Acumulação de Capacidades Tecnológicas, Inovação e Competitividade Industrial: Alguns Resultados para a Indústria Brasileira de Mineração¹

Paulo N. Figueiredo, Mauricio C. Pinheiro, Rubia Wegner, Felipe Queiroz, Bernardo Cabral e Fernanda Perin

1 Introdução

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 (ACT) 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 indústria².

Nesse sentido, este documento é parte integrante de um projeto de pesquisa mais amplo sobre o tema da acumulação de capacidades tecnológicas e competitividade industrial no Brasil, que examinou alguns setores industriais, entre eles o de mineração³.

1.1 Por que a indústria de mineração?

A mineração tem sido considerada uma indústria em que existem baixas oportunidades para inovação e aprendizagem, e na qual ocorrem inovações com baixa intensidade tecnológica.

¹ O estudo mais amplo que deu origem a este documento se encontra em Figueiredo et al. (2016).

² Ver Pinheiro et al. (2015) e Pinheiro e Figueiredo (2015).

³ 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. O conteúdo deste documento reflete as ideias e perspectivas dos autores e não necessariamente as da Fundação Getúlio Vargas ou de quaisquer outras instituições.

Além disso, a mineração tem sido tratada como incapaz de promover interações com os demais setores da economia (enclave). Apesar dessa visão estereotipada, 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 com poder de mover essa fronteira tecnológica internacional, promovendo a competitividade desse setor da economia nacional.

Nos anos recentes, a organização da produção mineral experimentou rápida transformação. Atividades que até a década de 1980 eram realizadas dentro das mineradoras passaram, a partir da década de 1990, a ser feitas por fornecedores independentes e especializados, bem como intensivos em tecnologia. Em países como Chile, Austrália e África do Sul, há políticas de estímulo à emergência e ao desenvolvimento de fornecedores conhecidos como *Knowledge-Intensive Mining Services* (KIMS), e que atuam em todas as etapas da mineração, incluindo serviços, tecnologia e equipamento⁴. Os objetivos de tais políticas, tanto na forma cooperativa quanto promovidas por governos, são acumular capacidades tecnológicas ao longo da cadeia de valor e ampliar competências e interações interorganizacionais de aprendizagem, visando ao aumento da competitividade da mineração.

No Brasil, as grandes empresas de mineração surgiram no início da década de 1940 com a Vale do Rio Doce. A contribuição da indústria de mineração ao PIB brasileiro cresceu de 1% da década de 1980 para 4,1% em 2013. A produção mineral aumentou de US\$ 5 bilhões em 2001 para US\$ 44 bilhões em 2013. Em 2013, 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*⁵. Em 2013, os bens minerais tiveram participação no PIB do Brasil de 4%, e de 5% no PIB global. Os dados do IBGE mostram que a variação do nível de atividade da indústria extrativa mineral tem sido acompanhada de alteração na composição da demanda, isto é, o setor externo vem apresentando maior dinamismo em detrimento do mercado doméstico. Na economia brasileira, em 2013, entre os setores consumidores de bens minerais, houve desempenho negativo na siderurgia (-5,3%) e na metalurgia (-5,0%). Entre as atividades que melhoraram o seu desempenho, estão produtos de ferro-gusa e de ferroliga (4,5%).

A indústria brasileira de mineração tem enfrentado grandes desafios para manter níveis competitivos de custo e de produtividade diante das mudanças no ritmo da demanda por minérios, da variação dos preços e das complexidades da mineralogia. Buscar o aprimoramento tecnológico é fundamental para sustentar um processo de crescimento no setor 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.

⁴ Urzúa (2013).

⁵ Brasil (2014).

1.2 A relevância de uma pesquisa criativa

Durante os últimos anos, têm surgido diversos estudos que objetivam examinar a relação entre inovação e competitividade industrial no Brasil, muitos deles com dados em nível da empresa. Não obstante os méritos desses trabalhos, temos argumentado em publicações anteriores⁶ que eles possuem algumas limitações: (i) boa parte utiliza *proxies* ou medidas inadequadas para examinar atividades inovadoras, como é o caso de indicadores de gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), número de laboratórios e estatísticas de patentes, que representam apenas uma pequena fração (quando muito) das reais atividades inovadoras; (ii) normalmente os estudos tendem a focar a empresa individual como unidade de observação e deixam de captar nuances internas do processo de ACT – por exemplo, uma empresa pode inovar de maneiras diferentes em áreas tecnológicas distintas; e (iii) raramente essas pesquisas combinam evidências quantitativas com evidências qualitativas, o que dificulta o entendimento do intrincado processo de desenvolvimento tecnológico dentro das empresas.

2 Método

2.1 Questões e foco da pesquisa

Com esse pano de fundo, a nossa pesquisa 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 visa explicar *como* esse processo de ACT tem influenciado o alcance e o fortalecimento (ou enfraquecimento) da competitividade industrial.

A investigação desta pesquisa abrange não apenas a ACT em si, mas também os 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 ACT e competitividade industrial no Brasil relaciona-se à situação preocupante na qual esta última se encontra e também às limitações dos estudos e abordagens existentes.

2.2 Estratégia de pesquisa

A implementação da metodologia envolveu um exame intra e intersetorial e em nível de empresas, com cobertura ao longo de quatro períodos distintos de tempo (triênios entre 2003 e 2014). Essa cobertura permitiu captar nuances e mudanças ao longo do tempo nas questões investigadas, ou seja, a dinâmica do processo de ACT e seu impacto na competitividade industrial.

