retirando os elementos necessários para uma dada atividade econômica, a qual é realizada em uma etapa posterior da cadeia produtiva, não havendo geração de conhecimento, tampouco criação de conexões com outras atividades produtivas. É um enclave, nada mais.

A segunda interpretação é pautada no fluxo iterativo. Trata-se de um sistema de produção dinâmico, com a atividade econômica originando-se de avanços ocorridos em diferentes áreas do conhecimento técnico e científico¹⁰. Dessa forma, a indústria passa a articular o fluxo de conhecimento de diferentes campos científicos. A criação de elos capazes de promover a geração e o fluxo de conhecimento entre as atividades econômicas e entre elas e as diferentes organizações de ensino e pesquisa é facilitada¹¹.

No setor da mineração, ter uma indústria a partir de uma visão dinâmica e iterativa é fundamental para que ela possa cumprir um papel relevante no desenvolvimento de um país. Portanto, essa visão sobre os recursos naturais e sua criação pela ação humana desdobra-se em

⁹ Ver Furtado e Urias (2013).

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ver Scott-Kemmis (2013).

várias dimensões relevantes e ajuda a compreender como tornar mais efetivos os recursos em potencial e a exploração dos recursos existentes¹².

4.2 Indústria de mineração: ideias básicas e foco da pesquisa

Tendo em mente informações como a classificação da indústria, a cadeia de valor da mineração, a tecnologia da indústria e os bens minerais de valor econômico que podem ser extraídos por uma mineradora, foi possível chegar à delimitação de áreas ou atividades da indústria de mineração.

A classificação da indústria de mineração na proposta de pesquisa aqui apresentada está em concordância com a *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities* (ISIC)¹³, cuja seção B (exploração de minas e pedreiras ou indústria extrativa) inclui a extração de minerais que ocorrem naturalmente como sólidos (carvão e minérios), líquidos (petróleo) ou gases (gás natural), como também atividades complementares que visam a beneficiar os materiais brutos, como, por exemplo, britagem, moagem, limpeza, secagem, classificação, concentração de minérios, liquefação de gás natural e aglomeração de combustíveis sólidos.

As atividades de mineração são classificadas em divisões, grupos e classes em função do principal minério produzido. Por exemplo, as divisões 05 e 06 estão preocupadas com a indústria extrativa de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás), enquanto a divisão 07 inclui a mineração de minerais metálicos, realizada por meio de extração subterrânea ou a céu aberto, fundos marinhos etc. Também estão incluídas operações de beneficiamento, como britagem, moagem, lavagem, secagem, sinterização, lixiviação, separação por gravidade ou operações de flotação. O grupo 071 inclui a extração de metais ferrosos (ferro, manganês, níquel, cromo, cobalto etc.) e o 072, de metais não ferrosos (ouro, prata, alumínio, cobre, chumbo etc.); por sua vez, a classe 0710 inclui extração e beneficiamento de metais ferrosos. Nesta pesquisa, com vistas a prover maior precisão, dá-se ao setor estudado o nome indústria de mineração excluindo petróleo e gás¹⁴. Destaca-se, nesse sentido, tipologia das especificidades setoriais quanto às fontes e direções do progresso técnico; de acordo com ela, a indústria de mineração é intensiva em escala e suas principais fontes de inovação são de departamentos internos de engenharia e fornecedores de máquinas e equipamentos¹⁵.

Mineral é todo corpo inorgânico de composição química e propriedades físicas definidas encontrado na crosta terrestre, já o minério é toda rocha constituída por um mineral ou agregado de minerais, contendo um ou mais minerais valiosos, possível de ser aproveitado economicamente. O mineral ou conjunto de minerais não aproveitados de um minério é denominado ganga¹⁶, sendo os bens minerais que possuem valor econômico e extraídos por uma dada mi-

¹² Ver Furtado e Urias (2013) e Scott-Kemmis (2013).

¹³ Ver UN (2008).

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ver Pavitt (1984).

¹⁶ Ver Luz e Lins (2010).

neradora extensos. O Quadro 4.1 apresenta uma lista de bens minerais que são concernentes à indústria de mineração.

Quadro 4.1. Indústria de mineração e bens minerais: classificação

Categoria	Subcategoria	Exemplos
Metálicos	Metais ferrosos	Ferro, manganês, cromo e níquel.
	Metais preciosos	Ouro, prata, platina, ósmio, irídio e paládio.
	Metais não ferrosos	Cobre, alumínio, zinco, chumbo e estanho.
	Minerais de metais raros	Nióbio, escândio, índio, germânio, gálio etc.
Não metálicos	Minerais cerâmicos e refratários	Argila, feldspato, caulim, quartzo, magnesita, cromita, grafita, cianita, dolomita, talco etc.
	Minerais isolantes	Amianto, vermiculita, mica etc.
	Minerais fundentes	Fluorita, calcário, criolita etc.
	Materiais abrasivos	Diamante, granada, sílica, coríndon etc.
	Minerais de carga	Talco, gipsita, barita, caulim, calcita etc.
	Minerais e rochas para a agricultura	Fosfato, calcário, sais de potássio, feldspato, flogopita, zeólita etc.
	Minerais de uso ambiental	Bentonita, atapulgita, zeólita, vermiculita etc.
	Gemas ou pedras preciosas	Diamante, esmeralda, safira, turmalina, topázio, águas marinhas etc.
	Águas minerais e subterrâneas	
Minerais energéticos	Radioativos	Urânio e tório.
	Combustíveis fósseis	Petróleo, turfa, linhito, carvão e antracito.

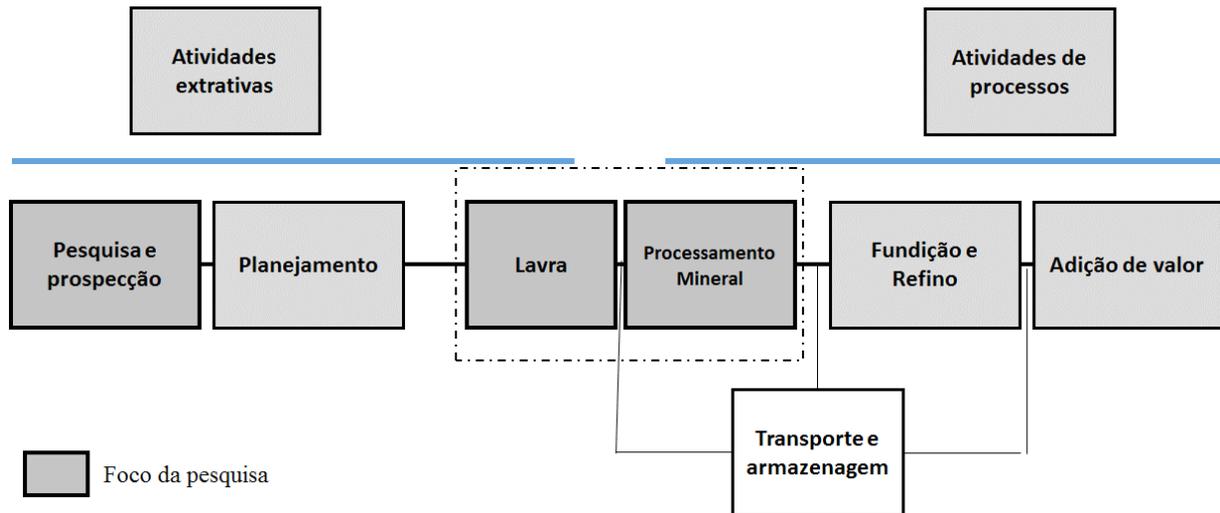
Fonte: Adaptado de Piana (2016).

Nesta pesquisa, a categoria “metálicos” foi enfatizada, correspondendo as empresas da amostra especialmente a minério de ferro, zinco, níquel e cobre. Isso se deveu ao fato de os metais terem um sistema de produção distinto de outros bens minerais; ademais, o minério de ferro representou 75% da exportação mineral brasileira em 2014¹⁷, sendo o bem mineral mais representativo da receita operacional da empresa foco deste estudo (51% da receita operacional da Vale em 2014)¹⁸.

A pesquisa classificou as atividades nas seguintes áreas tecnológicas: (i) pesquisa e prospecção; (ii) lavra; (iii) processamento mineral (Figura 4.1).

¹⁷ Ver IBRAM (2015).

¹⁸ Ver Vale (2015).

Figura 4.1. Indústria de mineração: áreas tecnológicas delimitadas

Fonte: Adaptado de Piana (2016).

4.3 Principais tendências tecnológicas da indústria de mineração

Aqui, o objetivo é apresentar algumas mudanças tecnológicas da indústria de mineração, especialmente nas atividades relacionadas à prospecção e pesquisa mineral, lavra e processamento mineral.

A maior parte das mudanças tecnológicas na indústria de mineração foi impulsionada por desafios geológicos para manter níveis satisfatórios de custo e produtividade para atender à demanda mineral frente ao cenário de diminuição do teor dos minérios e à crescente complexidade mineralógica¹⁹. Mais recentemente, foram adicionados desafios relacionados aos requisitos para questões ambientais, de saúde, segurança e escassez de mão de obra²⁰. A inovação e a aprendizagem nessa indústria têm se orientado para lidar com esses desafios.

O surgimento da Tecnologia da Informação (TI), no fim do século XX, possibilitou grande parte das inovações em áreas específicas na mineração. Por meio da TI, foram permitidas às empresas a utilização de quantidades muito maiores de dados no planejamento, programação e controle das operações²¹ e a integração de todas as atividades, desde a pesquisa e prospecção até o processamento mineral e transporte.

Na área de pesquisa e prospecção mineral, a inovação é nevrálgica²², podendo ser citadas algumas tendências tecnológicas: (i) algoritmos de inversão: os novos algoritmos de inversão permitem que os dados geofísicos sejam usados de modo diferente, levando a muitas descobertas de depósitos de cobre e de ouro; (ii) gravimetria aérea: técnica que detecta variações precisas no campo gravitacional da Terra, diminuindo de maneira significativa os custos; deve revolucionar a exploração de minas nos próximos anos; (iii) InfiniTEM[®]: mede a circulação no solo de on-

¹⁹ Ver Barnett e Bell (2011).

²⁰ Ibid.

²¹ Ver Granville (2001).

²² Ver Mining Association of Canada (2012).

das eletromagnéticas; (iv) *Ligth Detection and Ranging* (LIDAR) ou *Airborne Laser Terrain Mapper* (ALTM): pode determinar a topografia com uma precisão altimétrica entre 5 e 20 cm; (v) satélites de precisão em centímetros; (vi) sonda multiparâmetro: determina rapidamente as propriedades geofísicas das rochas, suas características magnéticas e sua habilidade de transmitir correntes elétricas; (vii) imagens hiperespectrais: o aparelho, também conhecido como mapeador de testemunhos, tira uma imagem para cada 2 nm de alcance do espectro visível e do infravermelho, cobrindo comprimentos de onda de 400 a 1.000 nm²³.

Na área de lavra, as inovações tiveram um papel importante, facilitando a extração de minérios em rochas mais difíceis. Algumas tendências tecnológicas na área são: (i) módulo lunar; (ii) Spoutnik; (iii) medição de cavidades; (iv) *Blasting Box*: é possível usar um mecanismo de ignição de ar pressurizado, em vez de um com molas, para evitar explosões inesperadas; (v) mecanização, automação e robótica: oferta de sistemas de monitoramento, controle e operação em equipamentos destinados à execução de tarefas semiautônomas ou totalmente automatizadas – britadores *in-pit*, equipamento de mineração contínua, *Tunnel Boring Machine* (TBM), injetores de emulsão com braço robótico, máquinas automáticas de perfuração, carregadores com controle remoto ou automação, robôs usados em tarefas de manutenção de caminhão etc.²⁴

Na área de processamento mineral, a inovação é também nevrálgica. Algumas tendências tecnológicas na área são: (i) pré-concentração subterrânea; (ii) usina modular: tratamento modular UMCO é uma solução de baixo custo para minerar depósitos minerais de pequena escala; (iii) sonar fluxômetro: em um complexo de mineração, o minério segue um caminho predeterminado da extração para a concentração, principalmente por meio de caminhões e correias transportadoras; (iv) monitoramento da cominuição de minérios: a cominuição é o primeiro passo no processamento de minérios²⁵.

Nas atividades de *lavra e processamento mineral*, a utilização da biotecnologia e da engenharia química e mecânica tem proporcionado o aumento da eficiência dessas atividades²⁶. A biolixiviação (tecnologia de tratamento de minérios) e melhorias sucessivas na metalurgia, por exemplo, melhoraram a viabilidade de muitos projetos²⁷. As mudanças ocorridas a partir da década de 1990 transformaram a indústria de mineração de um setor considerado, na década de 1970, maduro e de baixa inovação em uma indústria intensiva em P&D, 30 anos mais tarde²⁸.

²³ Ver Piana (2016).

²⁴ Ver Mining Association of Canada (2012) e Piana (2016).

²⁵ Ibid.

²⁶ Ver Urzúa (2013).

²⁷ Ver Segal (2000) e Urzúa (2013).

²⁸ Ver Urzúa (op. cit.).

4.4 A indústria de mineração: breve panorama dos aspectos econômicos e da organização industrial no mundo e no Brasil

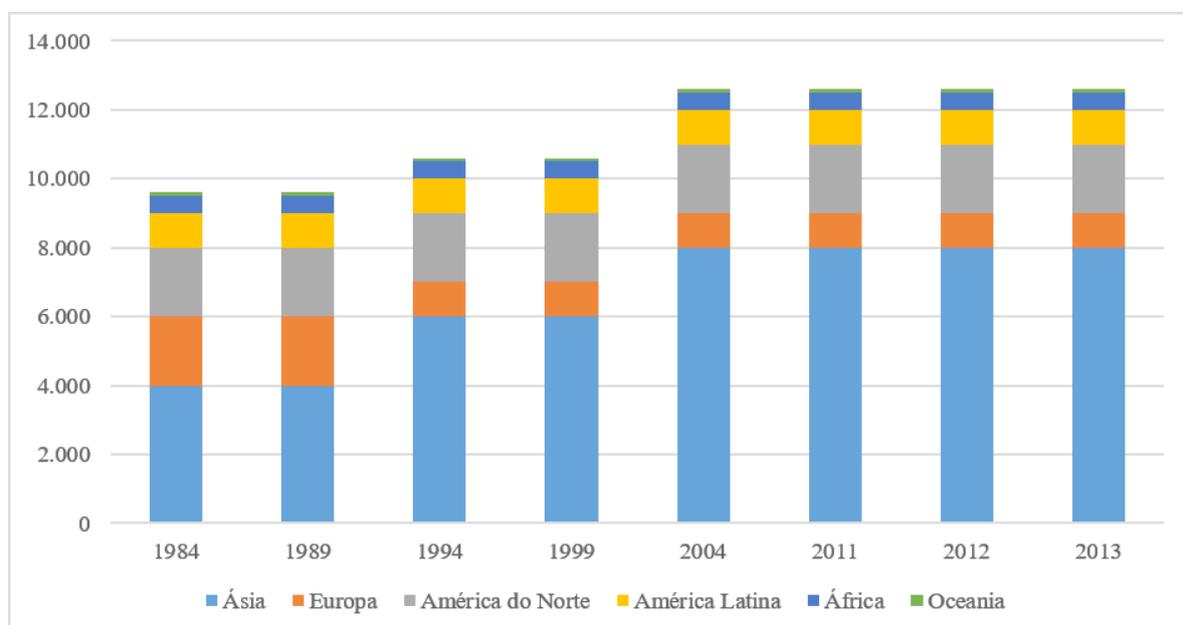
Esta subseção apresenta um breve panorama da indústria de mineração no mundo (subseção 4.4.1) e alguns aspectos das políticas públicas e tributação no Brasil (subseção 4.4.2).

4.4.1 Panorama da mineração no mundo

Ao longo dos anos, a indústria de mineração passou por grandes crescimentos na produção global. Dois momentos podem ser destacados com um aumento substancial da produção, quando comparados aos períodos anteriores: o primeiro aconteceu após a Segunda Guerra Mundial e o segundo, a partir da década de 2000. O crescimento significativo na produção a partir da década de 2000 deu-se pelo *boom* da indústria global de mineração, caracterizado pelo aumento da demanda e dos preços e, portanto, também pelo aumento dos níveis de lucro.

A produção mineral também aumentou, conforme demonstrado na Figura 4.2. Esse crescimento, no período entre 1985 e 2013, em termos percentuais foi mais acentuado na Austrália (68%), Ásia (62%), América Latina (51%) e África (46%). Na América do Norte, o aumento da produção mineral foi menor (cerca de 10%). Ao contrário desses continentes, que obtiveram crescimento, a Europa reduziu a produção mineral em cerca de 40%, de 1985 a 2013.

Figura 4.2. Produção mundial de minerais por continente entre 1984 e 2013 – US\$ milhões



Fonte: Adaptado de Piana (2016).

Os Estados Unidos, além de possuir uma parcela importante da produção mundial de mineração, mantiveram a posição de maiores fornecedores de máquinas, equipamentos e outros

insumos para a mineração²⁹. Vários países europeus, nomeadamente, Alemanha, Reino Unido e, em menor medida, Suécia, Finlândia e França, também possuíam um papel de liderança como fornecedores, apesar de terem uma parcela muito reduzida da produção mundial de mineração. Cabe destacar que havia mais de 2.500 minas produtoras de minérios metálicos usando métodos mecanizados no mundo, excluindo pequenas operações manuais e artesanais. No entanto, 13 minas a céu aberto no mundo produziam mais de 50 milhões de toneladas de minérios por ano; juntas, representavam mais de 20% do volume total de minérios metálicos produzidos anualmente no mundo. Uma centena de minas produzia por volta de dez milhões de toneladas por ano. As restantes, por volta de 2.400 minas, produziam em média apenas 1,7 milhão de toneladas³⁰.

Algumas das empresas recém-entrantes mais ativas na mineração eram originárias de economias emergentes, mas, em geral, estas não estavam no controle da produção mineral³¹. Outras aproveitaram as privatizações como um trampolim para uma posterior expansão global, como Vedanta, da Índia. Empresas chinesas buscaram garantir sua demanda de matérias-primas por meio de investimentos diretos em qualquer lugar do mundo. Por exemplo, a Chinalco adquiriu 12% da Rio Tinto durante a competição com a BHP Billiton para adquiri-la³² (Quadro 4.2).

Quadro 4.2. Ranking dos líderes de produção mineral por tipo de minério (2014)

Tipo de minério	1ª maior produtora do mundo	2ª maior produtora do mundo	3ª maior produtora do mundo
Minério de ferro	Vale 319,2 milhões de toneladas/ano	Rio Tinto 280 milhões de toneladas/ano	BHP Billiton 233 milhões de toneladas/ano
Níquel	MMC Norilsk Nickel 274,2 kt/ano	Vale 274 kt/ano	BHP Billiton 154 kt/ano
Carvão	Coal India 431 milhões de toneladas/ano	Shenhua Group 352 milhões de toneladas/ano	Peabody Energy 198 milhões de toneladas/ano
Cobre	Codelco 1,841 milhão de toneladas/ano	Freeport-McMoRan Copper & Gold Inc. 1,44 milhão de toneladas/ano	BHP Billiton 1,1 milhão de toneladas/ano

Fonte: Adaptado de Piana (2016).

De forma geral, a desaceleração nos preços das *commodities* minerais forçou as empresas a focar na redução de custos e dos investimentos de capital – o minério de ferro foi o preço mais atingido, caindo de mais de US\$ 160,00 a tonelada em meados de 2011 para menos de US\$ 40,00 a tonelada em meados de 2015 e a perspectiva global atual para os metais continua fraca, devido

²⁹ Ver Urzúa (2013).

³⁰ Ver Ericsson (2012).

³¹ Ver UNCTAD (2012).

³² Ver Ericsson (op. cit.).

à combinação de uma taxa mais lenta de crescimento econômico global, particularmente nos mercados emergentes, e sinais de um excesso de oferta de diversos produtos de base, principalmente de minério de ferro e carvão.

4.4.2 Panorama da indústria de mineração no Brasil

No primeiro semestre de 2015, o Índice de Produção Mineral (IPM) cresceu 15,5% em relação ao mesmo período de 2014. A principal explicação seria o aumento na quantidade produzida de minérios de ferro (17,16%), cobre (61,44%) e manganês (21,07%). Também contribuíram positivamente: níquel, alumínio, potássio, caulim, nióbio, crisotila, grafita e cromo. Bens minerais como o zinco apresentaram variações negativas (-2,87%). Explicam esse quadro problemas operacionais na manutenção das minas/usinas, bem como fatores climáticos e menor teor de minério. Em 2015, o Valor da Produção Mineral (VPM) do país atingiu R\$ 35,9 bilhões, enquanto, no segundo semestre de 2014, foi de R\$ 48,4 bilhões, em valores nominais, sendo o total estimado para aquele ano de aproximadamente R\$ 100 bilhões. Ao longo desse período, a trajetória descendente do preço dos bens minerais – sobretudo, do minério de ferro – já se apresentava, embora persistissem investimentos em oferta e excesso de produção mineral.

No Brasil, as grandes empresas de mineração surgiram no início da década de 1940, com a Vale do Rio Doce. A contribuição do setor ao Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro evoluiu de 1% na década de 1980 para 4,1% em 2013. A produção mineral brasileira cresceu de US\$ 5 bilhões em 2001 para US\$ 44 bilhões em 2013, quando as exportações minerais representaram 23,5% do valor total exportado pelo Brasil e essa indústria empregou aproximadamente 2,2 milhões de pessoas, gerando US\$ 1,03 bilhão em *royalties*³³.

Quanto à Utilização da Capacidade Instalada (UCI)³⁴, seu valor médio no primeiro semestre de 2015 nas empresas selecionadas alcançou 82,1%, o que representou um aumento de 5,7% em relação ao primeiro semestre de 2014. As firmas que apresentaram UCI abaixo da média foram aquelas produtoras de bens minerais como ouro, carvão mineral, manganês, potássio e zinco. No segundo semestre de 2014, o índice alcançou 84%, indicando ter apresentado uma queda no corrente ano; os bens minerais com UCI abaixo da média foram cobre, manganês, níquel e nióbio, revelando um padrão distinto daquele apresentado no primeiro semestre de 2015.

Em 2013, os bens minerais tiveram participação no PIB do Brasil de 4% e no PIB global de 5%. O nível de atividade da indústria extrativa mineral tem sido acompanhado de alteração na composição da demanda, isto é, o setor externo vem apresentando maior dinamismo, em detrimento do mercado doméstico. Entre os setores consumidores de bens minerais, tiveram desempenho negativo: siderurgia (-5,3%) e metalurgia (-5,0%). Entre as atividades que melhoraram seu desempenho, estão produtos de ferro-gusa e ferro-liga (4,5%)³⁵.

³³ Ver DNPM (2014).

³⁴ É a máxima produção beneficiada que cada planta de beneficiamento consegue atingir.

³⁵ Ver IBGE.

Em relação ao primeiro semestre de 2014, o valor exportado diminuiu 34,1% e o saldo comercial, 41,6%. As importações também caíram, mas em menor intensidade (4,5%). Esse diferencial é explicado pelo maior valor das exportações, enquanto a deterioração das contas externas é esclarecida pela queda no preço médio do minério de ferro no mercado internacional. Mesmo assim, a quantidade de minério de ferro exportada aumentou 7,1%. Em termos de valor de exportação, os principais bens minerais exportados pelo Brasil, no primeiro semestre de 2015, foram ferro (60%), ouro (9,74%), nióbio (7,48%), cobre (8,9%), alumínio (0,93%) e manganês (0,61%). Os principais países de destino das exportações foram China (30,4%), Estados Unidos (6,8%), Países Baixos (6,3%), Japão (6,1%) e Reino Unido (5,2%).

Também houve queda do emprego formal na indústria extrativa mineral, nos primeiros seis meses de 2015. O saldo foi negativo em 6.334 postos de trabalho, tendo sido pior do aquele registrado no mesmo período de 2014 (-3.913). Todas as atividades do setor extrativo mineral apresentaram saldo de mão de obra negativo, com destaque para a extração de minério de ferro (-3.205). Em termos regionais, a região Sudeste foi a principal empregadora, tendo concentrado, em junho, 52% do estoque de mão de obra do país. As atividades de transformação mineral acompanharam essa tendência, com registro de uma perda de 14.479 postos de trabalho. Em todas as atividades de exploração mineral, o rendimento médio do trabalhador esteve acima da média nacional (R\$ 1.310,03)³⁶.

A Compensação Financeira por Exploração de Recursos Minerais (CFEM) e a Taxa Anual por Hectare (TAH) são as principais fontes de arrecadação da atividade de mineração no país. No primeiro semestre de 2015, a arrecadação da primeira totalizou aproximadamente R\$ 692,6 milhões; comparando com o mesmo período do ano anterior, as receitas nominais foram 24,1% menores, consolidando uma tendência de queda iniciada em 2013. No período recente, a maior arrecadação da CFEM aconteceu no primeiro semestre de 2013, com R\$ 1,3 bilhão, e a menor no primeiro semestre de 2011, com R\$ 677 milhões. No primeiro semestre de 2014, o minério de ferro representou 67,7% das arrecadações, participação que diminuiu para 52,4%. Além dele, os minérios de cobre (9,0%), alumínio (5,3%), ouro (4,7%) e granito (3,8%) estiveram entre os principais minérios do volume arrecadado.

A pesquisa e o aproveitamento de bens minerais no Brasil são regidos pelo Código de Mineração de 1967, pelo qual o interessado em explorar determinada área deve apresentar um requerimento ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que é analisado, podendo resultar em outorga de um título, de acordo com o regime de aproveitamento³⁷ solicitado pelo requerente.

³⁶ Ver CAGED.

³⁷ Pode ser: (i) regime de autorização – autoriza a fase de pesquisa mineral e precede o regime de concessão (lavra); (ii) regime de concessão – autoriza a fase de lavra ou o aproveitamento industrial da jazida considerada técnica e economicamente viável; (iii) regime de permissão de lavra garimpeira – autoriza o aproveitamento imediato de jazidas minerais garimpáveis, independentemente de prévios trabalhos de pesquisa; (iv) regime de licenciamento – autoriza o aproveitamento das substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, *in natura*, e outras especificadas em lei, independentemente de trabalhos de pesquisa.

4.4.3 Aspectos de políticas públicas e tributação no Brasil

No período de 1965 a 1994, três planos específicos para o setor mineral podem ser destacados: I Plano Mestre Decenal para Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil (I PMD, 1965-1974); II Plano Decenal de Mineração (II PDM, 1981-1990) e Plano Plurianual para o Desenvolvimento do Setor Mineral (PPDSM, 1994). Em 2011, o MME lançou o Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM 2030), que tem por objetivo principal conduzir a elaboração de políticas de médio e longo prazo para o setor, de modo a torná-lo um “alicerce para o desenvolvimento sustentável” brasileiro. Ainda que, no momento da elaboração e divulgação desse PNM, a perspectiva do MME era de crescimento da economia brasileira igual a 5,1% ao ano, seu cenário e diretrizes expõem a busca por um tratamento integrado do setor.

Os aspectos que nortearam sua elaboração foram: (i) governança pública eficaz ou promoção do uso de interesse nacional de minerais extraídos no país; (ii) agregação de valor e adensamento do conhecimento; (iii) sustentabilidade. Do primeiro, dependem a ampliação do conhecimento geológico e a gestão de minerais estratégicos³⁸ por meio dos *royalties* e tributação mineral. O segundo está relacionado com ações para mineração com áreas de restrição e promoção de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), formação e qualificação de recursos humanos, além de infraestrutura e logística. Ademais, o PNM 2030 reforça, em diferentes momentos, o quão dependente da sua capacidade de governança é o êxito dessas medidas para o setor mineral. Ainda assim, descreve como prioritária a articulação entre universidades, fundos de apoio à pesquisa, setor privado e órgãos governamentais, incluindo a ampliação de recursos financeiros do Fundo Setorial de Recursos Minerais (CT-Mineral), do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

As ações propostas para os objetivos estratégicos foram ordenadas de acordo com a capacidade de implementação por parte do MME. Além disso, é importante ressaltar que as ações deverão ser desdobradas em programas e projetos ao longo do horizonte deste Plano, com a definição de metas e indicadores de acompanhamento (BRASIL, 2011, p. 122).

A criação de bases para regulação da atividade é uma preocupação do PNM 2030, devendo ela condizer com um ambiente institucional favorável à atração de investimentos para o setor. O Código de Mineração então em vigor datava de 1967 e estaria inadequado ao propósito de um ambiente regulatório moderno que suportasse o desenvolvimento do setor mineral³⁹. O novo modelo regulatório (Projeto de Lei nº 5.807/2013) prevê, entre outras medidas, a instalação do Conselho Nacional de Política Mineral (CNPMM) – órgão consultivo – e da Agência Nacional Reguladora, bem como a reestruturação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). No entanto, há, entre os demais agentes do setor mineral, ampla discordância dessas medidas,

³⁸ Seriam eles: potássio, fosfato e “minerais portadores de futuro”.

³⁹ O atual governo do Chile, economia que tem esse setor como um dos mais expressivos, também tem estudado alterar seu Código Mineral.

especialmente quanto à mudança no procedimento de concessões de lavra, cujo número decaiu até chegar a zero, em 2013.

O ponto mais controverso desse novo código seria, para representantes do setor, como a Associação Brasileira das Empresas de Pesquisa Mineral (ABPM), a extensão do monopólio estatal para todos os bens minerais, ou seja, a estatização do risco da pesquisa mineral, além do controle sobre os negócios de mineração e a estrutura de capital das empresas⁴⁰. Um motivo contundente e de caráter operacional é o questionamento da capacidade da nova agência reguladora de avaliar todos os pedidos de concessão de lavra.

O novo marco da regulação da mineração brasileira é parte do Plano Brasil Maior (PBM), cujo eixo principal é promover a inovação tecnológica e o adensamento produtivo do setor, em acordo com suas metas gerais. Em relação à indústria de mineração, entre as ações estratégicas, estão a ampliação dos mercados da mineração e de seus fornecedores por meio da diversificação das exportações, a promoção da internacionalização das empresas brasileiras do setor e a ampliação da participação nacional nos mercados de tecnologias, bens e serviços, além da criação e fortalecimento das competências da indústria de mineração, por meio da ampliação de investimentos de risco de descoberta de novas jazidas, da ampliação do investimento fixo, dos gastos públicos e privados em PD&I e do aumento da qualificação dos recursos humanos. Medidas amplas para o setor, como ampliar o conhecimento geológico e modernizar a governança do setor mineral e a infraestrutura e logística, também são parte das estratégias do PBM para a mineração.

Está prevista, como forma de adensar a cadeia, a ampliação da política de conteúdo local de bens e serviços nos empreendimentos de mineração. O novo marco regulatório entende por conteúdo local a proporção entre o valor dos bens produzidos e dos serviços prestados no Brasil para execução do contrato de concessão ou termo de adesão e o valor total dos bens utilizados e serviços prestados para esse fim. Vale ressaltar que o contrato de concessão tem o conteúdo local como uma das cláusulas mínimas. Ao CNPM está designada a responsabilidade de fixar os índices de conteúdo local que deverão ser observados em licitações, além das concessões de direitos minerários.

A ideia de política industrial explícita no PBM para a mineração é política de conteúdo local, sobretudo, pelo mapeamento de fornecedores, verticalizando a atividade por meio da atração de investimentos em inovação. No Chile, o movimento de renovação ou de modernização do Código Mineral vem ocorrendo sob a premissa de que as ações devem visar ao aumento da produtividade e competitividade do setor, para espriar progresso para a economia chilena. Assim como no novo marco institucional brasileiro, nessa rodada de modernização no Chile, entre ações que almejam a sustentabilidade e uma indústria de mineração inclusiva, estão aquelas que objetivam a construção de iniciativas para P&D, o fortalecimento da disponibilidade de informação geológica e a melhoria das condições de acesso à propriedade da mina. Ao contrário do

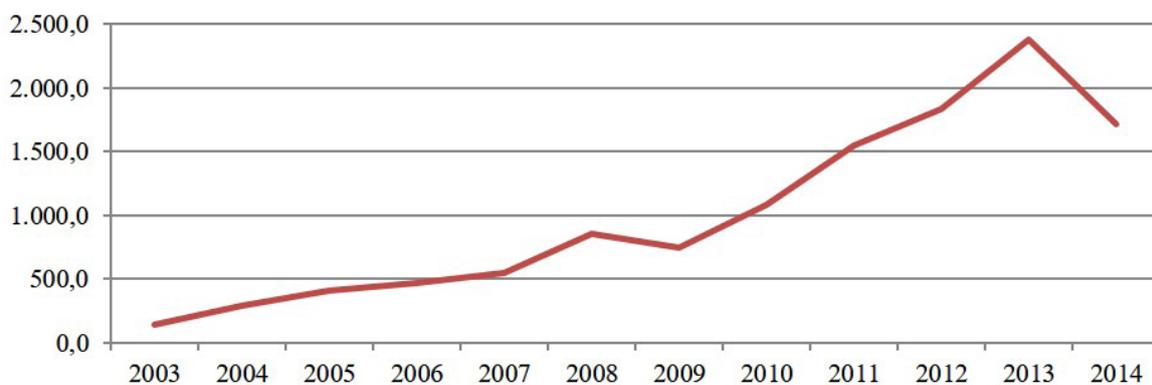
⁴⁰ "Art. 8º [...] § 2º A cessão de direitos minerários e a cisão, fusão, incorporação ou transferência do controle societário, direto ou indireto, do titular dos referidos direitos, sem a prévia anuência do poder concedente, implicará a caducidade dos direitos minerários" (BRASIL, 2013).

previsto no Código Mineral Brasileiro de 2013, o governo chileno estuda construir mecanismos para prover maior liquidez às mineradoras e, assim, estimular a exploração mineral.

No plano chileno de modernização do arcabouço institucional da mineração, a promoção de “mineração inclusiva” vem associada à distribuição dos lucros da atividade mineradora para a qual é proposta a elaboração de um estudo detalhado sobre a tributação do setor nessa economia. No Brasil, o setor privado enxerga o novo Código Mineral como uma forma apenas de aumentar os *royalties* ou a arrecadação.

Na visão do MME expressa no PNM 2030, a legislação atual da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM)⁴¹ possui deficiências – vale ressaltar que essa é uma percepção do setor como um todo – e a diferenciação de alíquotas não respeita critérios técnicos e econômicos, tornando muitas vezes impeditiva a agregação de valor em território nacional.

Figura 4.3. Brasil: arrecadação total e de *royalties* (R\$ milhões)



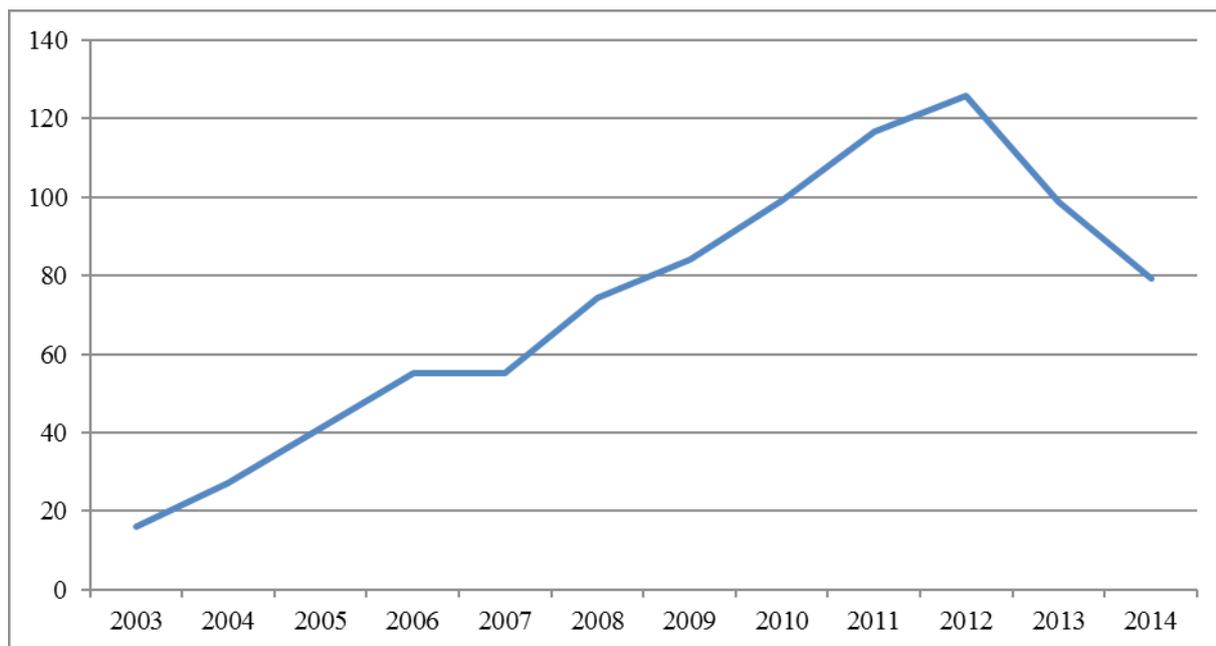
Fonte: Adaptado de DNPM.

A CFEM, conhecida também como *royalty* da mineração, é um dos muitos encargos incidentes na cadeia mineral. Essa contribuição, estabelecida pela Constituição de 1988, em seu art. 20, § 1º, é devida aos estados, ao Distrito Federal, aos municípios e aos órgãos da administração da União, como contraprestação pela utilização econômica dos recursos minerais em seus respectivos territórios. Incide sobre o faturamento líquido – considerando a matéria bruta antes da transformação industrial – e sua alíquota varia entre 0,2% e 3,0%. Os recursos da CFEM são distribuídos da seguinte forma: 12% para a União (DNPM 9,8%; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama – 0,2%; MCT/Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT – 2,0%); 23% para o estado em que for extraída a substância mineral; 65% para o município produtor. As alíquotas são aplicadas sobre o faturamento líquido e variam de acordo com a substância mineral: 3,0% para minério de alumínio, manganês, sal-gema e potássio; 2,0% para ferro, fertilizante, carvão e demais substâncias; 1,0% para ouro; 0,2% para pedras preciosas, pedras coradas lapidáveis, carbonatos e metais nobres⁴².

