

SIC
Secretaria de
Estado
de Indústria,
Comércio
e Serviços



CADERNO 4

Cenários prováveis e visão de futuro

Relatório 5

Panorama da aplicação de novas tecnologias

PROF. DR. ANDRÉ CARLOS SILVA
Universidade Federal de Catalão (UFCAT)



GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS - GO

SECRETARIA DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E
SERVIÇOS - SIC

CADERNO 4 Cenários prováveis e visão de futuro

Relatório 5

Panorama da aplicação de novas tecnologias

Catalão, novembro de 2023.

CONTRATO Nº 08/2022 - SECRETARIA
DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E
SERVIÇOS – SIC

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS MINERAIS DE
GOIÁS - PERM 2022-2042

CADERNO 4
Cenários prováveis e visão de futuro

Relatório 5

Panorama da aplicação de novas tecnologias

PROF. DR ANDRÉ CARLOS SILVA
Universidade Federal de Catalão (UFCAT)

Catalão, novembro de 2023

AUTORES

André Carlos Silva

Graduado em Engenharia de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Mestre em Engenharia Mineral – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Doutor em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2682532729839545>

Elenice Maria Schons Silva

Graduada em Química Industrial – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Mestre em Engenharia Mineral – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3583927607917106>

Marcos Vinicius Agapito Mendes

Graduado em Engenharia de Minas – Universidade Federal de Goiás (UFG)

Mestre em Gestão Organizacional – Universidade Federal de Goiás (UFG)

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5517018260745401>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelos propostos para o desenvolvimento das ciências, tecnologia e inovação.	15
Figura 2. Despesas nacionais em P&D em relação ao PIB em países selecionados (2000-2015).	17
Figura 3. Municípios mineradores do estado de Goiás.	19
Figura 4. Mapa dos territórios goianos com maior potencial de inovação.	20
Figura 5. Evolução da arrecadação de CFEM.	26
Figura 6. Contribuição do percentual arrecadado da CFEM para o estado de Goiás.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Municípios Polos de Goiás – IMB (Quantitativo Populacional).	20
--	----

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. INOVAÇÃO TECNOLÓGICA	11
2.1 Inovação e desenvolvimento econômico regional	18
2.2 Políticas e incentivos à inovação tecnológica	20
3. NOVAS TECNOLOGIAS NA MINERAÇÃO	31
3.1 Inovações na lavra e planejamento	32
3.2 Inovações no processamento mineral	34
3.3 Inovações no descarte de rejeitos	37
4. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42

APRESENTAÇÃO

Este relatório faz parte do eixo “Objetivos estratégicos e ações” do Contrato 08/2022 – SIC, assinado em 04.11.2022 que tem como objeto a elaboração e execução do projeto de pesquisa denominado “PLANO ESTADUAL DE RECURSOS MINERAIS DE GOIÁS – PERM 2022 - 2042”. O conteúdo deste relatório irá apresentar as estratégias e ações voltadas para a promoção do marketing positivo do setor da mineração em Goiás.

1. INTRODUÇÃO

O mundo está em constante evolução e tem ocorrido mudanças rápidas, principalmente atreladas à demanda por novas tecnologias. Mas, por que as empresas inovam? Um novo produto ou processo pode representar uma vantagem de mercado, pode levar à redução de custos pela melhoria do desempenho, diminuir custos elevando os lucros e introdução de novo(s) produto(s), aumentando o leque ofertado aos atuais ou novos clientes. Assim, entende-se a inovação como uma estratégia de negócios para as empresas uma vez que expressa toda atividade que permite um diferencial de mercado, levando ao seu crescimento alinhado com as demandas da sociedade.

Apesar das vantagens apresentadas, as empresas tendem a apresentar um certo conservadorismo. Isso ocorre devido às incertezas do retorno do investimento em pesquisa e da aceitação do mercado frente a novos produtos. Dessa forma, pode-se citar três fatores que impulsionam as empresas em investir em ciência e tecnologia: (1) declínio da qualidade de sua matéria-prima e ou insumos do processo, o que impacta na qualidade de seu produto; (2) abertura de novos mercados, podendo significar novos clientes e crescimento da empresa e (3) fatores relacionados ao próprio desenvolvimento da humanidade, tais como mudanças climáticas, entre outros.

O Brasil, apesar de ser a 12ª maior economia do mundo, ocupa o 54º lugar no Índice Global de Inovação, demonstrando uma defasagem entre a capacidade do Brasil em inovar e de seu potencial econômico. Comprova, ainda, que há uma grande dificuldade em transformar as descobertas científicas em produtos que tragam um retorno financeiro para as ICT's ou para os pesquisadores envolvidos.

Apesar de sua longa história, a mineração era considerada como uma atividade humana associada à extração de recursos minerais apenas, causando grandes impactos ambientais. Foi apenas no Alto Renascimento que a investigação científica relacionada com as tecnologias mineiras recebeu um impulso, dando origem à classificação dos minerais, métodos de sua extração, organização do trabalho e esforços para garantir a segurança nas minas. Até o final do século XX, a base de informação da mineração se baseava apenas nos dados da geotecnologia. Mais recentemente, com o advento da indústria 4.0, as tecnologias inovadoras foram ativamente introduzidas na indústria

mineral, o que tem proporcionado redução significativa dos custos e aumento da eficiência da produção, além do desenvolvimento de projetos que não seriam considerados economicamente rentáveis no passado.

A crescente demanda por energia, metais, construção e matérias-primas para uso nas diferentes tecnologias trazem, por um lado, uma maior qualidade de vida às pessoas, mas, por outro lado leva à degradação ambiental, uma vez que se extrai os recursos naturais de forma muito mais acelerada.

A inovação tecnológica é a chave para o crescimento, competitividade e desenvolvimento de empresas em uma região, de acordo com seu potencial. Sua importância está alinhada ao próprio grau de desenvolvimento que se pretende para um determinado local (cidade, estado, país), o que afetará tanto de forma imediata quanto futura, refletindo na qualidade de vida da população em geral e de seus vários setores da economia.

Assim, é fundamental que um governo conheça e invista no potencial inovador da região pretendida, através da qualificação de mão-de-obra (recurso humano imprescindível para atuar na pesquisa e inovação), quanto em tecnologia, visando suprir o mercado mundial conforme a demanda. No caso da mineração, além de se conhecer o potencial do estado, é fundamental estar alinhado ao mercado mundial em relação aos minerais estratégicos, ou seja, os bens minerais requeridos a curto, médio e longo prazo conforme os avanços que a sociedade vive e requer..

2. INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

A economia mundial gira em torno da tecnologia e das inovações. Isso se deve ao impacto que as inovações causam na nossa vida, direta ou indiretamente. Embora alguns autores considerem a tecnologia como sendo ciência aplicada, essa definição nem sempre é verdadeira, embora atualmente a tecnologia dependa cada vez mais do conhecimento científico.

A inovação tecnológica é um processo contínuo e desempenha um papel importante na sociedade uma vez que se torna a base estratégica para o sucesso econômico e social, tanto de países desenvolvidos quanto dos países em desenvolvimento. Segundo Souza et al. (2023), pode-se citar como primeiro desafio na interação entre as instituições na gestão da inovação, as diferenças encontradas na forma de gestão própria de cada instituição quanto a recursos humanos, materiais e de marketing para a obtenção dos resultados esperados.

A gestão da inovação é um processo com características interdisciplinares e por isso o tema tem sido abordado sob variadas dimensões: organizacional, processos, produtos e tecnologia (LOPES et al., 2012). Nesse sentido, segundo Etzkowitz & Zhou (2017), criou-se, em 1990, o modelo de Hélice Tríplice (do inglês Triple Helix), reconhecido internacionalmente, sendo um guia de políticas e práticas nos âmbitos local, regional, nacional e multinacional, examinando pontos fortes e fracos locais e quais lacunas devem ser preenchidas nas relações entre universidades, indústrias e governos, com vistas a desenvolver uma estratégia de inovação bem-sucedida.

Para que o Estado – como órgão regulador e provedor –, a Universidade – como potencial tecnológico e acadêmico –, as empresas – como detentora dos recursos práticos e mercadológicos – e a sociedade – como geradora de demanda contingenciais – possam coexistir e se integrar para a obtenção do desenvolvimento, sob o paradigma da inovação, faz-se necessária uma gestão que se pautar pela postura estratégica e ética para agregar potencialidades de cada parte, com alvo à consolidação de propostas inovadoras.

Governo e indústria, os elementos clássicos das parcerias público-privadas, são reconhecidos como importantes esferas da sociedade desde o século XVIII. A tese da Hélice Tríplice é que a universidade está deixando de ter um papel social secundário, ainda que importante, de prover ensino superior e pesquisa, e está assumindo um papel primordial equivalente ao da indústria e do governo, como geradora de novas indústrias e empresas. À medida que a sociedade industrial é suplantada por uma era baseada no conhecimento, o conhecimento avançado é cada vez mais expeditamente traduzido em usos práticos, devido à sua natureza polivalente, simultaneamente teórica e prática. Processos de transferência de tecnologia a partir de descobertas teóricas que outrora levavam gerações para ocorrer agora transcorrem ao longo da vida profissional de seus inventores, dando-lhe a possibilidade de participarem tanto do processo de inovação como no de pesquisa. Quando os representantes da universidade, da indústria e do governo, assim como outros protagonistas, são convocados para discutir os problemas e potencialidades regionais, pode nascer uma nova dinâmica de inovação e empreendedorismo. Quando esses espaços de “conhecimento” e “consenso” se unem, o palco está pronto para a adaptação e invenção de novas metodologias para o desenvolvimento econômico e social baseado no conhecimento (ETZKOWITZ & ZHOU, 2017).

Segundo dados do site QuickDev (2023), a colaboração entre as três entidades que compõem a hélice tríplice pode gerar inúmeros benefícios para a sociedade, especialmente em termos de desenvolvimento econômico e social, tais como:

- Criação de empregos: geração de novas oportunidades de emprego, especialmente na área de tecnologia e inovação. As universidades são responsáveis pela formação de profissionais altamente qualificados, capazes de desenvolver pesquisas avançadas e inovadoras. Já o governo pode incentivar a criação de novas empresas e startups, oferecendo políticas públicas que facilitem a abertura de negócios e o acesso a financiamentos;
- Desenvolvimento de novas tecnologias: quando os três setores trabalham juntos, podem ocorrer importantes avanços tecnológicos e soluções para problemas sociais, como a criação de tecnologias que ajudam a preservar o meio ambiente ou melhorar a qualidade de vida das pessoas. Um exemplo de colaboração bem-sucedida entre os setores pode ser visto no desenvolvimento de novos

materiais para a indústria automotiva. As universidades realizam pesquisas sobre novas técnicas e materiais que podem ser utilizados na fabricação de carros mais leves e resistentes. As empresas aplicam esses conhecimentos em seus produtos, desenvolvendo veículos mais eficientes e econômicos. Já o governo pode oferecer incentivos fiscais e regulamentar a indústria, garantindo a segurança e a qualidade desses novos produtos. Além disso, o incentivo à inovação por parte do governo pode ser feito por meio de programas de financiamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento;

- Soluções para problemas sociais: pode haver a geração de soluções para problemas sociais (saúde, educação e meio ambiente). As universidades podem desenvolver pesquisas em áreas prioritárias para a sociedade, como a criação de medicamentos e tratamentos mais eficientes, a melhoria da qualidade do ar e da água, e a promoção de práticas sustentáveis. As empresas, por sua vez, podem aplicar essas soluções em seus produtos e serviços, oferecendo soluções mais eficientes e acessível para a população. O governo também pode incentivar a criação de políticas públicas que promovam a inovação e a solução de problemas sociais, por meio de programas de financiamento e incentivos fiscais;
- Desenvolvimento de capital humano: a colaboração entre universidade, empresa e governo pode contribuir para a formação de capital humano altamente qualificado, capaz de realizar pesquisas avançadas e inovadoras. As universidades são responsáveis por formar profissionais capacitados, que possam atuar em diferentes áreas do conhecimento. As empresas, por sua vez, podem oferecer oportunidades de emprego e desenvolvimento profissional, contribuindo para a formação de profissionais mais capacitados e preparados para enfrentar desafios.

Longo (2007) alerta para a necessidade de se distinguir invenção de inovação. Na terminologia da propriedade industrial, a invenção usualmente significa a solução para um problema tecnológico, considerada nova e suscetível de utilização. É patenteável a invenção que atenda aos requisitos de novidade, atividade inventiva e aplicação industrial. A inovação, por sua vez, significa a solução de um problema tecnológico sendo utilizada pela primeira vez, compreendendo a introdução de um novo produto ou

processo no mercado, em escala comercial, tendo, em geral, positivas repercussões socioeconômicas. O Manual Oslo, da OECD (1997), considera que as inovações tecnológicas compreendem a implementação de produtos e processos, tecnologicamente novos, assim como melhorias tecnológicas importantes em produtos e processos existentes para as empresas.