⁶ Ver Figueiredo e Pinheiro (2016).

Como ressaltado com detalhes em publicações anteriores⁷, a estratégia de pesquisa seguiu as três etapas do modelo analítico representado na Figura 1. Na etapa A, identificou-se ao longo do tempo padrões de ACT de empresas da indústria de mineração. Na etapa B, analisou-se o que influenciou os níveis e padrões de ACT por meio da incidência de diferentes mecanismos de aprendizagem implementados pelas empresas. Na etapa C, testou-se quais foram os resultados gerados pela ACT em termos de impactos sobre o desempenho competitivo das empresas (produtividade do trabalho e inserção internacional).

Essas três etapas buscaram analisar não apenas diferenças e semelhanças entre as empresas pesquisadas de mineração, como também entre áreas tecnológicas distintas dentro das próprias empresas. Para esta pesquisa são analisadas as áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral.

Figura 1. Modelo analítico da pesquisa

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

A análise da pesquisa se baseou em observações quantitativas e relações estatísticas entre as três etapas do modelo analítico da Figura 1, e também em evidências qualitativas com o intuito de enriquecer a interpretação das relações. A Figura 2 apresenta um exemplo ilustrativo da escala utilizada nesta pesquisa para examinar a ACT em níveis de empresas. Essa escala faz uma distinção fundamental entre capacidades tecnológicas de produção (para operar tecnologias e sistemas de produção existentes) e capacidades tecnológicas inovadoras (para mudar e/ou criar tecnologias e sistemas de produção). As capacidades tecnológicas inovadoras são, por sua vez, desagregadas em quatro níveis: do básico à liderança mundial⁸. Essa escala é aplicada para o exame da acumulação de capacidades para áreas tecnológicas específicas da indústria de mineração: pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral.

⁷ Ver Figueiredo e Pinheiro (2016).

⁸ Ibid.

Figura 2. Escala de níveis de capacidades tecnológicas

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

2.3 Coleta de dados

A pesquisa foi baseada em evidências empíricas primárias colhidas diretamente da indústria de mineração por meio da aplicação de questionários combinados com trabalhos de campo. Dez empresas produtoras da indústria de mineração no Brasil foram selecionadas para responder aos questionários de pesquisa. Cinco representantes desse conjunto de empresas também foram entrevistados. As empresas da amostra estão entre as 50 maiores empresas de mineração do país, em diferentes minérios, correspondendo a praticamente 70% do volume produzido em 2014. Entre as 10 empresas da amostra, predomina carteira de produtos de minério de ferro, mas há outros minérios, como níquel e zinco.

3 Principais Resultados

3.1 Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas

Foram identificadas pela pesquisa significativas diferenças entre as empresas da indústria de mineração no Brasil. Mais especificamente, foram encontradas diferenças não só entre as empresas produtoras, mas também em relação às áreas tecnológicas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral. A seguir, as diferenças das empresas produtoras por áreas tecnológicas serão exploradas.

Padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção

A Figura 3 mostra que, em pesquisa e prospecção, de 2003-2005 a 2012-2014, as empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas que puderam ser agrupadas em quatro padrões: (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 Prospec-

ção: 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; e (iv) Padrão 4 Pesquisa e Prospecção: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, representando 20% das empresas da amostra da pesquisa (somatório de 10% de empresas sempre em nível avançado de capacidade e 10% sempre em nível de capacidade de liderança mundial). 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.

Figura 3. Padrões de capacidades tecnológicas em pesquisa e prospecção das empresas estudadas (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

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, ao longo dos quatro triênios observados, acumularam capacidades tecnológicas inovadoras básicas, partindo da capacidade tecnológica de produção. As empresas desse padrão demonstraram inicialmente 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 e conteúdo programático de métodos de pesquisa e prospecção mineral; e em equipamentos e ferramentas de pesquisa e prospecção mineral.

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 na capacidade tecnológica inovadora intermediária. De maneira geral, essas empresas são capazes de fazer melhorias relativamente complexas em diferentes tecnologias, 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 (ex.: sondas).

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

O Padrão 3 Pesquisa e Prospecção é composto por empresas que acumularam, ao longo dos quatro triênios observados, capacidades tecnológicas inovadoras avançadas, partindo da capacidade tecnológica intermediária. 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 análises 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 é composto por empresas que se mantiveram capazes de realizar atividades compatíveis com níveis de capacidade tecnológica avançada e de liderança mundial. O Padrão 4 contém duas empresas, cada uma delas permanecendo por todo o período da amostra com o mesmo nível de capacidade tecnológica inovadora. Uma das empresas saiu, em 2006-2008, de capacidade inovadora intermediária e chegou ao nível de capacidade inovadora avançada, aí se mantendo nos últimos dois triênios. A outra se manteve na fronteira tecnológica mundial, ao longo dos quatro triênios considerados nesta pesquisa, tendo acumulado capacidade inovadora de liderança mundial. Entre outras atividades, essa empresa foi capaz de realizar P&D próximo 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.

Padrões de ACT na área de lavra

A Figura 4 evidencia que, na área de lavra, de 2003-2005 a 2012-2014, as empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas que puderam ser agrupadas em três padrões: (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; e (iii) Padrão 3 Lavra: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, representando 20% das empresas da amostra da pesquisa (somatório de 10% de empresas sempre em nível de capacidade avançado e 10% sempre em nível de capacidade de liderança mundial).