⁴¹ Leis nº 7.990/1989 e nº 8.001/1990.

⁴² Ver Brasil (2016).

Figura 4.4. Brasil: arrecadação total da TAH (R\$ milhões)



Fonte: Adaptado de DNPM.

5 Resultados da Pesquisa

As diferenças entre as empresas de mineração no Brasil, no que diz respeito à sua acumulação de capacidades tecnológicas entre 2003 e 2014, são o foco de análise desta seção, que obedece ao desenho de pesquisa apresentado na seção 3. Busca-se delimitar níveis e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas, a influência dos mecanismos de aprendizagem que geram esses padrões e os impactos das capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil no período mais recente. Essas análises procuram, na medida do possível, identificar e quantificar essas relações por padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e por área tecnológica.

Dessa maneira, esta seção encontra-se organizada em quatro subseções: na subseção 5.1, há uma descrição e uma análise dos níveis e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas encontrados para a indústria de mineração no Brasil de 2003 a 2014; na subseção 5.2, apresenta-se a influência dos mecanismos de aprendizagem na acumulação de capacidades tecnológicas dessa indústria no país; por fim, na subseção 5.3, revelam-se os impactos da acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo do setor no Brasil. Para isso, quantifica-se, por meio de inferências estatísticas e evidências qualitativas, a influência dos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na produtividade do trabalho e inserção internacional das empresas da amostra de pesquisa.

5.1 Acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Com base na capacidade tecnológica acumulada, as empresas tornam-se capazes de realizar atividades de produção e inovação. A identificação desse nível por empresa da amostra está descrita com mais detalhes na seção 3; especificamente, os níveis de acumulação de capacidade tecnológica foram assim definidos: (i) capacidade de produção; (ii) capacidade de inovação básica; (iii) capacidade de inovação intermediária; (iv) capacidade de inovação avançada; (v) capacidade de inovação de liderança mundial, os quais foram analisados por área tecnológica (pesquisa e prospecção, lavra e beneficiamento mineral). Destaca-se que a indústria de mineração, nesta pesquisa, foi representada por dez empresas que, ao longo de 2003 a 2014, acumularam capacidades tecnológicas por área tecnológica.

5.1.1 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Esta subseção apresenta uma descrição da evolução de acumulação dos níveis de capacidade tecnológica entre 2003 e 2014 para as empresas estudadas, estando organizada com base nas três grandes áreas tecnológicas, em três outras subseções.

5.1.1.1 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção

A Tabela 5.1 revela a evolução das empresas produtoras da amostra, na área tecnológica de pesquisa e prospecção, em termos de nível de capacidade de produção e nível de capacidade inovadora para os quatro triênios considerados nesta pesquisa. Todas as empresas produtoras apresentaram capacidade de produção ao longo de 2003 a 2014. Dessas empresas, em 2003-2005, 71% evoluíram até capacidade inovadora básica; em 2006-2008, essa proporção aumentou para 75% e, nos dois últimos triênios, todas as empresas haviam evoluído até capacidade inovadora básica. Em 2003-2005, das cinco empresas (71%) que estavam em capacidade inovadora básica, quatro (57%) evoluíram até capacidade inovadora intermediária. Em 2006-2008, das seis empresas (75%) que estavam em capacidade inovadora básica, cinco (63%) evoluíram até capacidade inovadora intermediária. Nos dois últimos triênios, sete (70%) empresas evoluíram de capacidade inovadora básica para intermediária. Apenas duas (25%) empresas evoluíram até capacidade inovadora avançada, nos dois primeiros triênios, enquanto, nos dois últimos triênios, foram quatro empresas (40%). Em relação à capacidade inovadora de liderança mundial, nenhuma empresa atingiu esse posto em 2003-2005 e, nos três últimos triênios, apenas uma empresa alcançou esse nível.

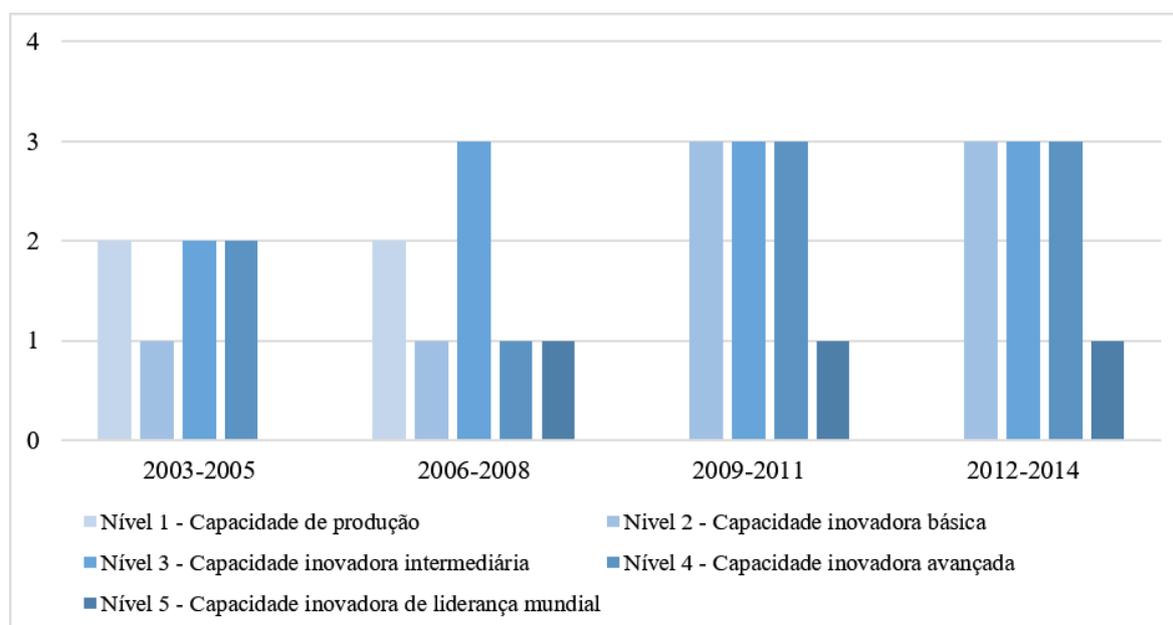
Tabela 5.1. Evolução do número e proporção de empresas que acumularam níveis específicos de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção (2003-2014)

Nível de capacidade	2003-2005	2006-2008	2009-2011	2012-2014
Capacidades inovadoras: gerar e gerenciar mudanças tecnológicas				
Capacidade inovadora de liderança mundial	0	1	1	1
Nível 5		(13%)	(10%)	(10%)
Capacidade inovadora avançada	2	2	4	4
Nível 4	(25%)	(25%)	(40%)	(40%)
Capacidade inovadora intermediária	4	5	7	7
Nível 3	(57%)	(63%)	(70%)	(70%)
Capacidade inovadora básica	5	6	10	10
Nível 2	(71%)	(75%)	(100%)	(100%)
Capacidade de produção: usar e operar tecnologias existentes				
Capacidade de produção	7	8	10	10
Nível 1	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)
Nível médio	2,6	2,8	3,2	3,2

Fonte: Os autores (2016).

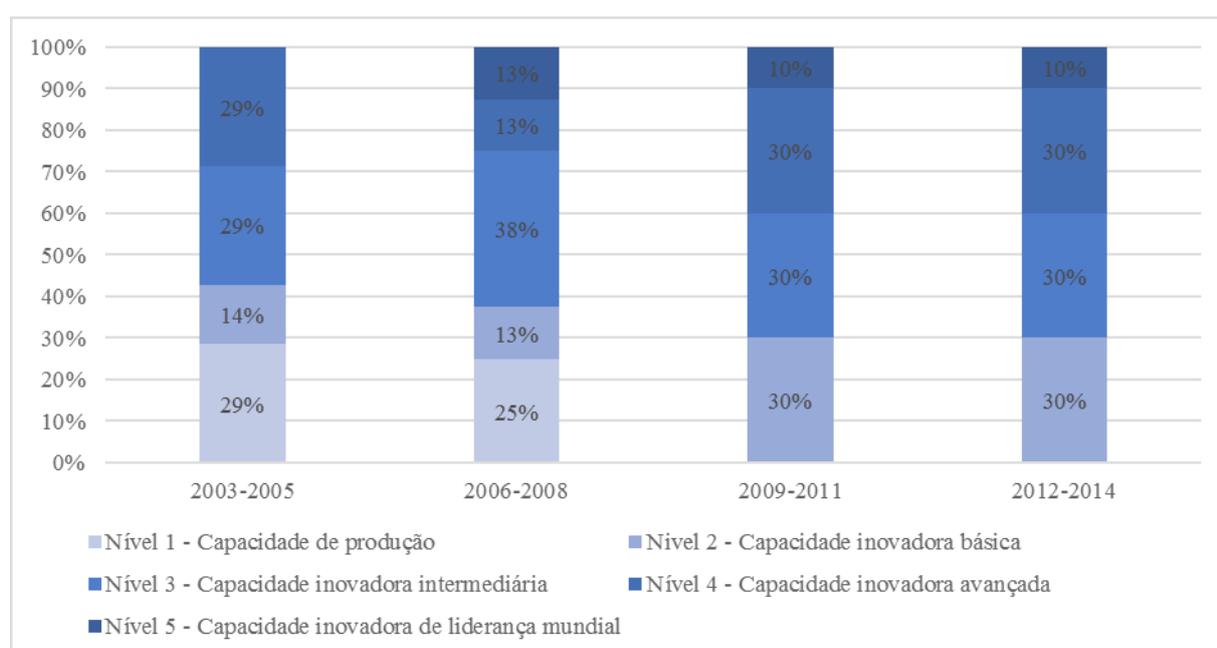
Uma forma alternativa de visualizar os níveis de inovação atingidos e seu respectivo número de empresas é evidenciada pelas Figuras 5.1 e 5.2. É possível visualizar a distribuição das empresas por nível de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção, em todos os quatro triênios analisados (2003-2014).

Figura 5.1. Número de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Figura 5.2. Proporção de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Na área tecnológica de pesquisa e prospecção da indústria de mineração, a capacidade de produção e as capacidades inovadoras podem ser caracterizadas como segue.

Em capacidade de produção, as empresas produtoras foram capazes de executar atividades operacionais de prospecção e pesquisa mineral ancoradas em tecnologias dominantes, seguindo níveis globais de eficiência e qualidade. Alguns exemplos podem ser: condução da pesquisa mineral a partir de um forte indício geológico do tipo associação litológica ou ocorrências existentes nas proximidades de uma jazida ou mina; condução da pesquisa mineral a partir da caracterização de ambiente metalogenético, tendo como base o contexto geológico, geotectônico, geoquímico e/ou geofísico de uma área.

Em capacidade inovadora, as empresas produtoras foram inicialmente capazes de realizar atividades de melhoria e modificação em tecnologias existentes, chegando a fazer atividades inovadoras e/ou criar novas tecnologias em pesquisa e prospecção. Mais especificamente, as empresas que chegaram à capacidade inovadora básica tornaram-se capazes de realizar pequenas adaptações/melhorias internamente ou em parceria em tecnologias de prospecção e pesquisa mineral, como, por exemplo, pequenas adaptações na análise interpretativa de método por escavações e melhoria no conteúdo programático e interpretativo. As empresas que, por sua vez, passaram à capacidade inovadora intermediária tornaram-se capazes de realizar modificações complexas e/ou criar novas tecnologias de pesquisa e prospecção mineral por meio de atividades de desenvolvimento baseadas em engenharia e experimentações realizadas dentro da empresa ou em parcerias, tais como: adaptação e implementação baseadas em engenharia de tecnologia de perfuração e adaptações e experimentações de metodologias de gerenciamento de projetos minerais. As empresas que passaram à capacidade inovadora avançada foram capazes de realizar modificações complexas e/ou criar novas tecnologias à base de P&D aplicados realizadas internamente ou em parceria em tecnologias de prospecção e pesquisa mineral, tais como: P&D aplicados para geração de modelos prospectivos e em metodologias de exploração mineral. O último nível de capacidade inovadora possível é de liderança mundial, cujas empresas foram capazes de realizar atividades inovadoras e/ou criar novas tecnologias em prospecção e pesquisa mineral à base de P&D básicos e aplicados realizadas internamente ou em parceria, com grau de novidade mundial e que provocaram impacto disruptivo no modelo de negócio, ambiente competitivo ou abriram oportunidades para entrada em novos negócios. Alguns exemplos de atividades de liderança mundial são: pesquisa básica relacionada a sistemas de interpretação geológica e P&D básicos em inversão em três dimensões (3D) para a exploração mineral.

5.1.1.2 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica na área de lavra

A Tabela 5.2 sugere que, na área tecnológica de lavra, todas as empresas produtoras acumularam capacidade de produção, bem como passaram à capacidade inovadora básica, ao longo de todo o período de análise. Em 2003-2005, das empresas em capacidade inovadora básica, cinco (71%) passaram a capacidade inovadora intermediária; em 2006-2008, esse número aumentou

para seis (75%) e, nos dois últimos triênios, oito (80%) empresas haviam passado para capacidade inovadora intermediária. Na capacidade inovadora avançada, em 2003-2005 e 2006-2008, estavam apenas duas empresas (25%), proporção que aumentou nos dois últimos triênios, quando três (30%) empresas passaram para capacidade inovadora intermediária. No entanto, apenas uma (10%) empresa passou à capacidade inovadora de liderança mundial e isso ocorreu nos dois últimos triênios considerados.

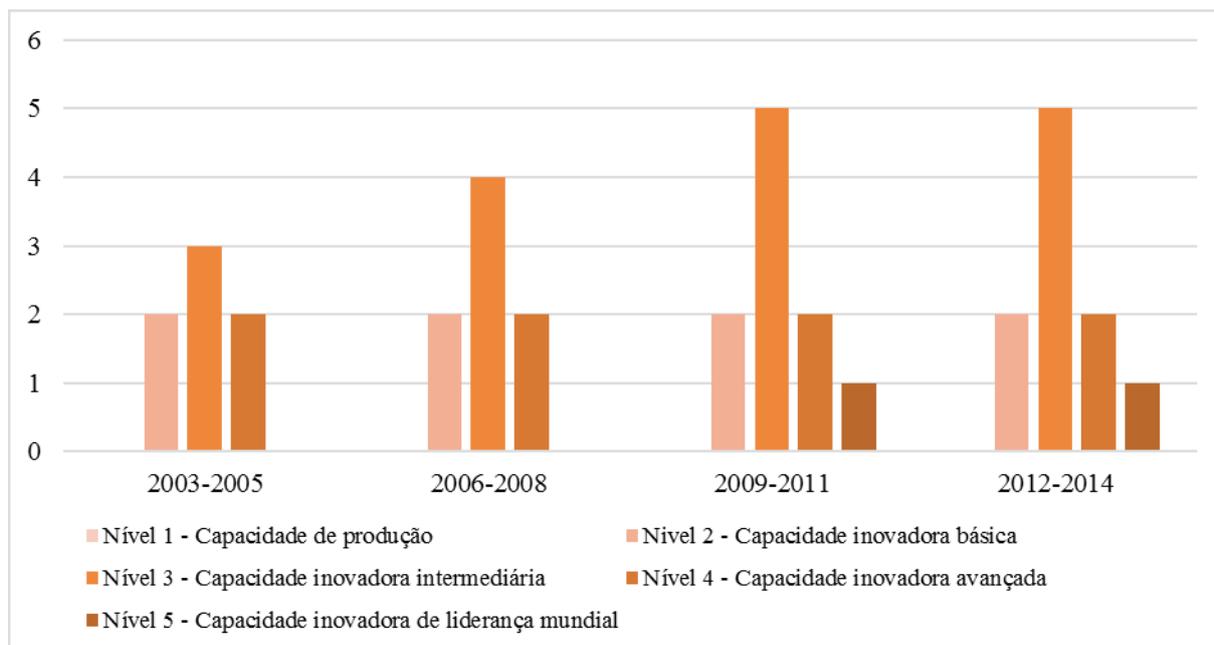
Tabela 5.2. Número e proporção de empresas que atingiram níveis de capacidade tecnológica na área de lavra (2003-2014)

Nível de capacidade	2003-2005	2006-2008	2009-2011	2012-2014
Capacidades inovadoras: gerar e gerenciar mudanças tecnológicas				
Capacidade inovadora de liderança mundial Nível 5	0	0	1 (10%)	1 (10%)
Capacidade inovadora avançada Nível 4	2 (25%)	2 (25%)	3 (30%)	3 (30%)
Capacidade inovadora intermediária Nível 3	5 (71%)	6 (75%)	8 (80%)	8 (80%)
Capacidade inovadora básica Nível 2	7 (100%)	8 (100%)	10 (100%)	10 (100%)
Capacidade de produção: usar e operar tecnologias existentes				
Capacidade de produção Nível 1	7 (100%)	8 (100%)	10 (100%)	10 (100%)
Nível médio	3,0	3,0	3,2	3,2

Fonte: Os autores (2016).

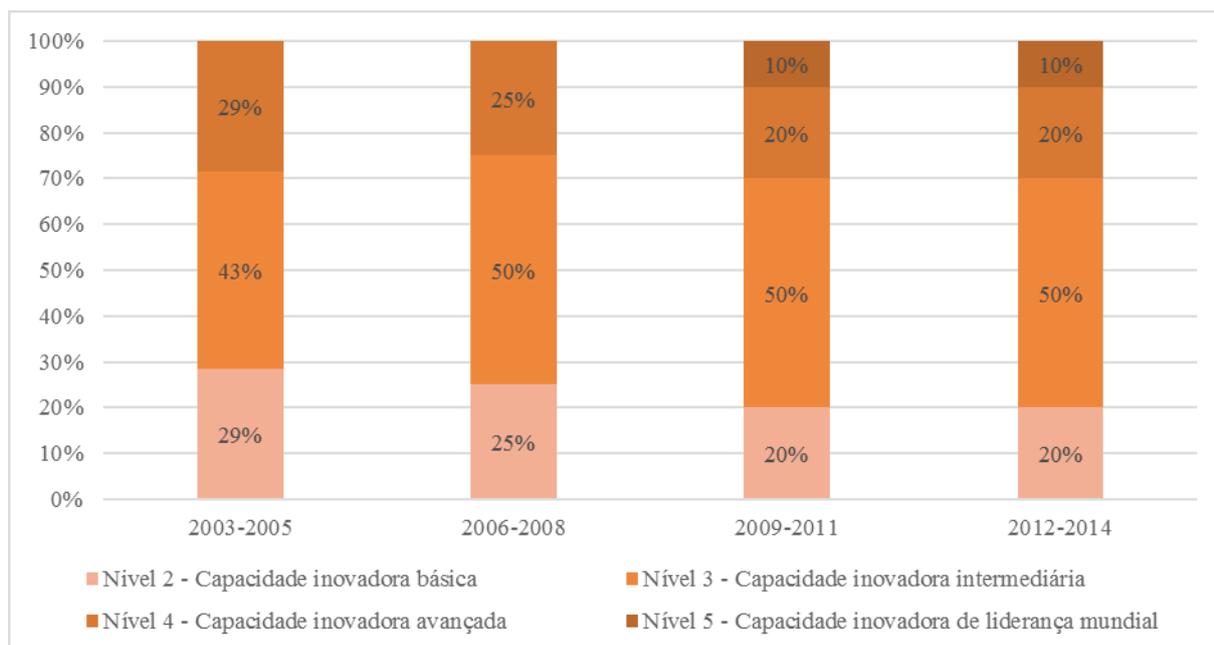
As Figuras 5.3 e 5.4 sugerem que, na área de lavra, um número maior de empresas, ao longo dos triênios, acumulou capacidades tecnológicas em nível intermediário. Em termos proporcionais, houve alguma mudança dessa distribuição nos dois últimos triênios considerados nesta pesquisa, quando uma das empresas passou à inovadora de liderança mundial.

Figura 5.3. Número de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de lavra (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Figura 5.4. Proporção de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de lavra (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Na área tecnológica de lavra da indústria de mineração, a capacidade de produção e as capacidades inovadoras podem ser caracterizadas como segue.

Em capacidade de produção, estavam as empresas capazes de executar atividades operacionais de lavra baseadas em tecnologias dominantes com níveis globais de eficiência e qualidade, tais como: uso de equipamentos e processos adequados à escala de lavra estabelecida e

realização das atividades de lavra atendendo às normas ambientais e de qualidade estabelecidas por certificação.

As empresas produtoras que passaram para capacidade inovadora básica foram aquelas que acumularam capacidades para realizar pequenas adaptações/melhorias internamente ou em parceria em tecnologias de lavra, como, por exemplo, pequenas melhorias nos equipamentos de lavra como escavadeiras e caminhões, por meio de atividades de manutenção. Aquelas que passaram à capacidade inovadora intermediária acumularam capacidades tanto para realizar modificações quanto para criar novas tecnologias de lavra a partir de atividades de desenvolvimento baseadas em engenharia e experimentações, internamente ou em parcerias. Alguns exemplos são: adaptação e implementação baseadas em engenharia de equipamentos de transporte de minérios. As empresas que passaram à capacidade inovadora avançada acumularam capacidades para realizar modificações complexas, além de criar novas tecnologias à base de P&D aplicados, o que pode ter ocorrido internamente ou em parceria em tecnologias de lavra, tais como: P&D aplicados em fragmentação de rochas e em implementação de equipamentos autônomos. Por fim, em capacidade inovadora de liderança mundial, as empresas acumularam capacidades tecnológicas para realizar atividades inovadoras e/ou criar novas tecnologias em lavra à base de P&D básicos e aplicados, internamente ou em parceria, com grau de novidade mundial e que provocaram impacto disruptivo no modelo de negócio, ambiente competitivo ou abriram oportunidades para entrada em novos negócios. Alguns exemplos são: pesquisa básica para novos sistemas de perfuração de rochas, P&D básicos em sistema a *laser* para perfuração de rochas, P&D básicos em lixiviação *in situ* e P&D básicos em tecnologias de automação.

5.1.1.3 Acumulação de níveis de capacidade tecnológica na área de processamento mineral

A Tabela 5.3 sugere que, em processamento mineral, todas as empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas de produção e inovadora básica em todos os triênios considerados nesta pesquisa. Em 2003-2005, três (43%) das empresas em capacidade inovadora básica passaram para intermediária. Em 2006-2008, essa proporção aumentou para quatro (50%) e, em 2009-2011 e 2012-2014, todas as empresas (100%) chegaram à capacidade inovadora intermediária. Em 2003-2005, apenas duas empresas (29%) atingiram capacidade inovadora avançada e, em 2006-2008, três (38%). Nos dois últimos triênios, houve um ligeiro aumento de empresas que passaram à capacidade inovadora avançada, totalizando quatro empresas (40%). Por fim, apenas uma empresa chegou até capacidade inovadora de liderança mundial em cada um dos triênios considerados. É válido esclarecer que, em 2003-2005, a amostra foi composta de sete empresas e, em 2006-2008, oito.

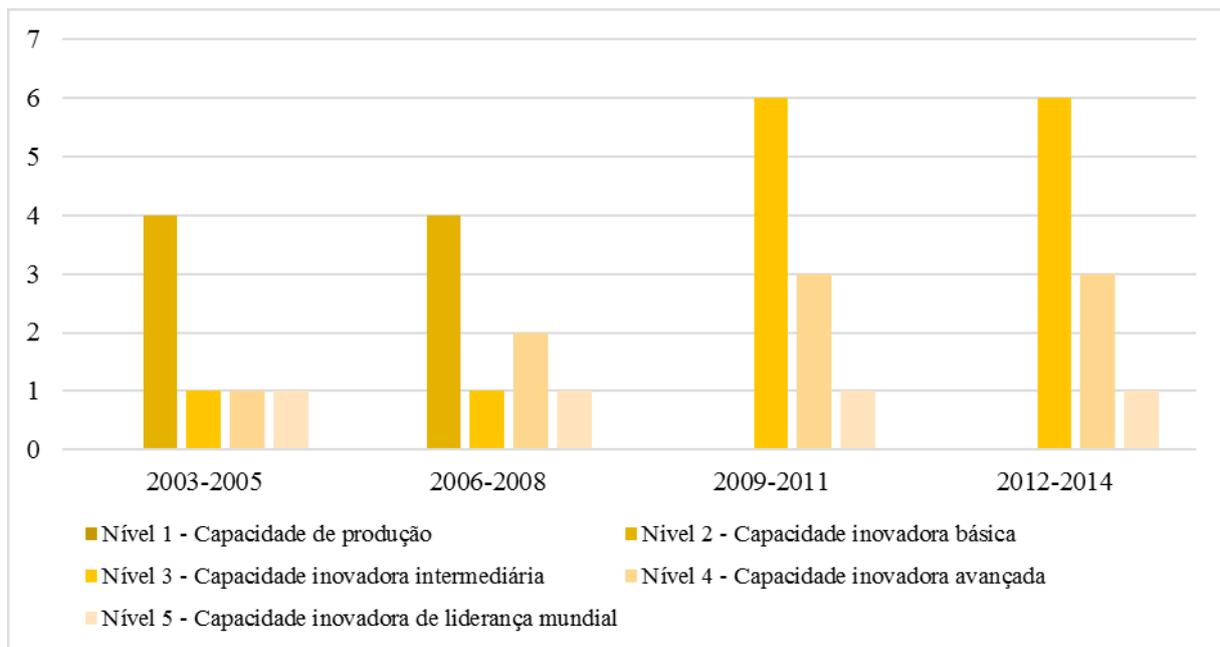
Tabela 5.3. Número e proporção de empresas que atingiram níveis específicos de capacidade tecnológica em processamento mineral (2003-2014)

Nível de capacidade	2003-2005	2006-2008	2009-2011	2012-2014
Capacidades inovadoras: gerar e gerenciar mudanças tecnológicas				
Capacidade inovadora de liderança mundial Nível 5	1 (14%)	1 (13%)	1 (10%)	1 (10%)
Capacidade inovadora avançada Nível 4	2 (29%)	3 (38%)	4 (40%)	4 (40%)
Capacidade inovadora intermediária Nível 3	3 (43%)	4 (50%)	10 (100%)	10 (100%)
Capacidade inovadora básica Nível 2	7 (100%)	8 (100%)	10 (100%)	10 (100%)
Capacidade de produção: usar e operar tecnologias existentes				
Capacidade de produção Nível 1	7 (100%)	8 (100%)	10 (100%)	10 (100%)
Nível médio	2,9	3,0	3,5	3,5

Fonte: Os autores (2016).

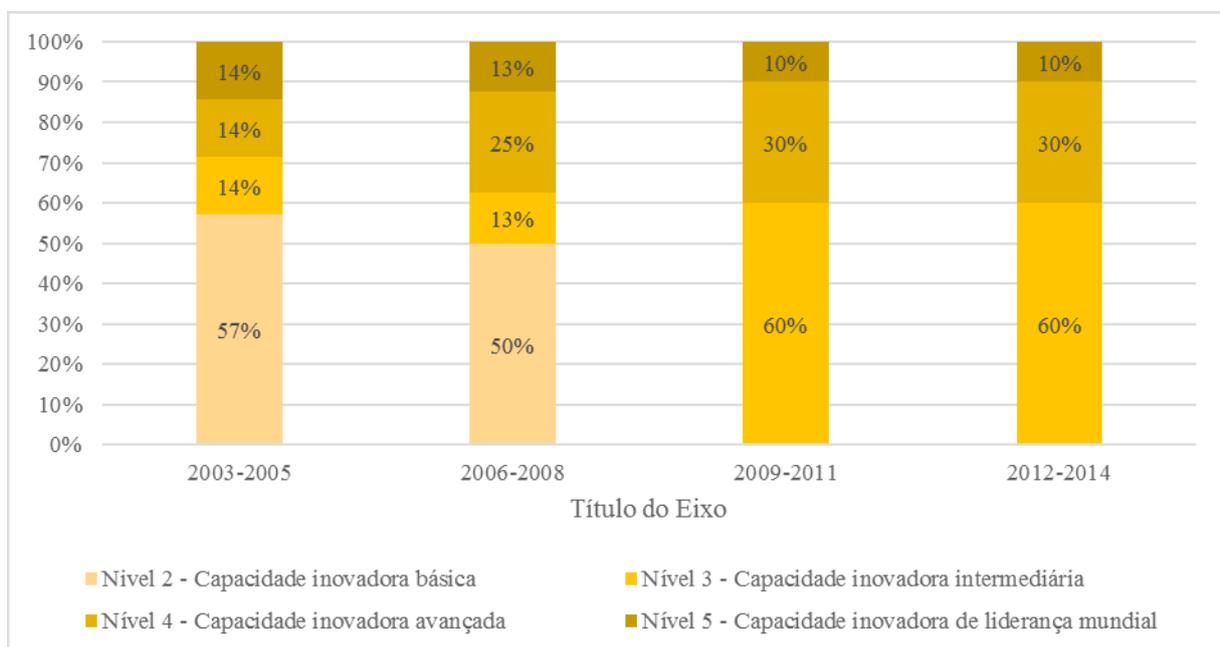
As evidências das Figuras 5.5 e 5.6 sugerem que, em processamento mineral, uma proporção maior, relativamente à pesquisa e prospecção e lavra, das empresas produtoras acumulou capacidades tecnológicas até capacidade inovadora intermediária, em todos os triênios considerados na pesquisa.

Figura 5.5. Número de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de processamento mineral (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Figura 5.6. Proporção de empresas por nível de capacidade tecnológica na área de processamento mineral (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Na área tecnológica de processamento mineral da indústria de mineração, a capacidade de produção e as capacidades inovadoras podem ser caracterizadas como segue.

As empresas em capacidade de produção mostraram-se capazes de executar atividades operacionais de processamento mineral baseadas em tecnologias dominantes com níveis glo-

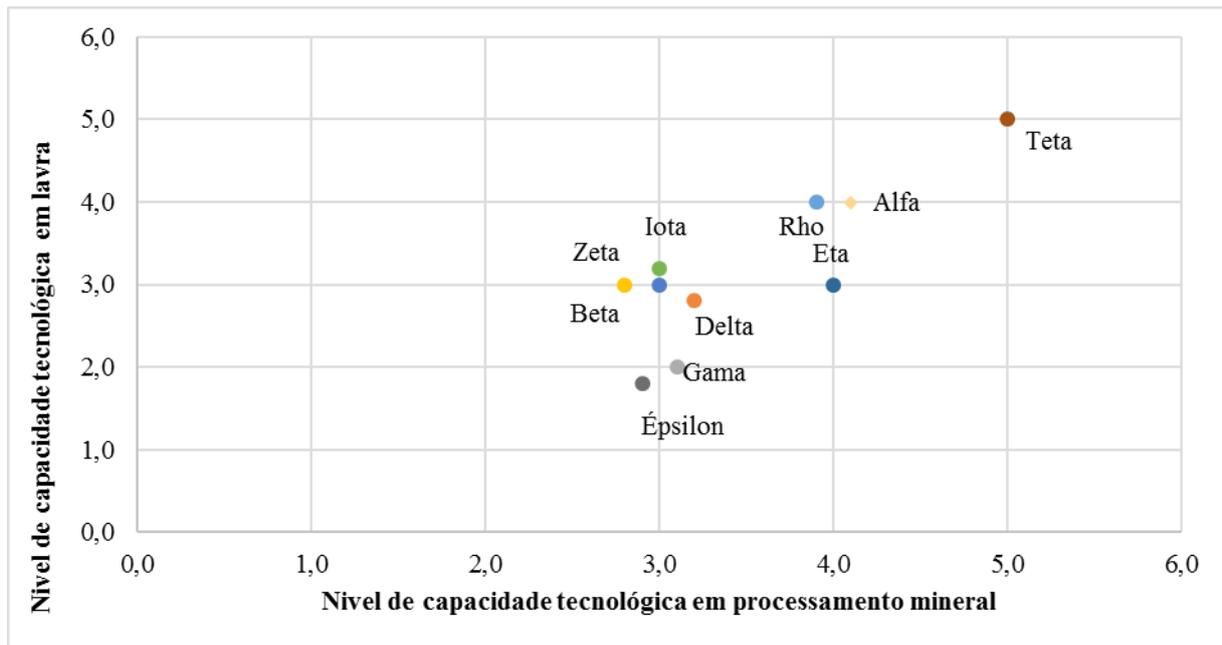
bais de eficiência e qualidade, como, por exemplo, realização de atividades de processamento mineral com controle da qualidade do minério e atendimento das especificações dos clientes, bem como uso de processo de britagem sem atendimento padronizado das especificações dos clientes.

Em capacidade inovadora, as empresas produtoras foram inicialmente capazes de realizar atividades de melhoria e modificação em tecnologias existentes, chegando a fazer atividades inovadoras e/ou criar novas tecnologias em pesquisa e prospecção. Mais especificamente, as empresas que passaram à capacidade inovadora básica acumularam capacidades tecnológicas para realizar pequenas adaptações/melhorias internamente ou em parceria em tecnologias de processamento mineral, como, por exemplo, melhorias no balanço metalúrgico e nas atividades de moagem. Aquelas que, por sua vez, passaram para capacidade inovadora intermediária acumularam capacidades tecnológicas tanto para realizar modificações quanto para criar novas tecnologias de processamento mineral por meio de atividades de desenvolvimento baseadas em engenharia e experimentações, que podem ter sido realizadas internamente ou em parcerias, tais como: realização de atividades de dimensionamento de usinas baseadas em engenharia e desenvolvimento e implantação de rota SAG. Já as empresas que passaram à capacidade inovadora avançada acumularam capacidades tecnológicas para realizar modificações complexas, bem como criar novas tecnologias à base de P&D aplicados, internamente ou em parceria, em tecnologias de processamento mineral. São exemplos: P&D aplicados para desenvolvimento de novos tipos de pelotas e em técnicas de caracterização mineral. Por fim, em capacidade inovadora de liderança mundial, as empresas acumularam capacidades tecnológicas para realizar atividades inovadoras e/ou criar novas tecnologias em processamento mineral à base de P&D básicos e aplicados realizadas internamente ou em parceria, com grau de novidade mundial e que provocaram impacto disruptivo no modelo de negócio, ambiente competitivo ou abriram oportunidades para entrada em novos negócios, como, por exemplo, P&D básicos em nanotecnologia, em modelagem e simulação do comportamento de partículas durante o processo de flotação e em biolixiviação.

5.1.1.4 Comparação entre a acumulação de níveis de capacidade tecnológica nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral

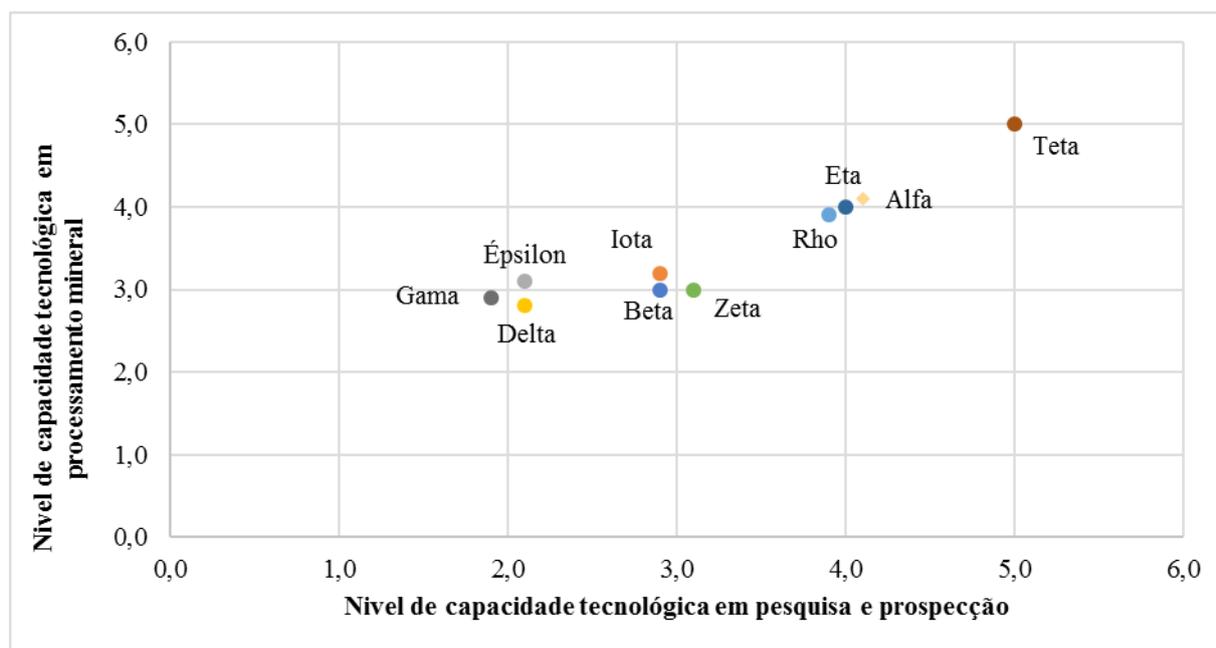
Em termos de acumulação de capacidades tecnológicas, existem diferenças em nível das empresas, bem como entre as áreas tecnológicas, no caso da indústria de mineração, as áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral. Uma forma de visualizar as diferenças em termos de acumulação de capacidades tecnológicas por uma mesma empresa em cada uma das áreas tecnológicas pode ser visualizada nas Figura 5.7 a 5.9. Essa comparação é realizada levando em conta somente o último triênio considerado (2012-2014), quando, entende-se, as empresas produtoras teriam consolidado as estratégias de acumulação de capacidades anteriormente iniciadas.