As inovações podem ser classificadas, quanto ao seu foco, em (OECD, 1997):

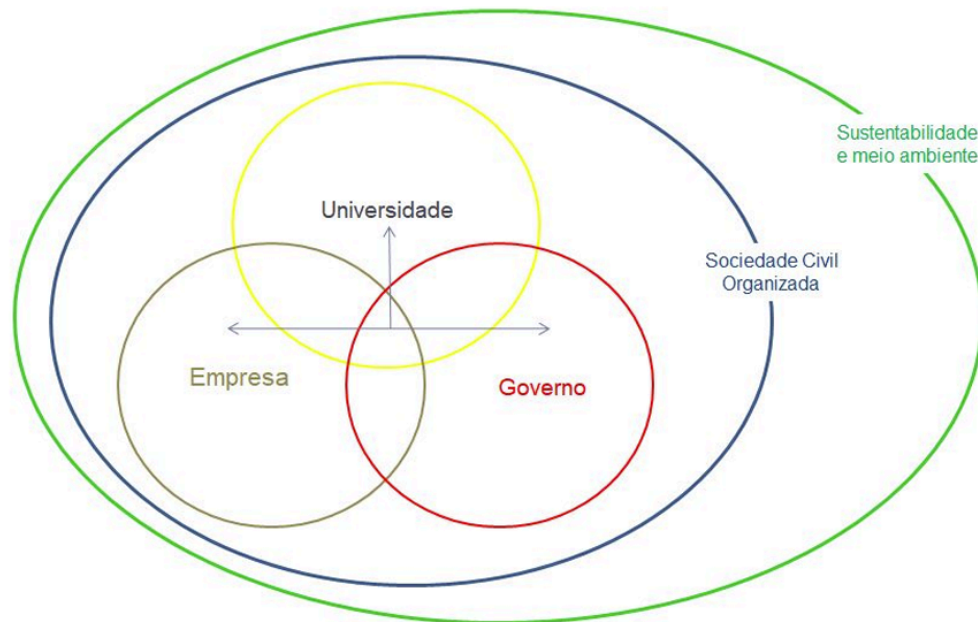
- Inovações de produto: se referem à inserção de produtos tecnologicamente inovadores, cujos atributos diferem de forma significativa de todos os produtos antes já desenvolvidos. Isso inclui os aperfeiçoamentos de produtos previamente existentes, onde os desempenhos tenham sido aprimorados significativamente, por meio de novas matérias-primas ou componentes de maior ganho;
- Inovações de processo: formas de operação novas ou aprimoradas tecnologicamente, de forma substancial, que são obtidas pela inserção de tecnologias novas de produção, assim como de metodologias novas ou notadamente aperfeiçoadas de manuseio e entrega de produtos. Tais inovações alteram de modo considerável a qualidade dos produtos ou do custeio de produção e entrega;
- Inovações organizacionais: referem-se a transformações que acontecem na estrutura gerencial da empresa, na forma de articulação entre suas diferentes áreas, no relacionamento com fornecedores e clientes, na especialização dos trabalhadores e nas múltiplas técnicas de organização dos processos de negócios.

Com o passar dos anos os estudiosos concluíram que o modelo da Hélice Tríplice era insuficiente para identificar e explicar todo o ecossistema da inovação e propuseram a criação de outros dois modelos, mais abrangentes: o da Hélice Quádrupla e Hélice Quíntupla.

Segundo Alves & Pitasse (2019), a Hélice Quádrupla prevê a entrega de resultados à comunidade propondo, ainda, que os cidadãos teriam o poder de propor inovações ao

ecossistema e não participando dos processos de geração e transferência de conhecimento e inovação. Já a Hélice Quintupla envolve as questões ambientais e de que forma a inovação acaba impactando. A figura 1 apresenta o modelo proposto.

Figura 1. Modelos propostos para o desenvolvimento das ciências, tecnologia e inovação.



Fonte: ALVES & PITASSE (2019).

Em uma economia globalizada é importante que as empresas sejam favoráveis à inovação tecnológica, para que tenham a capacidade de ampliar seus projetos, pois este fator influencia direta e indiretamente os setores produtivos. No contexto da globalização, as indústrias necessitam encontrar caminhos inovadores para se tornar mais competitivas. Através da formulação de estratégias, elas conseguem obter vantagens competitivas em relação às demais. Essa busca pelas vantagens só é conquistada com o uso de novas tecnologias para produtos e processos. A adaptação a esta realidade permite que as tecnologias sejam implementadas e rapidamente assimiladas pelos profissionais, de forma a proporcionar os benefícios que oportunizem vantagens competitivas (PORTER, 1986; ENGEL & AREND, 2013).

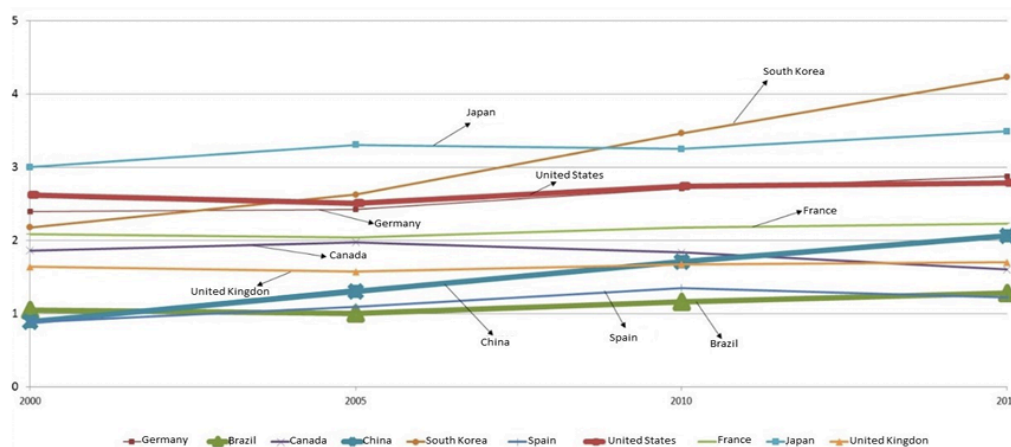
A capacidade de determinar a escala das atividades inovadoras, as características das empresas inovadoras e os fatores internos e sistêmicos que podem influenciar a inovação é um pré-requisito para o desenvolvimento e análise de políticas que visem

incentivar a inovação tecnológica. Dessa forma, os países que fazem parte do Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), dentre eles o Brasil, criaram o Manual de Oslo, que é a principal fonte internacional de diretrizes para coleta e uso de dados sobre atividades inovadoras da indústria (OCDE, 1997).

O Brasil precisa acelerar o seu desenvolvimento tecnológico e aumentar a sua taxa de inovação para agregar valor à produção nacional. De fato, o país vem pagando um alto preço pelo seu atraso tecnológico. A qualidade da pauta de exportações se deteriora, retornando o país a ser, cada vez mais, um exportador de produtos com baixo valor agregado (LEAL & FIGUEIREDO, 2021).

