



TEXTO PARA DISCUSSÃO N° 651

**MAPEAMENTO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO DA MINERAÇÃO DE MINÉRIO DE
FERRO EM MINAS GERAIS**

Ottavio Raul Domenico Riberti Carmignano

Rochel Montero Lago

Ulisses Pereira dos Santos

Março de 2023

Universidade Federal de Minas Gerais

Sandra Regina Goulart Almeida (Reitora)
Alessandro Fernandes Moreira (Vice-Reitor)

Faculdade de Ciências Econômicas

Kely César Martins de Paiva (Diretora)
Anderson Tadeu Marques Cavalcante (Vice-Diretor)

Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar)

Frederico Gonzaga Jayme Jr (Diretor)
Gustavo de Britto Rocha (Vice-Diretor)

Laura Rodríguez Wong (Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Demografia)

Rafael Saulo Marques Ribeiro (Coordenador do Programa de Pós-graduação em Economia)

Ana Paula de Andrade Verona (Chefe do Departamento de Demografia)

Ulisses Pereira dos Santos (Chefe do Departamento de Ciências Econômicas)

Editores da série de Textos para Discussão

Aline Souza Magalhães (Economia)
Adriana de Miranda-Ribeiro (Demografia)

Secretaria Geral do Cedeplar

Maristela Dória (Secretária-Geral)
Simone Basques Sette dos Reis (Editoração)

<http://www.cedeplar.ufmg.br>

Textos para Discussão

A série de Textos para Discussão divulga resultados preliminares de estudos desenvolvidos no âmbito do Cedeplar, com o objetivo de compartilhar ideias e obter comentários e críticas da comunidade científica antes de seu envio para publicação final. Os Textos para Discussão do Cedeplar começaram a ser publicados em 1974 e têm se destacado pela diversidade de temas e áreas de pesquisa.

Ficha catalográfica

C287m Carmignano, Ottavio Raul Domenico 2023 Riberti, 1972-.

Mapeamento do sistema de inovação da mineração de minério de ferro em Minas Gerais / Ottavio Raul Domenico Riberti Carmignano, Rochel Montero Lago, Ulisses Pereira dos Santos. - Belo Horizonte: UFMG / CEDEPLAR, 2023.

27 p. : il. - (Texto para discussão, 651)
Inclui bibliografia. ISSN 2318-2377

1. Ferro - Minas e mineração. 2. Siderurgia. I. Lago, Rochel Montero. II. Santos, Ulisses Pereira dos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título. V. Série.

CDD:338.47672

Elaborado por Fabiana Pereira dos Santos CRB-6/2530
Biblioteca da FACE/UFMG. – FPS/025/2023

As opiniões contidas nesta publicação são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo necessariamente o ponto de vista do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar), da Faculdade de Ciências Econômicas ou da Universidade Federal de Minas Gerais. É permitida a reprodução parcial deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções do texto completo ou para fins comerciais são expressamente proibidas.

Opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect views of the publishers. The reproduction of parts of this paper or data therein is allowed if properly cited. Commercial and full text reproductions are strictly forbidden.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL

**MAPEAMENTO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO DA MINERAÇÃO DE
MINÉRIO DE FERRO EM MINAS GERAIS**

Ottavio Raul Domenico Riberti Carmignano
Doutor em Inovação Tecnológica e Biofarmacêutica pela UFMG

Rochel Montero Lago
Departamento de Química - UFMG

Ulisses Pereira dos Santos
Cedeplar - UFMG

CEDEPLAR/FACE/UFMG
BELO HORIZONTE
2023

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. SISTEMAS DE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO	7
3. CONTEXTUALIZAÇÃO – BREVE HISTÓRICO DA ATIVIDADE MINERADORA E DA INOVAÇÃO EM MINAS GERAIS	8
4. MAPEAMENTO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO DA MINERAÇÃO DE FERRO EM MINAS GERAIS	10
4.1. Empresas mineradoras, fornecedoras de equipamentos e prestadoras de serviços.	11
4.2. Outras organizações que participam de forma decisiva do sistema de inovação relacionado à mineração de minério de ferro	14
5. A PRODUÇÃO DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO SISTEMA SETORIAL DE INOVAÇÃO DE MINERAÇÃO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO DE MINAS GERAIS	16
5.1. Análise de patentes	17
5.2. Nuvem de palavras	19
6. CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

ABSTRACT

How does innovation work in the iron ore innovation system in Minas Gerais? Authors like Pfitzner (2014) state that innovation occurs in the mining activity in production process, aiming to reduce costs or to meet socio-environment requirements; and that there is a culture resistance to innovation. Souza Júnior (2014) states that mining is not a relevant part of the dynamics of the regional innovation system in Minas Gerais; and Pietrobelli, Marin e Olivari (2018) said that leading mining companies tend to trust in traditional suppliers, and prefer then to new companies. This work intends to present an overview of the innovation system in the iron ore mining activity in Minas Gerais, to validate these hypotheses identified in the literature, identify their main characteristics, and present contributions to the literature in the conclusion.

Keywords: Mining, Steel Industry, Innovation System.

JEL classification: O30, O33, R58.

RESUMO

Como funciona a inovação no sistema de inovação da mineração de ferro em Minas Gerais? Autores como Pfitzner (2014) afirmam que a inovação ocorre na atividade de mineração em processos produtivos, visando reduzir custos ou a cumprir exigências socioambientais; e que existe uma cultura resistente à inovação. Souza Júnior (2014) afirma que a mineração está pouco inserida na dinâmica do Sistema Regional de Inovação de Minas Gerais; e Pietrobelli, *et al.* (2018) dizem que as empresas mineradoras líderes tendem a confiar em fornecedores tradicionais, e preferi-los a empresas novas. Este trabalho pretende apresentar uma visão geral do sistema de inovação na atividade de mineração de minério de ferro em Minas Gerais, validar estas hipóteses identificadas na literatura, identificar suas principais características, e apresentar contribuições à literatura em suas conclusões.

Palavras-chave: Mineração, Siderurgia, Sistema de Inovação.

Classificação JEL: O30, O33, R58.

1. INTRODUÇÃO

Minas Gerais possui uma diversidade produtiva, abrigando empresas de diferentes áreas da economia e de notório destaque nacional e internacional. A cadeia produtiva da mineração é um dos setores produtivos estratégicos do Estado, possuindo particularidades e vantagens estratégicas (CREAMG, 2017). Junto com a atividade metalúrgica, forma o complexo minero metalúrgico, que em 2011 respondeu por 46% de toda a extração de minerais metálicos do Brasil, e 28% de toda a produção metalúrgica (Souza Júnior, 2014). Em Minas Gerais a mineração é responsável por 41.929 empregos diretos, e 343.817 empregos indiretos; 51,9% do total de empregos diretos gerados pela mineração no Brasil são neste Estado (FIEMG, 2019).

O minério de ferro representa 71% do valor total da produção das onze principais substâncias metálicas. Os Estados de Minas Gerais e do Pará possuem 90% da produção brasileira de substâncias metálicas, que em 2017 representaram 41,7 bilhões de dólares em exportações (ANM, 2018).

Na atividade de mineração, grandes volumes e massas de materiais são extraídos e movimentados; nesta atividade existem dois tipos de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração no decapamento da mina, não possuem valor econômico e geralmente ficam dispostos em pilhas. Já os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas as substâncias minerais. A geração de rejeitos tem aumentado nos últimos anos, e o minério de ferro é a substância que mais contribuiu para na geração de rejeitos no Estado de Minas Gerais (IPEA, 2012).

O objetivo deste trabalho é avaliar possíveis trajetórias tecnológicas na mineração de minério de ferro no Estado de Minas Gerais, através de um mapeamento de seu sistema setorial de inovação. Este mapeamento leva em consideração as empresas fornecedoras de bens minerais – as empresas mineradoras; os fornecedores de equipamentos e sistemas e os fornecedores de serviços especializados; os agentes financeiros; os organismos governamentais; os consumidores de bens minerais; os agentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação e, por fim associações de empresas mineradoras, de fornecedores, de trabalhadores do setor e de moradores que estejam submetidos aos impactos pela atividade de mineração. Para o mapeamento da geração de inovação do sistema setorial de mineração, foi executado o mapeamento de pedidos de patentes apresentados ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI. O trabalho também foi realizado em duas etapas: inicialmente foi realizada busca de patentes através de palavras chave, no período compreendido entre agosto de 2015 e agosto de 2019. Em uma segunda etapa, foi realizado um cruzamento entre as informações obtidas com resultados descritos no relatório 53 da *World Intellectual Property Organization - WIPO*, Apropriação e transferência de tecnologia no setor de mineração brasileiro, de 2019. Para uma representação visual da frequência e do valor das palavras relevantes, foi criada nuvem de palavras contemplando o título das patentes e os resumos, utilizando o software R, usando como base de dados as patentes identificadas no INPI, para identificar tendências tecnológicas neste setor.