Figura 4. Padrões de acumulação de capacidades em lavra das empresas estudadas (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Padrão 1 Lavra: permanência em capacidade inovadora básica

O Padrão 1 Lavra é composto por empresas que permaneceram durante todo o período de análise da pesquisa estagnadas com capacidade tecnológica inovadora básica. De maneira geral, essas empresas são capazes de fazer pequenas melhorias em diferentes tecnologias, como equipamentos de mineração (escavadeiras e caminhões), processos associados às 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 é composto por empresas que permaneceram durante todo o período de análise da pesquisa estagnadas com capacidade tecnológica inovadora intermediária. Essas empresas são 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 (ex.: escavadeiras, caminhões etc.) e melhoramento na fragmentação de rochas. A ausência de departamentos de P&D ou de engenharia dedicados a processos contínuos de melhoria, no entanto, impediu que essas empresas acumulassem nível de capacidade inovadora avançada.

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

O Padrão 3 Lavra é composto por duas empresas que apresentaram diferentes níveis de capacidade tecnológica inovadora na área de lavra. Uma das empresas se manteve por todo o período analisado com nível de capacidade inovadora avançada, enquanto a outra se manteve no nível de capacidade inovadora de liderança mundial. A opção por agrupar as duas empresas num só padrão foi feita apenas para fins de manipulação dos dados estatísticos, sem prejuízo da análise individual. As duas empresas detêm o maior nível de capacidade tecnológica nessa área, mas apresentam distinções relevantes. Embora ambas apresentem departamentos de P&D e engenharia dedicados a tecnologias de lavra, a empresa em nível de capacidade inovadora avançada realiza iniciativas mais aplicadas, enquanto a empresa com capacidade inovadora de liderança mundial apresenta iniciativas para criação de tecnologias novas para o mundo, e que abrem oportunidades para entrada em novos negócios.

Padrões de ACT na área de processamento mineral

A Figura 5 indica que, na área de processamento mineral, de 2003-2005 a 2012-2014, as empresas produtoras acumularam capacidades tecnológicas que puderam ser agrupadas em três padrões: (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; e (iii) Padrão 3 Processamento Mineral: permanência em capacidade inovadora avançada e de liderança mundial, representando 20% das empresas da amostra (soma-tório de 10% de empresas sempre em nível de capacidade avançada e 10% sempre em nível de capacidade de liderança mundial).

Figura 5. Padrões de acumulação de capacidades tecnológicas em processamento mineral (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

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

O Padrão 1 Processamento Mineral engloba o conjunto de empresas que, entre 2003 e 2014, acumularam capacidades tecnológicas inovadoras, partindo da capacidade inovadora básica. São empresas que evoluíram da capacidade de realizar somente pequenas melhorias em tecnologias existentes para a de realizar aprimoramentos mais complexos 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 reúso 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 engloba empresas que alcançaram nível de capacidade inovadora avançada, partindo de um nível de capacidade inovadora intermediária. São empresas que 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 realizadas em tecnologias já existentes, essas empresas 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 é composto por empresas que se mantiveram no nível de capacidade tecnológica avançada e de liderança mundial por todo o período analisado na pesquisa. Embora sejam as duas empresas com maiores níveis de capacidade tecnológica da amostra e estejam agrupadas em um mesmo padrão, estas são distintas. Ambas possuem departamentos de P&D e engenharia dedicados a tecnologias de processamento mineral, mas a empresa em nível de capacidade inovadora avançada apresenta iniciativas mais aplicadas, enquanto a empresa em nível de liderança mundial revela iniciativas para criação de tecnologias novas para o mundo, e que abrem oportunidades para entrada em novos negócios. Algumas das atividades no nível de liderança mundial na área de processamento mineral são nanotecnologia, processamento mineral sem uso de água e desenvolvimento de novas rotas de processamento mineral (ex.: bioxiliação e lixiviação *in situ*).

3.2 O que explica as diferenças entre os padrões de ACT?

O papel dos mecanismos de aprendizagem

Os mecanismos de aprendizagem referem-se aos esforços e investimentos feitos pelas empresas para adquirir e assimilar conhecimento tecnológico, acumulando capacidades tecnológicas tanto para atividades de produção quanto para atividades inovadoras. Nesse sentido, a seguinte pergunta se impõe: empresas que usam mais intensamente determinados mecanismos acumulam mais capacidades tecnológicas?

O Quadro 1 mostra os tipos de mecanismo de aprendizagem examinados nesta pesquisa. Os mecanismos intraorganizacionais representam a geração interna de conhecimento por parte da empresa, enquanto os mecanismos interorganizacionais representam os fluxos e as ligações de saber tecnológico entre empresas e demais organizações. Tanto os mecanismos intra quanto os interorganizacionais podem também gerar vários tipos de resultado.

Quadro 1. Mecanismos intra e interorganizacionais de aprendizagem

Mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais	Mecanismos de aprendizagem interorganizacionais		Resultados
	Mecanismos interorganizacionais	Parceiros	
1. Criação interna de conhecimento	1. Aprendizado com usuários líderes	1. Universidades e institutos de pesquisa locais	1. Informações técnicas sobre processos existentes
	2. Pesquisa e desenvolvimento (P&D)		2. Informações técnicas sobre produtos existentes
2. Compartilhamento interno de conhecimento	3. Contratação de profissionais	2. Universidades e institutos de pesquisa internacionais	3. Melhorias e adaptações em processos existentes
	4. Treinamento técnico com parceiros		4. Melhorias e adaptações em produtos existentes
3. Integração interna de conhecimento	5. Treinamento em programas educacionais formais	3. Fornecedores	5. Criação de novos processos
	6. Assistência técnica	4. Firms competidoras	6. Criação de novos produtos
4. Codificação de conhecimento	7. Aquisição de conhecimento codificado	5. Consultorias	7. Criação de novos conhecimentos científicos
		6. Clientes	8. Patentes

Fonte: Os autores (2016).