Sem melhorar a eficiência dos gastos e incentivos em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), o Brasil continuará a gerar resultados insignificantes em termos de inovação e produtividade e, conseqüentemente, a desacelerar o crescimento econômico. A figura 2 mostra que o investimento do Brasil em P&D, como percentual do produto interno bruto (PIB), aumentou continuamente de 2000 a 2015 em comparação com outros países. A taxa de investimento do Brasil em P&D é semelhante à de economias de alta renda, como Espanha (1,2%) e Itália (1,3%), e não muito distante daquela observada no Canadá (1,6%) (LEAL & FIGUEIREDO, 2021). Observa-se, contudo, que os valores investidos no Brasil são muito inferiores aos de países reconhecidamente desenvolvedores de equipamentos de alta tecnologia, como a Coreia do Sul, Japão, Estados Unidos e Alemanha. Um grande problema, no Brasil, é transformar o conhecimento gerado em aplicações práticas implementadas nas empresas, ficando, muitas vezes, restrito à comunidade científica. Isso decorre de vários fatores, como por exemplo a burocracia e longo prazo para pedidos e concessão de patentes. Assim, percebe-se que, apesar do investimento e dos processos de inovação, o seu impacto econômico ainda é deficiente no país.

Figura 2. Despesas nacionais em P&D em relação ao PIB em países selecionados (2000-2015).



Fonte: LEAL & FIGUEIREDO (2021).

Segundo Rodrigues et al. (2016), o sucesso de uma organização está em entregar a seus consumidores produtos e serviços com maior valor agregado possível (performance/preço), atendendo suas necessidades, em menor tempo e melhor que a concorrência. Assim, cabem às empresas definir as suas prioridades competitivas, sabendo-se que estas se constituem em um conjunto consistente de critérios que a empresa tende a valorizar para competir no mercado.

A humanidade tem enfrentado as consequências de graves problemas ambientais ocasionados pelas mudanças climáticas. Embora não seja o único, o gás carbônico (CO₂) é tido como o grande vilão. A redução nas emissões envolve inovações em todos os setores: doméstico, comercial, industrial, transportes etc. Os países têm trabalhado em diferentes frentes visando reduzir sua “pegada de carbono”. Dentre as ações realizadas pode-se citar:

- Mudança nos combustíveis empregados, eliminando o uso do carvão mineral e de derivados de petróleo;
- Aumento da eficiência de conversão de energia;
- Introdução de fontes de energia não carbônicas, tais como as fontes de energia renovável (solar e eólica);
- Captura e armazenamento de CO₂.

2.1 Inovação e desenvolvimento econômico regional

Segundo Etzkowitz (2005), o desenvolvimento tecnológico e econômico pautado na inovação se caracteriza fortemente pela vocação regional onde o processo se desenvolve, sendo impossível a obtenção de produtos inovadores fora do contexto estrutural local que se compõem, da junção não linear de conhecimento proveniente de bases culturais e educacionais, consenso para o agrupamento de atores relevantes e inovação, denotando o espaço de invenção na organização.

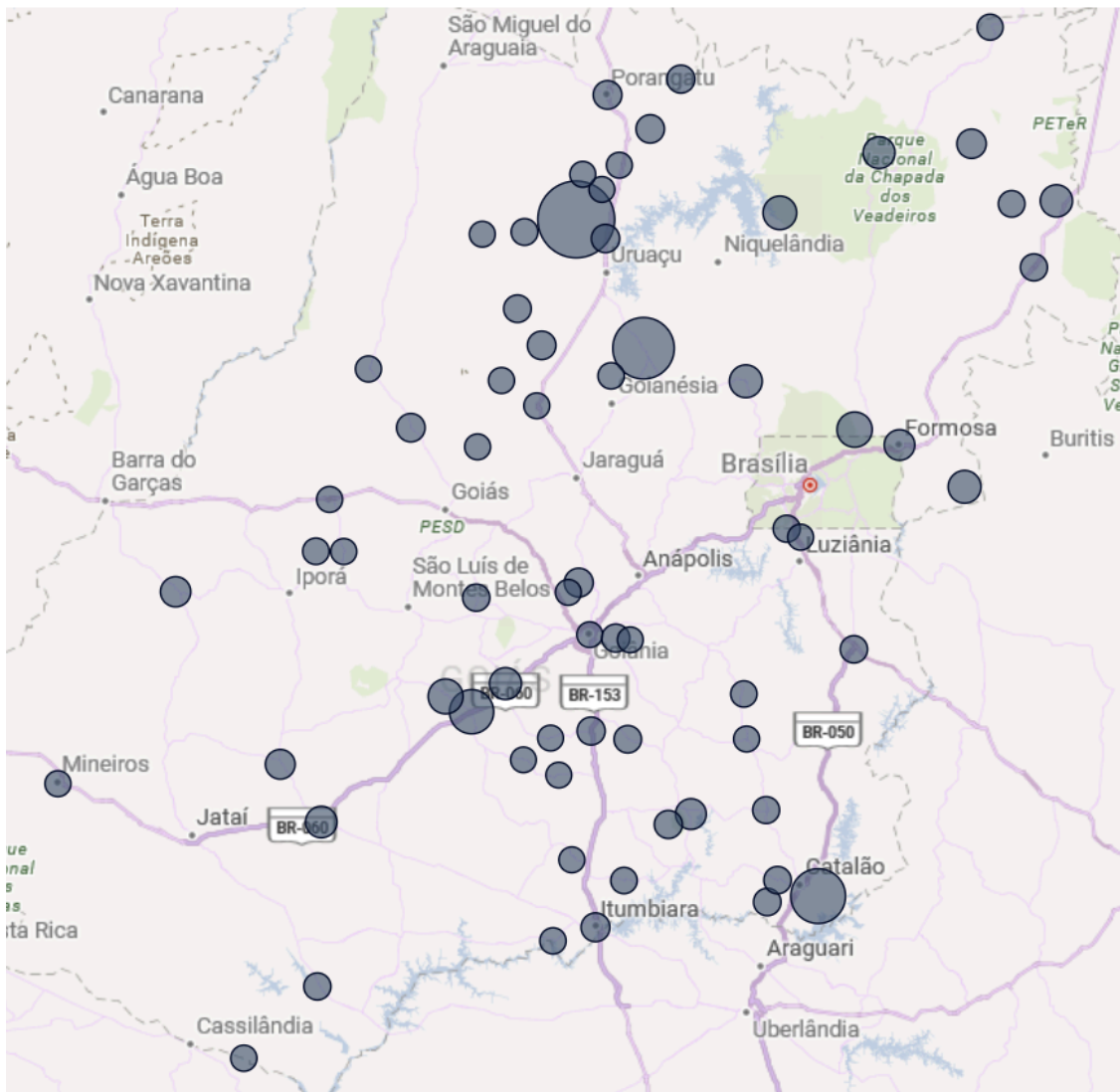
Um ambiente de inovação regional consiste num conjunto de instituições políticas, industriais e acadêmicas que, propositadamente ou não, atua no sentido de aprimorar as condições locais para a inovação. Nesse novo ambiente, as universidades, tradicionais produtoras e transmissoras de conhecimento, também se transformam em fatores de produção. As várias esferas institucionais podem exercer seus papéis especializados num processo de organização regional. Entretanto, se uma delas tem sua participação perdida ou restrita, outras podem exercer esse papel. Se um governo regional está ausente, uma universidade ou associação industrial pode tomar a liderança, por exemplo, para encorajar um distrito industrial a cooperar com as universidades ou outras instituições de produção de conhecimento. Muitas regiões têm lacunas em seu sistema de inovação e carecem de saídas para preencher essas lacunas. Assim, pode ser melhor pensá-los como ambientes em vez de sistemas, em que alguns elementos contribuem para fomentar a inovação, enquanto outros não (ETZKOWITZ, 2005).