2. SISTEMAS DE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Para este trabalho foi adotado o conceito de sistema regional de inovação, e sistema global de inovação, que apresentarão os principais atores da atividade de mineração localizados dentro do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais.

De acordo com Lundvall (1995), um sistema de inovação é constituído por elementos e por relações que interagem com a produção, a difusão e o uso de novos e economicamente uteis conhecimentos, localizados dentro das fronteiras de uma nação. Trata-se, portanto, de um sistema social, envolvendo interações entre as pessoas, tendo como atividade central o aprendizado. É também um sistema dinâmico, caracterizado por retornos positivos e por reprodução. De modo geral, os elementos de um sistema de inovação se reforçam na promoção de processos de aprendizagem e de inovação, ou se combinam para atingir aqueles fins. Círculos virtuosos e causas cumulativas são características de sistemas de inovação. Uma definição mais adequada para um sistema nacional de produção inclui todas as partes e aspectos da estrutura econômica e do arranjo institucional, com o sistema de produção, o sistema de marketing e o sistema de finanças, locais onde acontece o aprendizado. O setor público desempenha um papel importante no processo de inovação: seu envolvimento em apoio direto à ciência e a seu desenvolvimento, e suas regulações e padrões influenciam o percentual e a direção da inovação.

Freeman (1995) cita Lundvall (1995) como o primeiro autor a usar o termo sistema nacional de inovação, indicando sua origem no sistema nacional de economia política descrita por Friederich List em 1841. Partindo de vocações locais, os sistemas de inovação são formados, e a medida em que se fortalecem e que são bem-sucedidos, transbordam as fronteiras regionais e nacionais. As empresas podem evoluir para corporações multinacionais, inicialmente instalando centros de distribuições de produtos em países distantes. A seguir instalam centros de pesquisa e de desenvolvimento. A difusão de inovações passa a ocorrer de forma intensiva, já que estas empresas podem transferir equipamentos e habilidades para locais diferentes. As relações e conexões internacionais estão crescendo em importância, com a chamada economia interligada; as fronteiras nacionais vão se desintegrando.

Sistemas regionais de inovação são o produto da interação entre seus agentes, que compõem a estrutura da produção regional (Cooke, 2001); são dependentes intelectualmente de descobertas feitas por cientistas locais, dentro de uma economia subnacional. Através de uma progressão lógica da descoberta, da teoria ao experimento, validação e confirmação, uma sabedoria é recebida. A existência de uma competência financeira regional também é fundamental, sendo parte da infraestrutura de suporte dos sistemas locais de inovação. A existência de orçamento público regional também é importante para a mobilização do potencial de inovação regional. A existência de condições diferenciais locais forma a chamada superestrutura; de forma geral, são mentalidades dos atores locais, em nível institucional, organizacional das firmas e em nível organizacional para a governança. No nível ou dimensão institucional estão a cultura de cooperação, aprendizagem interativa e um consenso para a associação. No nível ou dimensão organizacional das firmas, estão as relações de trabalho harmoniosas, orientação do trabalhador, a externalização e a inovação interativa. E no nível ou dimensão organizacional estão presentes políticas inclusivas, de orientação e de consultoria e a rede de trabalho (Cooke, 2001).

Para Cooke (2001), o sistema regional de inovação possui fatores de infraestrutura, que irão suportar o potencial de produção do sistema. Estes fatores incluem a existência de competências

financeiras, públicas e privadas, e a existência de orçamentos públicos, para a mobilização de potenciais inovações regionais. Sistemas mais avançados possuem fatores de superestrutura, que seriam a mentalidade dos atores regionais e a cultura regional. Estes fatores de superestrutura são divididos nos níveis institucionais e organizacionais das empresas e da governança. Asheim (2011) argumenta que compreender a variedade e as bases de conhecimento diferenciado de uma região são cruciais para estabelecer um modelo regional de política efetivo. Um modelo único de política regional é inapropriado, como são as tentativas de transferir as melhores práticas sem compreender o contexto local e sem identificar os arranjos e as criações locais. Os autores argumentam que as plataformas de políticas devem ser estrategicamente baseadas em identificar e usar variedades e base de conhecimentos para construir a vantagem regional. As fronteiras do sistema são a abertura e a conectividade, e os governos nacional e regional possuem um papel chave no direcionamento do sistema.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO – BREVE HISTÓRICO DA ATIVIDADE MINERADORA E DA INOVAÇÃO EM MINAS GERAIS

A atividade de mineração foi responsável pela formação do Estado de Minas Gerais, por meio do trabalho dos bandeirantes, que procuram ouro e pedras preciosas. Em 1709 foi criada a Capitania de São Paulo e Minas do Ouro, que em 1720 foi desmembrada em São Paulo e Minas Gerais. Após o ciclo do ouro, em 1811 Guilherme Von Eschwege (1777 – 1855) escolhe as cercanias de Antônio Pereira, próximo a Ouro Preto, para a implantação da chamada Usina Patriótico, levando em consideração a existência de quedas d’água, matas e minério de ferro. A produção em escala industrial teve início em dezembro de 1812 (Pinho e Neiva, 2012); esta empresa seria a primeira consumidora de minério de ferro, que o usaria como matéria prima para a produção de ferro. A primeira companhia de minas estrangeira foi organizada por Edward Oxenford, um inglês que fundou em 1824 a *Imperial Brazilian Mining Association*; esta empresa adquiriu a propriedade das minas de Congo Soco, Cata Preta, Antônio Pereira e Serra do Socorro. A Mina de Congo Soco, localizada próximo a Caeté, foi a mais importante, produzindo entre 1826 e 1856 o total de 12.887 kg de ouro. A segunda empresa foi a *Saint John d’el-Rey Mining Company*, em 1830. As primeiras atividades ocorreram ao norte da cidade de São João d’el Rey, que foram abandonados em 1834, quando os trabalhos da empresa foram centralizados em Morro Velho, perto de Congonhas de Sabará, atual Nova Lima (Ferrand, 1998). As primeiras empresas mineradoras e consumidoras eram, portanto, todas lideradas por estrangeiros.

Houve neste Estado um arranjo institucional voltado a pesquisa e ao ensino, podendo ser considerado o marco inicial da estruturação do sistema de inovação a criação da Escola de Minas de Ouro Preto, por iniciativa do Imperador Dom Pedro II, que em 1874 contratou Claude Henri Gorceix para criar e organizar esta instituição. Os conhecimentos gerados pelos alunos, ex-alunos e professores começaram a ser publicados nos Anais da Escola de Minas. O desenvolvimento da atividade de mineração contou com a presença de técnicos formados na Escola de Minas. Ex-alunos desta escola participaram das escolas de engenharia de Belo Horizonte, Itajubá, Juiz de Fora e Viçosa. A Escola de Engenharia de Belo Horizonte foi fundada em 1911, que além das graduações, passou a ofertar cursos profissionais, que seriam equivalentes aos cursos técnicos atuais, com o intuito de qualificar profissionais para atuarem como intermediários entre os engenheiros e os operários. E na década de 70

foi criada a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, com o propósito de dar sustento tecnológico a um processo de reestruturação da economia mineira (Santos e Diniz, 2013). Alguns ex-alunos da Escola de Minas de Ouro Preto ingressaram no serviço público, no então Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil - SGMB e no Departamento de Produção Mineral – DNPM, a partir da fundação daquele primeiro órgão, a produção científica tornou-se mais relevante. Outros participaram da criação de empreendimentos minerários no estado de Minas Gerais (de Carvalho, 2010).

Em 1913, o dinamarquês Arn Thun cria a empresa A. Thun e Cia Ltda, para a exploração de minério de ferro no Vale do Paraopeba, dando origem a Mina de Casa de Pedra, que foi incorporada a Cia Siderúrgica Nacional em 1946 (Minérios & Minerales, 2018).