Figura 5.7. Comparação entre o nível de capacidade nas áreas tecnológicas de processamento mineral e lavra (2012-2014)



Fonte: Os autores (2016).

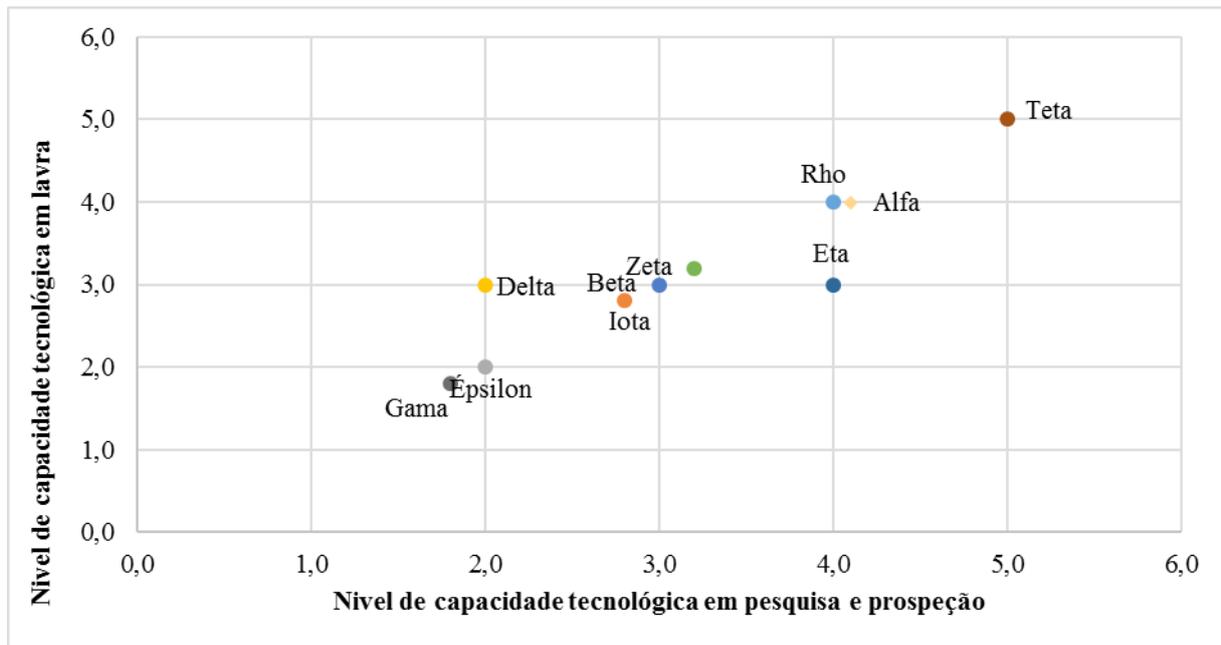
A Figura 5.7 sugere que, ao comparar os níveis de capacidade inovadora em lavra e processamento mineral, houve uma reduzida dispersão das empresas produtoras em torno dos níveis de capacidade inovadora intermediária e avançada, isto é, uma empresa em capacidade inovadora intermediária em processamento mineral – caso da Zeta, Iota, Delta e Beta – também passou à capacidade inovadora intermediária em lavra. Entretanto, as empresas em capacidade inovadora básica em lavra – caso da Gama e Épsilon – chegaram à capacidade inovadora intermediária em processamento mineral. Esse resultado parece indicar que o tratamento dos minérios vem adquirindo mais atenção nos esforços de inovação das empresas.

Figura 5.8. Comparação entre o nível de capacidade nas áreas tecnológicas de processamento mineral e pesquisa e prospecção (2012-2014)

Fonte: Os autores (2016).

A Figura 5.9 sugere que, ao comparar a área de lavra com pesquisa e prospecção, a acumulação de capacidades tecnológicas seguiu uma trajetória linearmente crescente, ou seja, houve uma indicação de que se trata de áreas correlacionadas. Por exemplo, em pesquisa e prospecção, empresas como Gama e Épsilon, que acumularam capacidade inovadora básica, também estiveram nesse nível em lavra, o que não se observou nas comparações anteriores entre as áreas tecnológicas. De fato, as atividades de lavra dependem das atividades de pesquisa e prospecção, na medida em que a exploração de minérios requer pesquisa dos mapas geológicos mais acurados possíveis.

Figura 5.9. Comparação entre o nível de capacidade nas áreas tecnológicas de pesquisa e prospecção e lavra (2012-2014)



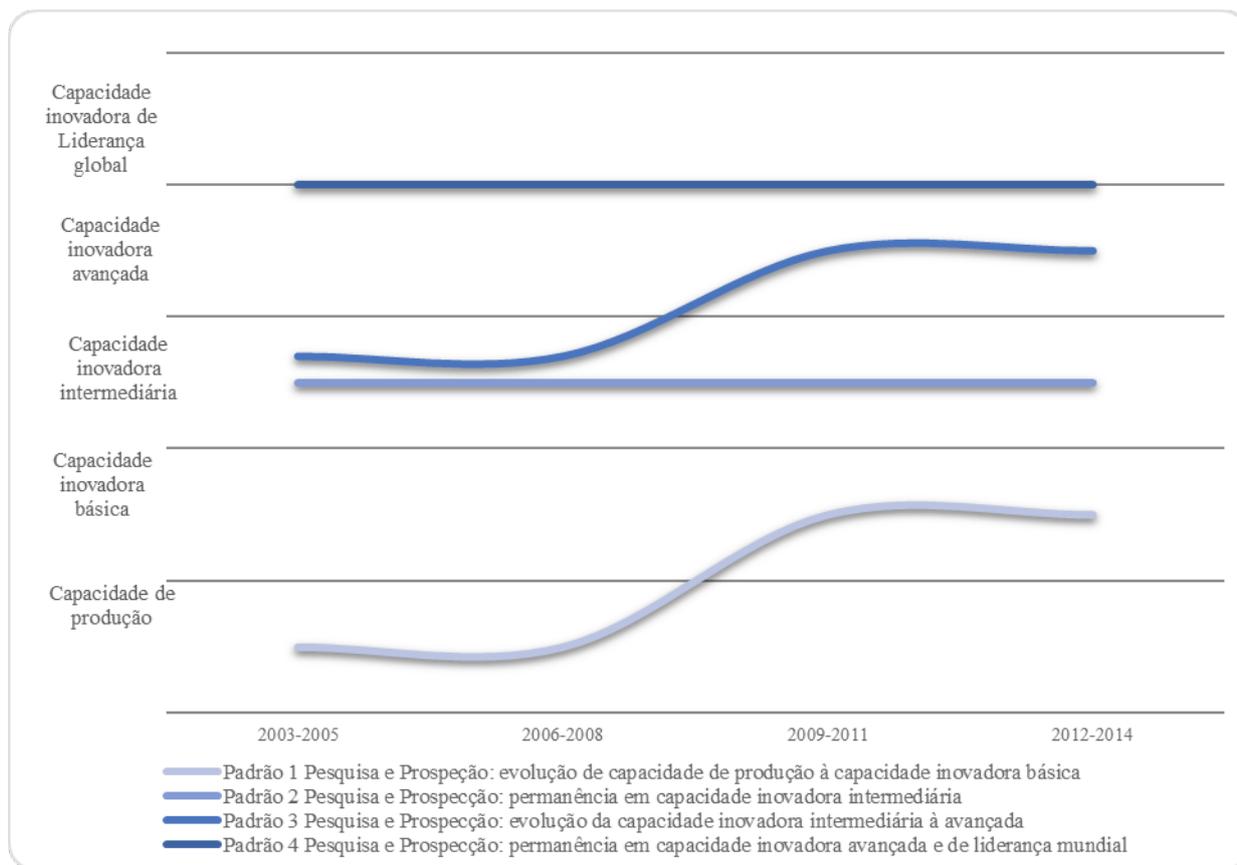
Fonte: Os autores (2016).

5.1.2 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Um padrão de acumulação de capacidades tecnológicas é uma combinação de características e tendências similares para um determinado grupo de empresas que atingiram estoques de recursos relacionados ao conhecimento de produção e inovação semelhantes em um período de tempo específico.

5.1.2.1 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção

A Figura 5.10 sugere que, em pesquisa e prospecção, de 2003 a 2014, as empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas que puderam ser agrupadas em quatro padrões, a saber: (i) Padrão 1 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade de produção à capacidade inovadora básica, representando 20% das empresas da amostra; (ii) Padrão 2 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora intermediária, representando 40% das empresas da amostra; (iii) Padrão 3 Pesquisa e Prospecção: evolução da capacidade inovadora intermediária à avançada, representando 20% da amostra; (iv) Padrão 4 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, representando 20% das empresas da amostra da pesquisa. Deve-se ressaltar que o padrão 4 engloba empresas com diferentes níveis de capacidade inovadora: uma delas é avançada e a outra é de liderança mundial. Essa estratégia foi adotada porque os testes estatísticos realizados não podem ser feitos quando um padrão possui apenas uma empresa. Dessa forma, agruparam-se essas duas empresas.

Figura 5.10. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em pesquisa e prospecção (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

A seguir, é apresentada uma descrição das atividades, bem como dos movimentos de evolução de acumulação de capacidades tecnológicas concernentes a cada padrão.

(i) Padrão 1 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade de produção para capacidade inovadora básica

O Padrão 1 Pesquisa e Prospecção é composto por empresas que acumularam capacidade inovadora básica a partir da capacidade de produção, ao longo dos quatro triênios observados. Elas demonstraram capacidade para implementar atividades de produção com base no uso de tecnologias e sistemas de produção existentes. A partir do triênio 2009-2011, foram capazes de fazer pequenas alterações e melhorias em análise interpretativa de métodos de pesquisa e prospecção mineral, conteúdo programático de métodos de pesquisa e prospecção mineral e equipamentos e ferramentas de pesquisa e prospecção mineral.

O gerente de Operações de Mina da empresa Gama avaliou os desafios quanto à inovação na área de pesquisa e prospecção, como segue:

Nós fazemos prospecção nas áreas próximas a essa região, mas, em função da demanda, do nível de minério, no qual as commodities caíram muito, o preço de 2014 para cá é metade, caiu 50%. Só produzimos minério de ferro. Então, essa linha de prospecção, nós paramos. Tínhamos alguns projetos de P&D em prospecção, mas paramos.

Por outro lado, a empresa Gama entendia que manter um planejamento das atividades de exploração mineral passava pela área de pesquisa e prospecção, a despeito de atividades de P&D não parecerem muito factíveis no momento. Avaliou seu gerente de Operações de Mina:

Paramos bem recente, na crise; ano passado. É um projeto de futuro, é caro. Então hoje a gente faz o projeto de prospecção, de sondagens, somente nas áreas de médio prazo (até um ano). A gente faz sondagens nas áreas que a gente vai lavar no próximo ano. Temos, por exemplo, o plano de 2016 traçado e estamos sondando o plano de 2017. Mas de longo prazo, que a gente fazia, hoje está parado.

As empresas no Padrão 1 foram aquelas que ampliaram suas atividades inovativas em pesquisa e prospecção e, a partir da reversão do cenário altista de preços das *commodities* minerais, reduziram a prioridade dessa área, dando espaço para prestação de serviços de terceiros em pesquisa e prospecção.

(ii) Padrão 2 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora intermediária

O Padrão 2 Pesquisa e Prospecção é composto por empresas que permaneceram, durante todo o período de análise da pesquisa, estagnadas com capacidade inovadora intermediária. De maneira geral, foram capazes de fazer melhorias relativamente complexas em diferentes tecnologias, tais como: gerenciamento de projetos minerais, metodologias de prospecção e pesquisa mineral, *softwares* de avaliação de depósitos minerais e engenharia em equipamentos de prospecção e pesquisa mineral (por exemplo, sondas).

Alguns movimentos das empresas do Padrão 2 realizados em pesquisa e prospecção que ajudam a explicar sua permanência em capacidade inovadora intermediária podem ser destacados. Por exemplo, o gerente da mina da empresa Alfa avaliou a área de pesquisa e prospecção:

A pesquisa funciona da seguinte maneira: você tem uma etapa da pesquisa, que é a sondagem; você tem um equipamento para fazer a perfuração. Para essa atividade, que a gente não faz de forma contínua, você define um período, do tipo: durante três anos eu vou fazer uma campanha de sondagem. Então não é uma atividade para a qual eu preciso ter equipamento próprio. Então, a gente contrata esse tipo de trabalho, a amostra fura. Feita a análise química, o geólogo pega

isso e coloca no software e lá ele faz o modelo geológico, constrói um histórico desse corpo de minério, portanto onde está. Isso tudo quem faz é aqui dentro da nossa empresa.

O gerente também avaliou que, na indústria de mineração, a área de pesquisa e prospecção avançou comparativamente menos à da indústria petrolífera, por exemplo:

Não tem muita coisa de inovação não. Foi bem mais diferente ao longo dos anos, porque perfuração é perfuração desde 30, 40 anos atrás. Então o método [...]. Então, pode-se melhorar o equipamento que faz a perfuração? Pode? Você pode utilizar um equipamento menos manual e mais automático? Pode ser feito. Mas não tem esse equipamento. Grandes empresas de perfuração fazem automação desse equipamento, algum tipo de inovação. Na nossa área, qual seria a inovação? Usar modelos matemáticos, softwares melhores. Isso vem contra esse mercado, que não desenvolve isso.

Em geral, as empresas deste padrão realizaram atividades mais complexas nessa área tecnológica, na medida da disponibilidade de tecnologias específicas.

(iii) Padrão 3 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada

O Padrão 3 Pesquisa e Prospecção foi composto por empresas que acumularam capacidades inovadoras avançadas a partir da capacidade intermediária ao longo dos quatro triênios observados. Essas empresas, que eram capazes de realizar melhorias relativamente complexas em tecnologias existentes, passaram a desenvolver pesquisas baseadas em engenharia e/ou P&D para novos métodos de sondagem exploratória, métodos de análise de testemunhos e desafios específicos da prospecção mineral.

A diretora de Tecnologia da empresa Pi ressaltou que todas as atividades recebem a mesma atenção quanto a decisões de melhorias e inovação. A empresa PI conta com uma estrutura de governança para as três áreas relativamente mais complexas:

Cada operação tem toda a parte de pesquisa, lavra e processamento. As melhorias operacionais ocorrem em todas elas. Elas são feitas dentro da própria área, na operação. Ainda, temos uma área, cujo diretor fica em nossa matriz, que é responsável pelo Business Improvement (BI). Melhorias que podem ser aplicadas em várias operações, como em moagem, são gerenciadas por esse grupo corporativo e difundidas para as outras operações.

As empresas do Padrão 3 Pesquisa e Prospecção elevaram sua capacidade de fazer melhor o que já faziam bem feito, o que é representado por atividades de engenharia tanto de produto

quanto de processo. Quando, a partir de 2006-2008 até 2012-2014, acumularam capacidades tecnológicas até inovadora avançada, tornaram-se capazes de fazer diferente do que vinham fazendo, podendo ditar tendências. A empresa Delta, por exemplo, realizava, em pesquisa e prospecção, atividades como modificações relativamente complexas de gerenciamento de projetos minerais e em metodologias de prospecção e pesquisa mineral e passou a realizar também P&D aplicados em métodos de sondagem exploratória (por exemplo, perfuração e testemunhagem em sondagem diamantada, rotopercussiva, perfilagem geofísica e medida de propriedades físicas, como densidade, condutividade e raios gama).

(iv) Padrão 4 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial

O Padrão 4 Pesquisa e Prospecção foi composto por empresas que se mantiveram capazes de realizar atividades compatíveis com níveis de capacidade tecnológica avançada e de liderança mundial. Esse padrão contém duas empresas, cada uma delas permanecendo por todo o período da amostra com o mesmo nível de capacidade inovadora. Uma das empresas manteve-se estagnada no nível de capacidade inovadora avançada, assim como as empresas do Padrão 2 Pesquisa e Prospecção nos últimos dois triênios. A outra, no entanto, manteve-se na fronteira tecnológica mundial e acumulou capacidade inovadora de liderança mundial. Entre outras atividades, essa empresa foi capaz de realizar P&D próximos da ciência básica em: processamento digital de imagens para prospecção mineral, processamento e interpretação de dados geofísicos terrestres e/ou aéreos e métodos de sondagem exploratória.

A empresa Beta, por exemplo, ao longo de todo o período estudado, realizou atividades, em pesquisa e prospecção, de P&D aplicados em métodos de análise de testemunhos (por exemplo, perfilagem geofísica, medida de propriedades físicas, como densidade, magnetismo, condutividade, raios gama etc.) e em métodos de sondagem exploratória (como perfuração e testemunhagem em sondagem diamantada, rotopercussiva, perfilagem geofísica, medida de propriedades físicas, como densidade, condutividade e raios gama).

A empresa Gama, por sua vez, ao longo de todo o período estudado realizou, além dessas atividades, outras como P&D básicos em processamento e interpretação de dados geofísicos terrestres e/ou aéreos. Ainda, fomentou parcerias com diferentes organizações, principalmente, universidades e institutos de pesquisa locais. Como descreveu seu diretor de Tecnologia durante o *workshop*:

São importantes os investimentos contínuos em inovação para obter bons resultados para a empresa no longo prazo. Ainda assim, a empresa está cortando custos depois das recentes diminuições nos preços das commodities minerais, mas tentando segurar os investimentos o máximo possível.

Neste padrão, estão duas empresas que inseriram os investimentos em inovação em sua cultura organizacional, adaptando sua governança para esse aspecto. Por exemplo, atestou o diretor da empresa Beta:

Há uma Diretoria de Exploração Mineral, diretor de Inovação e diretor Operacional. O diretor de Exploração é responsável por prospectar novas áreas, que para a gente são todos os não ferrosos (menos ouro). A parte de inovação ajuda essa parte de exploração. Nós apoiamos os geólogos da exploração, dizendo como vão ser as operações.

Essas empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção estruturaram a gestão da inovação tecnológica em seu organograma (Quadro 5.1).

Quadro 5.1. Empresa Lambda e metodologia de desenvolvimento e implantação de projetos de capital

O objetivo é minimizar as ameaças e maximizar a confiança dos investidores em seu sucesso. Dessa forma, torna-se um instrumento eficaz para o suporte à decisão executiva, na medida em que confere previsibilidade, *accountability*, transparência e competitividade aos empreendimentos. Uma boa aplicação da metodologia *Front End Loading* (FEL) cria condições para que os projetos sejam executados em um menor prazo, no menor custo, com maior segurança, maior sustentabilidade e boa confiabilidade operacional.

Pela metodologia FEL, são definidos a estrutura, o foco e o conteúdo de cada uma das fases do desenvolvimento: (i) FEL 1 – análise do negócio; (ii) FEL 2 – seleção de alternativa e definição do escopo; (iii) FEL 3 – planejamento da execução. No fim de cada uma dessas fases, são previstos os *gates* de decisão – momento em que as definições, premissas e restrições do projeto são consideradas para definir sobre seu prosseguimento à próxima fase ou sobre a necessidade de retrabalhar as definições do projeto ou de postergar o investimento (arquivar o projeto).

As fases de pré-descoberta são tipicamente fases de pesquisa, nas quais não é possível agendar resultados finais (evento de descoberta), e as medidas de progresso são baseadas em andamentos da pesquisa e reforço de conceitos e conhecimento.

- Gestão de projetos de pesquisa é considerada “fronteira do conhecimento”: fatores críticos de sucesso e melhores práticas em gestão envolvem elementos-chave não abordados por métodos para projetos mais tradicionais.

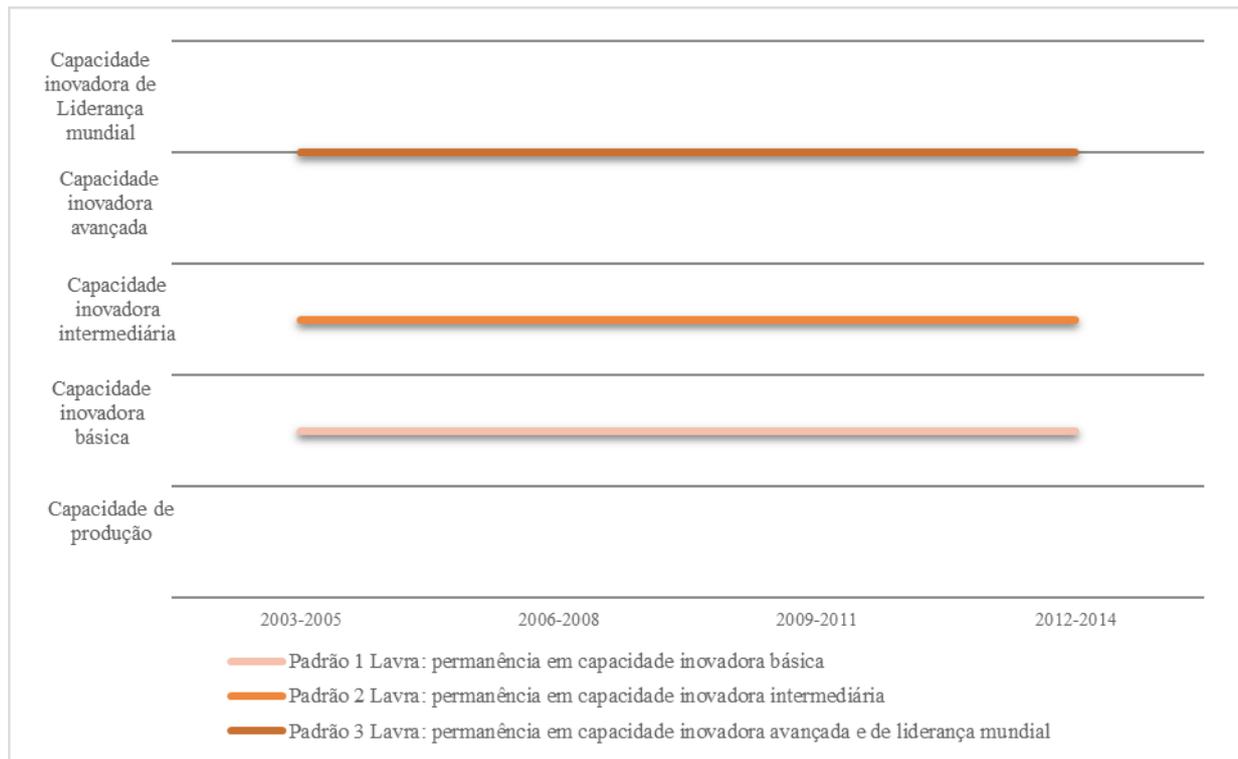
As fases de pós-descoberta são de desenvolvimento do conceito do depósito como potencial negócio de mineração. Os objetivos dos projetos são claros, embora nem sempre os métodos de estudo sejam.

- Gestão de projetos de desenvolvimento de conceitos exige alguma customização de métodos tradicionais de gestão, mas as melhores práticas mundiais são em boa parte aplicáveis.

Fonte: Adaptado de Piana (2016).

5.1.2.2 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra

A Figura 5.11 sugere que, na área de lavra, de 2003 a 2014, as empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas que puderam ser agrupadas em três padrões, a saber: (i) Padrão 1 Lavra: permanência em capacidade inovadora básica, representando 20% das empresas da amostra; (ii) Padrão 2 Lavra: permanência em capacidade inovadora intermediária, representando 60% das empresas da amostra; (iii) Padrão 3 Lavra: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, representando 20% das empresas da amostra da pesquisa.

Figura 5.11. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em lavra (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

A seguir, é apresentada uma descrição das atividades, bem como dos movimentos de evolução de acumulação de capacidades tecnológicas concernentes a cada padrão.

(i) Padrão 1 Lavra: permanência em capacidade inovadora básica

O Padrão 1 Lavra foi composto por empresas que permaneceram, durante todo o período de análise da pesquisa, estagnadas com capacidade inovadora básica. De maneira geral, foram capazes de fazer pequenas melhorias em diferentes tecnologias, tais como: equipamentos de mineração (escavadeiras e caminhões), processos associados com as novas características da mina e soluções de problemas para eliminação de gargalos no processo de lavra. Um exemplo é a automação da mina, como descreveu o diretor da empresa Alfa:

Então, tem outra tecnologia que eu não havia falado com vocês; é que esses caminhões, todos eles, têm o GPS, não só eles, mas os outros instrumentos que carregam esses caminhões e os equipamentos que também operam na infraestrutura e melhoria dos acessos. Você sabe onde eles estão em tempo real. Então, de uma determinada sala você consegue otimizar toda a sua operação na mina, de modo a ter a máxima produtividade possível.

Por outro lado, a empresa não teve avançado de fato, como atestou o diretor:

O ideal seria que a gente tivesse uma automação da usina. Ter menos operadores e pessoas mais técnicas e tudo sendo operado de forma remota, numa sala de contato. A gente já tem isso. Toda a usina é operada numa sala de controle, mas ainda fica muito manual, dependendo de as pessoas irem ao campo e olhar. Então tem um campo grande a ser desenvolvido aqui na usina, de concentração em termos de instrumentação, de instrumentar as coisas e automatizar de forma que possam utilizar o mínimo possível a operação manual.

A empresa Lambda, por sua vez, descreveu que conta com uma estrutura organizacional bem demarcada:

A empresa tem uma superintendência geral e uma superintendência técnica. Nós somos da superintendência técnica e dentro dela tem três gerências: Gerência de Planejamento e Controle de Qualidade, Gerência da Lavra (operações de mina) e Gerência de Beneficiamento e Manutenção.

As empresas do Padrão 1 Lavra garantiram a continuidade de tecnologias existentes e que já haviam implementado, mantendo-se em um ambiente dinâmico.

(ii) Padrão 2 Lavra: permanência em capacidade inovadora intermediária

O Padrão 2 Lavra foi composto por empresas que permaneceram, durante todo o período de análise da pesquisa, estagnadas com capacidade inovadora intermediária. Foram capazes de realizar melhorias e modificações relativamente complexas em diferentes tecnologias, tais como: planejamento de lavra para aumento da capacidade produtiva, engenharia de equipamentos da mina (escavadeiras, caminhões etc.) e melhoramento na fragmentação de rochas. A ausência de departamentos de P&D ou de engenharia dedicados a processos contínuos de melhorias, no entanto, impediu que acumulassem nível de capacidade inovadora avançada.

A diretora de Tecnologia da empresa Pi ressaltou que a área de lavra passou a ser objeto de preocupação, em termos de inovação, mais recentemente:

Essa área [lavra] está crescendo mais recentemente. Isso por causa do tamanho e do custo do equipamento. É uma parte da indústria que é muito cara. Qualquer mudança no processo de lavra tem um processo muito custoso. Esse custo talvez possa ser reduzido com tecnologias novas; estamos diante disso nessa crise. A crise é onde a inovação tecnológica cresce. Quando se está ganhando muito dinheiro, produz-se da mesma forma que se faz sempre. Agora, com a necessidade de reduzir custo, a criatividade tem que se manifestar. É a época da inovação.

O período de recrudescimento do preço das *commodities* minerais ressaltou as diferenças entre as empresas mineradoras quanto aos investimentos que vinham fazendo em inovação. A

empresa Delta relatou realizar modificações relativamente complexas em planejamento de lavra para aumento da capacidade produtiva, em engenharia de equipamentos da mina (escavadeiras, caminhões etc.).

(iii) Padrão 3 Lavra: permanência em capacidade inovadora e de liderança mundial

O Padrão 3 Lavra foi composto por duas empresas que apresentaram diferentes níveis de capacidade inovadora na área de lavra: uma das empresas manteve-se por todo o período analisado com nível avançado, enquanto a outra, no nível de liderança mundial. A opção por agrupá-las em um só padrão foi feita apenas para fins de manipulação dos dados estatísticos, sem prejuízo na análise individual das empresas. Embora fossem as duas empresas com maior nível de capacidade tecnológica nessa área, apresentavam distinções relevantes.

Apesar de ambas apresentarem departamentos de P&D e engenharia dedicados a tecnologias de lavra, a empresa em nível de capacidade inovadora avançada possuía iniciativas mais aplicadas, enquanto aquela em nível de liderança mundial realizava iniciativas para criação de tecnologias novas para o mundo, que abriram oportunidades para entrada em novos negócios.

O diretor da empresa Beta ressaltou que a área de lavra guarda singularidades que começaram a ser tratadas mais recentemente pelas empresas no país:

A área de pesquisa e prospecção está bastante avançada, gera uma produtividade enorme. A parte de lavra é mais complicada, mais cara, gera produtividade menor. O processamento está avançado também, mas ainda não é igual à prospecção. Prospecção corresponde a dados, análise. A parte de processamento também não é tão complicada. A lavra realmente é a parte mais complexa.

Ainda assim, a empresa Beta desenvolveu, em lavra, atividades de capacidade inovadora avançada, quais sejam: modificações relativamente complexas em planejamento de lavra para aumento da capacidade produtiva, bem como em engenharia de equipamentos da mina (escavadeiras, caminhões etc.), e engenharia para melhoramento na fragmentação de rochas. A empresa Lambda, por sua vez, acumulou capacidades tecnológicas em liderança global, tendo implementado, portanto, atividades inovadoras em tecnologias com grau de novidade mundial, que provocaram impacto disruptivo, como, por exemplo, P&D básicos relacionados a novos sistemas de perfuração de rochas, em sistema a *laser* para perfuração de rochas e em tecnologias de automação das operações unitárias de lavra. Alguns exemplos são citados no Quadro 5.2.

A empresa Lambda, em capacidade inovadora de liderança mundial, conduziu, principalmente no último triênio, alguns projetos de P&D aplicados em lavra, tais como: climatologia, redução de umidade do minério, processo de fragmentação e automação. Em termos de climatologia, foram realizadas atividades de P&D dentro do seu instituto tecnológico. O projeto

Fragcom, por exemplo, estava atrelado à necessidade da empresa de desenvolver uma metodologia de estimativas dos custos envolvidos no processo de desmonte de rocha, para realizar uma previsão anual de custos para o ano seguinte. Além dele, a empresa iniciou projeto de P&D básicos em tecnologias de automação, chamado “Mina Autônoma”, em parceria com fornecedores e universidades⁴³. No âmbito desse projeto, estão os caminhões de explosivos autônomos, em desenvolvimento no *site* de Patos de Minas. Em projetos de P&D em parceria com fornecedores, podem ser citados o desenvolvimento de pneu robotizado, o qual não teve êxito, devido à falta de planejamento quando foi implementado, e o desenvolvimento de lavagem robotizada de caminhões.

Quadro 5.2. Empresas Lambda e Beta: projetos de P&D na área de lavra

Na empresa Lambda, o projeto de climatologia e impactos das mudanças climáticas nas suas operações na Amazônia Central foi iniciado em 2011 e desenvolvido pelo instituto tecnológico, coordenado pelo Prof. Dr. Bergson Cavalcanti de Moraes, para diagnosticar e prognosticar as variações climáticas em regiões de operação da empresa. O projeto teve como principal objetivo a investigação da variabilidade climática ocorrida nos últimos 30 anos na Amazônia Oriental, além da elaboração de um prognóstico em relação ao volume e à recorrência de tal variabilidade.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, realizada entre os limites de Carajás e São Luís do Maranhão, foi detectado que as variações climáticas têm se intensificado continuamente. Em virtude das alterações, diagnosticadas e prognosticadas pelo projeto, a Vale pode planejar suas operações com a finalidade de minimizar perdas e custos, em consequência dos efeitos meteorológicos e climáticos, que afetam diretamente a lavra e o processamento de minério de ferro. Somente a chuva, por exemplo, é capaz de reduzir em até 30% a produção de minério de ferro.

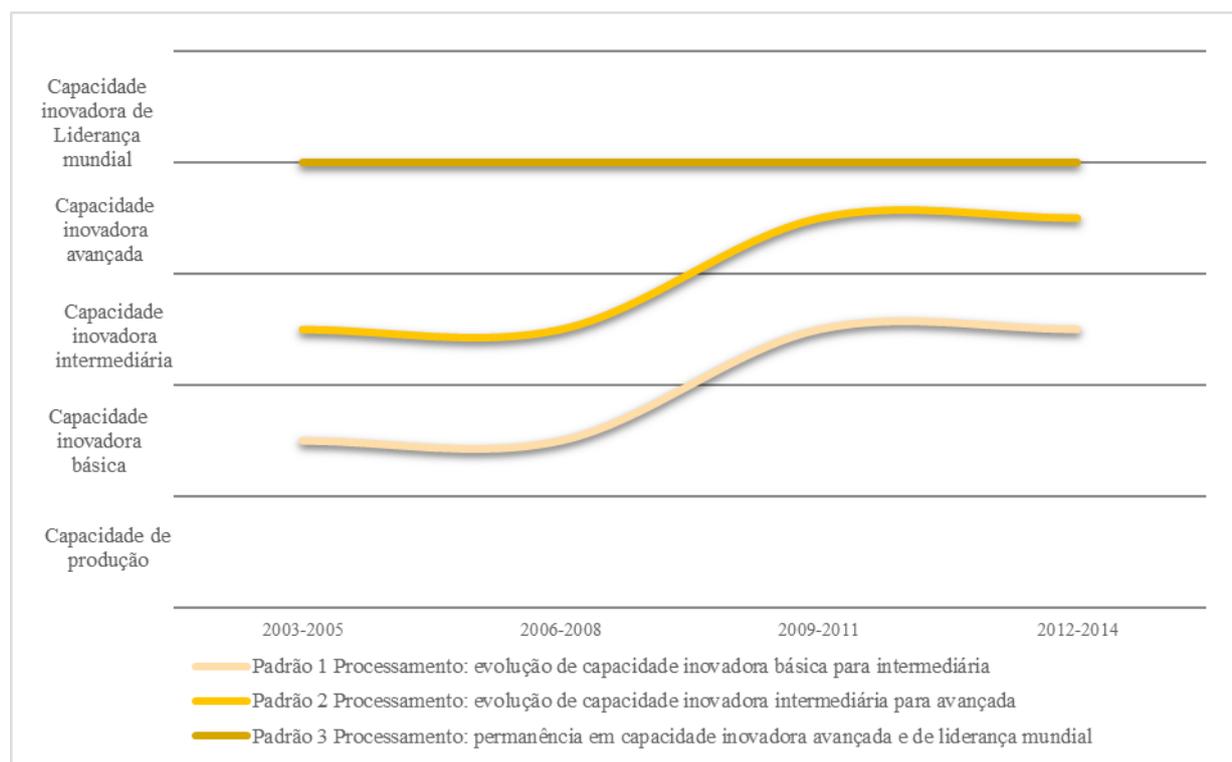
A empresa Beta tem desenvolvido projetos de P&D em energia. Em 2015, iniciou projeto de P&D em energia solar orgânica para reduzir emissões.

Fonte: Adaptado de Piana (2016).

5.1.2.3 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral

A Figura 5.12 sugere que, na área de processamento mineral, de 2003 a 2014, as empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas que puderam ser agrupadas em três padrões, a saber: (i) Padrão 1 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora básica para intermediária, representando 60% das empresas da amostra; (ii) Padrão 2 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada, representando 20% das empresas da amostra; (iii) Padrão 3 Processamento Mineral: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, representando 20% das empresas da amostra.

⁴³ Ver Piana (2016).

Figura 5.12. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em processamento mineral (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

A seguir, é apresentada uma descrição das atividades, bem como dos movimentos de evolução de acumulação de capacidades tecnológicas concernentes a cada padrão.

(i) Padrão 1 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora básica para intermediária

O Padrão 1 Processamento Mineral englobou o conjunto de empresas que acumularam capacidades tecnológicas inovadoras a partir da capacidade inovadora básica entre o período de 2003 e 2014. Essas empresas deixaram de ser capazes de realizar apenas pequenas melhorias em tecnologias existentes, para proceder a melhorias mais complexas nessas tecnologias. Algumas das atividades que essas empresas passaram a realizar incluem: melhorias baseadas em engenharia em equipamentos de processamento mineral, melhorias nos sistemas para reuso de água no processamento mineral e melhorias baseadas em engenharia na moagem, britagem e separação.

Como afirmou o diretor de Operações da empresa Alfa:

Então, parte do material é produto final, não precisa passar pelo processo de concentração, no qual você tem perda. Houve um ganho tanto de produção quanto aumento de produtividade enorme. Um terço da produção hoje vem desse processo a seco. É sem beneficiamento. Aí você não usa água, não usa nada. Simplesmente drena, peneira e gera o produto final, que pode ser

vendido no mundo todo. Essa foi uma grande melhoria que a equipe de minas desenvolveu nos últimos anos. Processar parte da mina a seco sem gerar rejeitos, sem gerar nada, e gerar o produto final.

O gerente de minas da empresa Lambda destacou alguns aspectos que explicariam sua mudança de capacidade inovadora básica para intermediária:

A área de planejamento sustenta as novas tecnologias. Tivemos recentemente uma nova planta de tratamento de beneficiamento para ter capacidade de processar e beneficiar minérios mais pobres. Nós tínhamos uma mina com muita geração de hematitas (minério com alto teor de ferro) e um tratamento e beneficiamento muito mais simples. Com a exaustão dessa reserva de hematitas, precisamos implantar uma nova instalação de tratamento para tratar os itabiritos (minérios com teores de ferro de 45% a 52%). Esses materiais, no passado, eram estocados numa pilha de estéril.

Os benefícios gerados foram descritos da seguinte forma:

A empresa não tratava esse minério. Com o advento dessa planta, a gente passou a tratá-lo. Aumentou a vida útil da reserva e, além disso, nós tínhamos uma pilha de estéril que foi retomada e hoje alimenta essa planta na proporção de 50%, ou seja, 50% do minério que a gente beneficia vem de uma pilha de estéril. Assim, nós estamos aumentando a vida útil da reserva. (Gerente de minas da empresa Lambda).