Um dos principais parâmetros para saber como uma economia cresce, além de como criar empregos e melhorar a qualidade de vida sem aumentar a inflação, é a habilidade de desenvolver e comercializar novas tecnologias. As regiões que desenvolvem e aplicam o conhecimento tecnológico são chamadas de centros de inovação e se tornam mundialmente conhecidas pelos seus produtos e ou serviços (ARANHA et al., 2005).

Goiás é um dos estados mineradores do Brasil que se destacam pela diversidade e quantidade de bens minerais extraídos e processados. A figura 3 apresenta os municípios mineradores do estado. O estado se destaca pela variedade de depósitos minerais que possui. Contudo, há potencial para aumento, uma vez que existem áreas mapeadas com possibilidade de se iniciarem a extração e processamento mineral.

O estado de Goiás realizou o mapeamento do Ecosistema Goiano de Inovação, concentrando-se nos municípios polo das regiões de planejamento definidas pelo Instituto Mauro Borges (IMB), considerando tanto o seu quantitativo populacional quanto o seu potencial de inovação.

Figura 3. Municípios mineradores do estado de Goiás.



Fonte: adaptado de ANM (2023).

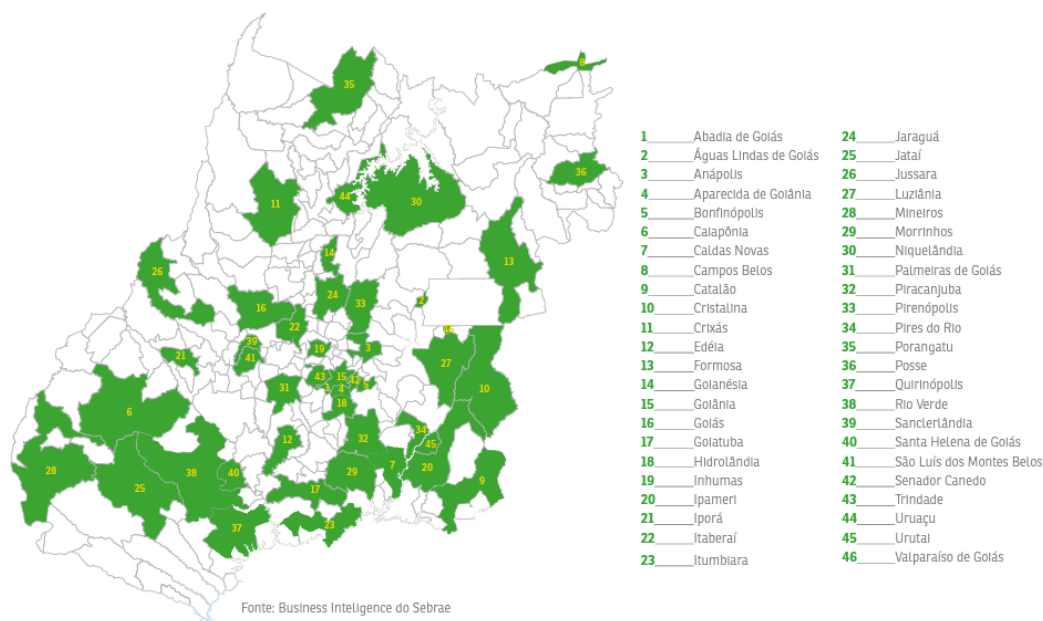
A tabela 1 apresenta essas regiões. Na figura 4 observa-se os municípios de Goiás com maior potencial de inovação.

Tabela 1. Municípios Polos de Goiás – IMB (Quantitativo Populacional).

Região (IMB)	Cidade	População
Metropolitana de Goiânia	Goiânia	1.536.097
Centro Goiano	Anápolis	391.772
Norte Goiano	Porangatu	45.633
Nordeste Goiano	Posse	37.414
Entorno do DF	Luziânia	211.508
Sudeste Goiano	Catalão	110.983
Sul Goiano	Itumbiara	105.809
Sudoeste Goiano	Rio Verde	241.518
Oeste Goiano	São Luiz dos Montes Belos	34.157
Noroeste Goiano	Itaberaí	43.622

Fonte: GOIÁS (2022).

Figura 4. Mapa dos territórios goianos com maior potencial de inovação.



Fonte: GOIÁS (2022).

2.2 Políticas e incentivos à inovação tecnológica

No Brasil, o órgão responsável pela gestão do sistema de concessão e garantia dos direitos sobre os ativos da propriedade intelectual, principalmente o industrial, é o Instituto Nacional de Produção Industrial (INPI), criado em 1970 como uma autarquia federal, e vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços através do Decreto nº 11.401, de 23 de janeiro de 2023 (BRASIL, 2023). Os serviços oferecidos pelo INPI incluem o registro de marcas, desenhos industriais, indicações

geográficas, programas de computador, topografias de circuitos integrados, concessões de patentes e as averbações de contratos de franquia e das distintas modalidades de transferência de tecnologia. As patentes se aplicam à invenção de novos produtos e/ou processos voltados à melhoria no uso ou fabricação de objetos de uso prático, podendo ser divididas em “patentes de invenção” (PI) e “modelos de utilidade” (MU), que possuem requisitos e prazos de proteção diferentes (INPI, 2018).