A implantação de indústrias siderúrgicas a partir de 1920 impulsiona o desenvolvimento de fornecedores de minério de ferro, com destaque para a criação da Cia. Vale do Rio Doce em 1942 (Santos, 2005). No mesmo ano o empreendedor Augusto Trajano de Azevedo Antunes (1906 - 1996) cria a Indústria e Comércio de Minérios Ltda – ICOMI; nos anos 1960 é criada a Minerações Brasileiras Reunidas – MBR (Diversos autores, 2006). Em 1944 é fundada a empresa Aços Especiais de Itabira – ACESITA, pelos empreendedores Athos de Lemos Rache, Amyntas Jacques de Moraes e Percival Farquhar (Aperam, 2015), sendo os dois primeiros egressos da Escola de Minas. Fundada em 1931, a Sociedade Mineira de Engenheiros – SME – instituiu um círculo de estudos de siderurgia, que passou a estudar a implementação de uma grande indústria siderúrgica em Minas Gerais; em 1956 nasce a Usiminas – Usina Siderúrgica de Minas Gerais (Gomes, 1983). A criação de novas empresas siderúrgicas eleva a demanda por minério de ferro.

A Itabira Iron Ore foi uma companhia inglesa de minério de ferro, autorizada a funcionar no Brasil em 1911, em uma das maiores jazidas conhecidas, na cidade de Itabira. Passou a contar com capital norte-americano em 1919, tendo como representante Percival Faquhar (1864 -1953). A partir da década de 30, iniciou-se a discussão sobre a nacionalização das reservas minerais, sobretudo das jazidas de ferro. Em março de 1942, os chamados acordos de Washington definiram as bases para a organização de uma companhia de exportação de minério de ferro no Brasil. O Governo britânico se obrigava a adquirir e transferir ao Governo Brasileiro as jazidas de minério de ferro pertencentes à Itabira Iron Ore; o Governo Norte-americano se comprometia a conceder um financiamento no valor de US 14 milhões, para a compra de equipamentos, máquinas e serviços nos Estados Unidos. Este pacote tinha por objetivo assegurar a produção, o transporte e a exportação de 1,5 milhão de toneladas anuais de minério de ferro a serem compradas em partes iguais pela Inglaterra e pelos Estados Unidos, por um prazo de três anos, a preços inferiores aos de mercado. Em 1942 foi criada a Cia Vale do Rio Doce, através de Decreto-lei 4532, de 01 de junho daquele ano, a partir da incorporação da Companhia Brasileira de Mineração e Siderurgia S. A. e da Itabira Mineração S. A., cujas reservas pertenciam originalmente à *Itabira Iron Ore*, com o objetivo de fornecer minério de ferro para consumidores no Brasil e no exterior. Criadora do conceito mina – ferrovia – porto, a empresa foi privatizada em 1997 e passou a ser uma das maiores mineradoras de minério de ferro mundiais, atuando nas regiões sudeste e norte do Brasil e no exterior (VALE, 2012).

A Samarco Mineração S.A. foi fundada em 1977, para a lavra de minério de ferro de baixo teor, através de sua concentração, transformação em pelotas e da sua comercialização. Possuindo as Minas de Germano e Alegria e a usina de concentração, no Estado de Minas Gerais, e a usina de pelotização e

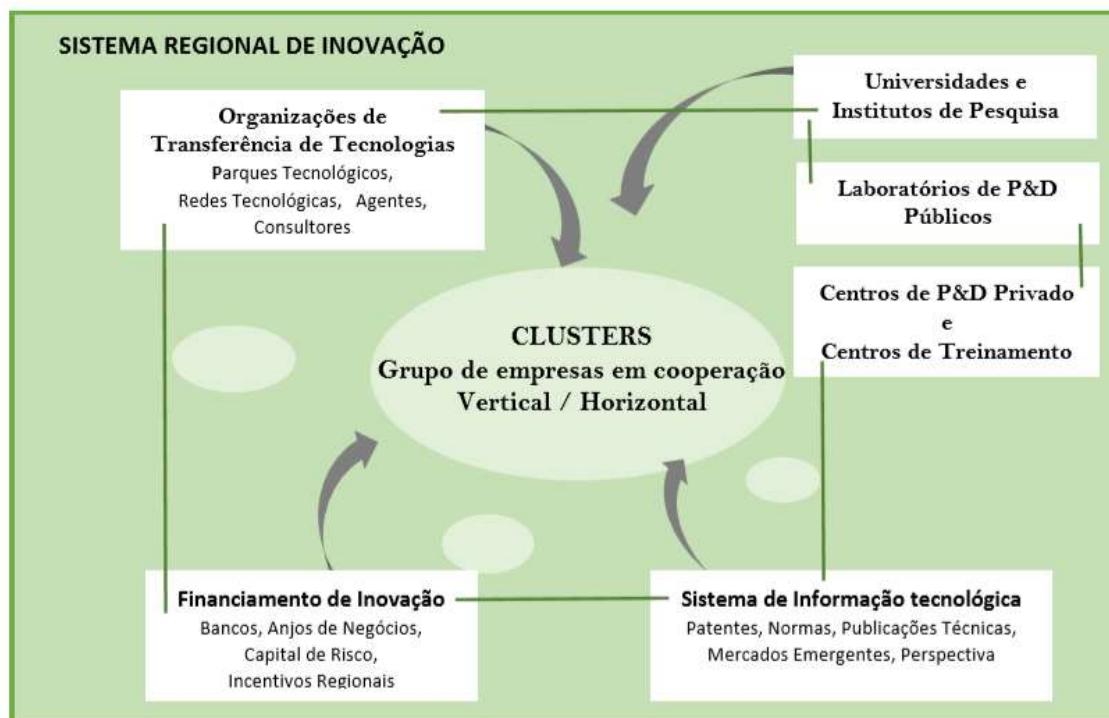
terminal marítimo de Ubu, no Estado do Espírito Santo; as unidades são conectadas por um mineroduto, com 396 km de extensão. Fundada pelas empresas S. A. Mineração da Trindade e B.H.P. – *Broken Hill Proprietary Company*, sendo a primeira fundadora substituída pela Cia Vale do Rio Doce, após sua aquisição, por R\$ 970 milhões, em 30 de maio de 2000. (Taveira, 1997 e VALE 2000).

As empresas mineradoras implementaram diversas inovações ao longo dos anos. Chaves (2018) narra que em Minas Gerais, em 1970, a então Cia Vale do Rio Doce, atual Vale, iniciou a operação de concentração de minérios de ferro itabiríticos, usando pela primeira vez separador magnético a úmido de alta intensidade. Em 1972 a mesma empresa adotou uma tecnologia nova, a flotação reversa. Em 1977 a Samarco implementou um projeto de lavra, beneficiamento e produção de minério de ferro para a produção de pelotas, usando um mineroduto como forma de transporte de sua produção entre as cidades de Mariana, em Minas Gerais, até Anchieta, no Espírito Santo. Estas inovações permitiram o aproveitamento de reservas minerais que até então não eram considerados minérios lavráveis.

4. MAPEAMENTO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO DA MINERAÇÃO DE FERRO EM MINAS GERAIS

Uma das formas de se identificar os atores de um sistema setorial de inovação é através da identificação dos componentes críticos de um sistema regional de inovação (Komnimos, 2004). A Figura 1 apresenta de modo esquemático estes atores.

FIGURA 1
Atores cruciais em um sistema de inovação
(Adaptado de Komnimos, 2004)



Os atores principais de um sistema setorial são aqueles responsáveis pela produção, ou, neste caso, as empresas mineradoras. Essas empresas são o ponto de partida do sistema setorial, e a partir de sua atividade, demandam equipamentos e serviços de empresas fornecedoras. Este grupo de empresas – compradoras e fornecedoras – interage e inicia um trabalho de cooperação, identificando e apresentando soluções para as necessidades do sistema produtivo. A cooperação horizontal ocorre quando se baseia nos membros que compõem a cadeia de produção, enquanto a cooperação vertical ocorre entre representantes de um mesmo mercado, que buscam coletivamente atingir melhores resultados. O sistema possui outros atores, que desempenham papéis complementares; as universidades e centros de pesquisa capacitam e fornecem mão de obra especializada e prestam serviços de pesquisa e desenvolvimento de produtos, processos e serviços. Enquanto as universidades preparam mão de obra de forma mais abrangente, os centros de treinamento oferecem capacitação específica para determinados mercados. E laboratórios de pesquisa e desenvolvimento públicos, ligados a universidades públicas, da mesma forma, atuam de forma mais ampla, enquanto centros de pesquisa e desenvolvimento privados possuem um espectro de atuação bem direcionado. O conhecimento produzido deve ser gerenciado, assim como as atividades produtivas devem ser normatizadas; o chamado sistema de informação tecnológica é responsável por esta tarefa. E para que as inovações geradas a partir das interações entre os membros do sistema, é necessário capital. Que pode vir de bancos de varejo privados ou públicos, mas também de bancos públicos de fomento econômico e social. Investidores podem atuar isoladamente, atuando como anjos de negócios, ou em grupos, formando fundos de investimentos, que buscarão oportunidades para a devida remuneração do capital empregado. A presença do Estado é fundamental, identificando as vocações regionais e criando políticas de incentivos regionais. Complementam o sistema as organizações de transferência de tecnologia, com a presença de parques e redes tecnológicas e agentes atuando como consultores entre os diversos membros do sistema. Segundo Lundvall (1995) e Freeman (1995), o elemento definidor do sistema são as interações entre os diversos agentes do sistema.