Algumas das empresas do Padrão 1 Processamento Mineral investiram ou começaram a investir no tratamento de rejeitos. O gerente de minas da empresa Lambda afirmou:

Outra grande inovação que nós tivemos é pioneira no Brasil e recente. É a primeira empresa de mineração que está fazendo o tratamento de 100% do rejeito. Nós implantamos um sistema de filtro prensa, que processa todo o nosso rejeito. [...] Fizemos vários testes ao longo desse tempo e optamos pelo filtro prensa. Desde novembro do ano passado (2015), nós temos essa estrutura (filtro). Esse filtro pega o rejeito gerado na estação de tratamento, separa a água e o material, em vez de ir para uma barragem, vai para a pilha de estéril.

Ainda quanto ao tratamento de rejeitos, o gerente de Operações da empresa Alfa relatou os esforços da empresa recentemente realizados:

Mas não tem nenhum processo. Alguns lugares põem um material dentro do moinho muito grande [...]. Com um material de qualidade melhor, é só quebrar com o britador e passar nas peneiras,

peneira industrial; o que passa nessa peneira é esse material mais fino, que vai para um sistema que chama flotação e aí a gente usa componentes químicos, que permitem separar o minério de ferro. O minério de ferro vai para o fundo e a sílica vai para cima.

O gerente de minas da empresa Lambda destacou que, no período tratado nesta pesquisa, a empresa viu-se na situação de lidar com a expansão urbana em volta da sua mina principal, culminando na busca por melhorias nas operações de lavra e processamento:

Tem outro processo que a gente está usando de inovação, que é o controle de geração de particulares (redução de poeira). Nós temos uma mina a céu aberto, com os caminhões trafegando gera muita poeira. Nós estamos fazendo uma aplicação aqui, que não é uma coisa nova no mercado, mas a forma de aplicação é nova. Pelo conhecimento de todos os fornecedores, só nós no Brasil estamos aplicando isso. Para efeitos de consumo de água, nós reduzimos no ano passado 30%. Nesse ano, esperamos chegar a 35%.

Portanto, as empresas do Padrão 1 Processamento Mineral caracterizaram-se, de forma geral, por terem realizado esforços deliberados e cumulativos para se adaptar a mudanças sentidas, especialmente, em relação ao tratamento de rejeitos.

(ii) Padrão 2 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada

O Padrão 2 Processamento Mineral incluiu empresas que alcançaram nível de capacidade inovadora avançada a partir de um nível intermediário. Elas desenvolveram departamentos de P&D e/ou engenharia para realizar atividades inovadoras de natureza similar à dos líderes globais, sem, contudo, se aproximar da fronteira tecnológica mundial. A partir de modificações complexas realizadas em tecnologias já existentes, passaram a realizar, a partir do triênio 2009-2011, atividades como: desenvolvimento de produtos customizados aos clientes, adaptações no dimensionamento de usinas e desenvolvimento de adaptações nas rotas de processamento mineral.

A empresa Delta destacou que as atividades realizadas em processamento mineral no período considerado nesta pesquisa foram: modificações e melhorias nas rotas de processamento mineral (melhorias nos sistemas para reuso de água no processamento mineral), bem como modificações e melhorias nas atividades de processamento mineral (melhorias baseadas em engenharia na moagem, britagem e separação). A empresa Pi realizou essa mesma categoria de atividades, tendo sua diretora de Tecnologia observado que, em processamento mineral, "*há exigência de uma tecnologia mais avançada para lidar com biolixiviação, automação etc.; essas coi-*

sas são automatizadas. Isso exige um esforço maior nessa área. Tem que ter controle de temperatura, pH... Isso é um fenômeno mundial”.

A diretora também identificou que,

ultimamente, temos desenvolvido vários projetos relacionados à água. Esse é um grande desafio para a indústria de mineração, que gera um impacto em água relevante. Outra iniciativa foi com processamento mineral, em que estamos tentando diminuir o tamanho das plantas para modular os processos. Também estamos tentando modernizar a lavra, para que não possamos gerar tanto impacto.

O diretor de Operações da empresa Delta relatou que estudos foram realizados para aproveitar comercialmente a sílica – resultante da flotação, separando-se do minério de ferro. A empresa também avançou no beneficiamento do minério de ferro ao acrescentar reagentes químicos, de modo a aproveitar todos os resíduos desse beneficiamento. O diretor descreveu um dos itens do processo de beneficiamento do minério de ferro:

Tem uma bombinha que fica no canto e puxa ele automaticamente, que vai para uma sala, lá seca automaticamente, retira água e aí já cai em um sistema que coleta um pouquinho desse material e depois já cai em outro lugar e faz a de ferro e manda a informação se tem que colocar mais ou menos reagente. Tudo no automático. Retirar amostra, analisar o ferro, abrir e colocar mais ou menos reagente.

As empresas do Padrão 2 Processamento Mineral já vinham realizando atividades de engenharia em processamento e seguiram buscando melhorias nos processos de obtenção dos minérios, bem como aproveitamento comercial de seus resíduos.

(iii) Padrão 3 Processamento Mineral: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial

O Padrão 3 Processamento Mineral foi composto por empresas que se mantiveram estagnadas no nível de capacidade inovadora avançada e de liderança mundial por todo o período analisado na pesquisa. Embora fossem as duas empresas com maiores níveis de capacidade tecnológica da amostra da pesquisa e estivessem agrupadas em um mesmo padrão, eram distintas. Apesar de possuir departamentos de P&D e engenharia dedicados a tecnologias de processamento mineral, a empresa em nível de capacidade inovadora avançada apresentou iniciativas mais aplicadas, enquanto aquela em nível de liderança mundial realizou iniciativas para criação de tecnologias novas para o mundo, que abriram oportunidades para entrada em novos negócios. Algumas das atividades equivalentes ao nível de liderança mundial na área de processa-

mento mineral incluem: nanotecnologia, processamento mineral sem uso de água e desenvolvimento de novas rotas de processamento mineral (biolixiviação, lixiviação *in situ*).

A empresa Lambda, no primeiro triênio considerado nesta pesquisa, realizou algumas atividades, como adaptações baseadas em engenharia; houve, por exemplo, adaptação de um filtro utilizado na indústria alimentícia para o processo de filtragem de lama de minério fino, em Carajás. Essas atividades iniciaram-se em 2004 e foram concluídas em 2008, porém sem uma conclusão da eficiência do filtro em escala industrial. Nesse período também, a empresa Lambda avançou no desenvolvimento de fornecedores para implementar a tecnologia de processamento à umidade natural via peneiramento em período de chuva. A empresa interagiu com seis dos principais fornecedores do mundo para resolver o desafio de peneirar o minério do Sistema Norte, tirando toda a água do processo, com ausência de barragem. Em uma conversa inicial, todos os seis fornecedores informaram que seria impossível, mas, após a empresa estipular que forneceria todo o suporte necessário – isto é, não haveria contrato de bloqueio de fornecimento de tecnologia para outras empresas e todas as peneiras do projeto (em torno de 27), mais todos os equipamentos –, o projeto avançou. O emprego da tecnologia à umidade natural permitiu a redução de 93% do consumo de água em relação ao processo convencional, como também redução no consumo de energia, que atingiu 18 mil MW ao ano⁴⁴.

Em 2007, a empresa Lambda inaugurou o Centro Tecnológico de Ferrosos (CTF), que é um centro de simulação em pelotas cujo objetivo principal é desenvolver adaptações no processo de pelotização, gerando diferentes produtos adaptados às necessidades dos clientes e de acordo com as definições da empresa Lambda. No CTF, iniciaram-se atividades em nanotecnologia, mais especificamente, no uso de nanotubos em carbono, em parceria com universidades, como a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), bem como uma universidade de Cingapura. No último triênio (2012-2014), a empresa voltou-se para atividades de inovação que buscaram atender a desafios relacionados a escassez de água, dificuldades de licenciamento ambiental de barragens de rejeitos e mudança nas características dos bens minerais. O desenvolvimento da concentração a seco envolveu, inicialmente, a verificação de tecnologias que pudessem ser usadas para a concentração a seco e fossem utilizadas em outras indústrias, como, por exemplo, a indústria de cimentos ou de outros bens minerais que não minério de ferro. Além disso, em parceria com fornecedores, a empresa Lambda começou a pesquisar possíveis equipamentos para secagem, tendo sido encontrado um equipamento de secagem via sopro que, até 2015, se manteve inviável, devido ao elevado consumo energético. Também podem ser citadas outras atividades que buscaram desenvolver novas formas de processar os minerais, realizadas a partir de P&D básicos, em conjunto com a Universidade de Brasília (UnB) e fornecedor da Suíça.

⁴⁴ Ver Piana (2016).

5.2 Influência dos mecanismos de aprendizagem na acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

O objetivo desta subseção é examinar alguns dos principais mecanismos de aprendizagem que as empresas da indústria de mineração implementaram ao longo de 2003 a 2014 e como isso explica os diferentes padrões de capacidade em cada uma das áreas (pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral). Como apresentado na seção 3, esta pesquisa identificou dois tipos de mecanismo de aprendizagem: (i) *intraorganizacionais*, ou seja, geração interna de saber tecnológico, pela criação, compartilhamento, integração e codificação internos de conhecimento; (ii) *interorganizacionais*, ou seja, fluxos e ligações de saber tecnológico entre empresas e demais organizações do sistema de inovação, como universidades, institutos de pesquisa, consultores, competidores ou outras empresas ao longo da cadeia produtiva (fornecedores e clientes).

A descrição e a relação dos mecanismos de aprendizagem intra e interorganizacionais com os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas estão organizadas em três subseções: a subseção 5.2.1 apresenta a evolução de algumas estatísticas descritivas gerais da frequência média com que os mecanismos de aprendizagem foram usados pelas empresas ao longo de 2003 a 2014; a subseção 5.2.2 indica a relação dos mecanismos de aprendizagem com os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral; por fim, a subseção 5.2.3 revela a relação dos mecanismos de aprendizagem com os níveis de acumulação de capacidades tecnológicas.

5.2.1 Evolução dos mecanismos de aprendizagem utilizados pela indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

5.2.1.1 Evolução dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Esta subseção apresenta a evolução do uso dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais pelas empresas pesquisadas entre 2003 e 2014. Os mecanismos considerados nesta pesquisa foram detalhados no Quadro 3.8 e são representados por quatro tipos: (i) codificação de conhecimento; (ii) compartilhamento de conhecimento; (iii) integração de conhecimento; (iv) criação de conhecimento.

A quantificação do seu uso por parte da empresa foi realizada por meio de aplicação de questionários, cuja operacionalização foi descrita de forma mais detalhada na seção 3. Para cada um dos quatro mecanismos internos, até oito resultados não excludentes poderiam ser obtidos, considerando: (i) informações técnicas sobre processos existentes; (ii) informações técnicas sobre produtos existentes; (iii) melhorias e adaptações em processos existentes; (iv) melhorias e adaptações em produtos existentes; (v) criação de novos processos; (vi) criação de novos produtos; (vii) criação de novos conhecimentos científicos; (viii) patentes.

Tipos de mecanismo de aprendizagem intraorganizacional: evolução da frequência média de uso na indústria de mineração (2003-2014)

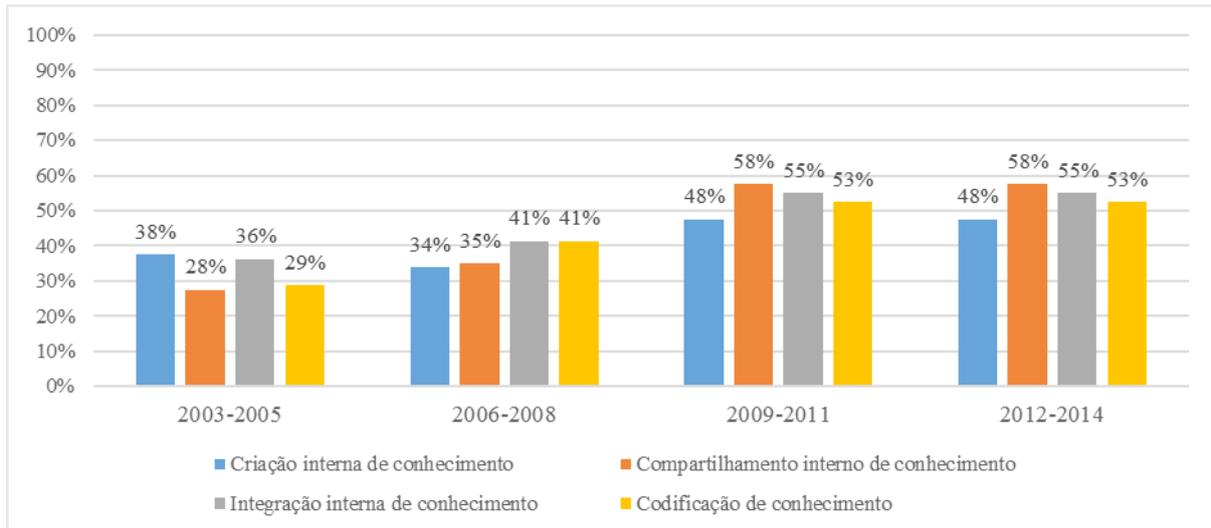
Supõe-se que, quanto mais resultados gerados uma dada empresa apresentou para cada período de tempo, mais frequentemente conseguiu empregar seus mecanismos de aprendizagem internos. Por exemplo, se uma empresa, por exemplo, realizou codificação de conhecimento, que gerou melhorias em produtos existentes e criação de novos conhecimentos científicos, recebeu um valor igual a 2. Logo, cada empresa poderia apresentar um valor que variou entre 0 e 8 para cada um de seus quatro mecanismos intraorganizacionais, em cada período de tempo. Nesse mesmo exemplo, a empresa possuía uma frequência de 25% (valor 2 de oito possíveis) na utilização do mecanismo de aprendizagem de codificação de conhecimento em um período de tempo específico.

Em outras palavras, a intensidade pela qual o i -ésimo mecanismo intraorganizacional foi utilizado por uma empresa foi definida por:

$$y_{it} = \frac{\sum_{j=1}^J Y_{ijt}}{J} \quad (1)$$

Em que: i indica mecanismo intraorganizacional; j indica resultado; t denota período; e Y é uma função indicadora, que assume valor unitário se a empresa usou o mecanismo intraorganizacional i , para atingir o objetivo j no período t , e zero, caso contrário. Ademais, J denota o total de resultados possíveis. Segue uma exposição gráfica dos resultados dessa equação, considerando todas as empresas da amostra, para o período de 2003 a 2014.

A Figura 5.13 sugere que, de 2003 a 2014, as empresas da indústria de mineração (amostra da pesquisa) usaram com maior frequência média o mecanismo criação interna de conhecimento, isto é, consistiu na fonte de aprendizado interno usada o máximo possível (100%). De modo geral, todos os mecanismos internos apresentaram frequência de uso considerável.

Figura 5.13. Evolução dos tipos de mecanismo de aprendizagem intraorganizacional, valores em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais: evolução da frequência média de uso na indústria de mineração (2003-2014)

Entre os oito resultados possíveis de serem gerados pelos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais, cada empresa poderia atingir um valor que variou entre 0 e 4. A frequência média desse resultado foi representada em porcentagem, a qual expressou a frequência média de um dado resultado na empresa. Em outras palavras, a intensidade pela qual o j -ésimo resultado foi utilizado por uma empresa foi definida por:

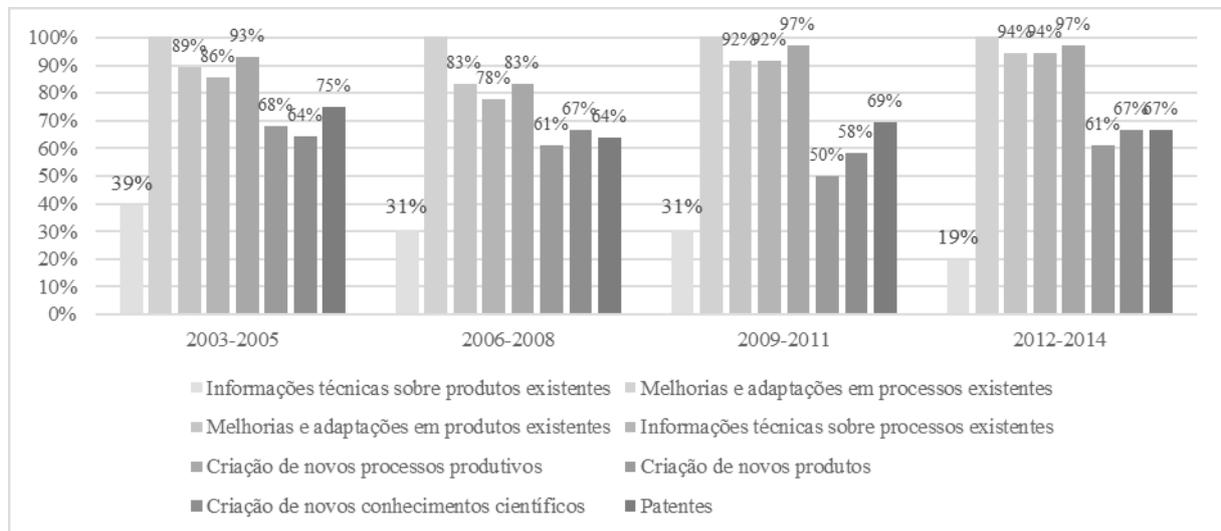
$$y_{jt} = \frac{\sum_{i=1}^I Y_{ijt}}{I} \quad (2)$$

Em que: j indica resultado; i indica mecanismo intraorganizacional; t denota período; e Y é uma função indicadora, que assume valor unitário se a empresa usou o mecanismo intraorganizacional i , para atingir o objetivo j no período t , e zero, caso contrário. Ademais, I denota o total de mecanismos intraorganizacionais possíveis. Segue uma exposição gráfica dos resultados dessa equação, considerando todas as empresas da amostra, para o período de 2003 a 2014.

A Figura 5.14 sugere uma gama ampla de resultados gerados a partir das fontes internas de aprendizagem (Figura 5.13). Enquanto informações técnicas sobre produtos existentes foi menos frequente, criação de novos processos produtivos foi o resultado gerado mais frequente em todos os triênios considerados. Outros resultados, como melhorias e adaptações em processos e em produtos existentes, destacaram-se nesse sentido. Ressalta-se que os mecanismos internos geraram, com considerável frequência, resultados de maior complexidade tecnológica, como

patentes e criação de novos conhecimentos científicos, os quais foram acompanhados da criação de novos produtos e novos processos produtivos.

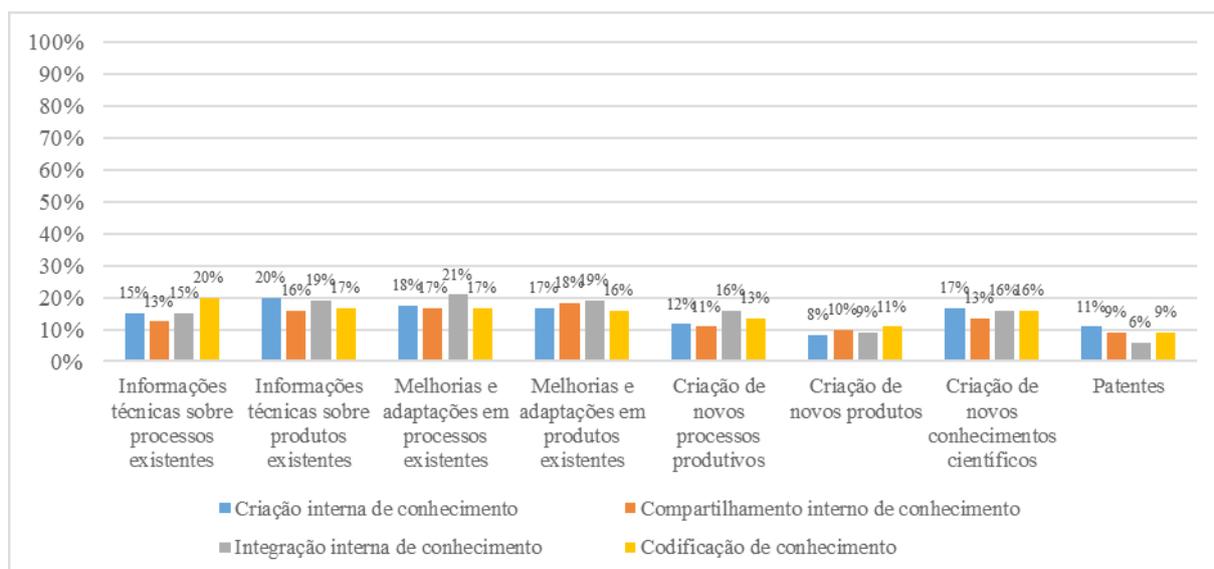
Figura 5.14. Evolução dos tipos de resultado dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Relação entre os tipos de mecanismo de aprendizagem intraorganizacional e seus tipos de resultado

A Figura 5.15 sugere que criação interna de conhecimento, cuja frequência de uso pelas empresas mineradoras foi a máxima possível, foi determinante na geração de resultados como patentes e criação de novos conhecimentos científicos, bem como informações técnicas sobre produtos existentes. Observa-se que integração interna de conhecimento esteve associado com frequência média maior à geração de boa parte dos resultados, o que demonstra que, na aprendizagem por mecanismos internos, na indústria de mineração, a governança da organização tem cumprido papel fundamental.

Figura 5.15. Relação entre os mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais e os resultados, valores médios em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

As empresas produtoras da indústria de mineração, ao longo de 2003 a 2014, realizaram deliberados esforços internos de aprendizagem, os quais foram efetivos (a frequência média foi, em geral, maior do que 50%) em termos de geração de resultados como melhorias em processos e produtos existentes, passando por criação de produtos e de processos até patentes. Os resultados gerados a partir de cada mecanismo interno evidenciaram que informações técnicas são criadas principalmente a partir de codificação de conhecimento, enquanto melhorias e adaptações, a partir de integração interna de conhecimento e criação de novos conhecimentos, bem como patentes, a partir de criação interna de conhecimento.

5.2.1.2 Evolução dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

Esta subseção apresenta a evolução do uso dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais pelas empresas pesquisadas entre 2003 e 2014. Os mecanismos considerados nesta pesquisa foram detalhados no Quadro 3.8 e são representados por sete tipos: (i) contratação de profissionais; (ii) treinamentos técnicos e gerenciais específicos; (iii) diferentes formas de ensino; (iv) assistência técnica; (v) aquisição de conhecimento; (vi) aprendizado com usuários líderes, por exemplo; (vii) P&D.

A quantificação do uso desses mecanismos por parte da empresa foi realizada por meio de aplicação de questionários, cuja operacionalização foi descrita de forma mais detalhada na seção 3. Para cada um dos sete tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional, perguntou-se a representantes das empresas com quais parceiros foram realizados para cada período de tempo (Quadro 3.9). Os parceiros considerados são representados por seis tipos: (i) universidades e institutos de pesquisa locais; (ii) universidades e institutos de pesquisa internacionais; (iii) fornecedores; (iv) firmas competidoras; (v) consultores; (vi) clientes. Para cada um dos seis parceiros

envolvidos em cada um dos sete mecanismos interorganizacionais, até oito resultados não excludentes poderiam ser obtidos; logo, o valor máximo a ser obtido era 56. Os valores apresentados nos gráficos estão em porcentagem, refletindo a média com que as empresas acessaram um dado parceiro, considerando que o máximo que poderiam fazê-lo era 56.

Tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional: evolução da frequência média de uso na indústria de mineração (2003-2014)

Apresenta-se, aqui, a frequência média com que os mecanismos externos foram usados pelas empresas da indústria de mineração (amostra da pesquisa) de 2003 a 2014. Considerando que uma dada empresa, por exemplo, realizou P&D em parceria com universidades e institutos pesquisas locais, fornecedores e firmas competidoras em um período específico (ou seja, três tipos de parceiro) e essas interações geraram, com cada um desses parceiros, criação de novos produtos, criação de novos conhecimentos científicos e patentes (ou seja, três resultados para cada parceiro), o mecanismo interno P&D recebe um valor igual a 6 no período especificado. Logo, para cada mecanismo de aprendizagem interorganizacional, cada empresa poderia apresentar um valor que variou entre 0 e 48 para cada período de tempo (seis tipos de parceiro multiplicado por oito tipos de resultado externo). Nesse mesmo exemplo, a empresa possuía uma frequência de 13% (valor 6 de 48 possíveis) na incidência do mecanismo P&D em um período de tempo específico.

Em outras palavras, a intensidade pela qual o e -ésimo mecanismo externo foi utilizado por uma empresa foi definida por:

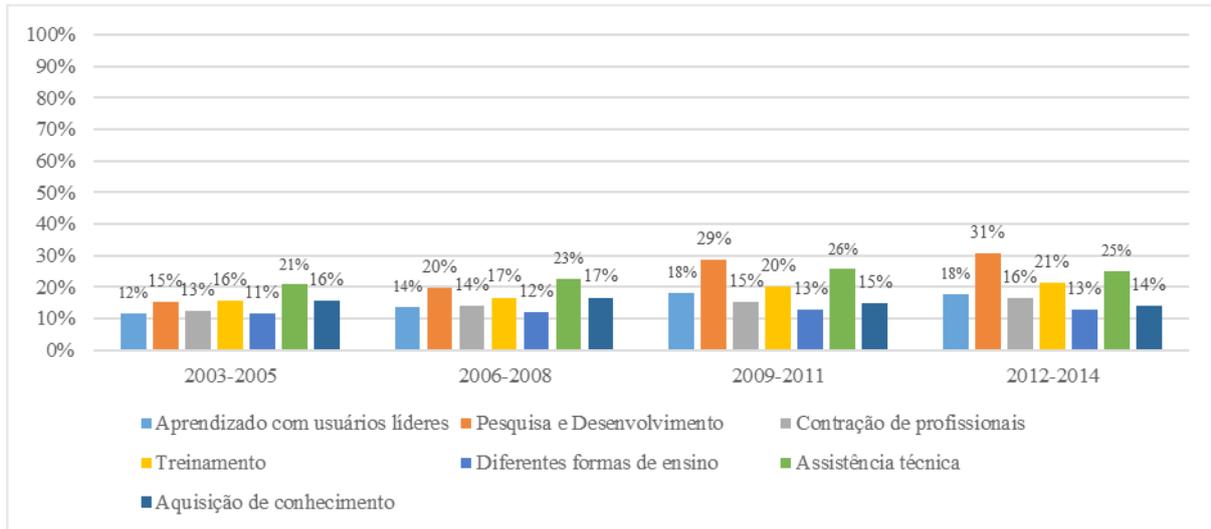
$$y_{et} = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Y_{ejkt}}{JK} \quad (3)$$

Em que: e indica mecanismo externo; j indica resultado; k indica parceiro; t denota período; e Y é uma função indicadora, que assume valor unitário se a empresa usou o mecanismo externo e , em parceria com agente do tipo k , para atingir o objetivo j no período t , e zero, caso contrário. Ademais, J e K denotam o total de resultados e de parceiros possíveis, respectivamente. A seguir, estão os gráficos que ilustram a aplicação dessa equação para mecanismos externos.

A Figura 5.16 sugere que, ao longo dos triênios analisados, aprendizado com usuários líderes e assistência técnica foram os mecanismos externos cuja frequência média de uso aumentou entre as empresas mineradoras. Outros, como P&D, treinamento e diferentes formas de ensino, apresentaram frequência média de uso constante pelas empresas. Aquisição de conhecimento passou a ser usado com maior frequência média em 2006-2008 e 2009-2011, voltando, em 2012-2014, a uma frequência média de uso dos mesmos níveis de 2003-2005 (12%). Esse comportamento pode estar associado à elevação de preço dos minérios, o que fomentou toda a cadeia

produtiva da mineração. De modo geral, os mecanismos externos foram usados com frequência média consideravelmente inferior àquela apresentada pelos mecanismos internos.

Figura 5.16. Evolução dos tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacionais, valores em % (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Tipos de parceiro interorganizacional: evolução da frequência média de uso na indústria de mineração (2003-2014)

Entre os seis possíveis parceiros com quem foram realizados os mecanismos de aprendizagem externos, cada empresa poderia atingir um valor que variou entre 0 e 42, representado em porcentagem, para cada período de tempo. Esse valor equivalia ao número de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais (sete) multiplicado pelo número de parceiros possíveis (seis). Em outras palavras, a intensidade pela qual o k -ésimo parceiro foi utilizado por uma empresa foi definida por:

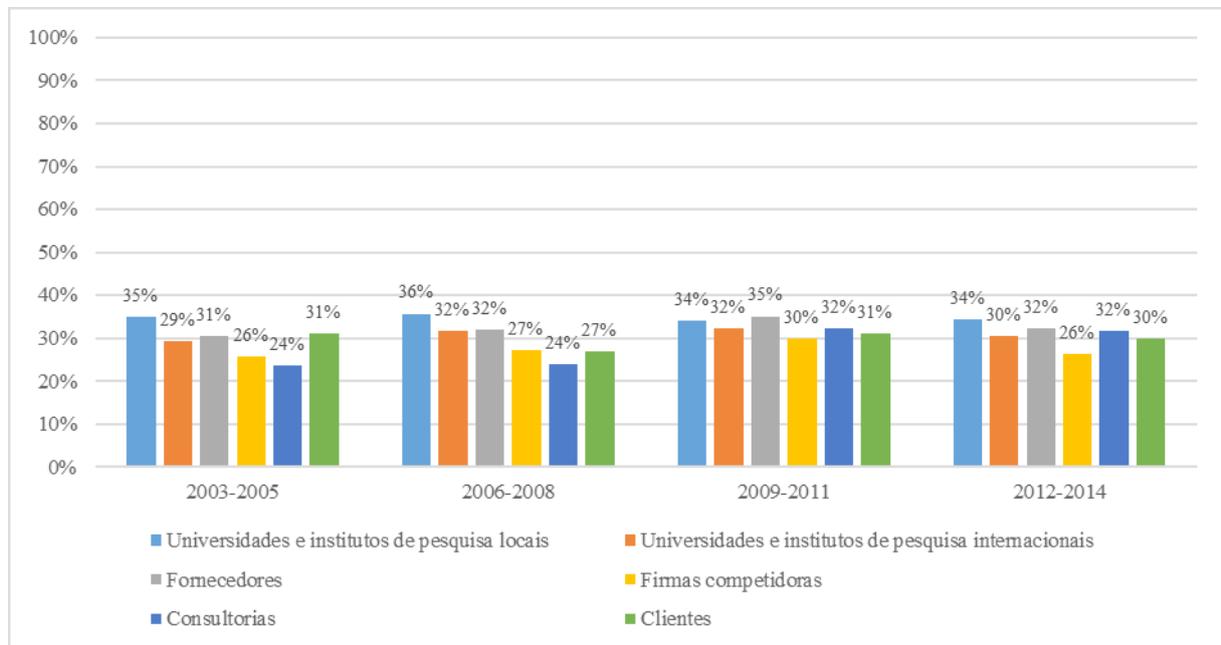
$$y_{kt} = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E Y_{ejkt}}{JE} \quad (4)$$

Em que: k indica parceiro; j indica resultado; e indica mecanismo externo; t denota período; e Y é uma função indicadora, que assume valor unitário se a empresa usou o mecanismo externo e , em parceria com agente do tipo k , para atingir o objetivo j no período t , e zero, caso contrário. Ademais, J e E denotam o total de resultados e de mecanismos externos possíveis, respectivamente.

A Figura 5.17 sugere que não houve discrepâncias significativas quanto à frequência média de uso de parceiros para aprendizagem externa pelas empresas mineradoras. Ainda assim, é pos-

sível considerar universidades e institutos de pesquisa locais como os parceiros mais frequentes ao longo do período considerado, assim como fornecedores.

Figura 5.17. Evolução dos tipos de parceiro em mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais: evolução da frequência média de uso na indústria de mineração (2003-2014)

Entre os oito resultados possíveis gerados pelos mecanismos de aprendizagem externos, cada empresa poderia atingir um valor que variou entre 0 e 56, representado em porcentagem, para cada período de tempo. Esse valor equivalia ao número de tipos de resultado (oito) multiplicado pelo número de tipos de mecanismo externos (sete). Em outras palavras, a intensidade pela qual o j -ésimo resultado foi gerado por uma empresa foi definida por:

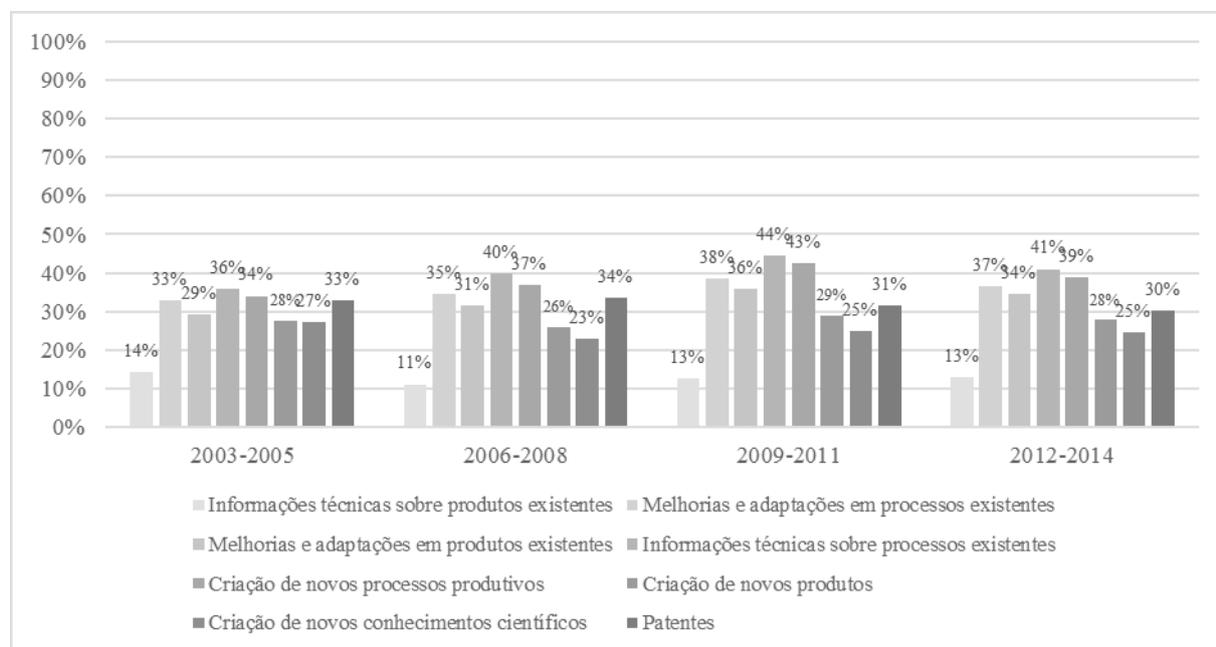
$$y_{jt} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{e=1}^E Y_{ejkt}}{KE} \quad (5)$$

Em que: j indica resultado; k indica parceiro; e indica mecanismo externo; t denota período; e Y é uma função indicadora, que assume valor unitário se a empresa usou o mecanismo externo e , em parceria com agente do tipo k , para atingir o objetivo j no período t , e zero, caso contrário. Ademais, K e E denotam o total de parceiros e de mecanismos externos possíveis, respectivamente.

A Figura 5.18 sugere que os mecanismos externos geraram, assim como os internos, uma gama considerável de resultados, porém com frequência média consideravelmente menor. Re-

sultados que expressam maior complexidade tecnológica, como patentes e criação de novos conhecimentos científicos, apresentaram menor frequência média.

Figura 5.18. Evolução dos tipos de resultado dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores em % (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

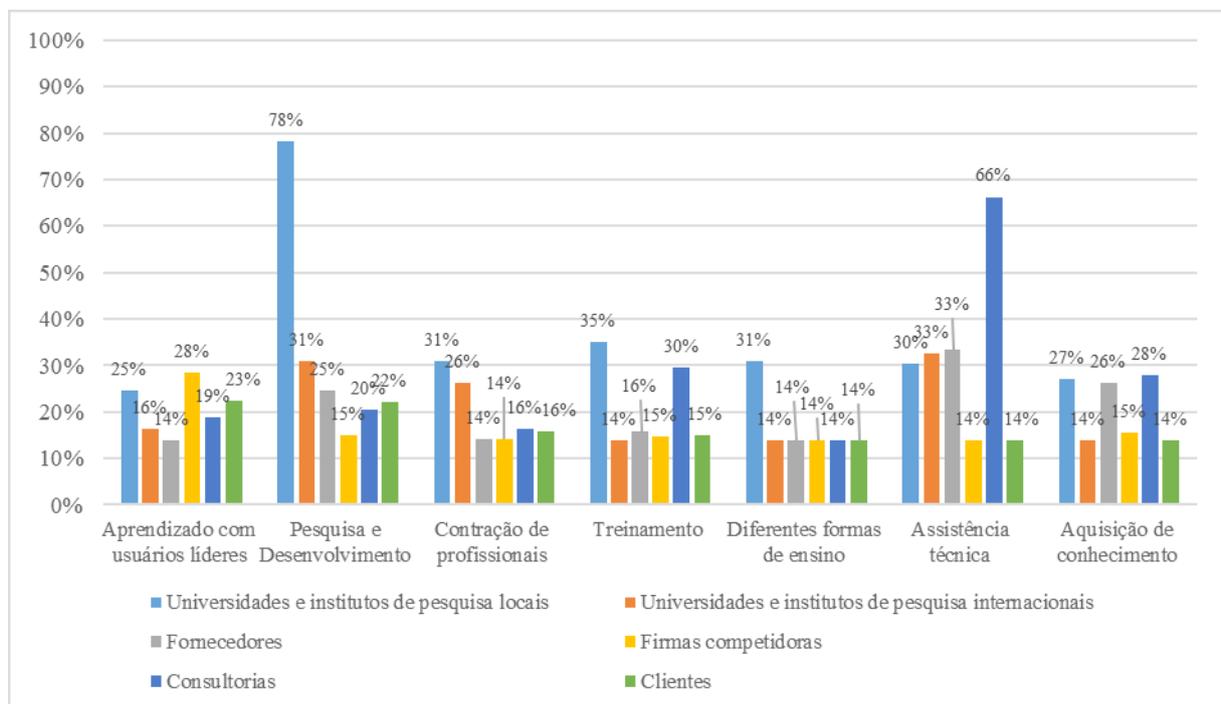
As fontes de acumulação de capacidades tecnológicas ocorreram pela interação de fluxos de conhecimento de fontes internas e externas. Na indústria de mineração, os dados analisados nesta subseção sugerem que, no período analisado (2003-2014), as empresas mineradoras recorreram ao estabelecimento de parcerias (fontes externas de aprendizagem) com diferentes parceiros, destacando-se as universidades e institutos de pesquisa, bem como fornecedores. Em *workshop* da pesquisa, representantes de empresas produtoras avaliaram que é necessária a construção de mecanismos que superem a diferença fundamental de mentalidade entre academia e empresa – esta busca o lucro e aquela, publicações – e que os institutos de pesquisa (CETEM, por exemplo) precisariam dialogar mais com o mercado, isto é, com as demandas das empresas. Quanto às empresas fornecedoras, ainda na avaliação de representantes, em países como o Chile, as parcerias são estabelecidas de forma mais simples do que no Brasil, ou seja, no país, há ainda muito a avançar nesse sentido.