Para examinarmos o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT, elaboramos um índice de incidência de mecanismos de aprendizagem intra e interorganizacionais⁹. Após a construção desse índice, testou-se estatisticamente e com evidências qualitativas a relação entre mecanismos e padrões de ACT. As diferenças entre as empresas produtoras da indústria de mineração no Brasil, em termos de padrões de acumulação de capacidades tecnológicas, podem ser explicadas pelas diferentes fontes de mecanismos de aprendizagem intra e interorganizacionais que foram utilizadas pelas empresas da amostra desta pesquisa.

Foram encontradas incidências distintas de tipos de mecanismo de aprendizagem, tipos de parceria envolvidos nesses mecanismos e tipos de resultado gerados entre as empresas produtoras da amostra da pesquisa. As empresas da indústria de mineração (amostra da pesquisa) usaram com maior frequência média o mecanismo “criação interna de conhecimento”. De modo geral, todos os mecanismos internos apresentaram frequência de uso considerável (Figura 6). O mecanismo “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 preços dos minérios, que fomentou toda a cadeia produtiva da mineração. De modo geral, os mecanismos

⁹ A incidência pela qual o i -ésimo mecanismo de aprendizagem é utilizado por uma empresa é definido por: $y_{it} = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K y_{ijkt}}{JK}$. Onde i indica o tipo de mecanismos intra ou interorganizacionais; 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 i , 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. Para mecanismos intraorganizacionais o valor de k é zero e de K igual a 1.

externos foram usados com frequência média consideravelmente inferior àquela dos mecanismos internos (Figura 7).

Em geral, as empresas produtoras da indústria de mineração recorreram aos mecanismos intraorganizacionais com frequência média maior, comparativamente aos mecanismos interorganizacionais, no período de 2003 a 2014.

Figura 6. Evolução da incidência dos mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Figura 7. Evolução da incidência dos mecanismos de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Figura 8. Evolução da incidência dos parceiros de aprendizagem interorganizacionais, valores médios em % (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

A Figura 8 indica que empresas fornecedoras ainda são menos procuradas 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). No entanto, no âmbito da desverticalização global da indústria de mineração, é importante notar a combinação entre desintegração vertical e crescimento acelerado dos KIMS e das vendas de serviços especializados. Países como Chile, Austrália e África do Sul vivenciaram essa tendência. Em geral, os fornecedores KIMS nesses países desenvolveram suas capacidades tecnológicas e gerenciais em suas nações de origem (Austrália, África do Sul, EUA, Canadá), geralmente em parceria com grandes empresas produtoras da indústria de mineração. Essas empresas serviram como incubadoras para a desverticalização por meio dos fornecedores KIMS e sua posterior internacionalização, isto é, a expansão de suas atividades para terceiros países¹⁰. No Chile, contudo, os fornecedores KIMS, apesar de terem acumulado elevadas capacidades tecnológicas, não atingiram padrões internacionais de competitividade¹¹. 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, o quadro é ainda mais incipiente, sendo que os poucos exemplos nesse sentido partem de grandes empresas mineradoras em parcerias com subsidiárias e fornecedores locais¹².

Área de pesquisa e prospecção: o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT

Na área de pesquisa e prospecção, foi possível distinguir níveis de ACT pelas diferenças entre as empresas produtoras quanto à frequência média de uso de dois dos mecanismos intraorganizacionais: criação interna de conhecimento e integração interna de conhecimento. Os mecanismos de compartilhamento interno de conhecimento e codificação de conhecimento não se mostraram significativos para explicar os padrões de ACT encontrados pela pesquisa (Figura

¹⁰ Urzúa (2013).

¹¹ Ibid..

¹² Figueiredo e Piana (2016).

9). Em relação aos resultados do uso dos mecanismos intraorganizacionais, como alguns deles foram utilizados de forma muito parecida pelas empresas de diferentes padrões, não foram capazes de explicar esses padrões de ACT. Nota-se, no entanto, que os resultados encontrados para as empresas do Padrão 4 Pesquisa e Padrão 3 Pesquisa são similares e distintos dos encontrados para o Padrão 2 Pesquisa¹³ (Figura 10).

Figura 9. Diferenças entre os padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção na frequência média de uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 10. Diferenças entre os padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção na frequência média de resultados de mecanismos intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

¹³ Deve-se mencionar que as empresas do Padrão 1 Pesquisa e Prospecção não responderam ao questionário de mecanismos intraorganizacionais e, por isso, seus resultados não foram computados nesta seção.

Em relação aos mecanismos interorganizacionais, pode-se dizer que estiveram amplamente correlacionados com os resultados encontrados para os padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção. Os mecanismos mais utilizados foram assistência técnica e pesquisa e desenvolvimento (Figura 11), e os parceiros mais comuns foram universidades e institutos de pesquisa locais e consultorias (Figura 12). Para todos os mecanismos e parceiros, o Padrão 4 Pesquisa teve resultados muito superiores aos demais padrões, principalmente na geração de resultados com parcerias (Figura 13).