Em 1999 criou-se os fundos setoriais em função da necessidade de superar a crônica instabilidade da alocação de recursos para o financiamento do desenvolvimento científico e tecnológico e de constituir um mecanismo mais adequado de financiamento às atividades tecnológicas voltadas ao setor produtivo. Após a criação dos fundos setoriais, outras modificações importantes no marco institucional foram realizadas durante a década de 2000, tais como: (1) a promulgação da Lei de Inovação em 2004; (2) o aperfeiçoamento da legislação relativa aos incentivos fiscais para as atividades de P&D, que passaram a compor o terceiro capítulo da chamada Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005); e (3) o lançamento de diversos programas e chamadas públicas para apoio a empresas pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) (MORAIS, 2008).

A Lei da Inovação (nº 10.973/2004) dispõe sobre incentivos à inovação e pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Essa lei foi criada com o objetivo de legitimar e criar regras de interação entre o setor público e privado, além de criar incentivos para a inovação tecnológica, por meio de isenções fiscais. Dessa forma, o Estado se constitui como o principal financiador e promotor de políticas para as universidades (BRASIL, 2004). Em Goiás foi promulgada a lei nº 16.922/2010 que dispõe sobre o incentivo à inovação tecnológica no âmbito do estado de Goiás e dá outras providências. Prevê, ainda, incentivo a pesquisadores no estado e políticas de apoio aos Núcleos de Inovação tecnológica – NIT (GOIÁS, 2010).

Em 2016 foi promulgada a lei nº 13.243 (BRASIL, 2016), que dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera as seguintes leis: nº 10.973/2004, nº 6.815/1980, nº 8.666/1993, nº 12.462/2011, nº 8.745/1993, nº 8.958/1994, nº 8.010/1990, nº 8.032/1990 e a nº 12.772/2012, nos termos da Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015. Essa lei, conhecida também como Código de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I),

foi inspirada na Lei de Inovação francesa e no Bayh-Dole Act americano e representa o marco legal da inovação no Brasil. Atrela, ainda, as ICTs (Instituições de Ciência e Tecnologia) ao processo inovador.

Os artigos que especificam os tipos e as formas de operacionalização dessa interação na Lei de Inovação são: Artigo 4º, que estabelece as regras sobre compartilhamento ou permissão para utilização de laboratórios e instalações de ICT's com empresas ou organizações de direito privado sem fins lucrativos; Artigo 8º, que estabelece as regras e os incentivos sobre a prestação de serviços por ICT's a instituições privadas; e Artigo 9º, que estabelece as regras e os incentivos da celebração dos acordos de parceria entre ICT's e instituições privadas para o desenvolvimento tecnológico (RAUEN, 2016).

A Constituição Federal (BRASIL, 1988) já previa e regulamentava a ciência, pesquisa, desenvolvimento, tecnologia e inovação, conforme artigos 23 , 24 , 167 , 200 , 213 , 218 , 219 e 219-A. O artigo no 167 trata, inclusive, da possibilidade de remanejamento ou transferência de recursos de uma categoria de programação para outra, com o objetivo de viabilizar os resultados de projetos de pesquisa sem a necessidade prévia de autorização legislativa. Os artigos 218, 219 e 219-A deixam claro que o Estado estimulará a formação e o fortalecimento da inovação nas empresas, a constituição e manutenção de parques e polos tecnológicos e de demais ambientes promotores da inovação, além de poderem firmar instrumentos de cooperação com órgãos e entidades públicos e com entidades privadas, inclusive para o compartilhamento de recursos humanos especializados e capacidade instalada, para a execução de projetos de pesquisa, de desenvolvimento científico e tecnológico e de inovação, mediante contrapartida financeira ou não.

Um instrumento fiscal que o Brasil possui para incentivar os investimentos das empresas privadas em inovação é a chamada Lei do Bem (no 11.196/2005), uma vez que possibilita o uso de alguns incentivos fiscais, abarcando todos os setores da economia e regiões do país. De acordo com o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2023), os incentivos fiscais à PD&I foram instituídos para estimular investimentos privados em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, quer na concepção de novos produtos, como no processo de fabricação, bem como na agregação de novas funcionalidades ou características ao produto ou processo que implique em melhorias

incrementais e efetivo ganho de qualidade ou de produtividade, resultando em maior competitividade no mercado. Esses benefícios visam estimular a fase de maior incerteza quanto à obtenção de resultados econômicos e financeiros pelas empresas no processo de criação e testes de novos produtos, processos ou aperfeiçoamento dos mesmos (risco tecnológico).

O fomento à pesquisa científica em universidades e instituições no Brasil é realizado por meio de diversos órgãos ligados à Secretaria Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) e a secretarias estaduais que coordenam a captação e distribuição de recursos financeiros para pesquisadores e cientistas brasileiros. Para atingir objetivos de desenvolvimento tecnológico específicos, as agências de fomento, tanto nacionais como regionais, promovem chamadas públicas e editais favorecendo temas relevantes às realidades nacionais e regionais.

As principais instituições de amparo à pesquisa no Brasil são Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). No estado de Goiás, destaca-se a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), que aglutina recursos oriundos de dotações orçamentárias estaduais específicas para o fomento de pesquisas em Goiás (SOUZA et al., 2023).

O maior envolvimento da universidade na transferência de conhecimento e tecnologia, condução de pesquisas em colaboração com parceiros industriais e governamentais e o desenvolvimento de estratégias para crescimento regional, em colaboração com esses parceiros, são elementos concomitantes desse modelo. Três esferas institucionais (universidade, indústria e governo) operando mediante três espaços (conhecimento, consenso e inovação) provêm uma matriz de análise e benchmarking de esforços regionais de desenvolvimento (ETZKOWITZ, 2005).

De acordo com Rauen (2016), os Núcleos de Inovação Tecnológicas (NIT's) foram criados pela Lei de Inovação com o objetivo de auxiliar a gestão da política de inovação das ICT's, configurando-se em órgãos de uma ou mais ICT's, sem personalidade jurídica própria. O Artigo 16 da Lei de Inovação estabelece as atribuições dos NIT's nessa função, entre as quais tem destaque a gestão da política de propriedade intelectual,

visando à proteção das criações, e a transferência de tecnologias produzidas pelas ICT's por meio de licenciamento.

É amplamente aceita a ideia de que a produção de conhecimento – em universidades, institutos de pesquisa ou nas próprias empresas – é um dos elementos fundamentais para o desenvolvimento econômico. De uma forma geral, as análises sobre países como os Estados Unidos, o Japão, a Coreia do Sul e, mais recentemente, a China têm revelado que os processos bem-sucedidos de desenvolvimento resultam da existência de um amplo parque de pesquisa científica e tecnológica e de sua adequada interação com o setor produtivo (DE NEGRI & CAVALCANTE, 2013).