4.1. Empresas mineradoras, fornecedoras de equipamentos e prestadoras de serviços.

O grupo de empresas, representado como ponto central da Figura 1, é formado por empresas produtoras de minério de ferro, e por seus fornecedores de equipamentos e de serviços, atuando em arranjos com cooperação vertical e horizontal. Adotando critérios técnicos, serão apresentados os atores mais relevantes dentro do sistema de inovação em mineração de ferro no Estado de Minas Gerais.

Para a inserção das empresas produtoras de minério de ferro neste trabalho, foi usado como critério de corte o porte da empresa: foi adotado como critério a posição das empresas no ranking das maiores produtoras de minério de ferro no Brasil, de acordo com ANM (2018), com o valor mínimo de participação no mercado de 0,48%.

A Tabela 1 apresenta as principais mineradoras de minério de ferro instaladas no QF-MG.

TABELA 1
Principais empresas mineradoras instaladas no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais
(Elaborado a partir de dados obtidos em ANM, 2018)

Mineradora	Atuação	Participação
Vale S.A.	MG, PA	79,17
CSN Mineração	MG	5,84
Anglo American Minério de Ferro Brasil S.A.	MG	5,01
Nacional Minérios S.A.	MG	1,93
Gerdau Açominas S.A.	MG	1,09
Mineração Usiminas S.A.	MG	0,96
Minerações Brasileiras Reunidas S.A.	MG	0,78
Vallourec Mineração Ltda	MG	0,76
Itaminas Comércio de Minérios S.A.	MG	0,59
Ferro+ Mineração S.A.	MG	0,48

A Vale é a maior mineradora de minério de ferro do Brasil, sendo responsável por 77,79% do mercado nacional de produtores deste bem mineral (ANM, 2018). Por consequência, é o maior gerador de rejeitos de minério de ferro. Possui papel muito relevante na inovação, em virtude de seu porte, da atuação como depositante de patentes e licenciador de tecnologias. Emprega parte de sua produção para a produção de pelotas; portanto, além de produtora, também é consumidora de minério de ferro. A empresa atua em seis continentes, sendo um dos maiores produtores mundiais de minério de ferro, e a maior produtora de pelotas (WIPO, 2019). A Vale é uma empresa privada, de capital brasileiro, com sede no Brasil e com atuação em 30 países. (Vale, 2020).

A CSN, Cia Siderúrgica Nacional, é a segunda maior mineradora de minério de ferro do país, com 5,84% do mercado nacional (ANM, 2018). Esta empresa também desempenha atividades siderúrgicas, usando parte de sua produção para consumo próprio, destinando o restante para o mercado. Por consequência, é o segundo maior gerador de rejeitos de minério de ferro do Brasil. Possui papel relevante na inovação por ser ao mesmo tempo fornecedora e usuária de minério de ferro. Esta empresa também foi privatizada, tendo sido estatal até a década de 1990, posteriormente fundida em 2015 com a Nacional Minérios S.A. – NAMISA, tendo sua composição acionaria dividida entre a CSN, com 87,52%, e um consórcio composto por grandes siderúrgicas asiáticas, com 12,48%. (CSN, 2020).

A Anglo American Minério de Ferro Brasil S.A. é a terceira maior produtora de minério de ferro, com uma participação de 5,01% de mercado (ANM, 2018). Além deste bem mineral, esta empresa fornece carvão, cobre, níquel, platina e diamante, com atuação global. (Angloamerican, 2020).

As demais mineradoras supracitadas, somadas, respondem por 6,59% do mercado brasileiro de minério de ferro (ANM, 2018).

Estas observações indicam que o setor de mineração de minério de ferro apresenta elevado grau de concentração no que diz respeito a produção; por consequência, também haverá uma concentração nas empresas geradoras de rejeitos, com as três empresas – Vale, CSN e Anglo American Minério de Ferro S.A. – responsáveis por mais de 80% dos rejeitos gerados no beneficiamento de minério de ferro.

Na condição de principal produtora de minério de ferro, a Vale possui em termos práticos o domínio do mercado produtor de minério de ferro no Brasil, além de ser a maior geradora de resíduos. Deve-se destacar ainda que a empresa foi uma das pioneiras do modelo mina – ferrovia – porto, sendo proprietária de ramais ferroviários e portos no Brasil e no exterior.

As mineradoras CSN, Gerdau Mineração e Mineração Usiminas são empresas siderúrgicas, consumidoras-usuárias de minério de ferro, e que em determinado momento decidiram produzir, ainda que parcialmente, sua matéria prima.

A Valourec Mineração também atua como siderúrgica, produzindo pelotas de minério de ferro para uso próprio e para fornecimento a terceiros, mas tendo como fim a produção de tubos de aço sem costura. Esta empresa foi pioneira na implementação da tecnologia dry-stacker, empilhamento a seco de rejeitos de mineração com a eliminação da necessidade de barragens (Gomes, 2016).

Para a inserção das empresas fornecedoras, foi adotado como critério a menção no trabalho, Apropriação de tecnologia e transferência de tecnologia no setor mineral brasileiro (WIPO, 2019).

Este trabalho identifica as principais empresas fornecedoras de equipamentos, tecnologias e serviços atuantes na cadeia produtora mineral, sua origem e qual a sua participação dentro deste mercado.

A Tabela 2 apresenta os principais fornecedores de equipamentos, tecnologias e serviços para as empresas mineradoras de minério de ferro.

TABELA 2
Principais fornecedores das empresas mineradoras.
(Elaborado a partir de dados obtidos em WIPO, 2019)

Fornecedor	Origem	Participação
Metso	EUA	2,40
Elementos industriales y tecnológicos	Chile	2,26
Komatsu	EUA	1,84
SBVS Mining Engineering	Canada	1,84
David Tutton	Alemanha	1,41
Transportation Technology Center	EUA	1,27
Hegenscheidt MFD	Alemanha	1,27
SMS Semg	Alemanha	1,27
Sherrit	EUA	1,13
Itasca	Chile	1,13

As principais empresas fornecedoras de equipamentos, tecnologias e serviços para as empresas mineradoras são de origem internacional; tem como origem América do Norte, Europa e América do Sul, e possuem atuação global. Nenhum destes fornecedores está instalado em Minas Gerais; apenas a Metso e a Komatsu possuem unidades fabris no Brasil. O grupo formado pelas empresas fornecedoras desempenha papel primordial na atividade tecnológica da mineração: a partir das demandas

apresentadas pelas empresas mineradoras, apresenta as soluções, sendo responsável por mais de 95% dos depósitos de patentes relacionadas à mineração (WIPO, 2019).

4.2. Outras organizações que participam de forma decisiva do sistema de inovação relacionado à mineração de minério de ferro

Diversas organizações participam de forma decisiva em um sistema de inovação; algumas são cruciais para que o sistema possua uma boa atuação (Komninos, 2004).

O primeiro grupo é composto por universidades. Para inserção neste grupo, para as universidades foi adotado como critério a existência de cursos de Graduação e de Pós-graduação na área de Engenharia de Minas. Fazem parte deste grupo a Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, que são as mais importantes para a área de mineração – apesar de existirem diversas universidades e faculdades.