Figura 11. Diferenças entre os padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 12. Diferenças entre os padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção na frequência média de parceiros em mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 13. Diferenças entre os padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Área de lavra: o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT

De maneira distinta do que foi encontrado para a área de pesquisa e prospecção, na área de lavra os mecanismos intraorganizacionais e os resultados gerados a partir do seu uso não se mostraram relacionados com as diferenças de padrões de ACT. Esse resultado deriva principalmente do fato de que os esforços individuais das firmas de todos os padrões são parecidos nessa área.

Os resultados para os mecanismos interorganizacionais na lavra, no entanto, são distintos – e estão relacionados com a ACT. De maneira muito semelhante ao encontrado na área de pesquisa e prospecção, a incidência média de uso e resultado das parcerias é maior para as empresas com maior nível de capacidade tecnológica (nesse caso, as empresas no Padrão 3 Lavra) (Figura 16). Novamente, os parceiros mais comuns são universidades e institutos de pesquisa locais e consultorias (Figura 14), e os mecanismos mais frequentes são pesquisa e desenvolvimento e assistência técnica (na ordem distinta, no entanto) (Figura 15).

Figura 14. Diferenças entre os padrões de ACT na área de lavra na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 15. Diferenças entre os padrões de ACT na área de lavra na frequência média de parceiros em mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 16. Diferenças entre os padrões de ACT na área de lavra na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Área processamento mineral: o papel dos mecanismos de aprendizagem na ACT

Na área de processamento mineral, os mecanismos intraorganizacionais que se mostraram correlacionados com ACT foram criação interna de conhecimento e integração interna de conhecimento – os mesmos relatados para a área de pesquisa e prospecção (Figura 17). Para a área de processamento mineral, os resultados intraorganizacionais mais relacionados com ACT foram os de maior complexidade: criação de novos processos, produtos, conhecimentos científicos e patentes. Para algumas dessas categorias, como criação de conhecimentos científicos, os resultados encontrados para todos os padrões são muito semelhantes. Para patentes, o destaque fica para as empresas no Padrão 3 Processamento Mineral, enquanto na criação de novos processos produtivos o destaque fica com as empresas do Padrão 2 Processamento Mineral (Figura 18).

Figura 17. Diferenças entre os padrões de ACT na área processamento mineral na frequência média de uso de mecanismos de aprendizagem intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 18. Diferenças entre os padrões de ACT na área processamento mineral na frequência média de resultados de mecanismos intraorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Para os mecanismos interorganizacionais na área de processamento mineral, os resultados também estão correlacionados com ACT. Assim como para as outras áreas, os resultados demonstram a importância da realização de assistência técnica e pesquisa e desenvolvimento com parceiros (Figura 19). Os parceiros mais comuns são universidades e institutos de pesquisa locais e consultorias (Figura 20). Em relação aos resultados encontrados, mais uma vez as empresas de maior nível de capacidade têm desempenho muito superior às demais.

Figura 19. Diferenças entre os padrões de ACT na área processamento mineral na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 20. Diferenças entre os padrões de ACT na área processamento mineral na frequência média de parceiros em mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Figura 21. Diferenças entre os padrões de ACT na área processamento mineral na frequência média de resultados de mecanismos interorganizacionais

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Nota-se que, para todas as áreas, a realização de parcerias (os chamados mecanismos interorganizacionais) tem destaque no acúmulo de capacidade tecnológica das empresas brasileiras de mineração. Também de forma geral, percebeu-se que as empresas nos padrões com maior nível de capacidade tecnológica (Padrão 4 Pesquisa, Padrão 3 Lavra e Padrão 3 Processamento Mineral) têm frequência de realização de parcerias e obtenção de resultados muito superiores às demais.

3.3 Qual é o impacto da ACT sobre o desempenho competitivo?

A análise do impacto da ACT sobre o desempenho competitivo nesta pesquisa também foi realizada por meio de testes estatísticos para as áreas de pesquisa e prospecção, lavra e processamento mineral. Duas variáveis de desempenho competitivo foram analisadas: produtividade do trabalho (receita bruta de vendas dividida pelo número de funcionários) e inserção internacional (proporção das receitas obtidas com exportação). Deve-se chamar atenção que, nesse caso, a divisão por áreas apenas diferencia conjuntos distintos de empresas. Não há como distinguir nos testes relações específicas de produtividade ou exportação por área tecnológica, já que esses dados se referem à empresa como um todo e não têm a área como unidade de análise.

Foi encontrado pela pesquisa que os distintos padrões de acumulação de capacidades tecnológicas nas três áreas explicaram os diferentes desempenhos competitivos das empresas da indústria de mineração no Brasil no período recente. Na área pesquisa e prospecção, tanto produtividade do trabalho quanto proporção das receitas obtidas com exportação (doravante, inserção externa) 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

– do Padrão 3 Pesquisa e do Padrão 4 Pesquisa – obtiveram desempenho comparativamente maior que o das empresas de padrão inferior. Por outro lado, em termos de inserção externa, evoluir até capacidade inovadora avançada e de liderança mundial não levou as empresas do Padrão 4 Pesquisa a obterem proporção maior de receitas com exportação do que as empresas do Padrão 3 Pesquisa, que, na verdade, lideraram nesse quesito (ver Figura 22).

Figura 22. Diferenças entre os padrões de ACT na área de pesquisa e prospecção na frequência média das variáveis de desempenho competitivo, valores médios (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Nesse caso, todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Na área de lavra, todas as variáveis de desempenho consideradas foram estatisticamente significativas, apresentando relação com o desempenho das empresas. As empresas do Padrão 3 Lavra obtiveram produtividade consideravelmente superior à das empresas do Padrão 1 Lavra. Na inserção externa, entretanto, as empresas de todos os Padrões Lavra foram classificadas no mesmo grupo, de “média baixa”. É possível que a obtenção de uma proporção maior de receitas com exportação, na indústria mineradora, esteja mais relacionada com outros fatores, como a trajetória de preços internacionais dos minérios e o 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 (ver Figura 23).