Em relação à inovação no estado de Goiás, em 2023, foi criado o “Pacto Goiás pela Inovação” que, de acordo com informações do site Goiás pela Inovação (2023) é um acordo entre Governo, Instituições de Ensino, Empresas e Sociedade Civil Organizada, visando uma governança conjunta e orquestrada, para responder aos desafios por meio de projetos que tenham impacto positivo na vida das pessoas, nas empresas e no meio ambiente.

Na Constituição Federal de 1988, em seu Art. 20, § 1º, estabeleceu-se uma contrapartida financeira por parte das minerações. Esse imposto é chamado de Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM), devendo ser paga aos Estados, Distrito Federal, Municípios e órgãos da administração da União, como contraprestação pela utilização econômica dos recursos minerais em seus respectivos territórios, observando o limite de até 4%. Os valores são definidos com base no bem mineral explorado.

De acordo com a lei no 8.001/1990, a distribuição da CFEM será feita de acordo com os seguintes percentuais e critérios (BRASIL, 1990):

- I. **7% (sete por cento)** para a entidade reguladora do setor de mineração;

- II. **1% (um por cento)** para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), instituído pelo Decreto-Lei nº 719, de 31 de julho de 1969, e restabelecido pela Lei nº 8.172, de 18 de janeiro de 1991, destinado ao desenvolvimento científico e tecnológico do setor mineral;

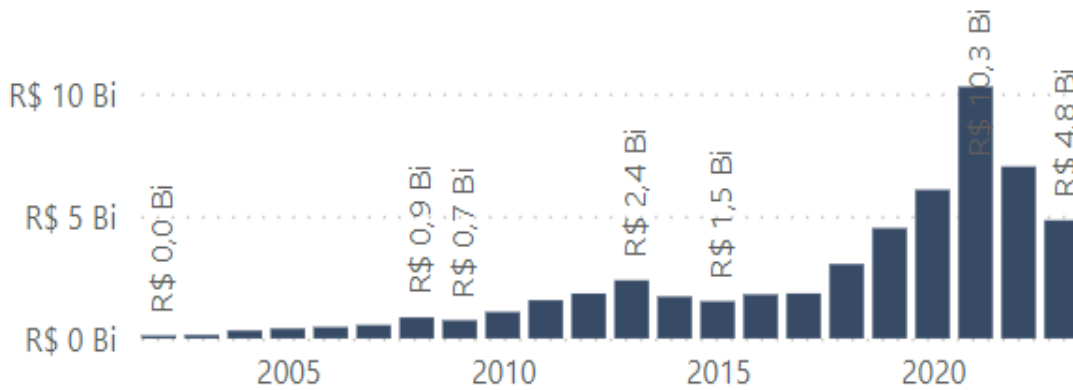
- III. **1,8% (um inteiro e oito décimos por cento)** para o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, criado pela Lei nº 7.677, de 21 de outubro de 1988, para a realização de pesquisas, estudos e projetos de tratamento, beneficiamento e industrialização de bens minerais;
- IV. **0,2% (dois décimos por cento)** para o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), para atividades de proteção ambiental em regiões impactadas pela mineração;
- V. **15% (quinze por cento)** para o Distrito Federal e os Estados onde ocorrer a produção;
- VI. **60% (sessenta por cento)** para o Distrito Federal e os Municípios onde ocorrer a produção;
- VII. **15% (quinze por cento)** para o Distrito Federal e os Municípios, quando afetados pela atividade de mineração e a produção não ocorrer em seus territórios, nas seguintes situações:
 - a) cortados pelas infraestruturas utilizadas para o transporte ferroviário ou dutoviário de substâncias minerais;
 - b) afetados pelas operações portuárias e de embarque e desembarque de substâncias minerais;
 - c) onde se localizem as pilhas de estéril, as barragens de rejeitos e as instalações de beneficiamento de substâncias minerais, bem como as demais instalações previstas no plano de aproveitamento econômico.

Observa-se que uma parte do recurso arrecadado pela CFEM deveria, obrigatoriamente, retornar para projetos científicos e tecnológicos do setor mineral. Contudo, não há uma clareza como tal recurso tem sido empregado.

A figura 5 apresenta a evolução da arrecadação de CFEM ao longo dos anos, demonstrando que houve uma elevação nos valores arrecadados, chegando a mais de R\$ 10 bilhões em 2020. Em 2022 Goiás arrecadou R\$ 0,18 bilhões, conforme dados da

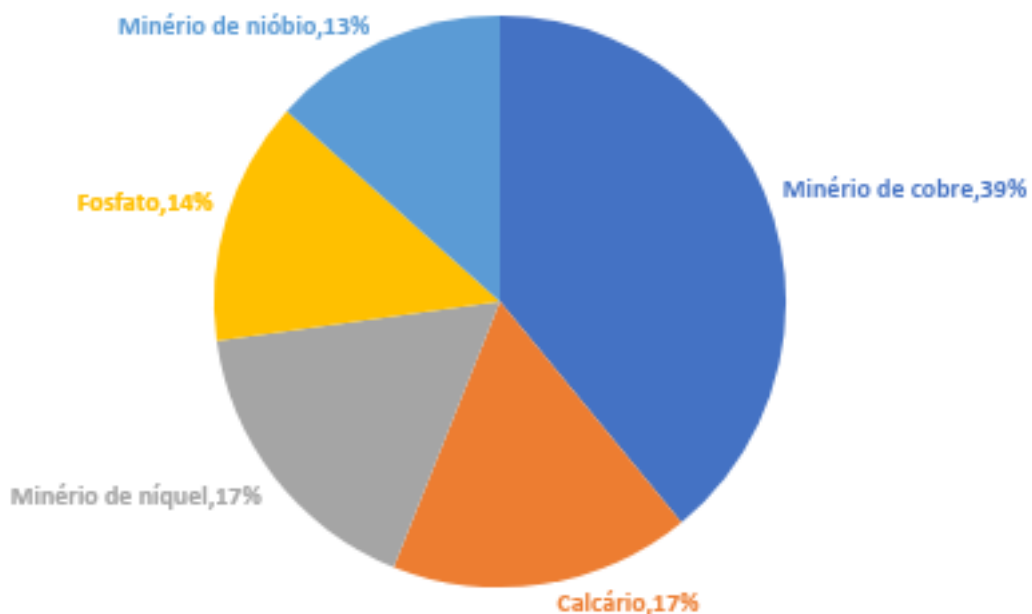
ANM (ANM, 2023), sendo a maior parte desse valor devida ao minério de cobre. A figura 6 apresenta as cinco maiores commodities em termos de porcentagem arrecadada pela CFEM para Goiás. Em 2023, até o momento, foi arrecadado R\$ 14 milhões.