A Universidade Federal de Ouro Preto hospeda a Escola de Minas, fundada por Henri Gorceix em 12 de outubro de 1876, portanto a escola pioneira em estudos geológicos, mineralógicos e metalúrgicos em Minas Gerais e no Brasil. Além de possuir os cursos de Graduação em Engenharia de Minas, Engenharia Geológica e Engenharia Metalúrgica, na Pós-graduação possui os cursos de Mestrado e de Doutorado acadêmicos em Geotecnia, Engenharia de Materiais e Engenharia Mineral e ainda em Evolução Crustal e Recursos Naturais; possui também Mestrados Profissionais em Engenharia Geotécnica e em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental pela UFOP, em 2020.

A Universidade Federal de Minas Gerais hospeda a Escola de Engenharia, fundada em 1911, onde há o departamento de Engenharia de Minas – DEMIN. O curso de Engenharia de Minas da UFMG tem sua origem no curso de Engenharia Industrial Metalúrgica, criado em 1945. Com sua extinção em 1960, criou-se o curso de Engenharia de Minas e Metalurgia, cujo desmembramento, em 1966, deu origem ao curso de Engenharia de Minas. Sua Pós-graduação instituiu o curso de Mestrado em 1971 e o curso de Doutorado em 1983, oferecendo Mestrados e Doutorados acadêmicos na área de Tecnologia mineral pelo DEMIN - PPGEM, em 2020.

O segundo grupo é formado por centros de pesquisa dedicados à tecnologia Mineral no Brasil. Para inserção neste grupo, o critério adotado foi a participação no catálogo de centros de tecnologia mineral do Brasil (CETEM, 2020), e a presença física no Estado de Minas Gerais. Fazem parte deste grupo o Centro de Inovação e Tecnologia – CIT – SENAI / FIEMG; o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN-CNEN; o Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais; o Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada da Universidade Federal de Ouro Preto; todos estes centros de pesquisa são públicos. Já a SGS Geosol e a PCM – Processamento e Caracterização Mineral são centros de pesquisa são privados.

O terceiro grupo de organizações fundamentais em sistemas de inovação na mineração é formado por instituições de fomento a inovação. Foi adotado como critério o histórico e a participação no sistema de inovação do Estado de Minas Gerais. Este grupo é formado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo Banco de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais e pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

O Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM é uma organização nacional privada e sem fins lucrativos, fundada em 1976, que representa as empresas e instituições que atuam no setor mineral brasileiro. Para fomentar inovações no setor e difusão das melhores práticas e tecnologias disponíveis no mercado, elabora debates, eventos, estudos, pesquisas e estatísticas relativos à economia mineral, legislação, tributação, tendências, proteção do meio ambiente, riscos e oportunidades e outros temas associados às atividades desempenhadas pela indústria minerária. Elabora estudos, pesquisas e estatísticas relacionadas a atividade mineral, como o trabalho Políticas públicas para a indústria mineral. Possui também programas relacionados a normas técnicas, como o comitê para a normatização internacional em mineração e ainda relacionados a saúde e segurança do trabalho. E promove eventos, com destaque para o Congresso Brasileiro de Mineração e a Exposição Brasileira de Mineração, e o Mining Hub (IBRAM 2019).

O Sindicato das Indústrias Extrativas do Estado de Minas Gerais – SINDIEXTRA – reúne empresas mineradoras instaladas no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, assim como a Federação dos Trabalhadores nas Indústrias Extrativas do Estado de Minas Gerais reúne os trabalhadores desta atividade neste local.

A Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração foi fundada em 1944 e é formada por empresas, instituições, universidades e pessoas físicas ligadas de alguma maneira a estes setores. Tem como missão desenvolver ações coletivas que promovam o desenvolvimento das pessoas, a evolução técnica-científica e a inovação em processos, produtos e gestão, dando suporte a indústria e a academia. Realiza eventos, seminários e cursos técnicos, além de editar sua revista científica e possuir livraria técnica. E disponibiliza publicações e estudos, como por exemplo Aspectos conceituais relativos à pelotização de minério de ferro (ABM 2019).

O último grupo apresentado é formado por organizações voltadas a transferência de tecnologias. Estas organizações atuam de forma a auxiliar o sistema produtivo a conhecer e a implementar tecnologias, através de licenciamentos de patentes de universidades, e de criação e desenvolvimento de programas de inovação, conectando empresas a start-ups e a pesquisadores.

A transferência de tecnologias dentro do sistema regional de mineração no Brasil é ilustrada pela WIPO (2019). A Tabela 3 apresenta as modalidades de serviços de assistência técnica, acordos de know-how e licenciamento de patentes realizados pelas empresas mineradoras brasileiras, nos últimos 15 anos.

TABELA 3

Tipos de transferência de tecnologias usados pelas mineradoras brasileiras nos últimos 15 anos.
(Adaptado a partir de dados obtidos em WIPO, 2019)

Coluna 1	Contratante	Coluna 2	Fornecedor
Tipo de Contrato	Mineradoras residentes	Fornecedores residentes	Fornecedores não residentes
Serviços de assistência Técnica	82%	10,30%	92,40%
Acordo de know-how	1,60%	5,40%	6,90%
Licenciamento de patentes	0	0,70%	0,70%
Total	83,60%	16,40%	100%

A análise destes dados nos permite afirmar que as mineradoras residentes preferem contratar serviços de assistência técnica com fornecedores não residentes no país. Isso reforça a hipótese apresentada anteriormente, que as empresas fornecedoras investem pouco em pesquisa e desenvolvimento no Brasil.

Uma informação relevante é que apesar do grande número de patentes depositadas junto ao INPI, poucos licenciamentos de patentes foram feitos nos últimos 15 anos no Brasil. Das 4.273 patentes depositadas, apenas 59 patentes foram licenciadas – apenas 1,38% das patentes depositadas foram licenciadas (WIPO, 2019). Destes poucos licenciamentos, todos foram feitos com fornecedores, residentes ou não residentes. Nenhuma patente de universidades ou de centros de pesquisa foi identificada como licenciada pelas empresas mineradoras. E os acordos de know-how são mais usados pelas mineradoras que licenciamentos de patentes. Desta forma, quando se discute a aplicação de tecnologias e inovações no setor de mineração, a presença dos fornecedores é fundamental, em peso maior que universidades e centros de pesquisa. A participação deste grupo em plataformas colaborativas, como a Plataforma R3 Mineral, é fundamental que as inovações sejam efetivamente colocadas em prática pelas empresas.

Esta plataforma foi criada em Minas Gerais em 2016, logo após o acidente ocorrido na cidade de Mariana, quando ocorreu o rompimento da barragem de Fundão. Esta rede tinha como objetivo desenvolver aplicações em larga escala para o aproveitamento de rejeitos gerados pela mineração de ferro.

5. A PRODUÇÃO DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO SISTEMA SETORIAL DE INOVAÇÃO DE MINERAÇÃO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO DE MINAS GERAIS

O principal objetivo deste trabalho é apresentar e discutir dados relativos a produção de tecnologia e inovação dentro do Sistema Setorial de Inovação na atividade de Mineração dentro do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais.

5.1. Análise de patentes

A produção de tecnologia e inovação no sistema de inovação da Mineração no QF-MG foi estudada através de um levantamento de patentes através de pesquisa junto ao banco de dados do Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI, para identificar depositantes de pedidos de patentes, através de busca por palavra-chave – mineração, no título e no resumo da patente.

O objetivo era identificar quais as empresas mineradoras depositantes, qual o número total de pedidos junto ao INPI, e quais destas patentes se referem aos rejeitos de mineração. Estas informações têm como propósito identificar quais os atores mais atuantes dentro do sistema, e quais são os assuntos que mais despertam seu interesse. Esta etapa teve algumas limitações: a primeira, de se identificar patentes que ainda estejam em período de sigilo; neste caso, não foi obtida a informação sobre a natureza do pedido de patente. E a segunda limitação foi o grande número de pedidos de uma empresa mineradora; neste caso, optou-se pela limitação do tempo de pesquisa, entre agosto de 2015 e agosto de 2019.