Relação entre os tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional, de parceiro e de resultado: evolução da frequência média de uso na indústria de mineração (2003-2014)

A Figura 5.19 sugere que as empresas mineradoras recorreram, sobretudo, a universidades e institutos de pesquisa locais para realizar P&D. Essa forma de aprendizado, por sua vez, não

se concentrou no âmbito das universidades, uma vez que consultorias, clientes e fornecedores apareceram como parceiros. Consultorias foram acessadas com frequência média maior para assistência técnica. Na indústria de mineração, parece se ter caminhado para uma interdependência da aprendizagem tecnológica entre empresas e outras organizações, como universidades e institutos de pesquisa, além de fornecedores e consultorias. A partir de 2000, de fato, assistiu-se à decomposição das atividades inovadoras das empresas, dado o aumento do custo da atividade de P&D e da sua complexidade. Em *workshop* da pesquisa, representantes de empresas mineradoras destacaram que, pelo cenário recente de *boom* do preço das *commodities*, se disseminou uma visão de curto prazo, a qual colocou em evidência a necessidade de pequenas melhorias (inovações incrementais de processos). Quando essas melhorias esgotam-se, há necessidade de inovação. A diversificação e a interação entre as áreas da empresa são importantes para esse processo.

Figura 5.19. Relação entre os tipos de parceiro e os resultados em mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)



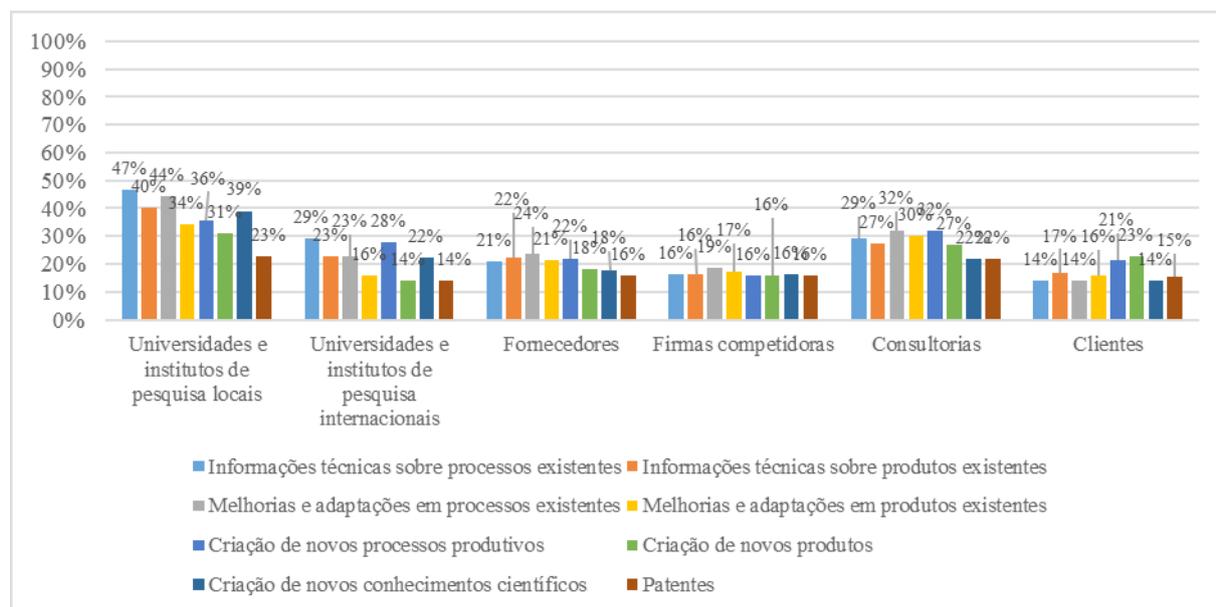
Fonte: Os autores (2016).

A Figura 5.20 sugere que as parcerias de aprendizado externo com universidades e institutos de pesquisa locais resultaram em uma frequência média comparativamente superior de resultados, destacando-se informações técnicas sobre processos existentes, informações técnicas sobre produtos existentes, melhorias e adaptações em processos existentes, criação de novos conhecimentos científicos, bem como patentes. Os resultados de maior complexidade tecnológica foram obtidos com frequência média maior em parceria com universidades. Em geral, as empresas da amostra buscaram fortalecer e variar suas parcerias, como relatou a diretora de Tecnologia da empresa Pi:

Nós participamos de todas essas parcerias, vemos isso com bons olhos. Discutem-se problemas que são comuns na indústria, de forma que você divide os custos. Nesse momento de crise, essa redução de custo pode ser fundamental para um novo desenvolvimento tecnológico. Pagamos para participar e temos o resultado de alguns projetos. Quando se desenvolve em conjunto, os produtos ficam mais baratos, o que também é bom.

De fato, as parcerias de algumas empresas produtoras com universidades contribuíram, na indústria de mineração, para prover constante formação de capital humano especializado e conhecimento, por meio de projetos de engenharia e pesquisa conjunta. Dessa forma, a indústria de mineração no Brasil tem adquirido conhecimento institucional e desenvolvimento de capital humano e de novas técnicas para a indústria, fortalecendo o sistema de inovação em mineração do país.

Figura 5.20. Relação entre os tipos de parceiro interorganizacional e seus tipos de resultado, valores médios em % (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

A Figura 5.21 sugere que os resultados de maior complexidade tecnológica foram gerados a partir de P&D, bem como assistência técnica. Algumas empresas produtoras, de fato, buscaram, no período analisado, acumular estoques de conhecimento por meio do estabelecimento de redes de parceiros. No entanto, empresas fornecedoras ainda são menos buscadas para estabelecer parcerias comparativamente a universidades locais e internacionais e consultorias, entre as empresas da indústria de mineração no Brasil (considerando a amostra desta pesquisa). Por outro lado, no âmbito da desverticalização global da indústria de mineração, a contratação pelas empresas produtoras de serviços especializados tornou-se uma necessidade, incluindo KIMS. Ou melhor, ocorreu um crescimento combinado da indústria de mineração com a desintegração

vertical e o crescimento acelerado de KIMS em termos de vendas em serviços especializados. Países como Chile, Austrália e África do Sul de fato vivenciaram esse movimento.

Em geral, os fornecedores de KIMS, nesses países, desenvolveram suas capacidades tecnológicas e gerenciais em seus países de origem (Austrália, África do Sul, Estados Unidos, Canadá) principalmente em parceria com grandes empresas produtoras da indústria de mineração. Essas empresas serviram como incubadoras para a desverticalização dos fornecedores de KIMS e sua posterior internacionalização, isto é, a expansão de suas atividades em outros países⁴⁵. No Chile, contudo, apesar de esses fornecedores terem acumulado elevadas capacidades tecnológicas, não foi suficiente para que atingissem os padrões internacionais de competitividade⁴⁶. A justificativa básica para essa diferença em comparação com a Austrália, por exemplo, foi a insuficiência de parcerias de aprendizado estabelecidas no Chile. No Brasil, esse processo é ainda deveras incipiente e, quando ocorre, se deve à atuação de grandes empresas mineradoras, como a Lambda e a Beta (Quadro 5.3). A inexistência de uma institucionalização do fomento aos fornecedores de KIMS torna o caso descrito no Quadro 5.4 recorrente.

Quadro 5.3. Atividades inovadoras em parceria entre a empresa Lambda e fornecedores

Desde a década de 1990, a empresa multinacional 3M passou a interagir progressivamente com a empresa produtora Lambda em atividades intensivas de conhecimento. Ambas estabeleceram os seguintes tipos de aprendizado em parceria, da década de 1990 à década de 2000: informais, treinamento para uso de produtos, testes e experimentos e projetos de P&D. Os principais resultados gerados podem ser assim descritos: (i) informais – desenvolvimento de livro-texto para cores de adereços, melhor uso dos produtos, novas ideias para atividades inovativas, maior durabilidade dos produtos; (ii) testes e experimentos – material anti-ruído para prevenir estragos e sujeira em adereços, reparo de correias transportadoras; (iv) projetos de P&D: desenvolvimento de supressor de poeira para ferrovia de minério de ferro, melhoria da explosão e fragmentação de rochas e desenvolvimento de microesfera de vidro oco para melhorar o processo de explosão.

No âmbito dessa experiência, a empresa Lambda incentivou o desenvolvimento de parcerias de aprendizagem com outras subsidiárias de multinacionais e fornecedores locais da indústria de mineração. Um exemplo ocorreu em 2014, entre Lambda, uma subsidiária de empresa multinacional e um fornecedor local, a PUR Equipamentos. Essas empresas foram estimuladas pela Lambda a desenvolver mecanismos de prolongamento da vida útil dos carregadores de minério de ferro, uma atividade de elevada capacidade tecnológica envolvida que incrementou a aquisição de conhecimento da empresa fornecedora, por meio da atuação tácita da empresa Lambda.

Ainda em relação à empresa Lambda, um exemplo relevante de parceria de aprendizado ocorreu a partir da interação inicialmente estabelecida entre uma subsidiária de empresa multinacional (Metso) e uma empresa fornecedora local, a Useligas, a partir de 2004. Ambas desenvolveram uma forte relação de parceria, sendo que, em 2010, a Useligas criou uma unidade dedicada de engenharia para atividades de P&D focada no desenvolvimento de equipamentos de engenharia. Um dos resultados gerados foi a melhoria do processo térmico, que se tornou uma alternativa de menor custo para a empresa Lambda, em 2012. Por interagir com um parceiro como a empresa Lambda, a Useligas conquistou relevante conhecimento técnico, provendo uma base para seu engajamento em relevantes atividades inovativas.

Fonte: Adaptado de Figueiredo e Piana (2016).

⁴⁵ Urzúa (2011).

⁴⁶ Urzúa (2011).

Quadro 5.4. Empresa Alfa: desenvolvimento da nova tecnologia ocorre dentro da empresa e torna-se um *spin-off*, sem posterior criação de parcerias de aprendizado entre fornecedor e Alfa

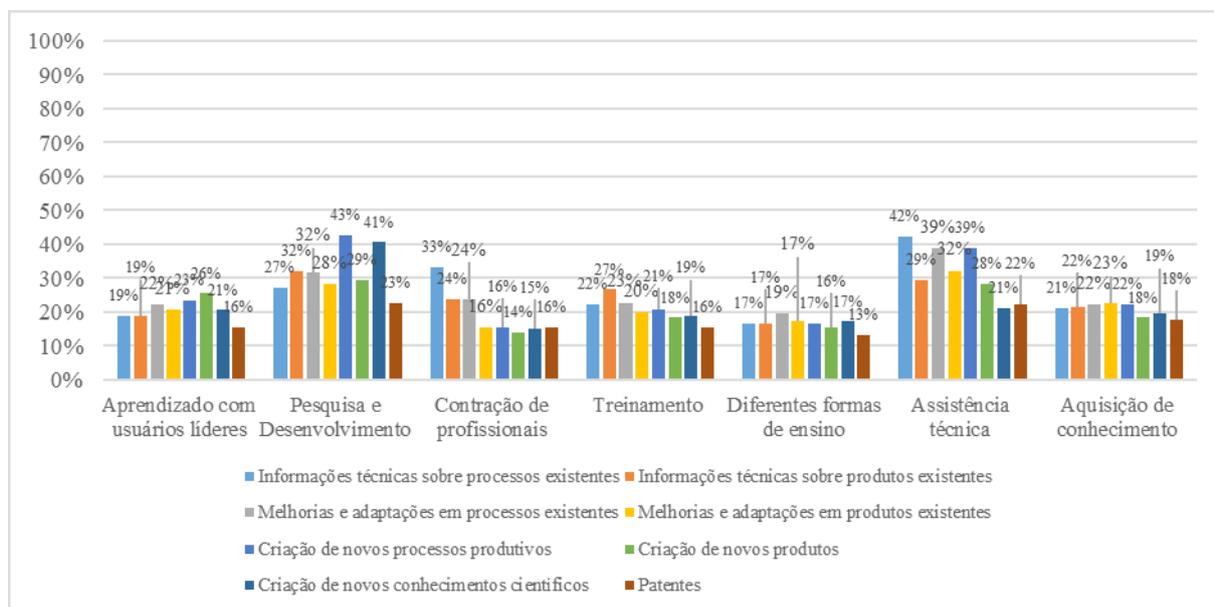
A empresa Alfa caracteriza-se por manter praticamente nenhuma parceria de aprendizado, ainda que incentive a incidência de mecanismos internos de aprendizagem. Por exemplo, um dos seus engenheiros, nos primeiros anos da década de 2000, desenvolveu um *software* para programações da operação da mina correspondente à área tecnológica de lavra. Não houve, como relatou o gerente de Operações de Mina da empresa Alfa, incentivos formais para isso ocorrer:

Apesar de a tecnologia usada para fazer isso aqui hoje ser um software, se não me engano, americano, foi desenvolvido aqui na nossa mina um software também, o Smart Mine. A gente chama Smart Mine de programações menores. Foi um engenheiro daqui; há uns seis, dez anos, ele trabalhava aqui, via como operava e desenvolveu esse sistema, depois ele saiu daqui, montou uma empresa e começou a vender o Smart Mine e acho que ele, no ano passado, vendeu a empresa dele para um grupo australiano. Aí a empresa juntou, se não me engano, tinha outros pacotes, e juntou com o dele e virou outra empresa.

Não, ele desenvolveu, depois saiu da empresa. Esse negócio é um raio que cai num lugar só, porque acontece assim do nada, não tem incentivo de nada. É o software que ele tem hoje e nós depois compramos dele para usar aqui para os caminhões menores. Assim, você sabe em tempo real onde estão todos os equipamentos de pequeno porte. É importante isso para você acompanhar como está a produção, a velocidade, se está operando de forma correta. Então, é uma tecnologia bastante interessante nesse sentido.

Fonte: Os autores (2016).

Figura 5.21. Relação entre os tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional e seus tipos de resultado, valores médios em % (2003-2014)



Fonte: Os autores (2016).

5.2.2 Influência dos mecanismos de aprendizagem nos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Nas próximas subseções, a frequência de uso e os resultados dos mecanismos de aprendizagem são analisados em termos da variabilidade de sua média entre os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em cada área tecnológica. Assim como na subseção 5.2.1, as fre-

quências médias de uso foram expressas em porcentagem, isto é, cada categoria – mecanismo interno ou externo, resultado interno ou externo, bem como parceiro externo – teve uma frequência máxima possível de uso ao longo do período estudado. Por exemplo, se uma empresa realizou codificação de conhecimento, que gerou melhorias em produtos existentes e criação de novos conhecimentos científicos, recebeu um valor igual a 2. Logo, cada empresa poderia apresentar um valor que variou entre 0 e 8 para cada um de seus mecanismos de aprendizagem em cada período de tempo. Nesse mesmo exemplo, a empresa possuía uma frequência de 25% (valor 2 de oito possíveis) na utilização do mecanismo de aprendizagem codificação de conhecimento em um período de tempo específico.

5.2.2.1 Relação entre mecanismos de aprendizagem e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção

Nesta subseção, o objetivo é analisar a relação dos mecanismos internos e externos de aprendizagem com a acumulação de capacidades tecnológicas das empresas produtoras (amostra da pesquisa) da indústria de mineração em pesquisa e prospecção. Nessa área tecnológica, o número de observações foi composto por dez empresas que responderam ao questionário nos quatro triênios considerados (2003-2005, 2006-2008, 2009-2011 e 2012-2014), havendo, portanto, um máximo de 40 observações.

A acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas da indústria de mineração, na área de pesquisa e prospecção, foi classificada em quatro padrões diferentes (subseção 5.1.2.1): (i) Padrão 1 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade de produção para capacidade inovadora básica; (ii) Padrão 2 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora intermediária; (iii) Padrão 3 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada; (iv) Padrão 4 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora avançada e liderança mundial.

Tipos de mecanismo de aprendizagem intraorganizacional

Na área tecnológica de pesquisa e prospecção, a Tabela 5.4 sugere que foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais apenas em criação interna de conhecimento e integração interna de conhecimento, uma vez que foram os únicos mecanismos internos a apresentar significância estatística. Assim, as empresas do padrão 4 destacaram-se em relação às daquelas do padrão 2, por terem usado criação interna de conhecimento com frequência média maior. Por outro lado, em integração interna do conhecimento, as empresas dos padrões 2, 3 e 4 fizeram seu uso com a mesma frequência média (64%). Criação interna de conhecimento foi o mecanismo interno que, em pesquisa e prospecção, mais explicou as diferenças de acumulação de capacidades tecnológicas entre as empresas.

Tabela 5.4. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Mecanismo de aprendizagem intraorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Codificação de conhecimento	1,52	Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa	-	-
		Padrão 4 Pesquisa		
		62%		
Compartilhamento interno de conhecimento	2,45	Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa	-	-
		Padrão 4 Pesquisa		
		57%		
Criação interna de conhecimento	3,43**	Padrão 2 Pesquisa	Padrão 3 Pesquisa	
		Padrão 3 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa	-
		57%	70%	
Integração interna de conhecimento	2,52*	Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa	-	-
		Padrão 4 Pesquisa		
		64%		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de pesquisa e prospecção e suas frequências médias de uso dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

A aprendizagem no âmbito do engajamento em esforços internos apresentou o mesmo peso (frequência média) para as empresas produtoras nos diferentes padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em integração interna de conhecimento. Essas empresas, para solucionar problemas específicos e, em alguns casos, realizar projetos de desenvolvimento, recorreram a comitês e projetos de longo alcance para compartilhar e integrar conhecimento inovativo ou ao uso de profissionais especializados em compartilhamento de integração de experiência dentro de diferentes áreas da empresa, bem como arranjos entre engenharia, produção e *marketing*. Por exemplo, o gerente de Operações de uma das empresas (Alfa) do Padrão 2 Pesquisa e Prospecção descreveu um dos esforços voltados para aprendizado nessa empresa:

Nós temos um programa aqui que é da seguinte maneira: o gerente geral incentiva que os engenheiros, a cada ano, desenvolvam pelo menos um trabalho técnico. A gente lança um evento, tem uma agenda e um fórum, do qual o gerente geral participa e os engenheiros apresentam esse trabalho. Há uma banca que avalia esses trabalhos: qualidade, se o trabalho está bem ca-

racterizado, se tem uma ordem racional bem desenvolvida, se tem uma parte experimental adequada, se é aplicado à operação, se traz um retorno de segurança ambiental.

Por outro lado, as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção, em comparação às do padrão 2, realizaram criação interna de conhecimento com frequência média maior. Assim, acumularam estoques de conhecimento e de capacidades tecnológicas realizando, principalmente, treinamento para geração de novos materiais, processos e equipamentos, bem como experimentação e testes em laboratórios e plantas e solução de problemas por profissionais individuais. De fato, o diretor de Inovação da empresa Beta destacou que na empresa existe a seguinte estrutura de aprendizado interno: (i) pesquisa bibliográfica em periódicos especializados; (ii) teste de bancada; (iii) projeto conceitual que, sendo aprovado, segue para a engenharia; (iv) o departamento de engenharia implementa-o e, a partir daí, as interações entre os departamentos de engenharia e de tecnologia são frequentes, a fim de acompanhar a evolução do projeto. *“Quando se trata de uma inovação ou de uma tecnologia nova, a responsabilidade sempre é da tecnologia. Até ela ser posta em marcha, até entregar o resultado, a responsabilidade é da tecnologia”.*

Assim, as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção destacaram-se das empresas dos demais padrões ao formalizar uma governança específica para os mecanismos internos de aprendizagem, o que está apresentado no Quadro 5.5.

Quadro 5.5. Empresas Lambda e Beta e a formalização dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

No âmbito da indústria de mineração no Brasil, algumas empresas destacaram-se nas iniciativas para incrementar acumulação de capacidades tecnológicas. A empresa Lambda criou, no terceiro triênio desta pesquisa, um instituto tecnológico próprio, que tem por objetivo levar a empresa a superar os padrões existentes de excelência em P&D e expandir suas fronteiras de pesquisa tecnológica. A empresa criou esse departamento dentro de sua estrutura corporativa, com uma estrutura composta por uma área de inteligência tecnológica e propriedade intelectual, a qual realiza a prospecção de tendências tecnológicas em bancos de artigos e patentes, bem como o monitoramento de competidores. É também sua função coordenar o comitê de tecnologia da Lambda. O acompanhamento e a vinculação do orçamento dos projetos selecionados pelo comitê de tecnologia pelo departamento foram ações realizadas para evitar que, diante de uma situação adversa nas áreas, esses projetos fossem abandonados. Além dos projetos selecionados pelo comitê, há outros dois tipos de projeto de P&D que atendem aos diferentes negócios.

Na empresa Beta, essa formalização deu-se da seguinte forma: a continuidade de operação de suas plantas – aquelas que sobreviveram à crise e à queda dos preços – deveu-se a inovações em processo. Em 2008, a presidência da empresa dividiu os projetos em inovação incremental e radical e destinou uma parte da receita para aplicar neles. Com esse recurso, o montante de 70% é destinado à inovação incremental de curto prazo e 30%, à inovação radical de longo prazo. As inovações incrementais são extremamente importantes para a empresa, pois desenvolvem melhorias no processo produtivo, que geram recursos para aplicar nas inovações radicais. Dessa forma, as inovações incrementais alimentam as radicais, que consistem em mudanças intensas com transformações de plantas produtivas e processos. As principais fontes de inovações radicais são o monitoramento de mercado e a participação em eventos específicos da área de mineração. A empresa também criou um sistema para medir o retorno dessas inovações. Tal resultado é utilizado para definir o montante da receita que será destinado à inovação no ano seguinte. Geralmente, a empresa utiliza recursos próprios para realizar inovações, porém, quando a inovação envolve risco alto, procuram-se recursos públicos.

Fonte: Os autores (2016), com base em Piana (2016) e entrevistas da pesquisa.

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

A Tabela 5.5, por sua vez, sugere que, em pesquisa e prospecção, foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média dos seguintes resultados gerados pelo aprendizado interno: informações técnicas sobre processos existentes, criação de novos processos produtivos, criação de novos conhecimentos científicos e patentes (isto é, foram estaticamente significativos). Também indica que patentes foi um resultado gerado com maior frequência pelas empresas dos padrões 3 e 4. Da mesma forma, criação de novos processos produtivos foi consideravelmente mais frequente entre as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção.

Tabela 5.5. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados intraorganizacionais

Resultado intraorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Informações técnicas sobre processos existentes	3,279**	Padrão 2 Pesquisa Padrão 4 Pesquisa 58%	Padrão 4 Pesquisa Padrão 3 Pesquisa 77%	-
Informações técnicas sobre produtos existentes	1,204	Padrão 2 Pesquisa Padrão 3 Pesquisa Padrão 4 Pesquisa 73%	-	-
Melhorias e adaptações em processos existentes	1,264	Padrão 2 Pesquisa Padrão 3 Pesquisa Padrão 4 Pesquisa 74%	-	-
Melhorias e adaptações em produtos existentes	1,957	Padrão 2 Pesquisa Padrão 3 Pesquisa Padrão 4 Pesquisa 73%	-	-
Criação de novos processos produtivos	8,460***	Padrão 2 Pesquisa Padrão 3 Pesquisa 37%	Padrão 4 Pesquisa 84%	-
Criação de novos produtos	2,461	Padrão 2 Pesquisa Padrão 3 Pesquisa Padrão 4 Pesquisa 43%	-	-
Criação de novos conhecimentos científicos	3,137**	Padrão 2 Pesquisa Padrão 4 Pesquisa 53%	Padrão 4 Pesquisa 72%	-

Resultado intraorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Patentes	8,805***	Padrão 2 Pesquisa 7%	Padrão 3 Pesquisa Padrão 4 Pesquisa 59%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de pesquisa e prospecção e as frequências médias dos resultados intraorganizacionais gerados (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Quanto aos resultados gerados em mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais, as empresas dos padrões 3 e 4 apresentaram criação de novos conhecimentos científicos, patentes e criação de novos processos produtivos com frequência média comparativamente maior àquela apresentada pelas empresas dos demais padrões. As empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção destacaram-se, contando com incentivos internos para constantemente melhorar suas habilidades e conhecimentos, como descreveu o diretor de Tecnologia da empresa Beta:

Existe uma curva de aprendizado importante. Quando desenvolvemos a tecnologia, acompanhamo-la até o fim. A parte de inovação acompanha a tecnologia nova em todo momento. Existem melhorias contínuas até nos desenvolvimentos mais novos. Temos dedicadas à parte de inovação 80 pessoas, cerca de 40% fazendo pós-graduação ou já formados. Nós temos o objetivo de ter todas as nossas minas no primeiro quartil de qualidade tecnológica da indústria. Nós desenvolvemos tecnologia própria para fazer esse salto.

O conhecimento gerado e integrado dentro da empresa possibilita a incidência de mecanismos que a levem ao aprendizado por fontes externas em parcerias. Como destacou o diretor de Tecnologia da empresa Beta:

Esse negócio de os caras conseguirem ter feito, todo mundo que está na diretoria já fez alguma inovação, sem apoio nenhum e conseguiu fazer. Todo mundo aprendeu a forma de fazer e como tirar as barreiras e, na hora que a gente foi começar a escrever, começou a escrever mais fácil.

Na empresa Lambda (Padrão 4 Pesquisa e Prospecção), os mecanismos internos geraram resultados como melhorias e adaptações em processos existentes, com implicações em desempenho operacional, ambiental e de saúde e segurança dos funcionários. Por exemplo, a implementação de uma sala virtual, isto é, a incidência de um mecanismo de compartilhamento interno de conhecimento e de integração interna de conhecimento, levou à melhor interpretação das

informações geológicas, o que proporcionou um melhor gerenciamento. Na mesma empresa, a implantação de sondas hidráulicas, associada à codificação interna de conhecimento e compartilhamento interno de conhecimento ao gerar informações técnicas sobre processos existentes, bem como melhorias e adaptações em processos existentes, teve impacto positivo na melhoria da segurança dos funcionários.

Tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional

A Tabela 5.6 sugere que, na área de pesquisa e prospecção, foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os mecanismos interorganizacionais, uma vez que todos apresentaram significância estatística. As empresas do padrão 4 usaram com maior frequência média todos os mecanismos externos considerados, ainda que as empresas dos demais padrões tenham sido classificadas no mesmo grupo de frequência média de uso de praticamente todos os mecanismos, à exceção de assistência técnica.

Tabela 5.6. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

Mecanismo de aprendizagem interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Aprendizado com usuários líderes	5,907***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 51%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		7%		
Aquisição de conhecimento	6,434***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 52%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		8%		
Assistência técnica	8,109***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 3 Pesquisa 23%	Padrão 4 Pesquisa 60%
		Padrão 2 Pesquisa		
		9%		
Contração de profissionais	8,990***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 55%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		4%		
Diferentes formas de ensino	6,390***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 50%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		3%		

Mecanismo de aprendizagem interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
P&D	7,593***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 61%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		17%		
Treinamento	5,226***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 51%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		8%		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de pesquisa e prospecção e suas frequências médias do uso dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Os mecanismos pelos quais as empresas adquirem conhecimento tácito e/ou explícito por fontes externas apresentaram uma amplitude maior de relevância para explicar a acumulação de capacidades tecnológicas entre as empresas mineradoras. As empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção diferenciaram-se consideravelmente das empresas dos demais padrões, em termos de frequência de uso. As interações de aprendizagem com atores externos mostraram-se fundamentais para explicar a acumulação de capacidades tecnológicas em níveis de inovação avançada e liderança mundial. O diretor de Tecnologia da empresa Beta descreveu:

Usamos o modelo de inovação aberta. A propriedade intelectual é discutida projeto por projeto. Antes de fazer tudo, discutimos isso. Temos contratos de todo tipo (90/10, 50/50, 30/70). A negociação pode ser mais fácil ou mais difícil, dependendo da universidade. Cada uma é um mundo à parte. Mas os primeiros projetos são mais difíceis, depois fica tudo mais fácil. Nós sabemos que não conseguimos fazer tudo sozinhos. Por isso, fazemos parceria com universidades locais e estrangeiras, fornecedores, clientes etc.

O diretor da empresa Gama revelou:

Na empresa, na verdade, em P&D em tecnologia e inovação, nós temos alguns grupos que têm papel de liderança, [...], mas na verdade você não pode, todo mundo precisa ter isso. Nossa estratégia para isso, na verdade, é cultura de inovação, que é sempre melhor do que estratégia, porque estratégia é uma coisa de plano, cultura é DNA para todo mundo, uma coisa com que podemos

resolver os diferentes problemas que temos. Em inovação, maiores partes resolvem esses desafios dentro da empresa.

A realização de atividades inovadoras em pesquisa e prospecção, assim como esforços de aprendizagem, reflete, em certa medida, uma visão de longo prazo das empresas, uma vez que as demais áreas – de lavra e de processamento mineral – estão muito conectadas ao local onde estão os depósitos minerais e à qualidade do minério. A empresa em capacidade inovadora de liderança mundial destacou-se na realização de P&D na área de pesquisa e prospecção (Quadro 5.6).

Quadro 5.6. Projetos de P&D em empresas produtoras da indústria de mineração

Na empresa Lambda, em parceria com a UnB, a Universidade Federal do Pará (UFPA) e a UFRJ, tem sido desenvolvido o projeto “Geração de modelos prospectivos para minério de ferro na Província Mineral de Carajás”, que visa a analisar e caracterizar o minério de ferro no local. O projeto tem como principal objetivo criar parâmetros de previsão para a proposição de guias prospectivos para a exploração do minério de ferro por um enfoque multimetodológico.

Esse projeto tem implicações fundamentais para o sistema de inovação da indústria de mineração. A partir desse enfoque multimetodológico, que ocorre por análise de dados oriundos de diversas fontes e do desenvolvimento de novas ferramentas de análise e integração, o projeto visa a estabelecer parâmetros de previsão que contribuam de forma efetiva na exploração do minério de ferro no Brasil.

Fonte: Os autores (2016), com base em Piana (2016) e dados desta pesquisa.

Tipos de parceiro interorganizacional

A Tabela 5.7 sugere que foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os parceiros de aprendizagem externa, dado que todos foram estatisticamente significativos. Novamente, as empresas do padrão 4 destacaram-se das empresas dos demais padrões, por terem recorrido a parceiros como universidades e institutos de pesquisa internacionais e locais com frequência média consideravelmente superior. As empresas dos padrões 1 e 2, comparativamente às dos padrões 3 e 4, recorreram a todos os parceiros com frequência menor, tendo se classificado no mesmo grupo (frequência baixa) em todos.

Tabela 5.7. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média das parcerias interorganizacionais

Parceiro	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Clientes	7,800***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 52%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa 3%		
Consultorias	7,033***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 2 Pesquisa	Padrão 3 Pesquisa
		Padrão 2 Pesquisa 6%	Padrão 3 Pesquisa 20%	Padrão 4 Pesquisa 43%
		Padrão 3 Pesquisa		
Firmas competidoras	6,514***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 50%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa 4%		
Fornecedores	7,272***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 53%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa 7%		
Universidades e institutos de pesquisa internacionais	9,078***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 56%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa 5%		
Universidades e institutos de pesquisa locais	5,204***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 2 Pesquisa	Padrão 3 Pesquisa
		Padrão 2 Pesquisa 12%	Padrão 3 Pesquisa 31%	Padrão 4 Pesquisa 51%
		Padrão 3 Pesquisa		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de pesquisa e prospecção e suas frequências médias do uso dos parceiros de aprendizagem interorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

As empresas dos padrões 1 e 2 relataram que, em pesquisa e prospecção, não estabeleciam parcerias, enquanto aquelas do Padrão 3 Pesquisa e Prospecção possuíam parcerias mais pontuais, realizadas em assistência técnica e aprendizado com usuários líderes. As empresas desses padrões classificaram-se, em termos de frequência de uso, no grupo de frequência baixa para todos os tipos de parceiro. O gerente de Operações de uma das empresas do Padrão 2 Pesquisa e Prospecção (Alfa) avaliou:

Não, não foi feito. Essa seria uma dimensão que a gente poderia explorar mais. Como trazer a universidade para cá? Como fazer parceria com universidade? Ou com centros de pesquisa? No sentido de desenvolver mais tecnologia, tem um campo enorme aqui para fazer isso. Por outro lado, o fornecedor quer sempre vender o produto. Tem um produto novo, ele quer colocar no mercado. A universidade é diferente, a gente tem que ir lá.

As empresas do padrão 4 buscaram uma gama de parceiros maior para suas interações de aprendizagem interorganizacional. O diretor da empresa Beta avaliou:

Sempre estamos desenvolvendo projetos com universidades. Damos preferência para as universidades que são mais próximas, por uma questão de facilidade. Sempre tem um ou mais pesquisadores trabalhando juntos, trocando experiências, com desenvolvimento das universidades. Apenas uma ou outra acessamos que é mais longe.

Em pesquisa e prospecção, as parcerias de aprendizagem mostraram-se uma fonte para acumulação de capacidades tecnológicas em nível avançado e de liderança mundial. A empresa Lambda (Quadro 5.7), por exemplo, desenvolveu diferentes projetos, sobretudo no último triênio desta pesquisa, de P&D básicos e aplicados com universidades (como a UFRGS) e institutos de pesquisa internacionais (como a AMIRA). Mais especificamente, podem ser citados esforços da Lambda, tais como: projeto para desenvolver novos métodos geoestatísticos aplicados para estimar variáveis composicionais em depósitos minerais, do que resultou um programa computacional, e desenvolvimento de metodologias e ferramentas de exploração mineral em parceria com AMIRA – *West African Exploration Initiative – Stage 2, Predictive Geochemistry in Areas of Transported Overburden II, Enhanced Geochemical Targeting in Magmatic-Hydrothermal Systems e Building the Global Encyclopedia of Ore Deposits.*

Quadro 5.7. Empresa Lambda e a distribuição geográfica de P&D em parceria com universidades brasileiras

A empresa Lambda realiza projetos de P&D em parceria com universidades de todas as regiões do país. Em 2012, por exemplo, mantinha em torno de 152 projetos com universidades brasileiras, que somavam US\$ 88,9 milhões. A distribuição geográfica desses projetos era concentrada na região Sudeste, onde estavam 71,7% dos projetos, seguida da região Norte, com 25%.

Em geral, um maior número de projetos estava alocado na área de meio ambiente (53%), seguida da área de processamento mineral (15%) e energia (8%). Outras áreas como exploração mineral, pelotização e logística também eram objeto desses projetos de P&D. Os parceiros eram basicamente universidades públicas federais e estaduais (em torno de 19, como Universidade do Estado do Pará, UFPA, UnB, Universidade Estadual de Campinas e UFMG) e seis institutos de pesquisa, como CETEM, Instituto de Tecnologia Aeronáutica, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Fonte: Adaptado de Piana (2016).

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

A Tabela 5.8 sugere que foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de todos os resultados gerados pelos mecanismos externos, uma vez que todos foram estatisticamente significativos. Ficou ainda mais evidente que as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção distanciaram-se das empresas dos demais padrões quanto à frequência média dos resultados, especialmente em relação àqueles de maior complexidade tecnológica, como patentes, criação de novos conhecimentos científicos, criação de novos produtos e criação de novos processos produtivos.

Tabela 5.8. Área de pesquisa e prospecção: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados interorganizacionais

Resultado interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Informações técnicas sobre processos existentes	8,360***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 57%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		10%		
Informações técnicas sobre produtos existentes	7,187***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 55%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		10%		
Melhorias e adaptações em processos existentes	7,199***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 56%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		11%		
Melhorias e adaptações em produtos existentes	5,753***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 52%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		9%		
Criação de novos processos produtivos	7,565***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 56%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		1%		
Criação de novos produtos	7,545***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 54%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		8%		
Criação de novos conhecimentos científicos	6,055***	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa 52%	-
		Padrão 2 Pesquisa		
		Padrão 3 Pesquisa		
		10%		

Resultado interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Patentes	6,990***	Padrão 1 Pesquisa		
		Padrão 2 Pesquisa	Padrão 4 Pesquisa	-
		Padrão 3 Pesquisa	51%	
		5%		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de pesquisa e prospecção e as frequências médias dos resultados de aprendizagem interorganizacionais gerados (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Entre as empresas do padrão 4, está a empresa Lambda, que a partir da incidência do mecanismo P&D com universidades gerou resultados de criação de novos processos produtivos, em pesquisa e prospecção, como adaptação e implementação da gradiometria gravimétrica, que levou, a um custo comparativamente menor, a um melhor direcionamento de sondagem, bem como de definição da massa do depósito. Outros exemplos, no âmbito da empresa Lambda, podem ser citados, como a perfilagem gama-gama, que possibilitou a medida em tempo real da parede dos furos de sondagem e permitiu o aumento das medições de sondagem, além de ter representado a geração de patentes relacionadas com o campo de calibração desenvolvido para garantir a qualidade da ferramenta.