Figura 23. Diferenças entre os padrões de ACT na área de lavra na frequência média das variáveis de desempenho competitivo, valores médios (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

Em processamento mineral, da mesma forma que nas outras duas áreas tecnológicas, todas as variáveis de desempenho foram estatisticamente significativas, isto é, puderam ser explicadas pela acumulação de capacidades tecnológicas pelas empresas produtoras. Ainda assim, as empresas de todos os padrões se classificaram, quanto à frequência média da produtividade do trabalho, no mesmo grupo “média baixa”. É importante destacar que o valor da produtividade do trabalho das empresas produtoras, na área de processamento mineral, é o maior entre as áreas tecnológicas. Quanto à inserção externa, as empresas do Padrão 2 Processamento Mineral apresentaram elevada proporção de receitas com exportação, consideravelmente superior àquela revelada pelas empresas do Padrão 1 Processamento Mineral e do Padrão 3 Processamento Mineral, que se classificaram no grupo “média baixa”. As empresas do Padrão 2 Processamento Mineral parecem ter se dedicado particularmente a esforços no processamento para melhorar sua inserção externa (ver Figura 24).

Figura 24. Diferenças entre os padrões de ACT na área de lavra na frequência média das variáveis de desempenho competitivo, valores médios (2003-2014)

Fonte: Os autores (2016).

Nota: Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) com distribuição F para o teste de diferenças entre os padrões e suas frequências médias das variáveis de desempenho. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas ao menos a 1%. Os valores representam o teste de Duncan, no qual cada par de padrões é comparado separadamente.

4 Reflexões e Recomendações para Políticas Públicas e Estratégias Empresariais

Verifica-se que algumas ações de políticas públicas ou empresariais não geraram os efeitos desejados, por incorporarem conceitos estreitos ou limitados relativos à tecnologia e inovação. Sendo assim, torna-se necessário levar em consideração os seguintes pontos.

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. Equipamentos tecnologicamente avançados exigem conhecimentos de capital humano qualificado e especializado para serem operados. Exigem também um sistema organizacional capaz de integrar as diversas especialidades profissionais e as instalações físicas num uso eficiente da tecnologia e sua posterior adaptação e aprimoramento.
- Assim como a tecnologia, a inovação também 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 varia desde a imitação duplicativa, em vários níveis de modificações com base de engenharia (como é típico das indústrias alemãs de máquinas, líderes globais em diversos segmentos), até os mais avançados níveis de P&D. A visão limitada de inovação, 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 compreendermos a dinâmica do processo de inovação, particularmente no contexto de economias em desenvolvimento, como a do Brasil. Nesse caso, a maioria das empresas ainda se encontra no processo de evoluir de níveis de capacidade de produção para níveis progressivos de capacidades tecnológicas inovadoras, especialmente de níveis básicos para superiores.

Financiamento público para inovação

- Políticas públicas de financiamento para a produção são diferentes de políticas públicas de financiamento para inovação. A oferta de linhas de crédito para o investimento produtivo, principalmente do BNDES, não se 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 créditos para inovação disponíveis processos mais ágeis e menos burocráticos. Devido às exigências

financeiras, esses recursos estão disponíveis apenas para empresas de grande porte e acessá-los exige procedimentos com detalhes técnicos que muitas vezes inibem a sua procura. Por outro lado, faltam às empresas conhecimento e organização na captação de recursos financeiros para inovação. Nesse aspecto, parece essencial uma maior simplificação e divulgação do acesso ao financiamento público existente destinado à inovação.

- O Fundo Tecnológico (Funtec) estabeleceu o programa do mineral estratégico, mas há apenas uma planta, pertencente à Vale, com lavra nas áreas estratégicas definidas pelo programa. 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 autores, 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. Não há uma gestão do conhecimento em órgãos governamentais que financiam o setor.
- A medida de política mais recente ocorreu em 2011, quando o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou o Plano Nacional de Mineração (PNM, 2030), cujo objetivo principal é conduzir a elaboração de políticas de médio e de longo prazos para o setor, de modo a torná-lo um “alicerce para o desenvolvimento sustentável” do Brasil.
- Com a elevação do preço internacionais das *commodities* minerais, houve aumento de incentivos para novos empreendimentos em exploração mineral, bem como a tentativa de ampliar o percentual arrecadado com a atividade. Dentro do PNM 30, um novo modelo regulatório (PL 5.807/2013) prevê, entre outras medidas, a instalação do Conselho Nacional de Política Mineral – órgão consultivo – e da Agência Nacional Reguladora, bem como a reestruturação da CPRM. No entanto, 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.
- Adicionalmente, ações do PNM 30 como o aumento da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) não resultaram em efeitos como a reestruturação da cadeia produtiva e o consequente incentivo aos fornecedores locais.
- Na avaliação de representantes de empresas produtoras, persistem a indefinição dos parâmetros regulatórios e a insuficiência de conhecimento e ações para dar base a uma política industrial de mineração no país.
- Ainda em relação a ações do PNM 30, como o aumento da CFEM, avaliações de especialistas externadas no *workshop* da pesquisa dão conta de que esses tributos não são aplicados no setor, muito menos em pesquisa e inovação. Na opinião dos especialistas, uma parcela maior desses recursos deveria ser aplicada no Centro de Tecnologia Mine-

ral (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 também ao ponto ótimo da produção, o que acabou diminuindo a extração de minério.