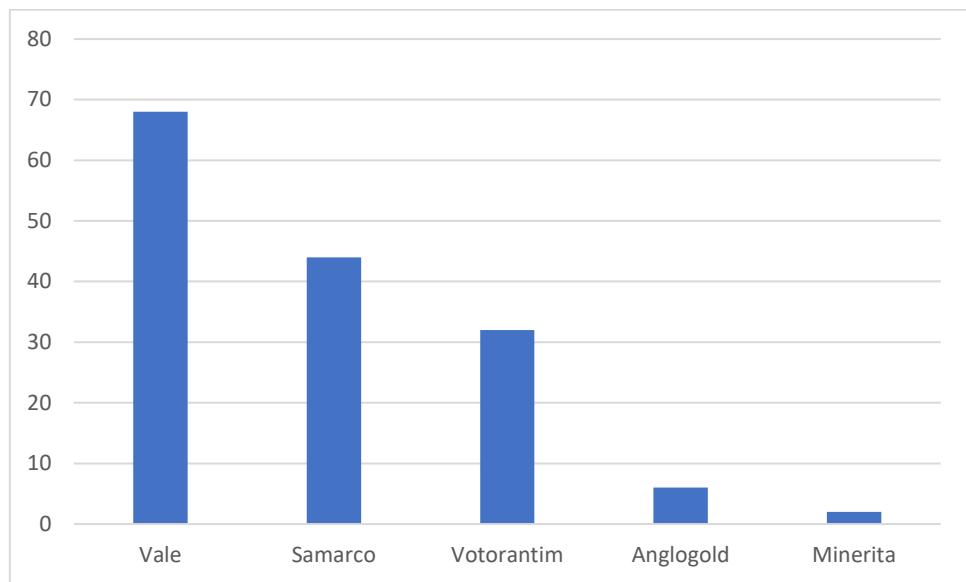
Em uma segunda etapa usou-se como referência o documento de trabalho *Technology appropriation and technology transfer in the Brazilian mining sector*, (WIPO 53, 2019), e o documento de trabalho *Mining patent data: measuring innovation in the mining industry with patents*, (WIPO 56, 2019).

Estes dois artigos se mostraram complementares ao mapeamento de patentes realizado na primeira etapa, permitindo obter dados com maior abrangência sobre o assunto estudado.

Para o levantamento de dados foram usadas palavras chave nos títulos e nos resumos das patentes do INPI. As palavras chave foram mineração e rejeitos de mineração. A pesquisa foi limitada ao espaço de tempo de 2015 até 2019. E para o levantamento de patentes das mineradoras, foi adotada a sua razão social no campo depositante da patente.

O Gráfico 1 apresenta as empresas mineradoras instaladas no QF-MG que apresentaram pedidos de patentes junto o INPI, assim como o número total de pedidos de patentes apresentados.

GRÁFICO 1
Patentes de empresas mineradoras instaladas no QF.
(Elaborado a partir de dados obtidos em INPI, 2019)



Ao fazer a busca usando como critério empresas mineradoras depositantes, foram identificados 152 pedidos de patentes para as empresas mineradoras; a Vale é a maior depositante de pedidos de patentes junto ao INPI, com 68 pedidos apresentados entre agosto de 2015 e agosto de 2019. Em segundo lugar, a Samarco apresentou 44 pedidos de patentes. Em terceiro lugar, a Votorantim, atual Nexa, apresentou 32 pedidos de patentes. Em quarto lugar, a AnglogoldAshanti apresentou 6 pedidos, e em quinto lugar, a Minerita apresentou 2 pedidos.

Levando em consideração a participação da Vale como acionista da Samarco, e se considerarmos estas empresas como de um mesmo grupo, teremos 112 pedidos de patentes em um universo de 152 pedidos. Este número representa 73,68% dos pedidos de patentes feitos no país. Em 2018, a Vale apresentou 24 pedidos de patentes ao INPI, em uma média de duas patentes por mês; em 2019, até agosto, já havia apresentado 15 pedidos.

Há uma grande concentração de pedidos de patentes pelas empresas Vale e Samarco; juntas, representam quase 2/3 dos pedidos de mineradoras no Brasil. Esta conclusão é compatível com o trabalho realizado pela WIPO (2019) sobre os pedidos de patentes das empresas de mineração no Brasil: entre os anos de 2000 e 2015, a Vale foi a principal mineradora depositante, seguida pela Samarco.

As demais empresas identificadas – Votorantim, Anglogold e Minerita também estão identificadas, com uma diferença no número de patentes requeridas.

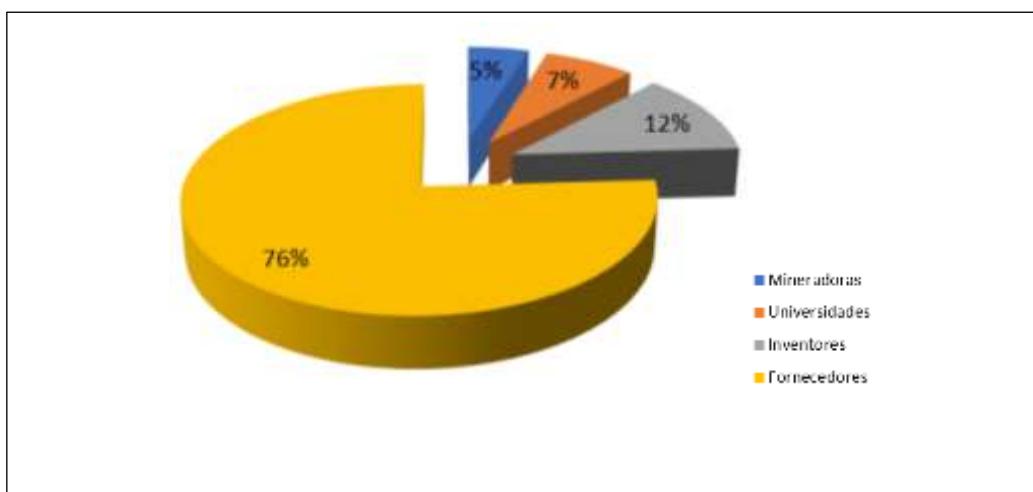
O número de pedidos de patentes com rejeitos é pequeno: são apenas cinco pedidos identificados, em um universo de 152 patentes. Deve-se ressaltar uma limitação deste levantamento, que foi a não identificação dos objetos dos pedidos de patentes, que se encontram em período de sigilo.

Os dados mostram que as mineradoras e os seus fornecedores perceberam a importância de realizar pesquisa com rejeitos de mineração; este campo tem chamado atenção de inventores, universidades e centros de pesquisa.

Este resultado é parcialmente compatível com o trabalho da WIPO (2019) que discorre sobre a colaboração institucional para a inovação entre empresas e universidades e centros de pesquisa. Este grupo representa 1/3 dos pedidos de patentes que envolvam rejeitos de mineração. Uma contribuição inédita deste trabalho é a identificação de inventores, pessoas físicas, que tem se dedicado a este campo de pesquisas.

Foi também realizada uma segunda pesquisa utilizando-se a palavra-chave mineração, no título e no resumo das patentes depositadas no banco de dados do INPI, entre os anos de 2004 a 2019. Foram identificadas 83 patentes contendo o termo mineração, e o gráfico dois apresenta os atores depositantes dessas patentes, assim como o seu percentual de participação.

GRÁFICO 2
Atores depositantes de patentes que possuam a palavra mineração no título e no resumo.
(Elaborado a partir de dados obtidos junto ao INPI, 2019)



Os dados obtidos confirmam a conclusão da WIPO (2019), de que os fornecedores são os principais depositantes de patentes relacionadas à mineração; a novidade foi a identificação do grupo de inventores, como o segundo grupo depositante. As universidades são o terceiro maior depositante, deixando as empresas mineradoras em último lugar.

5.2. Nuvem de palavras

A partir do levantamento de patentes depositadas no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI que possuem a palavra-chave mineração em seu título e no seu resumo, foi criada

uma nuvem de palavras, utilizando-se o software R com o objetivo de confirmar as conclusões até então obtidas.

A nuvem de palavras é uma ferramenta usada para se obter uma representação visual da frequência e do valor das palavras relevantes, dentro de um banco de dados. Desta forma, pretende-se mostrar as palavras mais relevantes, quando se fala de patentes depositadas no Brasil relacionadas a atividade de mineração.

A Figura 2 apresenta a nuvem de palavras criada utilizando os títulos das patentes depositadas no INPI.

FIGURA 2
Nuvem de palavras utilizando os títulos das patentes.
(Elaborado a partir de dados obtidos em INPI, 2019)



A imagem oferece uma visão geral das palavras mais relevantes dentro da base de dados; palavras genéricas como método (com frequência de 27), sistema (com frequência de 35), máquina (com frequência de 21), produção (com frequência de 13) e processo (com frequência de 16) se destacam, o que mostra uma busca por melhorias no processo produtivo, e por consequência, uma redução de custos de processos. Rejeitos estão presentes, com uma frequência de 14. Esta conclusão é compatível com as obtidas anteriormente, obtidas no relatório de propriedade intelectual produzido pela WIPO (2019), que indicam inovações nos processos de beneficiamento mineral através de automação como relevantes para a atividade de mineração. A palavra mineração foi eliminada da nuvem, por não apresentar nenhuma contribuição ao trabalho.