5.2.2.2 Relação entre mecanismos de aprendizagem e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra

Para a área de lavra, o número de observações foi composto por dez empresas que responderam ao questionário nos quatro triênios considerados (2003-2005, 2006-2008, 2009-2011 e 2012-2014), totalizando um máximo de 40 observações. Como descrito na subseção 5.1.2.2, foram identificados três padrões de acumulação de capacidades tecnológicas para 2003 a 2014: (i) Padrão 1 Lavra: permanência em capacidade inovadora básica; (ii) Padrão 2 Lavra: permanência em capacidade inovadora intermediária; (iii) Padrão 3 Lavra: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial.

Tipos de mecanismo de aprendizagem intraorganizacional

A Tabela 5.9 sugere que, na área de lavra, não foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de quaisquer mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais, dado que nenhum apre-

sentou significância estatística. Esse resultado pode indicar que ou as empresas produtoras não investiram no desenvolvimento interno de aprendizagem ou não se diferenciaram em relação a isso.

Tabela 5.9. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Mecanismo de aprendizagem intraorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Codificação de conhecimento	0,049	Padrão 1 Lavra		
		Padrão 2 Lavra	-	-
		Padrão 3 Lavra		
		57%		
Compartilhamento interno de conhecimento	0,574	Padrão 1 Lavra		
		Padrão 2 Lavra	-	-
		Padrão 3 Lavra		
		45%		
Criação interna de conhecimento	0,574	Padrão 1 Lavra		
		Padrão 2 Lavra	-	-
		Padrão 3 Lavra		
		52%		
Integração interna de conhecimento	0,928	Padrão 1 Lavra		
		Padrão 2 Lavra	-	-
		Padrão 3 Lavra		
		56%		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição *F*) para o teste de diferença entre os padrões na área de lavra e suas frequências médias do uso dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam *p*-valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

A Tabela 5.10 sugere que foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de resultados gerados apenas em criação de novos processos produtivos e patentes. As empresas do Padrão 3 Lavra foram aquelas que geraram esses resultados com frequência média maior.

Tabela 5.10. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados intraorganizacionais

Resultado intraorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Informações técnicas sobre processos existentes	0,624	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra Padrão 3 Lavra 59%	-	-
Informações técnicas sobre produtos existentes	0,274	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra Padrão 3 Lavra 73%	-	-
Melhorias e adaptações em processos existentes	0,021	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra Padrão 3 Lavra 73%	-	-
Melhorias e adaptações em produtos existentes	0,320	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra Padrão 3 Lavra 70%	-	-
Criação de novos processos produtivos	6,517**	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 44%	Padrão 3 Lavra 84%	
Criação de novos produtos	1,096	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra Padrão 3 Lavra 38%	-	-
Criação de novos conhecimentos científicos	0,112	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra Padrão 3 Lavra 61%	-	-
Patentes	2,661*	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 17%	Padrão 2 Lavra Padrão 3 Lavra 45%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de lavra e suas frequências médias dos resultados intraorganizacionais gerados (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional

A Tabela 5.11 sugere, por outro lado, que foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os mecanismos interorganizacionais, dado que todos foram estatisticamente significativos. Os resultados dos testes estatísticos revelam que, em lavra, as empresas mineradoras que acumularam mais capacidades tecnológicas, como as do Padrão 3 Lavra, diferenciaram-se recorrendo com maior frequência média a mecanismos externos de aprendizagem. Em P&D, as empresas do Padrão 3 Lavra apresentaram frequência média de uso igual a 61%, contra 20% das empresas dos padrões 1 e 2, comportamento praticamente idêntico observado em assistência técnica.

Tabela 5.11. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

Mecanismo de aprendizagem interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Aprendizado com usuários líderes	8,457**	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 6%	Padrão 3 Lavra 51%	-
Aquisição de conhecimento	8,681**	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 6%	Padrão 3 Lavra 52%	-
Assistência técnica	8,677**	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 19%	Padrão 3 Lavra 60%	-
Contração de profissionais	13,763***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 7%	Padrão 3 Lavra 55%	-
Diferentes formas de ensino	9,814***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 2%	Padrão 3 Lavra 50%	-
P&D	10,778***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 20%	Padrão 3 Lavra 61%	-
Treinamento	7,573**	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 6%	Padrão 3 Lavra 51%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de lavra e suas frequências médias do uso dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Em lavra, os mecanismos de aprendizagem interorganizacionais tomaram parte da acumulação de capacidades tecnológicas das empresas produtoras da amostra mais do que os mecanismos intraorganizacionais. As empresas dos padrões 1 e 2 apresentaram frequência média de uso de P&D maior comparativamente aos demais mecanismos, ainda que menor em comparação às empresas do Padrão 3 Lavra.

No período estudado, a indústria de mineração passou por uma renovação das operações de lavra. O diretor de Minas da empresa Lambda descreveu:

Foi feito um trabalho de P&D para equacionar o quanto de percentual de ferro deve ser aumentado na mineração para ganhar na redução de carvão na siderurgia. Então, foi muito interessante, porque desenvolvemos um modelo matemático. Na época, 1% de ganho de ferro gerava uma economia de R\$ 1,8 milhão/1,5 milhão por ano na usina. Concluímos que era sustentável para a mineração em termos de reserva e reduzia o custo da usina. Nesse caso, teve um P&D em parceria, os demais são bem específicos da mineração.

Tipos de parceiro interorganizacional

A Tabela 5.12 sugere que foi possível distinguir acumulação de capacidades tecnológicas pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de todos os parceiros para aprendizagem interorganizacional, uma vez que todos foram estatisticamente significativos. De fato, as empresas do padrão 3 diferenciaram-se substancialmente daquelas dos padrões 1 e 2 quanto à frequência média de parceiros. Por exemplo, universidades e institutos de pesquisa locais e internacionais foram os parceiros de aprendizagem externa mais frequentes das empresas do Padrão 3 Lavra, o que pode indicar que, na área de lavra da indústria de mineração, parcerias com universidades (locais ou internacionais) podem representar para a empresa um diferencial em termos de acumulação de capacidades tecnológicas. Parceiros como clientes e firmas competidoras foram praticamente acessados apenas pelas empresas do Padrão 3 Lavra, o que parece indicar que avançar na escala de capacidade inovadora requer da empresa a realização de aprendizado em colaboração.

Tabela 5.12. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média das parcerias interorganizacionais

Parceiro	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Clientes	12,053***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 3%	Padrão 3 Lavra 52%	-
Consultorias	7,196**	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 13%	Padrão 3 Lavra 55%	-
Firmas competidoras	9,963***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 2%	Padrão 3 Lavra 50%	-
Fornecedores	11,117***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 7%	Padrão 3 Lavra 53%	-
Universidades e institutos de pesquisa internacionais	13,872***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 9%	Padrão 3 Lavra 56%	-
Universidades e institutos de pesquisa locais	4,376**	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 22%	Padrão 3 Lavra 59%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de lavra e suas frequências médias do uso dos parceiros de aprendizagem interorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

Na área de lavra da indústria de mineração, a acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras apresentou relação com todos os mecanismos externos de aprendizagem, bem como com todos os parceiros, de modo que todos os resultados gerados apresentaram relação com os padrões de acumulação identificados nessa área tecnológica. A Tabela 5.13 sugere que, na área de lavra, todos os resultados gerados pela aprendizagem externa foram estatisticamente significativos. Ademais, esses resultados contribuíram para explicar a acumulação de capacidades tecnológicas no nível avançado e de liderança mundial, uma vez que as empresas do Padrão 3 Lavra geraram pelo menos 50% dos resultados que poderiam gerar dado número máximo possível de resultados para cada mecanismo externo/parceiro, isto é, pelo menos metade das parcerias que realizaram teve um ou mais resultados. A geração de patentes, de frequência média de 51% para as empresas do Padrão 3 Lavra, foi acompanhada de criação de

novos produtos, novos conhecimentos científicos e novos processos científicos, com frequência média semelhante. As patentes, de fato, contribuíram com a acumulação de estoques técnico-físicos (processos, novos produtos, novos conhecimentos). Não se deve deixar passar que as empresas dos padrões 1 e 2, tendo gerado comparativamente menos resultados, não se diferenciaram, o que parece indicar que, em lavra, avançar até capacidade inovadora avançada e liderança mundial requer extensivos e intensos esforços de aprendizagem externa.

Tabela 5.13. Área de lavra: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados interorganizacionais

Resultado interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Informações técnicas sobre processos existentes	11,570***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 14%	Padrão 3 Lavra 57%	-
Informações técnicas sobre produtos existentes	10,226***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 11%	Padrão 3 Lavra 55%	-
Melhorias e adaptações em processos existentes	9,971***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 11%	Padrão 3 Lavra 56%	-
Melhorias e adaptações em produtos existentes	8,382***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 8%	Padrão 3 Lavra 52%	-
Criação de novos processos produtivos	10,353***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 12%	Padrão 3 Lavra 56%	-
Criação de novos produtos	10,462***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 7%	Padrão 3 Lavra 54%	-
Criação de novos conhecimentos científicos	8,908***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 7%	Padrão 3 Lavra 52%	-
Patentes	10,312***	Padrão 1 Lavra Padrão 2 Lavra 3%	Padrão 3 Lavra 51%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de lavra e suas frequências médias dos resultados de aprendizagem interorganizacionais gerados (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

5.2.2.3 Relação entre mecanismos de aprendizagem e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral

Para a área de processamento mineral, o número de observações foi composto por dez empresas que responderam ao questionário nos quatro triênios considerados (2003-2005, 2006-2008, 2009-2011 e 2012-2014), totalizando um máximo de 40 observações. A acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas da indústria de mineração foi classificada em três padrões diferentes de acumulação de 2003 a 2014: (i) Padrão 1 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora básica para intermediária; (ii) Padrão 2 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada; (iii) Padrão 3 Processamento Mineral: permanência em capacidade inovadora avançada e liderança mundial.

Tipos de mecanismo intraorganizacional

A Tabela 5.14 sugere que, na área tecnológica de processamento mineral, apenas os mecanismos criação interna de conhecimento e integração interna de conhecimento apresentaram relação com a acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras. A frequência média de uso desses mecanismos, por outro lado, não contribuiu na diferenciação contundente entre as empresas dos diferentes padrões, isto é, em criação interna de conhecimento, as empresas do Padrão 3 Processamento Mineral foram classificadas no grupo de frequência média, com 69%, e as do Padrão 1 Processamento Mineral, no grupo de frequência baixa, com 57%. Em integração interna de conhecimento, todas as empresas de todos os padrões classificaram-se no mesmo grupo (frequência baixa), com 59%. As rotinas de aprendizado dentro da empresa parecem estar mais sistematizadas, sobretudo do ponto de vista de as empresas mineradoras contarem com departamentos específicos (não necessariamente de P&D, o que seria o caso das empresas do Padrão 3 Processamento Mineral, apenas) para essa questão.

Tabela 5.14. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Mecanismo de aprendizagem intraorganizacionais	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Codificação de conhecimento	1,526	Padrão 1 Processamento		
		Padrão 2 Processamento	-	-
		Padrão 3 Processamento		
		55%		
Compartilhamento interno de conhecimento	2,458	Padrão 1 Processamento		
		Padrão 2 Processamento	-	-
		Padrão 3 Processamento		
		50%		

Mecanismo de aprendizagem intraorganizacionais	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Criação interna de conhecimento	3,430**	Padrão 1 Processamento	Padrão 2 Processamento	
		Padrão 2 Processamento	Padrão 3 Processamento	-
		57%	69%	
Integração interna de conhecimento	2,529*	Padrão 1 Processamento		
		Padrão 2 Processamento	-	-
		Padrão 3 Processamento		
		59%		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de processamento mineral e suas frequências médias do uso dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

A Tabela 5.15 sugere que os mecanismos internos de aprendizagem geraram apenas três tipos de resultado que apresentaram relação com a acumulação de capacidades tecnológicas das empresas mineradoras, isto é, apenas criação de novos processos produtivos, criação de novos conhecimentos científicos e patentes foram estatisticamente significativos. Todas as empresas produtoras de todos os padrões classificaram-se no mesmo grupo (frequência baixa) quanto à frequência média em relação ao número de vezes que o resultado criação de novos conhecimentos científicos foi gerado. Pode-se considerar que, em criação de novos produtos e patentes, as empresas do Padrão 3 Processamento Mineral de fato diferenciaram-se das empresas dos padrões 1 e 2. Enquanto as empresas destes padrões geraram, em média, criação de novos processos produtivos em 37% das vezes que implementaram os mecanismos internos, as do padrão 3 fizeram-no em 84%. Os resultados da Tabela 5.15 parecem indicar que, em processamento mineral, as empresas produtoras envidaram esforços, ao longo de 2003 a 2014, no sentido de introduzir novos processos produtivos.

Tabela 5.15. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados intraorganizacionais

Resultado intraorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Informações técnicas sobre processos existentes	3,279**	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 58%	Padrão 2 Processamento Padrão 3 Processamento 77%	-
Informações técnicas sobre produtos existentes	1,204	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento Padrão 3 Processamento 73%	-	-
Melhorias e adaptações em processos existentes	1,264	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento Padrão 3 Processamento 74%	-	-
Melhorias e adaptações em produtos existentes	1,957	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento Padrão 3 Processamento 73%	-	-
Criação de novos processos produtivos	8,460***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 37%	Padrão 3 Processamento 84%	-
Criação de novos produtos	2,461	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento Padrão 3 Processamento 43%	-	-
Criação de novos conhecimentos científicos	3,137**	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento Padrão 3 Processamento 61%	-	-
Patentes	8,805***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 53%	Padrão 2 Processamento Padrão 3 Processamento 72%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição *F*) para o teste de diferença entre os padrões na área de processamento mineral e suas frequências médias dos resultados intraorganizacionais gerados (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam *p*-valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

A partir de consultoria e assistência técnica, a empresa Lambda, desde 2006, mantém treinamentos de curta duração com a UFOP, que sofreram redução drástica após 2011 e geram resultados de maior padronização do conhecimento dentro da empresa – isto é, informações técnicas sobre produtos e processos existentes –, devido à codificação interna do conhecimento e compartilhamento interno de conhecimento.

Tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional

A Tabela 5.16 sugere que, em processamento mineral, todos os mecanismos externos de aprendizagem apresentaram relação com a acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras, haja vista todos terem sido estatisticamente significativos. A maior frequência média de uso desses mecanismos entre as empresas do Padrão 3 Processamento Mineral foi requerida para que elas permanecessem em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, porém as empresas dos padrões 1 e 2 não se diferenciaram entre si (foram classificadas no grupo de frequência baixa em todos os mecanismos externos de aprendizagem). Vale ressaltar que estas empresas evoluíram de uma posição de capacidade inovadora à outra.

Tabela 5.16. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média do uso de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

Mecanismo de aprendizagem interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Aprendizado com usuários líderes	9,034***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 10%	Padrão 3 Processamento 51%	-
Aquisição de conhecimento	9,934***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 11%	Padrão 3 Processamento 52%	-
Assistência técnica	12,146***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 22%	Padrão 3 Processamento 60%	-
Contração de profissionais	13,727***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 5%	Padrão 3 Processamento 55%	-
Diferentes formas de ensino	9,881***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 5%	Padrão 3 Processamento 50%	-
P&D	11,332***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 20%	Padrão 3 Processamento 61%	-
Treinamento	8,084***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 10%	Padrão 3 Processamento 51%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de processamento mineral e suas frequências médias do uso dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

A área de processamento mineral é reconhecidamente aquela que mais avançou em termos de inovação. Como afirmou a diretora de Tecnologia da empresa Pi, do Padrão 2 Processamento Mineral:

A área de processamento mineral se desenvolveu muito mais rapidamente, até por necessidade, do que a área de lavra. Essa área está crescendo mais recentemente. Isso por causa do tamanho e do custo do equipamento. É uma parte da indústria que é muito cara. Qualquer mudança no processo de lavra tem um processo muito custoso. Esse custo talvez possa ser reduzido com tecnologias novas, estamos diante disso nessa crise. A crise é onde a inovação tecnológica cresce. Quando se está ganhando muito dinheiro, produz-se da mesma forma que se faz sempre. Agora, com a necessidade de reduzir custo, a criatividade tem que se manifestar. É a época da inovação.

Essa visão foi compartilhada pelo diretor da empresa Beta:

A área de pesquisa e prospecção está bastante avançada, gera uma produtividade enorme. A parte de lavra é mais complicada, mais cara, gera produtividade menor. O processamento está avançado também, mas ainda não é igual à prospecção. Prospecção corresponde a dados, análise. A parte de processamento também não é tão complicada. A lavra realmente é a parte mais complexa.

Na empresa Lambda, as consultorias e assistência técnica ocorrem desde 2000, tendo acontecido de forma constante até 2011 e decaído a partir de 2012.

Tipos de parceiro interorganizacional

A Tabela 5.17 sugere que todos os parceiros de aprendizagem externa apresentaram relação com a acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras, na área de processamento mineral, uma vez que todos foram estatisticamente significativos. As empresas do Padrão 3 Processamento Mineral destacaram-se comparativamente às dos outros dois padrões por terem estabelecido todos os tipos de parceria com frequência média consideravelmente maior. Parceiros como clientes e firmas competidoras foram buscados, sobretudo, pelas empresas do Padrão 3 Processamento Mineral, o que também ocorreu nas outras duas áreas tecnológicas.

Tabela 5.17. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média das parcerias interorganizacionais

Parceiros	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Clientes	12,089***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 4%	Padrão 3 Processamento 52%	-
Consultorias	10,657***	Padrão 1 Processamento 8%	Padrão 2 Processamento 31%	Padrão 3 Processamento 55%
Firmas competidoras	10,095***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 5%	Padrão 3 Processamento 50%	-
Fornecedores	11,248***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 8%	Padrão 3 Processamento 53%	-
Universidades e institutos de pesquisa internacionais	13,699***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 6%	Padrão 3 Processamento 56%	-
Universidades e institutos de pesquisa locais	7,504***	Padrão 1 Processamento Padrão 2 Processamento 16%	Padrão 3 Processamento 51%	-

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de processamento mineral e suas frequências médias dos parceiros dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

A empresa Gama, do Padrão 2 Processamento Mineral, descreveu uma parceria com fornecedores na adaptação de uma máquina usada na geração de agregados para uso na mineração de minério de ferro:

Compramos essas peneiras, que descartam material granulado muito pobre, e o que passa pela peneira a gente aproveita. Só que esse equipamento nós não achamos no Brasil. Nós compramos importado de dois fornecedores distintos. Esses equipamentos são muito usados nas pedreiras, na geração de agregados, como britas, pedras. Não é um equipamento robusto para mineração, é mais frágil. Quando começamos a operá-lo, vimos que tínhamos que fazer várias modificações para suportar nossa estrutura. Tivemos que fazer mudanças de proteção do equipamento, proteção do operador, reforço de estrutura etc. Uma das alternativas foi registrada pelos próprios fornecedores, que estão levando para a fábrica para adequar o projeto lá. Essas foram ideias surgi-

das do próprio operador do equipamento, da necessidade de segurança e tal. Acabamos fazendo uma consultoria para o fornecedor, para ele adequar ao nosso projeto.

As empresas do Padrão 3 Processamento Mineral mantiveram com maior frequência média parceria com universidades e institutos de pesquisa locais. Se nessas empresas esse processo está alicerçado, em outras não, caso da empresa Alfa, do Padrão 2 Processamento Mineral, que não manteve ao longo do período estudado quaisquer parcerias. A esse respeito, o gerente de Minas esclareceu:

É uma grande oportunidade para atrair mais as universidades para trabalhar com a gente e desenvolver tecnologias. Também não há disposição da universidade, das duas partes, na verdade, de fazer esses trabalhos. Não tenho um julgamento, acho que é um campo a ser explorado, pela universidade, governo e empresa. Como a gente pode tornar esse processo mais ágil? Porque a empresa faz um investimento pensando no lucro, no retorno. Então, se tivesse instrumentos que incentivassem, isso seria muito bom.

O diretor da empresa Beta, do Padrão 3 Processamento Mineral, descreveu alguns casos de parceria em projetos de inovação:

No mestrado da UFOP, criou-se um projeto que transformou esse resíduo em quatro produtos, que é outra patente. Depois fizemos com a UFMG e com o CDTN outra patente, que era para produzir índio. Esse projeto era para o Brasil e acabamos implantando ele primeiramente no Peru, mas ainda vamos implantar também no Brasil. A produção de índio é uma patente nossa, que vem do próprio resíduo do zinco, e também aí entrou a UFRJ.

A empresa Lambda, do Padrão 3 Processamento Mineral, mantém uma racionalização bem demarcada nas parcerias com universidades e institutos de pesquisa. Em 2008, por exemplo, desenvolveu uma parceria de P&D aplicados com a UFOP, a qual buscou investigar a forma de ocorrência dos elementos fósforo e alumínio em minérios de ferro e manganês, caracterizar os rejeitos ultrafinos oriundos do processamento dos minérios e desenvolver um processo de redução de teor de fósforo em minérios de ferro. Assim, desenvolveu diferentes projetos, sobretudo no último triênio desta pesquisa, de P&D básicos e aplicados com universidades (como a UFRGS) e institutos de pesquisa internacionais, como a AMIRA (Quadro 5.8). Além dela, as empresas Delta e Beta mantiveram parceria com a AMIRA ao longo do período estudado.

Quadro 5.8. Funcionamento das parcerias colaborativas da empresa Lambda em processamento mineral

Os projetos colaborativos em que a Lambda possui participação objetivam aumentar a recuperação do valor mineral de cobre fino e grosso em plantas de flotação dos patrocinadores, melhorar a seletividade da flotação nas plantas e a rejeição de minerais de ganga e testar e validar o modelo de flotação WARK em diferentes sistemas minerais. Esses projetos também incluem institutos de pesquisa e universidades brasileiras, como o CETEM e a Universidade de São Paulo.

Tipicamente, cada projeto é planejado para quatro anos e requer cem mil dólares australianos/ano de cada membro. Depois de finalizado, pode ter uma nova fase, discutida e acordada com os membros. Cada projeto tem várias categorias de membros (empresas de mineração, fornecedores etc.), sendo que a mais notável é a empresa que tem um caso estudado pela equipe do projeto. Cabe destacar que um comitê gestor, formado por representantes das empresas, tem um importante papel no direcionamento dos temas das pesquisas e na estratégia da AMIRA. As empresas participantes de determinado projeto devem ter equipes com conhecimento relacionado forte para servirem de interlocutores no planejamento e assimilação do conhecimento gerado. Quando possível, devem participar da execução da pesquisa. Para facilitar a assimilação do conhecimento novo gerado, a Lambda encoraja a participação de universidades brasileiras no grupo de instituições provedoras de P&D.

Fonte: Adaptado de Piana (2016).

Tipos de resultado gerados pelos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

A Tabela 5.18 sugere que todos os resultados gerados pelos mecanismos externos de aprendizagem apresentaram relação com a acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras em processamento mineral, dado todos terem sido estatisticamente significativos. As empresas dos padrões 1 e 2 não se diferenciaram entre si quanto aos resultados da aprendizagem externa, sendo eles gerados com menor frequência média por essas empresas.

Tabela 5.18. Área de processamento mineral: ANOVA e teste de Duncan para diferenças entre os padrões na frequência média dos resultados interorganizacionais

Resultado interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Informações técnicas sobre processos existentes	12,213***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	
		Padrão 2 Processamento	Processamento	-
		14%	57%	
Informações técnicas sobre produtos existentes	11,029***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	
		Padrão 2 Processamento	Processamento	-
		13%	55%	
Melhorias e adaptações em processos existentes	10,541***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	
		Padrão 2 Processamento	Processamento	-
		10%	29%	
Melhorias e adaptações em produtos existentes	8,778***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	
		Padrão 2 Processamento	Processamento	-
		11%	52%	
Criação de novos processos produtivos	11,283***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	
		Padrão 2 Processamento	Processamento	-
		14%	56%	

Resultado interorganizacional	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Criação de novos produtos	11,669***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	-
		Padrão 2 Processamento 10%	Processamento 54%	
Criação de novos conhecimentos científicos	9,373***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	-
		Padrão 2 Processamento 11%	Processamento 52%	
Patentes	10,831***	Padrão 1 Processamento	Padrão 3	-
		Padrão 2 Processamento 6%	Processamento 51%	

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de processamento mineral e suas frequências médias dos resultados interorganizacionais gerados (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Em processamento mineral, os tipos de mecanismo interorganizacional usados pelas empresas produtoras levaram a fluxos de aprendizagem com fornecedores, universidades locais e internacionais e firmas competidoras, o que gerou – ainda que em frequências diferentes – novas atividades tecnológicas, as quais representaram esforços que incrementaram o acúmulo de capacidades tecnológicas por essas empresas. Por exemplo, criação de novos produtos, criação de novos processos produtivos, criação de novos conhecimentos científicos e patentes foram gerados com frequência média maior pelas empresas do Padrão 3 Processamento Mineral. Assim, os fluxos de aprendizagem contribuíram para diversificação produtiva, por exemplo.

Nessa área tecnológica, os fluxos de aprendizagem (variedade de mecanismos interorganizacionais e parceiros) contribuíram mais no reforço da acumulação de capacidades tecnológicas das empresas produtoras. Na empresa Lambda, do Padrão 3 Processamento Mineral, a partir de P&D aplicados com universidades, foram gerados resultados como criação de novos processos produtivos e criação de novos conhecimentos científicos, como um novo processo de remoção de fósforo por meio de métodos químicos. A partir de P&D aplicados em parceria com fornecedores, também foram criados novos processos produtivos, como, por exemplo, o desenvolvimento da umidade natural em mina da empresa Lambda. No último triênio (2012-2014), essa empresa, a partir de P&D em parceria com a UnB e empresa fornecedora, desenvolveu projetos para processamento via descarga elétrica, que ainda não geraram resultados, da mesma forma que o projeto realizado com a UFOP sobre a influência da mineralogia na sedimentação da lama vermelha originada do processo de digestão de bauxitas gibbsíticas e boehmíticas. Desse projeto, foram gerados como resultados criação de novos conhecimentos científicos e melhorias de processos existentes, isto é, identificaram-se muitos fatores que causaram tanto maior quanto menor velocidade de sedimentação, levando à publicação de artigos científicos e uma dissertação.

5.2.3 Influência dos mecanismos de aprendizagem nos níveis de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Além da análise da relação entre mecanismos de aprendizagem e padrões de acumulação de capacidades tecnológicas para as áreas das empresas pesquisadas, fizeram-se testes estatísticos da relação entre mecanismos de aprendizagem e níveis de capacidade tecnológica por empresa. Algumas regressões foram estimadas, nas quais as variáveis dependentes foram os níveis de capacidade tecnológica de cada área (pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral) e as variáveis explicativas, os tipos de mecanismo intra e interorganizacional e de parceiro.

Para todas as áreas, verificou-se que, em geral, os mecanismos intraorganizacionais não apresentaram uma relação estatisticamente significativa, enquanto a grande maioria dos mecanismos interorganizacionais e dos parceiros apresentou uma relação positiva, estatisticamente significativa e com intensidades semelhantes entre si, quando estimados individualmente os níveis de capacidade tecnológica. Contudo, quando esses mecanismos eram estimados em conjunto, as variáveis deixavam de ser significativas em sua maioria. Devido à alta correlação entre os vários tipos de mecanismo de aprendizagem, o problema descrito pelas regressões é um indicativo de multicolinearidade, o que exige indicadores ou fatores únicos capazes de agrupar o grande número de mecanismos de aprendizagem.

O agrupamento das variáveis de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais em fatores únicos é útil não apenas para evitar os problemas de multicolinearidade, como também evidencia a inter-relação dinâmica entre os mecanismos de uma empresa, uma vez que eles podem estar associados entre si. Para a construção desses fatores, foi aplicada a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP), geralmente empregada para a redução do número de variáveis, a fim de descrever uma série de combinações lineares não correlacionadas que contêm a maioria da variância. A utilização da ACP é recomendada quando se tem um conjunto de dados correlacionados em que não se pode postular, com base nos dados disponíveis, uma estrutura particular dessas variáveis. Essa operação gera um novo conjunto de dados não correlacionados entre si, ao contrário do que ocorre com os dados originais⁴⁷.

Para a construção dos fatores de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais por meio da técnica de ACP, utilizaram-se as 42 combinações possíveis entre os sete tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional e os seis tipos de parceiro (ver subseção 5.2.1 e Equação 4). O Quadro 5.9 apresenta o agrupamento de tipos de mecanismo para cada um dos três fatores encontrados pela ACP, possuindo o fator 1 uma maior variância do que o fator 2 e este maior do que o fator 3.

⁴⁷ Para mais detalhes sobre a técnica de ACP, ver Jackson (1991).

Quadro 5.9. Fatores de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais – ACP

Fator da ACP	Tipos de mecanismo interorganizacional agrupados
Fator 1	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os tipos.
Fator 2	<ul style="list-style-type: none"> • Treinamento, diferentes formas de ensino, assistência técnica, aquisição de conhecimento codificado e aprendizagem com usuários líderes, em parceria com universidades e institutos de pesquisa locais. • Assistência técnica, em parceria com fornecedores. • Aquisição de conhecimento codificado, em parceria com consultores. • Aprendizagem com usuário líderes, em parceria com empresas competidoras.
Fator 3	<ul style="list-style-type: none"> • P&D, em parceria com universidades e institutos de pesquisa locais. • Assistência técnica, em parceria com consultores.

Fonte: Os autores (2016).

O Quadro 5.9 mostra que P&D em parceria com universidades e institutos de pesquisa locais e assistência técnica em parceria com consultores (fator 3) foram os tipos de mecanismo de aprendizagem interorganizacional de menor variabilidade entre as empresas de mineração estudadas, ou seja, foram as interações mais frequentes observadas para essas empresas entre 2003 e 2014. Já o fator 2 representa um segundo conjunto de mecanismos com uma variabilidade “moderada” entre as empresas, enquanto o fator 1 agrega todos os 42 tipos de mecanismo/parceiro. Com a delimitação desses fatores, a Tabela 5.19 apresenta uma regressão entre eles e o nível de capacidade tecnológica da amostra.

Tabela 5.19. Relação entre níveis de capacidade tecnológica e fatores de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais

Capacidade tecnológica	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Fator 1	0,456*** (0,011)	0,382** (0,169)	0,474*** (0,021)	0,477*** (0,019)	0,517*** (0,191)
Fator 2	0,296*** (0,090)	0,252*** (0,055)	0,283*** (0,099)	0,375*** (0,054)	0,311*** (0,039)
Fator 3	0,286*** (0,052)	0,276*** (0,044)	0,279*** (0,054)	0,320*** (0,045)	0,122*** (0,032)
Anos	✓	✓	✓	✓	✓
Número de funcionários		✓			✓
Origem do capital			✓		✓
Principal produto				✓	✓
Número de observações	93	78	93	93	78

Capacidade tecnológica	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Número de áreas tecnológicas	3	3	3	3	3

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. Entre parênteses, estão os desvios padrões das estimativas (robustos à heterocedasticidade e autocorrelação serial). Todos os modelos incluem efeitos aleatórios por empresa e por área tecnológica. Constantes não foram reportadas. Foram inseridas as seguintes variáveis de controle, quando indicadas na tabela: (i) anos: *dummies* para os períodos de 2008, 2011 e 2014; (ii) número de funcionários; (iii) origem do capital: *dummy* se a empresa possuíse maioria do capital controlador nacional; (iv) principal produto: *dummy* se o principal produto da empresa não fosse minério de ferro.

Ao contrário das subseções anteriores, as regressões apresentadas na Tabela 5.19 possuem o nível de capacidade tecnológica para as três áreas e não mais os padrões como variável dependente e a inferência estatística é feita por meio de regressões com os dados dos quatro períodos de tempo e das três áreas tecnológicas empilhados. Cada uma das cinco colunas de resultados apresenta a mesma regressão com usos distintos das variáveis de controle anos, número de funcionários, origem do capital e principal produto. Percebe-se, pela tabela, que todos os modelos estimados possuem uma relação positiva e estatisticamente significativa a 1% ou 5% entre os níveis de capacidade tecnológica das empresas e os três fatores de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais.

A tabela mostra, também, que há diferenças de intensidade entre os três fatores de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais em todos os modelos. Por exemplo, no modelo (5), pode-se dizer que, a cada aumento da intensidade de uso desses mecanismos que compreendem o fator 1, a capacidade tecnológica cresceu, em média, 52%. A mesma relação, para o mesmo modelo, apresentou um aumento de 31% da capacidade tecnológica em decorrência de ampliação do fator 2, além de um aumento de apenas 12% em decorrência de ampliação do fator 3.

Em primeiro lugar, isso mostra que um conjunto maior de mecanismos de aprendizagem interorganizacionais (fator 1) apresenta uma relação mais intensa com a capacidade tecnológica da empresa do que um conjunto menor deles (fatores 2 e 3). Em segundo lugar, não apenas P&D e demais interações com universidades e institutos de pesquisa são as principais fontes para maiores níveis de capacidade tecnológica, visto que esses mecanismos predominaram nos fatores 2 e 3. Em outras palavras, essas regressões parecem mostrar que, para acumular níveis maiores de capacidade tecnológica, uma rede mais diversa de interações entre as empresas e seus parceiros é mais importante do que interações concentradas apenas em P&D e em universidades e institutos de pesquisa.

5.3 Impactos da acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Esta subseção busca inferir a relação entre os padrões e os níveis de acumulação de capacidades tecnológicas das empresas de mineração pesquisadas e algumas variáveis de desempenho competitivo, quais sejam: produtividade do trabalho (receita bruta de vendas pelo número de trabalhadores) e proporção das receitas obtidas com exportação. Essa análise foi feita tanto por uma abordagem qualitativa, pela realização de entrevistas com as empresas de mineração e de *workshops* com especialistas do setor, quanto quantitativa, mediante inferências estatísticas com métodos distintos dos questionários aplicados.

As estimativas estatísticas entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e desempenho foram feitas por meio de análise de variância (ANOVA) e regressões. Esses testes foram organizados em duas subseções: na subseção 5.3.1, analisa-se separadamente a relação entre os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral e o desempenho competitivo das empresas estudadas; na subseção 5.3.2, testa-se o impacto dos níveis de acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo das empresas estudadas.

5.3.1 Impactos dos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

5.3.1.1 Relação entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção e desempenho competitivo

A acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas da indústria de mineração, na área de pesquisa e prospecção, foi classificada em quatro padrões (subseção 5.1.2.1): (i) Padrão 1 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade de produção para capacidade inovadora básica; (ii) Padrão 2 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora intermediária; (iii) Padrão 3 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada; (iv) Padrão 4 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial.

A Tabela 5.20 apresenta o teste ANOVA para as duas variáveis de desempenho na primeira coluna: produtividade do trabalho (em R\$ por trabalhador) e proporção das receitas obtidas com exportação (em %). Para essas duas variáveis, o teste de Duncan delimitou duas diferenças de frequências médias entre os quatro padrões. O teste sugere que, na área de pesquisa e prospecção, tanto produtividade do trabalho quanto proporção das receitas obtidas com exportação apresentaram relação com a acumulação de capacidades tecnológicas por padrão, uma vez que ambas as variáveis foram estatisticamente significativas a 5%. Para produtividade do trabalho, as empresas que acumularam mais capacidades tecnológicas – pertencentes aos padrões 3 e

4 – obtiveram um desempenho comparativamente maior que as empresas do Padrão 1 Pesquisa e Prospecção. Por outro lado, em termos de inserção externa, evoluir até capacidade inovadora avançada e de liderança mundial não levou, necessariamente, as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção a obter uma proporção maior de receitas com exportação, diferentemente das empresas do padrão 3.

Tabela 5.20. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção e variáveis de desempenho

Variável de desempenho	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Produtividade do trabalho	2,608**	Padrão 1 Pesquisa	Padrão 2 Pesquisa	
		Padrão 2 Pesquisa	Padrão 3 Pesquisa	-
		R\$ 485.432,39	Padrão 4 Pesquisa R\$ 1.104.800,49	
Proporção das receitas obtidas com exportação	3,372**	Padrão 1 Pesquisa		
		Padrão 2 Pesquisa	Padrão 3 Pesquisa	-
		Padrão 4 Pesquisa 41,77%	96,83%	

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição *F*) para o teste de diferença entre os padrões na área de pesquisa e prospecção e suas frequências médias das variáveis de desempenho (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam *p*-valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

A Tabela 5.20 mostra que a média da produtividade do trabalho para as empresas dos padrões 3 e 4 (1,1 milhão) é mais do que o dobro da média das empresas do Padrão 1 Pesquisa e Prospecção (485 mil). Já as empresas que compõem o padrão 2 não se diferenciaram estatisticamente entre os dois grupos de empresas. Esses resultados evidenciam que empresas que pertencem a padrões mais elevados de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção possuem, em média, resultados de desempenho produtivo melhores.