- A indústria de mineração carece de uma política que pense a atividade em todas as suas áreas tecnológicas. O Brasil não tem acompanhado o movimento de países como Chile e África do Sul, cujos governos têm formulado políticas para mineração que vão desde o incentivo à inovação até o fortalecimento da cadeia de fornecedores locais intensivos em conhecimento.

Perspectivas sobre capacidades tecnológicas de produção e inovadoras

- A capacidade tecnológica é um conjunto ou estoque de recursos com relação a conhecimento que permite às empresas realizarem 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 de uma 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.
- As capacidades tecnológicas são elementos importantes para compreender o desempenho competitivo de uma empresa ou indústria. Maior capacidade tecnológica de produção pode permitir ganhos no desempenho técnico de uma empresa, enquanto maior capacidade tecnológica inovadora pode permitir a criação de tecnologias que são mais difíceis de serem copiadas ou mesmo criar oportunidades de entrada em novos segmentos de mercado. Assim, ambos os tipos de capacidade tecnológica devem ser nutridos no nível da empresa, embora requeiram estratégias diferenciadas.
- Na avaliação de representantes de empresas produtoras, as mineradoras pequenas são responsáveis pela “má fama” da mineração, isto é, pela noção de que a mineração é atrasada, uma atividade do 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.

Empresas na 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 diferentes níveis de capacidade de produção. Isso sugere que recomendações de estratégias empresariais e de políticas públicas comuns para toda a indústria de mineração podem passar por cima da complexidade e da perspectiva ampla de inovação e dos diferentes estágios de acumulação de capacidades tecnológicas. Da mesma forma, gestores de empresas produtoras devem observar planos de estratégias distintas de ACT para diferentes áreas.
- Especificamente quanto à elaboração de políticas, é necessário que os gestores aprofundem seu conhecimento e sua perspectiva sobre a mineração, para entender que essa indústria oferece oportunidades para aprendizado e inovação. A elaboração de um só grande plano de políticas, que trate a mineração como um todo, pode deixar de lado as reais demandas das empresas produtoras e de suas fornecedoras em termos de oportunidades de aprendizagem.
- Na indústria de mineração, a área de lavra se tornou objeto de investimentos em inovação só mais recentemente, por causa dos elevados custos e dos menores retornos. 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 oferecidas pela indústria de recursos naturais. Ela deve ser conduzida de modo a identificar tecnologias emergentes (e.g. biotecnologia, nanotecnologia, *big data*) que possam adicionar valor à base de recursos naturais já existente. Isto é, a diversificação pode ocorrer para indústrias beneficiadoras e distribuição – os chamados *forward linkages* –; para produção de insumos, bens de capital e serviços gerenciais, ou *backward linkages*; e, partindo da oferta de insumos originalmente destinados a setores de recursos naturais, o desenvolvimento de aplicações diferenciadas desses insumos, horizontal/lateral *linkages*.
- Na indústria de mineração, algumas empresas passaram por tais encadeamentos de diversificação. Na área 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 nova linha de negócios. Empresas relataram parcerias sistemáticas com universidades e centros 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 avanço no aproveitamento de rejeitos.

- A diversificação representa uma estratégia de manutenção de competitividade diante da oscilação dos preços para as empresas mineradoras. Nesse sentido, a entrada em novas rotas vem sendo um dos aspectos relevantes do setor, ocorrendo a montante e a jusante da cadeia.
- A questão ambiental vem pautando as decisões das empresas produtoras sobre diversificação da produção, mais especificamente sobre o tratamento de rejeitos na área de processamento mineral. O aproveitamento comercial de resíduos tem sido crescente e se tornou uma preocupação cada vez maior nas empresas. O uso mais eficiente da água nas atividades da área de processamento mineral é crescentemente encarado como um desafio nesse setor, como destacado por diferentes gestores ao longo da pesquisa. O tratamento de rejeitos também aparece como uma oportunidade de diversificação na indústria de mineração.
- A indústria de mineração pode ser relevante fator positivo no desenvolvimento econômico de um país, por meio de interações empresariais e institucionais ao longo da cadeia produtiva, como tem ocorrido no Peru¹⁴, na exploração de ouro em Gana¹⁵, na África do Sul¹⁶ e no Chile¹⁷. A desverticalização da mineração e a demanda local dos parceiros dessa indústria por conhecimento criativo podem impulsionar atividades de complexidade maior, e com custo reduzido, e atendendo às demandas ambientais. No Brasil, porém, não há uma política de fortalecimento de fornecedores locais intensivos em conhecimento (KIMS).

Inserção competitiva internacional

- O principal desafio está em estruturar condições de competitividade não dependentes do ciclo de preços das *commodities* minerais, o que requer não apenas a 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

- A nossa pesquisa corrobora a ideia de que se foi o tempo em que as empresas eram autossuficientes em capacidades tecnológicas e realizavam atividades inovadoras de forma individual. Constatamos 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 capacidades tecnológicas têm

¹⁴ Lorentzen (2008).

¹⁵ Bloch e Owusu (2012).

¹⁶ Lydall (2009).

¹⁷ Lagos e Blanco (2010).

sido mais proativas no estabelecimento de vários arranjos colaborativos com os diferentes 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.