Já a Figura 3 apresenta a nuvem de palavras feita utilizando-se os resumos das patentes mapeadas.

FIGURA 3



As palavras materiais (com frequência de 61), invenção (com frequência de 55), sistema (com frequência de 54), processo (com frequência de 52) são as mais relevantes na nuvem. Rejeito possui uma frequência de 41. Também foi eliminada a palavra mineração, pelo mesmo motivo anterior.

Na nuvem de resumos, podemos observar maior relevância da palavra rejeito, o que indica que este tema tem recebido atenção de empresas mineradoras, universidades e centros de pesquisa, inventores e fornecedores de peças e equipamentos.

A elevação de geração de resíduos nos últimos anos (IPEA, 2012), em parte pela elevação da produção das empresas e em parte pelo empobrecimento dos minérios de ferro disponíveis no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, também justifica a elevação de depósitos de patentes que envolvam estes resíduos. Postula-se que o volume de resíduos gerados e que os recentes acidentes chamaram a atenção de outros agentes depositantes de patentes, as empresas fornecedoras, os inventores e as universidades e centros de pesquisa.

6. CONCLUSÕES

A atividade de mineração possui raízes históricas no Estado de Minas Gerais; possuindo recursos minerais expressivos, este Estado construiu um arranjo institucional favorável ao desenvolvimento de um sistema de inovação, gerando habilidades e conhecimentos que permitiram às empresas mineradoras um ganho expressivo de mercado. A presença de diversas organizações cruciais para um sistema de inovação, apresentada neste trabalho, reforça esta afirmação. Porém, o sistema ainda poderia obter avanços: apesar de sua importância econômica e considerando a vocação local para a atividade de mineração, não existe um parque tecnológico no Estado de Minas Gerais, dedicado, ainda que parcialmente, para esta atividade econômica.

A apresentação dos atores críticos envolvidos no Sistema de Inovação da Mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, através de mapeamento a partir de uma referência bibliográfica (Kominmos, 2004), apresenta um panorama representativo do sistema de inovação na cadeia de mineração instalada em Minas Gerais. Este trabalho será importante para identificar atores que devem participar de plataformas colaborativas, como a Plataforma R3 Mineral. Este trabalho pode e deve ser atualizado periodicamente, podendo ainda receber novos critérios para inserção de atores.

A identificação das empresas de mineração de minério de ferro, através dos critérios adotados, permite visualizar um elevado grau de concentração; apenas uma empresa representa quase 80% do mercado produtor nacional; se somadas as três maiores empresas, estas representam mais de 90% do mercado de minério de ferro no Brasil. Esta concentração proporciona a estas empresas um poder econômico e financeiro expressivo; este poder é usado por essas empresas de modo a obter os resultados desejados, e acaba direcionando o universo da mineração de ferro de modo aos interesses das empresas líderes. As empresas de mineração de ferro ultrapassaram as fronteiras nacionais, e passaram a atuar globalmente; há ainda o caso de uma empresa global, a Anglo American Mineração de Ferro, que veio se instalar no Estado, para fornecer este produto para o mercado mundial. Desta forma, a discussão sobre o sistema de inovação voltado para a mineração não deve ser limitar a um sistema setorial ou mesmo a um sistema regional de inovação. Caso seja necessário indicar um sistema de inovação, este seria o sistema global, permeado pelas relações setoriais, regionais e nacionais.

As empresas fornecedoras apresentadas também possuem atuação global, o que reforça a impressão de que o sistema de mineração de ferro ultrapassa os limites locais, regionais e globais. E ainda pode indicar uma concentração de fornecedores, o que dificultaria a criação e a difusão de inovações desenvolvidas por empresas nacionais de pequeno e médio porte voltadas para a cadeia da mineração de ferro em Minas Gerais. Seria, portanto, um indício que as empresas de mineração historicamente compram a inovação, de fornecedores tradicionais e globais. Apesar de sua tradição na atividade de mineração, o Estado de Minas Gerais não conseguiu atrair empresas fornecedores de equipamentos e serviços para nele se instalarem; estas empresas não priorizam problemas locais, mas sim problemas genéricos e globais, que atendam ao maior número de empresas no mundo. Desta forma, questões como o aproveitamento de rejeitos gerados por empresas mineradoras de minério de ferro em Minas Gerais não são objeto de atenção dos principais fornecedores de equipamentos e serviços.

Há relatos na literatura (Mazzucato, 2011) que defendem a participação do maior número de possíveis beneficiados para as atividades inovadoras; neste espírito, o SSI deve possuir abertura para

que novos interessados atuem de maneira ampla e irrestrita no desenvolvimento e implementação de inovações, tanto em relação ao processo produtivo, quanto a inovações com rejeitos de mineração. Entretanto, o expressivo grau de concentração identificado tanto nas empresas de mineração como nas empresas fornecedoras de equipamentos e serviços pode ser um entrave a abertura para empresas entrantes no sistema.

Em síntese, o sistema de inovação na atividade de mineração de minério de ferro em Minas Gerais é caracterizado por um grupo pequeno de empresas mineradoras, que atuam em escala global. Os fornecedores de equipamentos e serviços também possuem estas características, sendo que daqueles selecionados dentro do critério adotado, nenhum está instalado em Minas Gerais. Para Mazucatto (2011), o Estado deve conduzir o sistema de inovação levando em consideração as vocações naturais através de políticas públicas; agindo desta forma, passa a conduzir o sistema de inovação, nas palavras dessa autora, agindo como um leão. Na medida em que o Estado não agiu dentro do momento correto, acabou por permitir uma demasiada concentração de poder em uma determinada empresa, que acabou por deixar o Estado restrito a defesa de seus interesses. Passou, portanto, a agir como um gato, representando submissão ao poder econômico.

As demais organizações relevantes para o sistema de inovação já apresentam uma variedade e diversidade, com universidades e centros de pesquisa públicos e privados e órgãos de fomento atuantes, além de associações técnicas, sindicatos e outras organizações. Uma ausência é um parque tecnológico que tenha como atribuição – ainda que de forma geral – prover as empresas mineradoras de inovações, mediante interações entre empresas de mineração, entre as empresas fornecedoras de equipamentos e serviços e ainda com a participação de universidades e centros de pesquisa, em interações horizontais e verticais.

Existe uma concentração de pedidos de patentes de empresas de mineração no Brasil: apenas 11 empresas mineradoras instaladas no país depositaram patentes, em um período de 15 anos. A empresa líder Vale S.A. é a maior depositante de pedidos de patentes, com mais de 73% dos pedidos apresentados. No que diz respeito a patentes que envolvem rejeitos de mineração de minério de ferro, esta empresa também é a principal depositante de pedidos de patentes junto ao INPI.

Apesar de possuir um sistema local e regional de inovação, a atividade de mineração não conseguiu atrair as maiores empresas fornecedoras para se instalar no Estado de Minas Gerais. Por não estarem instaladas, estas empresas não possuem como foco problemas locais, mas que buscam soluções para problemas gerais das empresas, levando em consideração casos genéricos, que possam atender ao maior número possível de empresas. Desta forma, para a compreensão da forma de operação atual da atividade de mineração, deve-se considerar o sistema global de inovação.

O termo rejeito foi identificado na nuvem de palavras criada a partir dos resumos das patentes; o aproveitamento de rejeitos de mineração de ferro atraiu o interesse da maior produtora deste bem mineral, que também é a maior geradora de rejeitos, assim como de universidades e centros de pesquisa e de inventores. Mas até o momento não conseguiu atrair o interesse dos principais agentes da inovação, que são os fornecedores de equipamentos e de serviços não residentes no Brasil.

O trabalho indica que a mineração de minério de ferro no Estado de Minas Gerais apresenta grande concentração, assim como sua cadeia de fornecedores de equipamentos e serviços, que possuem

atuação global. O mapeamento dos agentes depositantes realizado indica que o caminho da inovação neste setor passa pelos fornecedores, que são os principais depositantes de patentes no Brasil, e não pelas empresas mineradoras.