Em geral, ante a reversão do *boom* do preço das *commodities* minerais, as empresas retrocederam em suas atividades inovativas, notadamente, em pesquisa e prospecção. As empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção destacaram-se das demais empresas ao prosseguir investindo em inovação e diversificação, o que representaria estratégias de longo prazo. Por exemplo, um dos diretores de Tecnologia da empresa Lambda ressaltou que ela possui uma cultura de inovação expressa em governança e um fluxo organizacional consolidado e contínuo, enquanto um diretor da empresa Beta destacou os investimentos em pesquisa e prospecção, mesmo em períodos de crise:

Nossa empresa é muito interessante, porque diferentemente de outras, no momento da crise, investe mais. No ano passado, o resultado foi excelente para nós; este ano está indo muito bem, então é uma empresa que, quando está em baixa, trata. Quando terminou ele [o novo projeto] foi a dois mil, a três mil, quatro mil, quatro mil e quinhentos.

Essa postura contrasta, por exemplo, com a estratégia adotada pela empresa Gama, que pertence ao Padrão 1 Pesquisa e Prospecção. Segundo o gerente de Operações de Mina dessa empresa, os projetos na área de pesquisa e prospecção foram inviabilizados diante da queda do preço das *commodities*:

Tínhamos alguns projetos em prospecção, mas paramos em função da demanda, uma vez que o preço das commodities caiu muito. Hoje a gente faz sondagens nas áreas que vai lavrar no próximo ano, mas a prospecção que fazíamos de longo prazo hoje está parada.

Essas duas citações sintetizam a importância da manutenção de projetos e atividades inovativas mesmo em períodos de recessão. Nem sempre a acumulação de capacidades tecnológicas traduz-se em melhor desempenho no curto prazo. Muitas das atividades tecnológicas em níveis avançados ou de liderança mundial implementadas nos últimos anos pelas empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção podem apresentar resultados maiores de produtividades no longo prazo. Uma empresa pode aumentar sua produtividade sem se engajar em esforços de acumulação de capacidades tecnológicas, mas a ausência de capacidades inovadoras pode colocá-la numa posição vulnerável frente aos seus competidores e a mudanças tecnológicas no longo prazo.

Já com relação à variável proporção das receitas obtidas com exportação, todas as empresas brasileiras de mineração contempladas nesta pesquisa são altamente exportadoras. Sendo os minerais *commodities*, diferentes padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção parecem impactar pouco na inserção externa. O fato de as empresas que compõem o padrão 3 apresentarem uma proporção de exportação bem maior do que as outras empresas (96,8% contra 41,7%) deve-se mais pela estrutura e estratégia de mercado dessas empresas, que possuem clientes em outros mercados. Esse tipo de resultado traduz-se também nas áreas de lavra e processamento mineral.

5.3.1.2 Relação entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra e desempenho competitivo

Na área tecnológica de lavra, como descrito na subseção 5.1.2.2, foram identificados três padrões de acumulação de capacidades tecnológicas para 2003 a 2014: (i) Padrão 1 Lavra: permanência em capacidade inovadora básica; (ii) Padrão 2 Lavra: permanência em capacidade ino-

vadora intermediária; (iii) Padrão 3 Lavra: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial.

A Tabela 5.21 apresenta o teste ANOVA para as duas variáveis de desempenho na primeira coluna. O teste sugere que, na área de lavra, todas as variáveis de desempenho consideradas foram estatisticamente significativas a 5%; logo, a acumulação de capacidades tecnológicas nessa área apresentou relação com o desempenho das empresas. As empresas do Padrão 3 Lavra obtiveram produtividade consideravelmente superior em comparação com as do Padrão 1 Lavra, embora, quanto à inserção externa, todas as empresas de todos os padrões tenham sido classificadas no mesmo grupo (frequência baixa). Como ressaltado na subseção anterior, é possível que a obtenção de uma proporção maior de receitas com exportação, na indústria mineradora, esteja mais relacionada com fatores outros, referentes à trajetória de preços internacionais dos minérios e ao nível de atividade econômica de parceiros comerciais do país, por exemplo. A produtividade do trabalho, por sua vez, aumentaria conforme se aprimorassem processos produtivos de extração dos minérios, bem como melhorias e modificações naqueles já existentes, além da capacitação dos funcionários.

Tabela 5.21. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra e variáveis de desempenho

Variável de desempenho	ANOVA	Teste de Duncan		
		Frequência baixa	Frequência média	Frequência alta
Produtividade do trabalho	2,176**	Padrão 1 Lavra	Padrão 2 Lavra	
		Padrão 2 Lavra	Padrão 3 Lavra	-
		R\$ 597.242,57	R\$ 1.091.839,60	
Proporção das receitas obtidas com exportação	0,455**	Padrão 1 Lavra		
		Padrão 2 Lavra	-	
		Padrão 3 Lavra		-
		48,55%		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de lavra e suas frequências médias das variáveis de desempenho (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Na área de lavra, a automação da mina evoluiu em algumas empresas e seu impacto positivo no aumento da produtividade foi destacado por alguns representantes de empresas produtoras, como o diretor da empresa Alfa:

Você consegue ver onde estão todos os caminhões em tempo real, onde está cada equipamento (carregadeira, escavadeira ou caminhão). Cada um deles que estão na mina, você os vê em tempo real, numa sala pelo monitor. E você direciona os equipamentos para onde o processo é mais

produtivo, porque há várias rotas que o caminhão pode seguir e a pessoa que está na sala é quem define isso, no sentido de ter a maior produtividade possível.

Da mesma forma, a diretora de Tecnologia da empresa Pi considerou que, em geral, o acompanhamento da implementação da tecnologia tem sido fundamental para geração de impactos positivos na produtividade:

Fazemos o acompanhamento da tecnologia antes da sua implementação. Quando você sai do laboratório para a planta-piloto, precisamos de um plano de negócios. O mesmo ocorre quando sai da planta-piloto para a implementação efetiva. Isso tudo é feito levando em consideração o quanto será gasto e quanto será ganho.

O diretor da empresa Beta avaliou que todas as novas tecnologias levam a impactos na produtividade:

Todos aumentaram a produtividade. Estamos produzindo mais com menos. Se você pensar que simplesmente estamos produzindo mais com o mesmo minério, estamos aumentando muito a produtividade. A gente não controla a produtividade e temos metas ambientais, que controlamos ao longo do ano. Isso é muito importante na mineração.

Dessa maneira, as empresas que compõem o Padrão 3 Lavra destacaram-se em termos de produtividade do trabalho com relação às do Padrão 1 Lavra, por acumular níveis maiores de capacidade tecnológica (ver subseção 5.1.2).

5.3.1.3 Relação entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral e desempenho competitivo

Na área tecnológica de processamento mineral, a acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas da indústria de mineração foi classificada em três padrões diferentes de 2003 a 2014: (i) Padrão 1 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora básica para intermediária; (ii) Padrão 2 Processamento Mineral: evolução de capacidade intermediária para avançada; (iii) Padrão 3 Processamento Mineral: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial.

A Tabela 5.22 apresenta o teste ANOVA para as duas variáveis de desempenho na primeira coluna. O teste sugere que, em processamento mineral, da mesma forma que nas outras duas áreas tecnológicas, todas as variáveis de desempenho foram estatisticamente significativas a 5%, isto é, todas puderam ser explicadas pela acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras. Ainda assim, todas as empresas de todos os padrões classificaram-se, quanto à

frequência média da produtividade do trabalho, no mesmo grupo (frequência baixa). Vale ressaltar que o valor da produtividade do trabalho das empresas produtoras, na área de processamento mineral, foi o maior entre as áreas tecnológicas. Quanto à inserção externa, as empresas do Padrão 2 Processamento Mineral apresentaram uma elevada proporção de receitas com exportação, consideravelmente superior àquela das empresas dos padrões 1 e 3, as quais se classificaram no grupo de frequência baixa. As empresas do Padrão 2 Processamento Mineral parecem, para melhorar sua inserção externa, ter envidado esforços em processamento.

Tabela 5.22. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral e variáveis de desempenho

Variável de desempenho	ANOVA	Teste de Duncan		
		1. Frequência Baixa	2. Frequência Média	3. Frequência alta
Produtividade do trabalho	2,318**	Padrão 1 Processamento		
		Padrão 2 Processamento	-	-
		Padrão 3 Processamento		
		R\$ 1.025.529,63		
Proporção das receitas obtidas com exportação	4,027**	Padrão 1 Processamento	Padrão 2 Processamento	-
		Padrão 3 Processamento		
		44,98%		

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os valores apresentados na segunda coluna dizem respeito à estatística-teste (com distribuição F) para o teste de diferença entre os padrões na área de processamento mineral e suas frequências médias para as variáveis de desempenho (ANOVA). Os símbolos *, ** e *** indicam p -valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. As demais colunas dizem respeito aos resultados do teste de Duncan, no qual cada par de padrões foi comparado separadamente. Padrões alocados na mesma coluna não apresentam diferença estatisticamente significativa na frequência com que usam os mecanismos.

Em entrevistas realizadas com gestores e diretores das empresas estudadas, verificou-se que melhorias e desenvolvimentos na área de processamento mineral foram mais presentes na indústria de mineração no Brasil nos últimos anos, comparativamente às áreas de lavra e pesquisa e prospecção (ver subseção 5.1.2). Isso pode explicar o fato de as empresas com distintos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral apresentarem valores de produtividade do trabalho semelhantes.

Em entrevistas realizadas com representantes de empresas que pertencem ao Padrão 1 Processamento Mineral, foi possível verificar que as atividades inovativas concentraram-se nessa área. Por exemplo, o diretor de Operações da empresa Alfa avaliou que as novas tecnologias de processamento mineral que se amparam no tratamento a seco implementado pela empresa nos últimos anos têm representado ganho cada vez maior de produtividade:

A produtividade nos últimos anos subiu 20%, quer dizer, a produtividade é o volume de produto dividido por metros quadrados. Então, a gente conseguiu aumentar isso significativamente. Em

decorrência dessas melhorias [em pesquisa e prospecção e beneficiamento], do melhor conhecimento da mina e das melhorias de processos da usina, a gente conseguiu reduzir custos, em torno de 15% a 20%.

De modo semelhante, o gerente de Operações de Mina da empresa Gama mencionou a implementação de melhorias na área de processamento mineral em procedimentos de reaproveitamento de resíduos e automação e de um polímero para redução de particulares, que fizeram a empresa reduzir em até 35% o consumo de água. Além disso, o desafio de se manter competitivo em situações de brusca e intensa redução do preço das *commodities* minerais tem sido tratado cada vez mais com atenção pelas empresas mineradoras. Como afirmou o diretor da empresa Alfa:

A produtividade é a sobrevivência. Se não houver produtividade, você sai do mercado, ainda mais no preço que se vende hoje, que se paga hoje pelo minério de ferro. Se você não tem produtividade, acabou. O minério de ferro é volume. Quanto mais volume você produz, melhor.

Apesar de as empresas com distintos padrões na área de processamento mineral não se diferenciarem em termos de produtividade do trabalho, deve-se mais uma vez chamar atenção à perspectiva de longo prazo do ganho em produtividade. Nem sempre a acumulação de capacidades tecnológicas de uma empresa traduz-se em melhor desempenho no curto prazo, mas a ausência de capacidades inovadoras pode colocá-la numa posição vulnerável frente aos seus competidores no longo prazo. Dessa maneira, chama atenção a necessidade da busca contínua por maior acumulação de capacidades tecnológicas por parte das empresas.

5.3.2 Impactos dos níveis de acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Esta subseção analisa a relação entre os níveis de acumulação de capacidades tecnológicas nas áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral das empresas estudadas entre 2003 e 2014 e a produtividade do trabalho (receita bruta de vendas sobre o número de trabalhadores). Ao contrário das subseções anteriores, as variáveis explicativas foram os níveis de capacidade tecnológica para as três áreas e não mais os padrões, enquanto as inferências estatísticas foram feitas por meio de regressões com os dados dos quatro períodos de tempo e das três áreas tecnológicas empilhados (de modo semelhante à Tabela 5.19).

A Tabela 5.23 apresenta a relação entre os níveis de capacidade tecnológica e a variável dependente produtividade do trabalho (em logaritmo). Cada uma das cinco colunas de resultados apresenta a mesma regressão com usos distintos das variáveis de controle: anos, número de funcionários, origem do capital e principal produto. Percebe-se, pela tabela, que todos os modelos estimados possuem uma relação positiva e estatisticamente significativa a 1% entre os

níveis de capacidade tecnológica das empresas e seus valores em produtividade do trabalho. Por exemplo, no modelo (5), pode-se dizer que, a cada aumento de nível de capacidade tecnológica na área de pesquisa e prospecção, lavra ou processamento mineral, a produtividade do trabalho aumentou, em média, 88%⁴⁸.

Tabela 5.23. Relação entre capacidades tecnológicas e produtividade do trabalho

(ln) Produtividade do trabalho	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Capacidade tecnológica	0,576***	0,729***	0,527***	0,523***	0,633***
	(0,088)	(0,164)	(0,095)	(0,091)	(0,179)
Anos	✓	✓	✓	✓	✓
Número de funcionários		✓			✓
Origem do capital			✓		✓
Principal produto				✓	✓
Número de observações	90	90	90	90	90
Número de áreas tecnológicas	3	3	3	3	3

Fonte: Os autores (2016).

Notas: Os símbolos *, ** e *** indicam *p*-valores menores do que 10%, 5% e 1%, respectivamente. Entre parênteses, estão os desvios padrões das estimativas (robustos à heterocedasticidade e autocorrelação serial). Todos os modelos incluem efeitos aleatórios por empresa e por área tecnológica. Constantes não foram reportadas. Foram inseridas as seguintes variáveis de controle, quando indicadas na tabela: (i) anos: *dummies* para os períodos de 2008, 2011 e 2014; (ii) número de funcionários; (iii) origem do capital: *dummy* se a empresa possui maioria do capital controlador nacional; (iv) principal produto: *dummy* se o principal produto da empresa não é minério de ferro.

Os resultados da Tabela 5.23 complementam os resultados encontrados sobre a relação dos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas por áreas e produtividade do trabalho, apresentados nas subseções anteriores. Independentemente da área, pode-se concluir que as empresas estudadas com padrões e níveis mais elevados de capacidade tecnológica apresentaram maiores desempenhos competitivos.

⁴⁸ Como o modelo é log-linear e a variável capacidade tecnológica é discreta, aumentar um nível na capacidade tecnológica gera um aumento de $100 * [\exp(0,633) - 1] = 88,3\%100 * [\exp(0,633) - 1] = 88,3\%$.

6 Discussão dos Resultados

A análise da indústria de mineração nesta pesquisa, no período recente (2003-2014), teve por objetivo primordial apontar como as capacidades tecnológicas inovadoras, em relação às empresas do setor, podem contribuir para o fortalecimento da competitividade industrial no país. Basicamente, foram três as questões desta pesquisa: (i) até que ponto e como empresas de um conjunto de setores industriais no Brasil têm acumulado capacidades tecnológicas em atividades operacionais e inovativas; (ii) quais fontes internas e externas de aprendizagem podem explicar a acumulação de capacidades tecnológicas dessas empresas; (iii) como esse processo de acumulação de capacidades tecnológicas tem influenciado o alcance e o fortalecimento da competitividade industrial. Especificamente, neste momento da pesquisa, essas questões voltaram-se para a indústria de mineração no Brasil.

6.1 Discussão dos resultados

O superciclo das *commodities*, na década de 2000, induziu a retomada do debate sobre o lugar das indústrias baseadas em recursos naturais no desenvolvimento econômico dos países cuja dotação de fatores é de recursos naturais. Entre os debates teóricos suscitados por essa questão, mais recentemente pesquisas vêm instigando os caminhos pelos quais os países em desenvolvimento baseados em recursos naturais podem obter benefícios dessa indústria em termos de superar restrições de crescimento, dada uma dependência nesse sentido. A indústria de recursos naturais teria, assim, vantagens a oferecer, tais como: formação de recursos humanos, desenvolvimento de fornecedores intensivos em tecnologia, incremento de *backward linkages* e construção de capacidades inovadoras⁴⁹. Há pesquisas que mostram também oportunidades de diversificação, as quais contribuiriam com padrão de industrialização baseado em *commodities*. A indústria de mineração tem papel de destaque nessas proposições a países em desenvolvimento, a julgar pelo caso da África do Sul e Chile.

A partir da década de 1990, a indústria de mineração passou por significativa reestruturação, com a desverticalização de suas atividades, incrementando *outsourcing* de várias atividades, como engenharia, serviços especializados e até mesmo P&D, com o envolvimento de diferentes parceiros⁵⁰. Sua renovação tecnológica expôs a possibilidade de um maior dinamismo em termos de produtividade e competitividade nos distintos elos da cadeia.

⁴⁹ Ver Figueiredo e Piana (2016).

⁵⁰ Ver Scott-Kemmis (2013) e Urzúa (2013).

Melhorias e inovação tecnológica em pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral têm induzido o desenvolvimento da indústria de mineração, podendo ser citados como exemplos: desenvolvimento e uso de métodos de imagem via satélite, de sistemas de informação e de adequação geológica, bem como da engenharia mecânica, química e da biotecnologia. Tornou-se factível, no tocante à inovação e tecnologia de exploração, que as mineradoras instalassem-se em regiões mais remotas, tendo a TI possibilitado a integração entre as operações da mineração, facilitando P&D e o estabelecimento de uma rede global de pesquisa e inovação. Assim, a indústria passou de *low-innovating* para P&D e inovação intensiva⁵¹.

Essa reorganização contribuiu para o surgimento de fornecedores especializados em conhecimento intensivo (KIMS), bem como para a intensificação da inovação tecnológica, com a inclusão de novas áreas do conhecimento para melhorar as fases de pesquisa e prospecção e a diversificação da exploração mineral. Países como Chile, Austrália e África do Sul estabeleceram políticas específicas de estímulo para emergência e desenvolvimento de fornecedores de KIMS, ou seja, de fornecedores de serviços e produtos para investimentos em projetos em todas as etapas do processo de mineração⁵². O objetivo de tais políticas é acumular competências e aprendizagens interorganizacionais, visando ao aumento de capacidades tecnológicas e da competitividade da mineração.

Por outro lado, a indústria brasileira de mineração tem enfrentado grandes desafios para manter níveis competitivos de custo e produtividade, tendo em vista o ritmo da demanda por minérios em cenários de complexidade de mineralogia e de variação dos preços. Buscar o aprimoramento tecnológico é fundamental para sustentar um processo de crescimento no setor da mineração no longo prazo. Nos anos pós-2000, a produção e o preço de bens minerais – como cobre, ouro, minério de ferro, níquel, zinco, prata, bauxita, entre outros – apresentaram crescimento expressivo. Especificamente, nos últimos anos, diante da redução no preço dos minérios que dominam a pauta exportadora brasileira, como o minério de ferro, muitas empresas abandonaram projetos relacionados à PD&I.

6.1.1 Acumulação de capacidades tecnológicas na indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Identificaram-se, nesta pesquisa, três áreas tecnológicas, quais sejam, pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral, nas quais as empresas acumularam capacidades tecnológicas de forma específica, apresentando diferenças ao longo do período de 2003 a 2014. Os seguintes níveis de acumulação de capacidades tecnológicas foram considerados: operacional (capacidade de produção básica) e de inovação (básica, intermediária, avançada e de liderança mundial). Portanto, a acumulação de capacidades tecnológicas foi tomada em uma escala de 1 a 5.

⁵¹ Ver Urzúa (2013).

⁵² Ibid.

No âmbito dessa escala, identificaram-se, para cada área tecnológica, padrões de acumulação de capacidades tecnológicas. Um padrão de uma dada área tecnológica foi constituído por uma ou mais empresas produtoras que acumularam, no período estudado, capacidades tecnológicas de forma semelhante entre si.

Portanto, analisou-se a acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras da indústria de mineração de duas formas: por níveis e por padrões. Os aspectos principais das evidências apresentadas nas subsecções 5.1.1 e 5.1.2 são discutidos a seguir, por área tecnológica.

(i) Acumulação de capacidades tecnológicas na área de pesquisa e prospecção

- Todas as dez empresas produtoras apresentaram capacidade de produção ao longo de 2003 a 2014. Em outras palavras, foram capazes de executar atividades operacionais de prospecção e pesquisa mineral ancoradas em tecnologias dominantes, seguindo níveis globais de eficiência e qualidade.
- Das empresas em capacidade de produção, em 2003-2005, 71% evoluíram até capacidade inovadora básica; em 2006-2008, essa proporção aumentou para 75% e, nos dois últimos triênios, todas as empresas haviam evoluído até capacidade inovadora básica. Essas empresas passaram a realizar pequenas adaptações/melhorias internamente ou em parceria em tecnologias de prospecção e pesquisa mineral.
- Em 2003-2005, das cinco empresas (71%) que estavam em capacidade inovadora básica, quatro (57%) evoluíram até capacidade inovadora intermediária. Em 2006-2008, das seis empresas (75%) em capacidade inovadora básica, cinco (63%) alcançaram capacidade inovadora intermediária. Nos dois últimos triênios, sete (70%) empresas evoluíram de capacidade inovadora básica para intermediária. Elas tornaram-se capazes de realizar modificações complexas e/ou criar novas tecnologias de pesquisa e prospecção mineral por meio de atividades de desenvolvimento baseadas em engenharia e experimentações realizadas dentro da empresa ou em parceria.
- Apenas duas (25%) empresas evoluíram até capacidade inovadora avançada, nos dois primeiros triênios, enquanto, nos dois últimos, foram quatro empresas (40%). Elas passaram a realizar modificações complexas e/ou criar novas tecnologias à base de P&D aplicados realizados internamente ou em parceria em tecnologias de prospecção e pesquisa mineral. Nenhuma empresa atingiu capacidade inovadora de liderança mundial em 2003-2005 e, nos três últimos triênios, apenas uma empresa alcançou esse nível, tornando-se capaz de realizar atividades inovadoras e/ou criar novas tecnologias em prospecção e pesquisa mineral à base de P&D básicos e aplicados realizados internamente ou em parceria, com grau de novidade mundial e que provocaram impacto disruptivo no modelo de negócio.

Na sequência, analisa-se a perspectiva da junção de empresas produtoras por níveis similares de acumulação de capacidades tecnológicas, isto é, os padrões identificados para a área de pesquisa e prospecção. Comparativamente à análise por níveis, discorre-se sobre níveis comuns entre as empresas produtoras de acumulação de capacidades tecnológicas.

Padrão 1 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade de produção para capacidade inovadora básica

- O Padrão 1 Pesquisa e Prospecção foi composto por empresas que acumularam capacidade inovadora básica a partir da capacidade de produção ao longo dos quatro triênios observados. Essas empresas demonstraram capacidade para implementar atividades de produção com base no uso de tecnologias e sistemas de produção existentes. A partir do triênio 2009-2011, foram capazes de fazer pequenas alterações e melhorias em análise interpretativa de métodos de pesquisa e prospecção mineral, conteúdo programático de métodos de pesquisa e prospecção mineral e equipamentos e ferramentas de pesquisa e prospecção mineral.

Padrão 2 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora intermediária

- O Padrão 2 Pesquisa e Prospecção foi composto por empresas que permaneceram, durante todo o período de análise da pesquisa, estagnadas com capacidade inovadora intermediária. De maneira geral, essas empresas foram capazes de fazer melhorias relativamente complexas em diferentes tecnologias, tais como: gerenciamento de projetos minerais, metodologias de prospecção e pesquisa mineral, *softwares* de avaliação de depósitos minerais e engenharia em equipamentos de prospecção e pesquisa mineral (por exemplo, sondas).

Padrão 3 Pesquisa e Prospecção: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada

- O Padrão 3 Pesquisa e Prospecção foi composto por empresas que acumularam capacidade inovadora avançada a partir da capacidade intermediária ao longo dos quatro triênios observados. Anteriormente capazes de realizar melhorias relativamente complexas em tecnologias existentes, passaram a desenvolver pesquisas baseadas em engenharia e/ou P&D para novos métodos de sondagem exploratória, métodos de análise de testemunhos e desafios específicos da prospecção mineral.

Padrão 4 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial

- O Padrão 4 Pesquisa e Prospecção foi composto por duas empresas que se mantiveram capazes de realizar atividades compatíveis com níveis de capacidade inovadora avançada e de liderança mundial. Cada uma delas permaneceu por todo o período da amostra com o mesmo nível de capacidade inovadora, ou seja, uma se manteve estagnada no nível avançado, assim como as empresas do Padrão 2 Pesquisa e Prospecção nos últimos dois triênios, enquanto a outra se manteve na fronteira tecnológica mundial e acumulou capacidade inovadora de liderança mundial. Entre outras atividades, essa empresa foi capaz de realizar P&D próximos da ciência básica em: processamento digital de imagens para prospecção mineral, processamento e interpretação de dados geofísicos terrestres e/ou aéreos e métodos de sondagem exploratória.

(ii) Acumulação de capacidades tecnológicas na área de lavra

- Todas as dez empresas produtoras acumularam capacidade de produção, bem como passaram à capacidade inovadora básica, ao longo de todo o período de análise.
- Em 2003-2005, das empresas em capacidade inovadora básica, cinco (71%) passaram a capacidade inovadora intermediária; em 2006-2008, esse número aumentou para seis (75%) e, nos dois últimos triênios, oito (80%) empresas haviam passado para capacidade inovadora intermediária.
- À capacidade inovadora avançada, em 2003-2005 e 2006-2008, chegaram apenas duas empresas (25%), proporção que aumentou nos dois últimos triênios, quando três (30%) empresas passaram para esse nível.
- Das empresas em capacidade inovadora básica, apenas uma (10%) passou à capacidade inovadora de liderança mundial, o que ocorreu nos dois últimos triênios considerados.

Na sequência, analisa-se a perspectiva da junção de empresas produtoras por níveis similares de acumulação de capacidades tecnológicas, isto é, os padrões identificados para a área de lavra. Comparativamente à análise por níveis, discorre-se sobre níveis comuns entre as empresas produtoras de acumulação de capacidades tecnológicas.

Padrão 1 Lavra: permanência em capacidade inovadora básica

- O Padrão 1 Lavra foi composto por empresas que permaneceram, durante todo o período de análise da pesquisa, estagnadas com capacidade inovadora básica. De maneira geral, foram capazes de fazer pequenas melhorias em diferentes tecnologias, tais como: equipamentos de mineração (escavadeiras e caminhões), processos associados com as novas características da mina e soluções de problemas para eliminação de gargalos no processo de lavra.

Padrão 2 Lavra: permanência em capacidade inovadora intermediária

- O Padrão 2 Lavra foi composto por empresas que permaneceram, durante todo o período de análise da pesquisa, estagnadas com capacidade inovadora intermediária. Elas foram capazes de realizar melhorias e modificações relativamente complexas em diferentes tecnologias, como planejamento de lavra para aumento da capacidade produtiva, engenharia de equipamentos da mina (escavadeiras, caminhões etc.) e melhoramento na fragmentação de rochas. A ausência de departamentos de P&D ou de engenharia dedicados a processos contínuos de melhorias, no entanto, impediu que acumulassem nível de capacidade inovadora avançada.

Padrão 3 Lavra: permanência em capacidade inovadora e de liderança mundial

- O Padrão 3 Lavra foi composto por duas empresas que apresentaram diferentes níveis de capacidade inovadora na área de lavra. Uma das empresas manteve-se por todo o período analisado com nível avançado, enquanto a outra se manteve no nível de liderança mundial. A opção por agrupá-las em um só padrão foi feita apenas para fins de manipulação dos dados estatísticos, sem prejuízo na análise individual. Embora fossem as duas empresas com maior nível de capacidade tecnológica na área, apresentaram distinções relevantes: mesmo que ambas tivessem departamentos de P&D e engenharia dedicados a tecnologias de lavra, a empresa em capacidade inovadora avançada apresentou iniciativas mais aplicadas, enquanto aquela em nível de liderança mundial revelou iniciativas para criação de tecnologias novas para o mundo, que abriram oportunidades para entrada em novos negócios.

(iii) Acumulação de capacidades tecnológicas na área de processamento mineral

- Todas as dez empresas produtoras acumularam capacidade de produção e inovadora básica em todos os triênios considerados nesta pesquisa.
- Em 2003-2005, três (43%) das empresas em capacidade inovadora básica passaram para capacidade inovadora intermediária. Em 2006-2008, essa proporção aumentou para quatro (50%) e, em 2009-2011 e 2012-2014, todas as empresas (100%) chegaram a esse nível.
- Dessas empresas, em 2003-2005, apenas duas (29%) atingiram capacidade inovadora avançada; em 2006-2008, eram três empresas (38%). Nos dois últimos triênios, houve um ligeiro aumento de empresas que passaram à capacidade inovadora avançada, totalizando quatro empresas (40%).
- Por fim, apenas uma empresa chegou à capacidade inovadora de liderança mundial em cada um dos triênios considerados. É válido esclarecer que, em 2003-2005, a amostra foi composta por sete empresas e, em 2006-2008, oito.

Na sequência, analisa-se a perspectiva da junção de empresas produtoras por níveis similares de acumulação de capacidades tecnológicas, isto é, os padrões identificados para a área de processamento mineral. Comparativamente à análise por níveis, discorre-se sobre níveis comuns entre as empresas produtoras de acumulação de capacidades tecnológicas.

Padrão 1 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora básica para intermediária

- O Padrão 1 Processamento Mineral englobou o conjunto de empresas que acumularam capacidade inovadora a partir da capacidade inovadora básica, entre o período de 2003 e 2014. Essas empresas deixaram de ser capazes de realizar apenas pequenas melhorias em tecnologias existentes, para proceder a melhorias mais complexas nessas tecnologias. Algumas das atividades incluíram: melhorias baseadas em engenharia em equipamentos de processamento mineral, melhorias nos sistemas para reuso de água no processamento mineral e melhorias baseadas em engenharia na moagem, britagem e separação.

Padrão 2 Processamento Mineral: evolução de capacidade inovadora intermediária para avançada

- O Padrão 2 Processamento Mineral englobou empresas que alcançaram nível de capacidade inovadora avançada a partir de um nível intermediário. Elas desenvolveram

departamentos de P&D e/ou engenharia para realizar atividades inovadoras de natureza similar aos líderes globais, sem, contudo, se aproximar da fronteira tecnológica mundial. A partir de modificações complexas em tecnologias já existentes, passaram a realizar, a partir do triênio 2009-2011, atividades como desenvolvimento de produtos customizados aos clientes, adaptações no dimensionamento de usinas e desenvolvimento de adaptações nas rotas de processamento mineral.

Padrão 3 Processamento Mineral: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial

- O Padrão 3 Processamento Mineral foi composto por empresas que se mantiveram estagnadas nos níveis avançado e de liderança mundial por todo o período analisado na pesquisa. Embora fossem as duas empresas com maiores níveis de capacidade tecnológica da amostra da pesquisa e estivessem agrupadas em um mesmo padrão, eram distintas. Ambas possuíam departamentos de P&D e engenharia dedicados a tecnologias de processamento mineral, porém a empresa em nível avançado apresentou iniciativas mais aplicadas, enquanto aquela em nível de liderança mundial revelou iniciativas para criação de tecnologias novas para o mundo, que abriram oportunidades para entrada em novos negócios. Algumas das atividades equivalentes ao nível de liderança mundial na área de processamento mineral incluíram: nanotecnologia, processamento mineral sem uso de água e desenvolvimento de novas rotas de processamento mineral (por exemplo, biolixiviação, lixiviação *in situ*).

6.1.2 Influência dos mecanismos de aprendizagem nos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Nesta seção, discutem-se os resultados sobre como as empresas produtoras acumularam suas capacidades tecnológicas nas três áreas tecnológicas reportadas. Dá-se ênfase aos esforços deliberados dessas empresas para adquirir recursos, isto é, capacidades tecnológicas.

A aprendizagem foi analisada pela mensuração dos esforços internos (intraorganizacionais) à empresa, bem como por seus vínculos interorganizacionais (externos). Os mecanismos intra e interorganizacionais foram analisados em termos de sua frequência média de uso e respectivos resultados gerados. Assim como nas seções 5.2.1 e 5.2.2, as frequências médias de uso foram expressas em porcentagem, isto é, cada categoria – mecanismo interno ou externo, resultado interno ou externo, bem como parceiro externo – teve uma frequência máxima possível de uso ao longo do período estudado. Por exemplo, se uma empresa, por exemplo, realizou codificação de conhecimento, que gerou melhorias em produtos existentes e criação de novos conhecimentos científicos, recebeu um valor igual a 2. Logo, cada empresa poderia apresentar um valor que variou entre 0 e 8 para cada um de seus quatro mecanismos intraorganizacionais em cada período

de tempo. Nesse mesmo exemplo, a empresa possuía uma frequência de 25% (valor 2 de oito possíveis) na utilização do mecanismo de aprendizagem codificação de conhecimento, em um período de tempo específico.

(i) Área de pesquisa e prospecção e suas fontes de acumulação de capacidades tecnológicas

Nesta subseção, segue-se o mesmo escrutínio da área de pesquisa e prospecção, isto é, análise das inferências estatísticas encontradas com ANOVA e teste de Duncan, complementada pela análise descritiva das frequências médias dos mecanismos intra e interorganizacionais.

Os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e suas respectivas fontes internas e externas de aprendizagem

- Nos mecanismos intraorganizacionais, as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção destacaram-se em relação às do padrão 2 por terem usado criação interna de conhecimento com frequência média maior. Por outro lado, em relação à integração interna do conhecimento, as empresas dos padrões 2, 3 e 4 fizeram uso com a mesma frequência média (64%). Criação interna de conhecimento foi o mecanismo interno que, em pesquisa e prospecção, mais explicou as diferenças de acumulação de capacidades tecnológicas entre as empresas.
- Da mesma forma, as empresas dos padrões 3 e 4 apresentaram os resultados criação de novos conhecimentos científicos, patentes e criação de novos processos produtivos com frequência média comparativamente maior que a das empresas dos demais padrões. As empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção destacaram-se.
- Quanto aos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção foram aquelas que usaram com maior frequência média todos os mecanismos considerados, ainda que as dos demais padrões tenham sido classificadas no mesmo grupo de frequência média de uso de praticamente todos os mecanismos, à exceção de assistência técnica.
- Quanto aos parceiros, as empresas dos padrões 1 e 2, comparativamente às dos padrões 3 e 4, recorreram a todos com frequência menor, tendo-se classificado no mesmo grupo (frequência baixa).
- Em termos de resultados gerados a partir de mecanismos interorganizacionais, ficou ainda mais evidente que as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção distanciaram-se das empresas dos demais padrões quanto à frequência média dos resultados, especialmente em relação àqueles de maior complexidade tecnológica, como paten-

tes, criação de novos conhecimentos científicos, criação de novos produtos e criação de novos processos produtivos.

(ii) Área de lavra e suas fontes de acumulação de capacidades tecnológicas

Nesta subseção, segue-se o mesmo escrutínio da área de lavra, isto é, análise das inferências estatísticas encontradas com ANOVA e teste de Duncan, complementada pela análise descritiva das frequências médias dos mecanismos intra e interorganizacionais.

Os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e suas respectivas fontes internas e externas de aprendizagem

- Em relação aos mecanismos interorganizacionais, as empresas do Padrão 3 Lavra diferenciaram-se, tendo recorrido com maior frequência média a eles. Em P&D, essas empresas apresentaram frequência média de uso igual a 61%, contra 20% das empresas dos padrões 1 e 2, comportamento praticamente idêntico observado em assistência técnica.
- As empresas do padrão 3 diferenciaram-se substancialmente das empresas dos demais padrões quanto à frequência média de parceiros. Por exemplo, universidades e institutos de pesquisa locais e internacionais foram parceiros de aprendizagem externa mais frequentes das empresas do Padrão 3 Lavra. Parceiros como clientes e firmas competidoras foram praticamente acessados apenas pelas empresas do Padrão 3 Lavra, o que parece indicar que avançar na escala de capacidade inovadora requer da empresa a realização de aprendizado em colaboração.
- Os resultados gerados a partir da incidência de mecanismos interorganizacionais de aprendizagem contribuíram para explicar a acumulação de capacidades tecnológicas em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, uma vez que as empresas do Padrão 3 Lavra foram responsáveis por pelo menos 50% dos resultados que poderiam gerar dado número máximo possível de resultados para cada mecanismo externo/parceiro, isto é, pelo menos metade das parcerias que realizaram teve um ou mais resultados. A geração de patentes, com frequência média de 51% para as empresas do Padrão 3 Lavra, foi acompanhada de criação de novos produtos, criação de novos conhecimentos científicos e criação de novos processos científicos, com frequência média semelhante.

(iii) Área de processamento mineral e suas fontes de acumulação de capacidades tecnológicas

Nesta subseção, segue-se o mesmo escrutínio da área de processamento mineral, isto é, análise das inferências estatísticas encontradas com ANOVA e teste de Duncan, complementada pela análise descritiva das frequências médias dos mecanismos intra e interorganizacionais.