- Essa realidade 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 vindos de parceiros distintos, para a eficácia de seu processo de inovação.
- O desenvolvimento de redes de aprendizagem e o seu suporte às atividades inovadoras no âmbito da indústria de mineração no Brasil guarda relação direta com as interações que ocorrem entre subsidiárias e empresas produtoras nacionais, bem como empresas fornecedoras e universidades¹⁸.
- Demandas por arranjos mais bem definidos de propriedade intelectual, sobretudo por parte das empresas de maior capacidade inovadora, têm sido fomentadas pelo estabelecimento de parcerias. Isso se dá especialmente em relação a parcerias com universidades e instituições nacionais de pesquisa (como a Fapemig); ou no âmbito de grandes arranjos de pesquisa, como a AMIRA International. Dessa forma, as parcerias são tão mais possíveis quanto mais possíveis forem as definições de propriedade intelectual para a empresa produtora.
- As empresas produtoras que acumularam capacidades inovadoras avançada ou de liderança mundial realizaram esforços de aprendizado com diferentes parceiros ao longo de 2003-2014. 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.
- O aprendizado não ocorre de forma automática, mas requer esforços deliberados¹⁹. Esses esforços poderiam envolver a atuação de gestores de política pública em conjunto com grandes empresas mineradoras, no desenho de políticas de apoio para a implementação de redes de aprendizado mais sólidas. No Brasil, as políticas existentes (e.g. 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 esteja associada não apenas a P&D e que favoreça maior participação de pequenas empresas²⁰. Programas de desenvolvimento de fornecedores locais, implementados por empresas e governo em atuação conjunta, também são iniciativas promissoras.

¹⁸ Figueiredo e Piana (2016).

¹⁹ Dantas e Bell (2009).

²⁰ Figueiredo e Piana (2016).

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 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 lidar com novas capacidades inovadoras necessárias à 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 aprofundado pelas empresas, e capital humano para se engajar em atividades tecnológicas novas para a indústria e para o país, com a consequente diversificação industrial. Para isso, é preciso que as empresas, em sintonia com as universidades, se engajem na preparação desses diferentes tipos de capital humano.

Políticas públicas devem evitar o protecionismo exacerbado

- A busca de uma política pública de inovação que abranja a coordenação do Estado e das empresas, numa perspectiva colaborativa e sistêmica, não significa uma postura protecionista exacerbada. Uma política de inovação deve possuir uma coordenação estratégica do Estado ao mesmo tempo que estabelece um ambiente de pressão competitiva. Um ambiente econômico competitivo em termos sistêmicos é importante para o desenvolvimento de capacidades inovadoras, pois somente assim se estimula o esforço contínuo por parte das empresas para inovar. Restrições às importações, por exemplo, dificultam o próprio processo de aprendizagem e acumulação de capacidades tecnológicas dentro das empresas.

Políticas públicas devem ser avaliadas (e baseadas em evidências, dados da indústria)

- Apesar das dificuldades de se avaliar políticas relacionadas à inovação industrial, a avaliação constante de políticas públicas é essencial para o seu aperfeiçoamento. No Brasil, alguns estudos têm buscado a avaliação de políticas públicas, principalmente no que se refere à inovação. Recomenda-se que as avaliações sejam realizadas com base em evidências e que se atenham a um exame que considere as demandas e especificidades de cada indústria, tal como objetivamos realizar neste estudo. Essa prática, por sua vez, pode contribuir para disseminar a ideia do desenho e implementação de políticas públicas baseadas em evidências da indústria e de seu entorno, o que contribuiria para uma maior eficácia das políticas públicas e corporativas.

- Especificamente para indústrias intensivas em recursos naturais, as políticas públicas devem ser cada vez mais pensadas (por consequência, avaliadas) quanto às oportunidades que esses recursos de fato podem oferecer em termos de inovação, diversificação e crescimento industrial. É necessário, portanto, construir uma agenda de política que contemple aspectos como incentivos ao fortalecimento de esforços de inovação e formação de recursos humanos em indústrias intensivas em recursos naturais; e iniciativas para o desenvolvimento de capacidades tecnológicas inovadoras ao longo da cadeia de fornecedores, especialmente as médias e pequenas empresas locais em ascensão tecnológica e/ou com grande potencial inovador.

Referências

- 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.
- 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. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Sumário mineral**. Brasília, DF: DNPM, 2014.
- 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.
- FIGUEIREDO, P. N. **Technological learning and competitive performance**. Cheltenham: Edward Elgar, 2001.
- _____. **Gestão da inovação: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- FIGUEIREDO, P. N. et al. **Acumulação de capacidades tecnológicas e fortalecimento da capacidade industrial no Brasil: breve análise empírica da indústria de mineração**. Rio de Janeiro: EBAPE/FGV, 2016. (Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series). Disponível em: <www.ebape.fgv.br/tlii-wps>.
- FIGUEIREDO, P. N.; PINHEIRO, M. C. **Competitividade industrial brasileira e o papel das capacidades tecnológicas inovadoras: a necessidade de uma investigação criativa**. Rio de Janeiro: EBAPE/FGV, 2016. (Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series). Disponível em: <www.ebape.fgv.br/tlii-wps>. Acesso em: out. 2016.
- 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.
- LAGOS, G.; BLANCO, E. Mining and development in the region of Antofagasta. **Resource Policy**, v. 35, n. 4, p. 265-275, 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.
- LORENTZEN, J. **Resource Intensity knowledge and development: insights from Africa and South America**. Cape Town: HSRC Press, 2008.
- 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.

URZÚA, O. **The emergence and development of knowledge intensive mining service suppliers in the late 20th century**. Tese (Doutorado) – University of Sussex, UK, 2013.