Um caminho a ser trilhado seria a atração dos principais fornecedores de equipamentos e de serviços mundiais para a participação em um parque tecnológico. Este parque poderia ser um ponto de convergência entre as empresas mineradoras e as empresas fornecedoras, e com as universidades, centros de pesquisa e demais organizações participantes do sistema de inovação.

Concluindo, o presente trabalho constatou a presença de um sistema setorial de inovação na mineração em Minas Gerais composto por empresas mineradoras, fornecedoras, universidades e centros de pesquisas e outras organizações, que vem ao longo de décadas interagindo e promovendo o desenvolvimento e a aplicação de inovações. Porém, não houve uma capacidade de atração de empresas fornecedoras globais para instalação dentro do Estado de Minas Gerais, através de políticas públicas, no momento oportuno. Esta ausência de fornecedores instalados na região reforça sua atuação global, onde o foco das empresas é sempre redução de custos. Desta forma, os principais atores do sistema de inovação na cadeia da mineração, que são os fornecedores, não perceberam a importância de se dedicar as inovações relacionadas aos resíduos gerados pelas empresas de mineração, que lamentavelmente passaram a perceber a relevância deste tema somente após a ocorrência de acidentes envolvendo rejeitos. Possivelmente o momento para a atração de empresas fornecedoras relevantes para se instalar no Estado de Minas Gerais tenha passado; um caminho interessante seria atrair estes fornecedores globais para participação em parques tecnológicos voltados para a mineração e com atenção especial aos resíduos gerados por esta atividade. Desta forma poderia ser promovido de forma robusta a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento deste material, além de propiciar as empresas fornecedoras mão de obra local capacitada, formada nas universidades e centros de pesquisa instalados no Estado de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACESITA - Acesita 60 anos. 2015. Disponível em https://brasil.aperam.com/wp-content/uploads/2015/11/relatorio_anual_2004.pdf Acesso em 19/4/2020.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - 2020. <http://www.abnt.org.br/> Acesso em 19/04/2020.
- ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - 2019. <https://www.abmbrasil.com.br/> Acesso em 19/04/2020.
- AGLOAMERICAN. <https://brasil.angloamerican.com/pt-pt> Acesso em 19/04/2020.
- ANM - Agência Nacional de Mineração - **Anuário Mineral Brasileiro – Principais substâncias metálicas, 2018**. versão 1, março/2019.
- APERAM. Acesita 60 anos. 2015. Disponível em https://brasil.aperam.com/wp-content/uploads/2015/11/relatorio_anual_2004.pdf Acesso em 19/4/2020.
- ASHEIM, B.; SMITH, H. L. - **Regional Innovation Systems: theory, empirics and policy**. Regional Studies, vol.45.7, pp. 875-891, July 2011.
- COOKE, P. - **Regional Innovation Systems, Clusters and the Knowledge Economy**. Industrial and Corporate Change, vol. 10 n.4, pp.44-45, 2001.
- CETEM- Centro de Tecnologia Mineral. <https://www.cetem.gov.br/> Acesso em 19/04/2020.
- CREA-MG – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais. **Cartilha cadeias produtivas do estado de Minas Gerais**. Alfredo Costa *et al.*, 2017. Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.crea-mg.org.br/images/cartilhas/Cadeias-produtivas-do-estado-de-Minas-Gerais---Web.pdf> Acesso em 23/04/2019.
- CSN – Cia Siderúrgica Nacional. http://www.csn.com.br/default_pti.asp?idioma=0&conta=45 Acesso em 19/04/2020.
- CHAVES, A. P. **Inovação tecnológica na mineração – 2018**. Disponível em: <https://geokrigagem.com.br/inovacao-tecnologica-na-mineracao/>. Acesso em 23/05/2019.
- DE CARVALHO, J. M. **A escola de minas de Ouro Preto: O peso da glória – 2010**. Centro Edelstein de Pesquisas Sociais. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/7j8bc/pdf/carvalho-9788579820052.pdf>. Acesso em 23/04/2019.
- FERRAND, P. **O ouro em Minas Gerais**. Fundação João Pinheiro, Centro de estudos históricos e culturais, Belo Horizonte, 1998.
- FIEMG. Federação da Indústrias do Estado de Minas Gerais. **A mineração em Minas**. Disponível em: <https://www.emfrenteminas.com.br/> Acesso em 02/05/2019.
- FREEMAN, C. **The national system of innovation in a historical perspective**. Cambridge Journal of Economics, vol.19, pp.5-24, 1995.

GOMES, F. M. **História da siderurgia no Brasil**. Editora Itaiaia Ltda, Universidade de São Paulo, **1983**.

GOMES, R. B. **Influência na recuperação da reserva e disposição dos rejeitos no desenvolvimento sustentável de operações de minas no Quadrilátero Ferrífero**. Rede temática em engenharia de materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Tese de Doutorado, Ouro Preto, Minas Gerais, **2016**.

IPEA – Instituto de pesquisa econômica aplicada. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas**. Relatório de pesquisa. Brasília, **2012**.

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial - **2019**. <http://www.inpi.gov.br/> Acesso em 19/04/2020.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração - **2019**. <http://www.ibram.org.br/> Acesso em: 19/04/2020.

KOMNIMOS, N. **Regional Intelligence: distributed localised information systems for innovation and development**. International Journal of Technology Management, vol. 28, nos3/4/5/6, 483-506, **2004**.

LUNDVALL, B. **National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning**. 2 ed., Pinter Publishers, London, p. 1-19, **1995**.

MAZZUCATO, M. O Estado Empreendedor. **Desmascarando o mito do setor público vs. setor privado**. Portfolio-penguim, **2011**.

MINERIOS&MINERALES. 18 de dezembro de **2018**. **Mina Casa de Pedra está há 105 anos em operação**. Disponível em <https://revistaminerios.com.br/mina-casa-de-pedra/> Acesso em 19/04/2020.

PFITZNER, M. S. **A co-evolução entre os Sistemas Setoriais de Inovação e a Gestão da Inovação Tecnológicas nas Organizações: os casos de energia e mineração no Brasil**. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, Campinas, São Paulo, **2014**.

PIETROBELLINI, C.; MARIN, A.; OLIVARI, J. **Innovation in mining value chains: evidence from Latin America**. Resources Policy 58, 1-10, **2018**.

PINHO, F. A.; NEIVA, I. K. A. **200 anos Fábrica Patriótica: A primeira indústria de ferro do Brasil**. VALE, Belo Horizonte, Minas Gerais, **2012**.

SANTOS, U. P.; DINIZ, C. C. **A interação universidade-empresa na siderurgia de Minas Gerais**. Nova Economia, v. 23, n.2, 14 nov. **2013**. Disponível em <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/novaecnologia/article/view/2184> Acesso em 23/05/2020.

SANTOS, P. C. M.; DA SILVA, A. R. **A Escola de Minas de Ouro Preto, a “Sociedade Geographia Economica de Minas Geraes” e as Exposições Universais do final do século XIX e início do século XX**. Revista da Escola de Minas, vol. 58, n. 3, **2005**.

SIMI - Sistema Mineiro de Inovação – <http://www.simi.org.br/> Acesso em 19/04/2020.

SOUZA JÚNIOR, C. C. O Sistema Regional de Inovação no Estado de Minas Gerais: uma análise a partir de suas organizações e interações. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, **2014**.

TAVEIRA, A. N. S. Análise qualitativa da distribuição de custos ambientais. Estudo de caso da Samarco Mineração S.A. - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Dissertação de Mestrado, Campinas, São Paulo, **1997**.

VALE. Nossa história. 2012. Disponível em http://www.vale.com/PT/aboutvale/book-our-history/Documents/livro/Vale_Livro_Nossa_Historia_cap2.pdf Acesso em 27/04/2020.

VALE. Fato relevante. 2000. Disponível em <http://www.vale.com/brasil/pt/investors/information-market/press-releases/paginas/fato-relevante-aquisicao-da-samitri.aspx> Acesso em 27/04/2020.

WIPO – World Intellectual Property Organization. **Economic Research Working Paper No. 53. Technology appropriation and technology transfer in the Brazilian mining sector.** Blundi, D.; Loureiro, A. C. N. S.; Jorge, M. F.; Lopes, F. V.; Orind, V. - May **2019**.

WIPO – World Intellectual Property Organization. **Economic Research Working Paper No. 56. Mining patent data: Measuring innovation in the mining industry with patents.** Daly, A.; Valacchi, G.; Raffo, J. - May **2019**.