Os padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e suas respectivas fontes internas e externas de aprendizagem

- Em criação interna de conhecimento, as empresas do Padrão 3 Processamento Mineral foram classificadas no grupo de frequência média, com 69%, e as do padrão 1, no grupo de frequência baixa, com 57%. Em integração interna de conhecimento, todas as empresas de todos os padrões classificaram-se no mesmo grupo (frequência baixa), com 59%. Portanto, na área de processamento mineral, as rotinas de aprendizado dentro da empresa parecem estar mais sistematizadas.
- Quanto aos resultados gerados a partir de mecanismos intraorganizacionais, todas as empresas produtoras de todos os padrões classificaram-se no mesmo grupo (frequência baixa) em relação ao número de vezes que o resultado criação de novos conhecimentos científicos foi gerado. Em criação de novos produtos e patentes, as empresas do Padrão 3 Processamento de fato se diferenciaram das empresas dos demais padrões. Ainda, enquanto as empresas dos padrões 1 e 2 geraram, em média, criação de novos processos produtivos em 37% das vezes que implementaram os mecanismos internos, as do Padrão 3 Processamento Mineral fizeram-no em 84%.
- No tocante aos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, a maior frequência média de uso entre as empresas do Padrão 3 Processamento Mineral deu-se para que permanecessem em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, porém as empresas dos padrões 1 e 2 não se diferenciaram entre si, tendo sido classificadas no grupo de frequência baixa em todos os mecanismos externos de aprendizagem. Estas empresas evoluíram de uma posição de capacidade inovadora a outra, vale ressaltar.
- Quanto aos parceiros, as empresas do Padrão 3 Processamento Mineral destacaram-se comparativamente às dos outros dois padrões por terem estabelecido todos os tipos de parceria com frequência média consideravelmente maior. Parceiros como clientes e firmas competidoras foram buscados, sobretudo, pelas empresas do Padrão 3 Processamento Mineral, o que também ocorreu nas outras duas áreas tecnológicas.
- As empresas dos padrões 1 e 2 não se diferenciaram entre si quanto aos resultados da aprendizagem externa, tendo sido gerados com menor frequência média por elas. As

empresas do Padrão 3 Processamento Mineral geraram resultados em todo o espectro de complexidade tecnológica.

- Por meio desses resultados, é possível afirmar que, na indústria de mineração, para acumular níveis maiores de capacidade tecnológica, uma rede mais diversa de interações entre as empresas e seus parceiros é mais importante do que interações concentradas apenas em P&D e em universidades e institutos de pesquisa.

6.1.3 Impactos da acumulação de capacidades tecnológicas no desempenho competitivo da indústria de mineração no Brasil (2003-2014)

Nesta pesquisa, buscou-se, ainda, analisar e avaliar o que representa atingir um dado nível de capacidade pelas empresas da amostra em termos de produtividade do trabalho e do capital e de receitas de exportação, levando em conta as áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral (subseção 5.3). Para tanto, foram consideradas as variáveis de desempenho produtividade e exportação, sendo a primeira medida em termos de receita líquida por trabalhador e a segunda pela proporção da receita líquida total obtida com exportações.

A análise ocorreu tanto por uma abordagem qualitativa, por meio da realização de entrevistas com representantes das empresas da indústria de mineração e de *workshops* com especialistas do setor, quanto quantitativa, mediante inferências estatísticas, cuja fonte de dados foi as respostas fornecidas pelas empresas da amostra nos questionários da pesquisa. Em um primeiro momento (subseções 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3), foram utilizadas as mesmas inferências estatísticas de mecanismos de aprendizagem (ANOVA e teste de Duncan). Aqui, busca-se a relação entre padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e desempenho medido em produtividade e percentual de receitas obtidas com exportação.

6.1.3.1 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas e desempenho competitivo das empresas produtoras

(i) Área de pesquisa e prospecção

- Tanto produtividade do trabalho quanto proporção das receitas obtidas com exportação apresentaram relação com a acumulação de capacidades tecnológicas por padrões, uma vez que ambas as variáveis de desempenho foram estatisticamente significativas.
- Para produtividade do trabalho, as empresas que acumularam mais capacidades tecnológicas (padrões 3 e 4) obtiveram um desempenho comparativamente maior ao das empresas do Padrão 1 Pesquisa e Prospecção.
- Na inserção externa, evoluir até capacidade inovadora avançada e de liderança mundial não levou, necessariamente, as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Prospecção a ob-

ter uma proporção maior de receitas com exportação, diferentemente das empresas do Padrão 3 Pesquisa e Prospecção.

(ii) Área de lavra

- Todas as variáveis de desempenho consideradas foram estatisticamente significativas; logo, a acumulação de capacidades tecnológicas apresentou relação com o desempenho das empresas, nesta área tecnológica.
- As empresas do Padrão 3 Lavra obtiveram produtividade consideravelmente superior em comparação com as empresas do Padrão 1 Lavra, embora, quanto à inserção externa, todas as empresas de todos os padrões tenham sido classificadas no mesmo grupo (frequência baixa).
- É possível que obter uma proporção maior de receitas com exportação, na indústria de mineração, esteja mais relacionado com fatores outros, relacionados à trajetória de preços internacionais dos minérios e ao nível de atividade econômica de parceiros comerciais do país, por exemplo.
- A produtividade do trabalho, por sua vez, aumentaria conforme se aprimorassem processos produtivos de extração dos minérios, bem como houvesse melhorias e modificações naqueles já existentes, além da capacitação dos funcionários.

(iii) Área de processamento mineral

- Todas as variáveis de desempenho foram estatisticamente significativas, isto é, todas puderam ser explicadas pela acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras.
- Ainda assim, todas as empresas de todos os padrões classificaram-se, quanto à frequência média da produtividade do trabalho, no mesmo grupo (frequência baixa). Vale ressaltar que o valor da produtividade do trabalho das empresas produtoras, na área de processamento mineral, foi a maior entre as áreas tecnológicas.
- Quanto à inserção externa, as empresas do Padrão 2 Processamento Mineral apresentaram uma elevada proporção de receitas com exportação, consideravelmente superior àquela apresentada pelas empresas dos padrões 1 e 3, as quais se classificaram no grupo de frequência baixa. As empresas do Padrão 2 Processamento Mineral parecem, para melhorar sua inserção externa, ter envidado esforços no processamento.

6.2 Implicações para estratégias empresariais e políticas públicas voltadas para a indústria de mineração no Brasil

Esta subseção objetiva apontar inferências de políticas públicas para a indústria de mineração no Brasil. Uma discussão breve sobre a evolução das políticas públicas para essa indústria foi apresentada na subseção 4.4.3.

Esclarecimentos sobre a perspectiva ampla de tecnologia e inovação

- A tecnologia não é somente maquinaria ou equipamentos, muito menos apenas instalações físicas e laboratórios. Embora essa associação seja comum, sabe-se que em muitos casos a mera aquisição de equipamentos mais modernos não implica necessariamente avanços. A compra de equipamentos tecnologicamente avançados exige conhecimentos de capital humano qualificado e especializado para serem operados, além de um sistema organizacional capaz de integrar as diversas especialidades profissionais e as instalações físicas em um uso eficiente da tecnologia e sua posterior adaptação e aprimoramento.
- Assim como a tecnologia, a inovação deve ser compreendida de maneira abrangente, ou seja, muito além do tradicional *high-end* à base de P&D. Inovação também envolve um contínuo de atividades que variam da imitação duplicativa em vários níveis de modificação à base de engenharia (como é típico das indústrias alemãs de máquinas, líderes globais em vários segmentos) até os mais avançados níveis de P&D. A visão limitada em relação a ela, incorporada em diferentes estratégias empresariais e de políticas governamentais, ignora o papel das atividades inovadoras básicas, que são, em muitos casos, precondições para o engajamento em atividades inovadoras mais sofisticadas.
- Essa perspectiva abrangente é de fundamental importância para compreender a dinâmica do processo de inovação, particularmente no contexto de economias em desenvolvimento, como a do Brasil, em que a maioria das empresas ainda se encontra no processo de evoluir de níveis de capacidade de produção para níveis progressivos de capacidade inovadora, especialmente de níveis básicos para superiores.

Financiamento público para inovação e políticas públicas para a indústria de mineração

- Políticas públicas de financiamento para produção são diferentes de políticas públicas de financiamento para inovação. A oferta de linhas de crédito para o investimento produtivo, principalmente do BNDES, não constitui hoje um problema para a indústria de mineração no Brasil. O que se verifica é a dificuldade de captação de recursos

destinados exclusivamente à inovação. Por um lado, faltam às linhas de crédito para inovação disponíveis processos mais ágeis e menos burocráticos. Devido às exigências financeiras, esses recursos estão disponíveis apenas para empresas de grande porte e exigem detalhes técnicos que muitas vezes inibem sua procura. Por outro lado, faltam às empresas conhecimento e organização na captação de recursos financeiros para inovação. Nesse aspecto, parece essencial a necessidade de uma maior simplificação e divulgação do acesso ao financiamento público existente destinado à inovação.

- O Fundo Tecnológico (Funtec) estabeleceu o Programa do Mineral Estratégico, porém há apenas uma planta que lavra nas áreas estratégicas definidas pelo programa, a qual pertence à Vale. Portanto, o programa beneficia apenas uma empresa e outras, como a Votorantim, não podem participar. Nesse sentido, o governo está sendo mais um obstáculo do que um estimulador da indústria de mineração. Na opinião dos atores, o governo deveria considerar a trajetória de pesquisa da empresa ao oferecer programas de incentivo à inovação, porque a inovação é um processo de tentativa e erro. O governo não faz acompanhamento do CT-Mineral, como também não há uma gestão do conhecimento em órgãos governamentais que financiam o setor.
- A medida política mais recente data de 2011, quando o MME lançou o PNM 2030, cujo objetivo principal é conduzir a elaboração de políticas de médio e longo prazo para o setor, de modo a torná-lo um “alicerce para o desenvolvimento sustentável” brasileiro.
- No âmbito da expansão dos preços, houve aumento de incentivos para novos empreendimentos em exploração mineral, bem como para ampliar o percentual arrecadado com a atividade. Dentro do PNM 2030, um novo modelo regulatório (Projeto de Lei nº 5.807/2013) prevê, entre outras medidas, a instalação do CNPM – órgão consultivo – e da Agência Nacional Reguladora, bem como a reestruturação da CPRM. Entretanto, há, entre os demais agentes do setor mineral, ampla discordância em relação a essas medidas, especialmente quanto à mudança no procedimento de concessões de lavra, cujo número decaiu até chegar a zero, em 2013.
- Além disso, ações do PNM 2030, como o aumento da CFEM, não resultaram em efeitos como uma reestruturação da cadeia produtiva no sentido de incentivar fornecedores locais.
- Na avaliação de representantes de empresas produtoras, persiste uma indefinição dos parâmetros regulatórios, bem como uma insuficiência para instruir uma política industrial de mineração no país. Ademais, tributos como a CFEM não são aplicados no setor, muito menos em pesquisa e inovação. Na opinião dos especialistas, uma parcela maior desses recursos deveria ser aplicada no CETEM. Outro problema é que os preços não voltaram ao patamar anterior à crise de 2008. Naquele momento, as empresas não visavam somente ao aumento do volume, mas ao ponto ótimo da produção, o que acabou diminuindo a extração de minério.

- A indústria de mineração carece de uma política que pense a mineração em todas as suas áreas tecnológicas. De fato, o Brasil não tem acompanhado o movimento de países como Chile e África do Sul, cujos governos têm pensado em políticas para mineração que vão desde o incentivo à inovação até o fortalecimento da cadeia de fornecedores locais intensivos em conhecimento.
- Seguem alguns pontos levantados pelos representantes de empresas produtoras a respeito das políticas públicas para mineração. O gerente de Operações da empresa Alfa avaliou:

Falta uma política para a mineração. Há outros países com políticas para mineração. O Brasil tem recurso mineral, mas você pega Canadá, Chile, que têm políticas para mineração. Se não tiver o minério, não tem mineração. Começa por aí. É um negócio que gera riqueza. Aí você tem uma Austrália, com níveis de tecnologia muito maiores do que os nossos. E depois eles começam a vender. Eles desenvolvem a tecnologia e depois começam a vender. No Brasil, não existe política para mineração.

Em sentido semelhante, a diretora de Tecnologia da empresa Pi avaliou que, por não haver um corpo técnico efetivamente pensando em políticas para mineração, se perpetua a visão de que não há inovação nessa indústria:

Criação de políticas de incentivo especificamente para mineração. Às vezes, mesmo no nível da população, a mineração é sempre mal vista. É uma indústria de base, mas o desenvolvimento tecnológico parece menor. Não é uma empresa como Apple ou Facebook. Criar leis de incentivo à inovação em mineração é uma ótima ideia. Campo para isso tem.

Perspectivas sobre capacidades tecnológicas de produção e inovadoras

- A capacidade tecnológica é um conjunto ou estoque de recursos à base de conhecimento que permite às empresas realizar tanto as atividades de produção ou operacionais quanto as de inovação. Enquanto as capacidades de produção estão relacionadas a atividades de uso/operação de tecnologias e de sistemas de produção existentes, a capacidade inovadora permite realizar modificações em tecnologias existentes ou mesmo gerar novas tecnologias.
- A distinção entre os dois tipos de capacidade tecnológica é essencial para melhor entender o desempenho competitivo de uma empresa e indústria. É possível produzir milhões de toneladas de determinado produto com alta eficiência, sem, no entanto, ter capacidade para realizar mudanças no seu processo produtivo. Nesse caso, uma

empresa pode ter capacidade tecnológica de produção avançada, sem ter nenhuma capacidade tecnológica de inovação.

- Maior capacidade tecnológica de produção pode permitir ganhos no desempenho técnico de uma empresa, enquanto maior capacidade tecnológica inovadora pode levar à criação de tecnologias que são mais difíceis de ser copiadas ou mesmo de oportunidades para entrada em novos segmentos de mercado. Assim, ambos os tipos devem ser nutridos em nível da empresa, embora requeiram estratégias diferenciadas para sua diferenciação.
- Na avaliação de representantes de empresas produtoras, as empresas mineradoras pequenas são responsáveis pela “má fama” da mineração, isto é, pela noção de que a mineração é atrasada, ao estilo “garimpo”. Por outro lado, na avaliação desses mesmos representantes, muitas tecnologias foram desenvolvidas em mineração, bem como a interação (no sentido de criação de nexos) com outros setores. Alguns exemplos foram destacados neste texto na subseção 5.1.2.

Empresas da mesma indústria e áreas tecnológicas de uma mesma empresa são diferentes

- As empresas da indústria de mineração no Brasil ocuparam diferentes níveis de capacidade inovadora nas três áreas tecnológicas importantes (pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral), bem como níveis de capacidade de produção. Isso sugere que recomendações de estratégias empresariais e de políticas públicas comuns para toda a indústria de mineração podem esconder a complexidade e a perspectiva ampla de inovação e dos diferentes estágios de acumulação de capacidades tecnológicas. Da mesma forma, os gestores de empresas produtoras devem observar planos de estratégias distintas de ACT para essas áreas.
- Especificamente quanto à elaboração de políticas, é necessário que os gestores aprofundem seu conhecimento e sua perspectiva sobre a indústria de mineração para reconhecer que ela oferece oportunidades para aprendizado e inovação. A elaboração de um grande plano de política que trate da mineração como um todo pode deixar de lado as reais demandas das empresas produtoras e seus fornecedores quanto a demandas e oportunidades de aprendizagem.
- Na indústria de mineração, a área de lavra tornou-se objeto de investimentos em inovação só mais recentemente, tendo em vista os elevados custos associados e os retornos menores. A área de processamento mineral, por sua vez, é considerada aquela que mais se desenvolveu nas empresas brasileiras de mineração.

Diversificação industrial

- A diversificação produtiva ao longo da cadeia em atividades intensivas em conhecimento representa uma das oportunidades a ser oferecidas pela indústria de recursos naturais. Ela deve ser conduzida de modo a identificar tecnologias emergentes (por exemplo, biotecnologia, nanotecnologia, *big data*) que possam adicionar valor à base de recursos naturais já existente. Em outras palavras, a diversificação ocorreria para indústrias beneficiadoras, distribuição (*forward linkages*), produção de insumos, bens de capital e serviços gerenciais (*backward linkages*), a partir da oferta de insumos originalmente para setores de recursos naturais, levando a aplicações diferenciadas desses insumos (*horizontal/lateral linkages*).
- Na indústria de mineração, algumas empresas passaram por tais encadeamentos de diversificação. Nas áreas de lavra e processamento mineral, empresas produtoras estabeleceram parcerias para o desenvolvimento de meios de automação da mina, mas isso não representou a entrada em uma nova linha de negócios. Empresas relataram parcerias sistemáticas com universidades e institutos de pesquisa para aprimorar o tratamento de dados na operação de minas, bem como de biotecnologia em processamento mineral. Ainda em termos de *backward linkages*, houve um avanço no aproveitamento de rejeitos.
- Na indústria de mineração, a diversificação representa uma estratégia para as empresas mineradoras manterem sua competitividade, a despeito das oscilações de preço. Nesse sentido, a entrada em novas rotas vem sendo um dos aspectos, ocorrendo a montante e jusante da cadeia. O gerente de Operações de Mina da empresa Gama descreveu essa integração entre as operações da seguinte forma:

Nós temos uma unidade de pelotização. A sintetização é feita na usina Xis (Belo Horizonte). No nosso minério, os finos são 100% direcionados para pelotização, que fornece pelotas para as duas unidades e um pouco ainda sobra para vender no mercado.

- As estratégias empresariais em diversificação, na avaliação da diretora de Tecnologia da empresa Pi, devem considerar:

Isso tudo tem sempre um business case por trás. O que vai mandar na decisão de diversificar é a relação custo-benefício que vai se ter a partir aquilo. É uma decisão de negócio. Se hoje for melhor vender de um jeito, dependendo do investimento e tecnologia, faremos isso. A empresa não se insere em nenhum mercado que não seja de mineração. Nesse momento de crise, está difícil pensar nisso. Estamos tentando diminuir custos, pagar dívidas e só aí voltar a crescer.

- A questão ambiental vem pautando as decisões das empresas produtoras sobre a diversificação da produção, mais especificamente, o tratamento de rejeitos na área de processamento mineral. O aproveitamento comercial de resíduos tem se tornado crescente e uma preocupação cada vez maior nas empresas. A esse respeito, o diretor da empresa Beta avaliou:

A gente sabe que nossas plantas vão virar multiprodutos. O aproveitamento de resíduos é uma forma de ampliar o portfólio de produtos. Toda vez que achamos uma mina nova, incorporamos todas as tecnologias novas que já desenvolvemos. Podemos começar sem subproduto, mas podemos vender o subproduto assim que quisermos, depende só da demanda.

- O uso mais eficiente da água nas atividades da área de processamento mineral é cada vez mais encarado como um desafio nesse setor, como descreveu a diretora da empresa Pi:

Temos um programa de resíduos. Temos projetos na área de processamento mineral para aproveitamento maior do minério e diminuição dos resíduos. Ir além das barragens de rejeitos sempre é uma preocupação. A indústria de mineração tem que se preocupar com o meio ambiente, porque há um impacto com sua existência.

- O tratamento de rejeitos também vem aparecendo como uma oportunidade de diversificação nas empresas produtoras da indústria de mineração. Avaliou o gerente de Operações de Mina da empresa Gama:

Outra inovação nessa linha de aproveitar os rejeitos é que esse material aproveitado pelo filtro vai para a pilha de estéril, mas com uma parte dele nós estamos fazendo blocos de cimento e concreto para calçamento, substituindo areia por esse material, aproveitando o resíduo. Então, a gente já está bastante adiantado. Estamos com duas 'fabriquinhas' desse material de blocos de paralelepípedo com esse material. Hoje, a gente já coloca nele o rejeito e resíduo de nossa pilha de estéril, eliminando toda a areia necessária. Agora, nós estamos fazendo testes de 'traço'.

- Dessa forma, a diversificação e a entrada em novas linhas de negócio e, até mesmo, novas rotas tecnológicas ocorreram em algumas empresas ao longo do período analisado. No entanto, é um processo considerado caro pelas empresas produtoras. Em *workshop* da pesquisa, os convidados enfatizaram que o processo de diversificação é muito custoso, uma vez que necessita de habilidades nem sempre existentes dentro da firma. Esse alto custo inviabilizou, para eles, o processo de diversificação, mesmo nos períodos de preço elevado das rochas. Algumas empresas tentaram alguns processos de diversificação na época dos altos preços, só que tudo isso foi descontinuado com a

baixa dos preços. A palavra-chave para os participantes no momento atual é sobrevivência.

- A indústria de mineração pode apresentar implicações positivas no desenvolvimento econômico de um país por meio de interações empresariais e institucionais ao longo da cadeia produtiva, como tem ocorrido no Peru⁵³, na exploração de ouro em Gana⁵⁴, na África do Sul⁵⁵ e no Chile⁵⁶. A desverticalização dessa e a demanda local dos seus parceiros por conhecimento criativo podem impulsionar atividades de complexidade maior e a custo reduzido, atendendo às pressões ambientais. No Brasil, porém, não há uma política de fortalecimento de fornecedores locais intensivos em conhecimento (KIMS).
- Sobre as dificuldades de desenvolvimento de fornecedores locais no país, o diretor da empresa Beta lembrou:

Depende da cidade onde estamos. Naquelas que são mais isoladas, é mais difícil desenvolver fornecedores, mas há lugares onde há fornecedores desenvolvidos para manutenção, montagem, tornearia simples. Equipamentos mais complexos, não tem jeito. Isso normalmente vem dos grandes centros. Temos um programa de desenvolvimento dessas empresas, mas batemos na barreira educacional do local. Por serem lugares isolados, às vezes não tem jeito. São raros os que realmente estão qualificados.

Inserção competitiva internacional

- O principal desafio está em estruturar a competitividade não dependente do ciclo de preços das *commodities* minerais, o que requer não apenas inovação, mas instrumentos de fortalecimento da cadeia produtiva, a exemplo do que ocorre em outros países exportadores de minérios.

Natureza colaborativa e sistêmica de aprendizagem tecnológica

- Esta pesquisa corrobora a ideia de que se foi o tempo em que as empresas eram autosuficientes em capacidades tecnológicas e realizavam atividades inovadoras de forma individual. A pesquisa encontrou que grande parte das capacidades tecnológicas inovadoras é acumulada por meio de parcerias com universidades e institutos de pesquisa locais, consultores e agentes ao longo da cadeia produtiva (fornecedores e clientes). Empresas que acumularam níveis mais avançados de capacidade tecnológica têm sido

⁵³ Ver Lorentzen (2008).

⁵⁴ Ver Bloch e Owusu (2012).

⁵⁵ Ver Lydall (2009).

⁵⁶ Ver Lagos e Blanco (2010).

mais proativas no estabelecimento de vários arranjos colaborativos com esses tipos de parceiro para a realização de atividades inovadoras. A distribuição das capacidades tecnológicas para além dos muros das empresas, assim como o envolvimento de parceiros externos no processo de inovação, é irreversível e confirma a fragmentação das atividades inovadoras.

- Isso impõe novos desafios aos gestores, que precisam diariamente criar mecanismos de interface com parceiros diversos, assim como aprimorar suas práticas de coordenação e integração de conhecimentos externos provenientes de parceiros distintos, para a eficácia de seu processo de inovação.
- O desenvolvimento de redes de aprendizagem e seu suporte às atividades inovadoras no âmbito da indústria de mineração no Brasil guardam relação direta com as interações que ocorrem entre subsidiárias e empresas produtoras nacionais, bem como empresas fornecedoras e universidades⁵⁷.
- O estabelecimento de parcerias, especialmente com universidades e grandes arranjos de pesquisa, como a AMIRA, além de institutos de pesquisa nacionais, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), tem fomentado, sobretudo entre as empresas em posição de maior capacidade inovadora, demandas por arranjos mais bem definidos de propriedade intelectual. Em outras palavras, as parcerias são tão possíveis quanto possíveis são as definições de propriedade intelectual com a empresa produtora.

Outra coisa importante é a propriedade intelectual. Queremos ser beneficiados por um desenvolvimento, uma vez que estamos contribuindo financeiramente e dando suporte à mina. Mas a empresa não vai mudar o core business dela para comercializar patentes de uma parceria gerada numa empresa de caminhão ou máquinas. Jamais comercializaremos esses produtos. Então, não queremos ser donos de todas as patentes, mas, sim, lidar com os benefícios daquilo que foi gerado. Pedimos exclusividade de uso, preferência de compra, descontos, coisas assim. A não ser que seja algo que vá afetar diretamente nossa atividade básica, nós adotamos uma política de flexibilidade da propriedade intelectual com os parceiros.

- Como discutido na subseção 5.2.2, as empresas produtoras que acumularam capacidade inovadora avançada e de liderança mundial realizaram esforços de aprendizado com diferentes parceiros ao longo de 2003 a 2014. A empresa Lambda, por exemplo, mantém significativas conexões de aprendizado com universidades brasileiras, o que contribui com o sistema brasileiro de inovação em mineração, que pode aumentar sua intensidade tecnológica ou ampliar as conexões de aprendizagem e as atividades inovadoras.

⁵⁷ Ver Figueiredo e Piana (2016).

- O aprendizado não ocorre de forma automática, mas requer esforços deliberados⁵⁸, os quais poderiam passar pela atuação de gestores de políticas públicas, em conjunto com grandes empresas mineradoras, no desenho de políticas de apoio para implementar redes de aprendizado mais sólidas. No Brasil, as políticas existentes (como a Lei da Inovação) poderiam ser simplificadas quanto aos parâmetros para solicitação pelas empresas de financiamento, ao mesmo tempo que poderiam incluir diretrizes para uma abordagem de inovação que não a associe apenas à P&D e favoreça a participação maior de pequenas empresas⁵⁹. Programas de desenvolvimento de fornecedores locais implementados por empresas e governo atuando em conjunto também são iniciativas consideradas promissoras.

Formação diferenciada de capital humano

- Ações para aumentar e melhorar a oferta de recursos humanos qualificados e criar massa crítica altamente qualificada são necessárias para atingir objetivos de inovação na indústria de mineração. É importante que o sistema de ensino superior público e privado e o sistema de treinamento dentro das empresas forneçam conhecimentos e habilidades apropriados para se alinhar com as novas capacidades inovadoras necessárias para a diversificação industrial.
- É importante fazer distinção entre capital humano relacionado a uma tecnologia existente cujo *mindset* vem sendo preparado desde os bancos das universidades e aprofundados pelas empresas e capital humano para engajamento em atividades tecnológicas novas para a indústria e o país, como consequência, para diversificação industrial. Por isso, é preciso que as empresas, em sintonia com as universidades, engajem-se na preparação desses diferentes tipos de capital humano.

Políticas públicas devem evitar o protecionismo exacerbado

- A busca por uma política pública de inovação que inclua a coordenação do Estado e das empresas em uma perspectiva colaborativa e sistêmica não significa, no entanto, um controle protecionista exacerbado. Uma política de inovação deve possuir uma coordenação estratégica do Estado e, ao mesmo tempo, fornecer um ambiente de pressão competitiva. Um ambiente econômico competitivo sistêmico é importante para o desenvolvimento de capacidades inovadoras, pois somente ele estimula o esforço contínuo por parte das empresas de inovar. Restrições às importações, por exemplo,

⁵⁸ Ver Dantas e Bell (2009).

⁵⁹ Ver Figueiredo e Piana (2016).

dificultam o próprio processo de aprendizagem e acumulação de capacidades tecnológicas dentro das empresas.

Políticas públicas devem ser avaliadas

- A despeito das dificuldades de avaliar uma política industrial, a avaliação constante de políticas públicas é essencial para seu aperfeiçoamento. No Brasil, alguns estudos têm buscado a avaliação de políticas públicas, principalmente no que se refere à inovação. Essa avaliação ocorre em termos do impacto de uma dada política na produtividade das empresas e seus gastos com inovação. Ainda, percebe-se que, em geral, essas políticas carecem de uma elaboração baseada em evidências coletadas diretamente do setor produtivo a que se referem, isto é, que se atenham a um diagnóstico crível das necessidades e demandas do setor.
- Especificamente para indústria de recursos naturais, as políticas públicas devem ser cada vez mais pensadas (por consequência, avaliadas) quanto às oportunidades que os recursos naturais de fato podem oferecer. É necessário, portanto, construir uma agenda de política que contemple aspectos como incentivos ao fortalecimento de esforços de inovação em recursos naturais e iniciativas para adicionar a diversificação em todos os elos da cadeia produtiva, bem como dar suporte às empresas no cumprimento de direitos de propriedade intelectual.

6.3 Limitações e recomendações para próximos estudos

Nesta pesquisa, a análise voltou-se para a indústria brasileira de mineração como um todo, sem tomar um determinado grupo de empresas como objeto de estudo. O desenho conceitual e metodológico da pesquisa permite essa análise; em outras palavras, as fontes, internas e externas, da acumulação de capacidades tecnológicas e o impacto delas na competitividade da indústria de mineração.

Obedecendo ao desenho conceitual da pesquisa, os questionários (instrumentos de coleta) foram enviados para 50 empresas – em torno de 70% da produção total de 2014. Apenas dez responderam (amostra da pesquisa) a esses questionários, das quais cinco também participaram da entrevista (pesquisa qualitativa). A realização de um *workshop* que reuniu empresas produtoras, fornecedores, representantes de institutos de pesquisa, bem como de universidades e de produtores, foi mais uma fonte para as evidências empíricas.

Nesse contexto, encontrou-se a maior limitação deste estudo: não abranger a totalidade das empresas da indústria de mineração, o que foi um limitador para os testes estatísticos, principalmente. É bem verdade que as dez empresas que responderam aos questionários estavam entre aquelas que detiveram as maiores participações na produção total nacional, bem como

se destacaram por realizar esforços notáveis de inovação. O contexto de dificuldades – e, em alguma medida, impedimentos – financeiras que muitas empresas produtoras enfrentaram foi o principal aspecto que justificou uma taxa de retorno nesses moldes.

A segunda limitação deste estudo foi seu horizonte temporal: 2003 a 2014, tendo sido o desenho conceitual e metodológico aplicado a uma perspectiva setorial histórica⁶⁰. Essa limitação, por outro lado, representou o objetivo de somar à relação entre acumulação de capacidades tecnológicas e mecanismos de aprendizagem seu impacto na competitividade. Com uma delimitação de tempo, tal como foi estipulado, principalmente os resultados apresentados na subseção 5.3 seriam factíveis. Também seria coerente com a utilização de questionários a ser respondidos pelas empresas.

A terceira limitação relacionou-se com a preocupação do projeto de pesquisa, no sentido de contribuir com estratégias empresariais e a formulação de políticas públicas. Em outras palavras, esse objetivo será realizado na medida em que se avançar na realização de um mapeamento abrangente das capacidades tecnológicas da indústria brasileira como um todo. Dessa forma, será possível captar as interações entre os diferentes setores, além dos processos dinâmicos desenhados quanto à competitividade industrial.

O texto de discussão ora apresentado também objetivou, a partir de suas contribuições metodológicas, servir de base para aplicação por outras instituições, para o exame dos diferentes impactos da acumulação de capacidades tecnológicas na competitividade entre os setores industriais da economia. Diferentes tipos de organização podem aplicar as contribuições metodológicas aqui apresentadas e discutidas para o aprimoramento do processo de gestão da inovação orientado à competitividade.

⁶⁰ Ver Ariffin (2000), Figueiredo (2014), Figueiredo e Piana (2016) e Gonzalez (2016).

Referências

ANDERSEN, A. D. et al. **Natural resources, innovation and development**. Denmark: Aalborg University Press, 2015.

BARNETT, A.; BELL, M. Is BHP Billiton's Cluster-Programme in Chile relevant for Africa's mining industry? **Policy Practice Brief**, n. 7, p. 1-8, Aug. 2011.

BELL, M.; FIGUEIREDO, P. N. Building innovative capabilities in latecomer emerging market firms: some key issues. In: CANTWELL, J.; AMANN, E. (Ed.). **Innovative firms in emerging market countries**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BELL, M.; PAVITT, K. The development of technological capabilities. In: HAQUE, U. (Ed.). **Trade, technology and international competitiveness**. Washington, DC: The World Bank, 1995.

BLOCH, R.; OWUSU, G. Linkages in Ghana's gold mining industry: challenging the enclave thesis. **Resource Policy**, v. 37, n. 4, p. 434-442, 2012.

BRASIL. Decreto-Lei n. 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 fev. 1967.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

_____. Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataformas continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências. (Art. 21, XIX da CF). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 dez. 1989.

_____. Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990. Define os percentuais da distribuição da compensação financeira de que trata a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 mar. 1990.

_____. Lei n. 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 dez. 2004.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Mineração 2030**: geologia, mineração e transformação mineral. Brasília, DF: MME, 2011.

_____. Projeto de Lei n. 5.807, de 19 de junho de 2013. Altera a Lei nº 8.970, de 1994 e revoga o Decreto-Lei nº 227, de 1967, a Lei nº 6.567, de 1978, a Lei nº 8.876, de 1994, o art. 5º da Lei nº 8.970, de 1994, o art. 6º da Lei nº 7.990, de 1989 e o art. 2º da Lei nº 8.001, de 1990. **Câmara dos Deputados**, Atividade Legislativa, Projetos de Lei e Outras Proposições, 2013. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=581696>>. Acesso em: out. 2016.

_____. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: out. 2016.

DANTAS, E.; BELL, M. Latecomer firms and the emergence and development of knowledge networks: the case of Petrobras in Brazil. **Research Policy**, v. 38, n. 5, p. 829-844, 2009.

_____. The co-evolution of firm-centered knowledge networks and capabilities in late industrializing countries: the case of Petrobras in the offshore oil innovation system in Brazil. **World Development**, v. 39, n. 9, p. 1570-1591, 2011.

EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

ERICSSON, M. **Mining industry corporate actors analysis**. 2012. Disponível em: <<http://www.eisourcebook.org/cms/Mining%20industry%20corporate%20actors%20analysis.pdf>>. Acesso em: jun. 2016.

FIGUEIREDO, P. N. **Technological learning and competitive performance**. Cheltenham: Edward Elgar, 2001.

_____. Discontinuous innovation capability accumulation in latecomer natural resource-processing firms. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 77, n. 7, p. 1090-1108, 2010.

_____. Beyond technological catch-up: an empirical investigation of further innovative capability accumulation outcomes in latecomer firms with evidence from Brazil. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 31, p. 73-102, 2014.

_____. **Gestão da inovação: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

FIGUEIREDO, P. N.; COHEN, M.; GOMES, S. **Firms' innovation capability-building paths and the nature of changes in learning mechanisms: multiple case-study from an emerging economy**. Maastricht: UNU-MERIT, 2013 (Working Papers, n. 2013-007).

FIGUEIREDO, P. N.; PIANA, J. When "one thing (almost) leads to another": a micro-level exploration of learning linkages in Brazil's mining industry. **Resources Policy**, n. 49, p. 405-414, 2016.

FURTADO, J.; URIAS, E. **Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira**. São Paulo: IBRAM, 2013.

GONZALEZ, R. K. **Processo alternativo de catch-up em indústrias intensivas em recursos naturais: uma análise empírica da trajetória tecnológica da indústria de bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil**. 2016. 383 f. Tese (Doutorado) – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2016.

GRANVILLE, A. **Baseline survey of the mining and minerals sector: mining, minerals and sustainable development**. [S.l.: s.n.], 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015**. 2015. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005957.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

JACKSON, J. E. **A user's guide to principal components**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

LAGOS, G.; BLANCO, E. Mining and development in the region of Antofagasta. **Resource Policy**, v. 35, n. 4, p. 265-275, 2010.

LALL, S. Technological capabilities and industrialization. **World Development**, v. 20, n. 2, p. 165-186, 1992.

LORENTZEN, J. **Resource intensity knowledge and development: insights from Africa and South America**. Cape Town: HSRC, 2008.

- LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Introdução ao tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.
- LYDALL, M. Backward linkage development in the South African PGM industry: a case study. **Resource Policy**, v. 34, n. 3, p. 112-120. 2009.
- MARIN, A.; PETRALIA, S.; ORTEGA, C. B. Technological opportunities in natural resources related industries in Latin America: old presumptions, new evidence. In: CONFERENCE ON MICRO EVIDENCE ON INNOVATION IN DEVELOPING ECONOMIES, 6., 2012, Cape Town. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2012.
- MINING ASSOCIATION OF CANADA. **100 innovations in the mining industry**. 2012. Disponível em: <http://www.oma.on.ca/en/ontariominig/resources/Minalliance_100_innovations_en.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- PATTON, M. Q. **Qualitative research & evaluation methods**. Beverly Hills: Sage, 1990.
- PAVITT, K. Sectorial patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, n. 6, p. 343-373, 1984.
- PEREZ, C. The new context for industrializing around natural resources: an opportunity for Latin America (and other resource rich countries)? **Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics**, n. 62, p. 1-41, 2015.
- PIANA, J. **Variações em trajetórias de acumulação de capacidades tecnológicas em nível intra-empresarial: uma análise empírica da Vale S.A.** 2016. 448 f. Tese (Doutorado em Administração) – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2016.
- PINHEIRO, M. C. et al. **A urgente necessidade do fortalecimento da competitividade industrial brasileira: reflexão inicial sobre o papel da produtividade e da acumulação de capacidades tecnológicas inovadoras**. Rio de Janeiro: EBAPE/FGV, 2015. (Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series). Disponível em: <www.ebape.fgv.br/tlii-wps>. Acesso em: out. 2016.
- PINHEIRO, M. C.; FIGUEIREDO, P. N. **Por que é tão necessário o fortalecimento da competitividade industrial do Brasil? E qual é o papel da produtividade e da capacidade tecnológica inovadora?** Rio de Janeiro: EBAPE/FGV, 2015. (Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series). Disponível em: <www.ebape.fgv.br/tlii-wps>. Acesso em: out. 2016.
- SCOTT-KEMMIS, D. **How about those METS?** Leveraging Australia's mining equipment, technology and services sector. [S.l.: s.n.], 2013.
- SEGAL, N. **The South African mining industry in the 21st century**. 2000. Disponível em: <<http://www.bullion.org.za/Level3/Publications/Segal.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.
- UNITED NATIONS (UN). Department of Economic and Social Affairs. **International standard industrial classification of all economic activities**. New York, 2008.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Extractive industries: optimizing value retention in host countries**. Geneva, 2012. Disponível em: <http://unctad.xiii.org/en/SessionDocument/suc2012d1_en.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2016.
- URZÚA, O. **The emergence and development of knowledge intensive mining service suppliers in the late 20th century**. 2013. Thesis (Doctorate) – University of Sussex, United Kingdom, 2013.
- VALE. **Relatório anual de 2014**. 2015. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/investors/information-market/annualreports/20f/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 24 mar. 2016.