Figura 5. Evolução da arrecadação de CFEM.



Fonte: ANM (2023).

Figura 6. Contribuição do percentual arrecadado da CFEM para o estado de Goiás.



Fonte: adaptado de ANM (2023).

Apesar dos investimentos feitos pelos órgãos federais e estaduais, é fato que a interação entre as universidades, centros de pesquisa e empresas) ainda é pequena. Ainda se realiza muita pesquisa básica, a qual certamente é necessária, mas que, em geral, não possui uma aplicação imediata na resolução de um problema. Dessa forma, é

fundamental que exista um protagonismo do governo em fomentar essa interação, visando projetos de pesquisa que possam atender às demandas do setor produtivo, garantindo um ganho em qualidade e/ou quantidade.

Para que se alcance resultados que satisfaçam às necessidades das empresas é fundamental que se tenha os insumos necessários para realização da pesquisa. Assim, é imprescindível que se faça investimento em equipamentos e processos modernos, tal qual os empregados em países desenvolvidos. Isso gera um fator competitivo muito importante, elevando o nível e a qualidade do que se desenvolve o que, conseqüentemente, aumenta a credibilidade. Dessa forma, não se estará apenas gerando conhecimento para aplicação regional, mas possibilitando exportar tecnologia para o mundo todo.

A infraestrutura de pesquisa científica e tecnológica existente em um país, em particular nas universidades e instituições públicas de pesquisa, é um dos principais componentes do que se chama de Sistema Nacional de Inovação. A fraca infraestrutura científica e tecnológica e seu reduzido relacionamento com o setor produtivo seriam elementos que permitem distinguir os sistemas de inovação latino-americanos dos asiáticos (FREEMAN, 1995; DE NEGRI & CAVALCANTE, 2013). Outro fator que se alinha nesse sentido é a existência de equipamentos antigos e que não conseguem atender à demanda de ensaios que o setor produtivo requer, levando as empresas a contratarem laboratórios em outros estados ou países.

Uma forma de facilitar a sinergia entre ICT's e empresas é a construção de parques tecnológicos. Em Goiás existem três parques cadastrados no Programa Goiano de Parques Tecnológicos (PGTec):

- Parque Científico-Tecnológico Samambaia (PTS), da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizado em Goiânia;
- Parque Tecnológico JataíTech, da Universidade Federal de Jataí (UFJ), localizado em Jataí;
- Parque Científico-Tecnológico TECNOIF, do Instituto Federal Goiano (IFGoiano), localizado em Rio Verde.

As empresas têm um timing diferente daquele que a maioria das universidades e centros de pesquisa trabalham, necessitando de resultados rápidos e precisos, uma vez que envolve quantias consideráveis de dinheiro. Assim, além da necessidade de equipamentos que atendam a demanda do setor, necessita-se também de pessoal qualificado para atuar no segmento de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Outro aspecto diz respeito aos níveis de concentração da infraestrutura de pesquisa no estado. Um exemplo a ser seguido seria o que a Alemanha implementou recentemente, definindo áreas de atuação das universidades, conforme o potencial regional de cada uma e expertise de seus pesquisadores. Assim, os editais de fomento à pesquisa e parcerias industriais seriam melhor direcionadas e otimizadas.

Outro fator que se reflete como um diferencial competitivo são as certificações dos laboratórios que prestam serviço às empresas. Como a maioria das empresas de médio a grande porte possuem certificações ISO 9001 e ISO 14.001, dentre outras, elas também buscam laboratórios certificados para realizarem seus testes garantindo uma maior confiabilidade dos resultados. Uma ação estratégica do governo estadual seria o apoio aos laboratórios de centros de pesquisa em obterem as certificações necessárias, haja visto que poucos laboratórios no país as possuem. Esse apoio pode vir na forma de cursos e treinamentos, além do apoio financeiro necessário. Além disso, muitos laboratórios de universidades não possuem um modelo de governança que esteja alinhado à demanda do mercado. Dessa forma, o estado pode proporcionar um auxílio no sentido da implementação desse modelo que defina claramente a forma de atuação e gerenciamento dos recursos.

Muitas empresas mineradoras enviam seus minérios para serem analisados em laboratórios de outros países, como o Chile, Canadá e Austrália, entre outros, devido aos seguintes fatores: (a) não se ter no Brasil laboratório que analise alguns parâmetros; (b) os laboratórios não possuírem certificação e (c) tempo de análise, o qual tem variado de 45 a 90 dias úteis a depender do teste requerido. Nesse sentido, o país perde uma quantia substancial de investimentos que poderia ser revertida para melhorias no próprio setor.

A necessidade de caracterizar a infraestrutura de pesquisa explica por que vários países, blocos e organismos dispõem de levantamentos sistemáticos sobre o tema. A União Europeia criou o Fórum Estratégico sobre Infraestruturas de Pesquisa (*European Strategy Forum on Research Infrastructure – Esfri*) e disponibiliza uma base de dados eletrônica com informações sobre infraestruturas de pesquisa e serviços prestados por elas. O governo australiano produz, desde 2006, um guia sobre a infraestrutura de pesquisa daquele país. A edição de 2011 teve como um dos seus objetivos “identificar áreas em que o investimento público em infraestrutura de pesquisa representaria uma diferença significativa para o desempenho da Austrália em pesquisa e inovação”. Levantamentos desta natureza não apenas permitem um adequado dimensionamento das interações que a infraestrutura de pesquisa pode estabelecer com o restante do sistema nacional de inovação, mas também possibilitam um planejamento mais criterioso dos investimentos públicos em Ciência, Tecnologia & Inovação (CT&I), ao promoverem a integração científica e ao evitarem a sobreposição de esforços (DE NEGRI & CAVALCANTE, 2013).

De acordo com Martini & Antunes (2005), um dos aspectos que denotam a capacidade de inovação tecnológica em determinada área de conhecimento é a existência de recursos humanos trabalhando em pesquisa. No caso de uma análise a nível de país, um levantamento de competências revela em que áreas se deve concentrar os estudos e direcionar investimentos para a ciência e tecnologia.

A capacitação de mão-de-obra para atuar em pesquisa e inovação se reflete na existência de cursos graduação e de pós-graduação (especialização, mestrado e doutorado) no estado, visando capacitar não apenas os pesquisadores que atuam em universidade e centros de pesquisa, mas também dos profissionais que atuam na indústria. Acredita-se que, assim, se terá uma cultura nas empresas de melhoria contínua e busca de novos produtos e mercados. Essa melhoria passa, inclusive, pelo melhor aproveitamento dos recursos naturais e (re)processamento de rejeitos gerados ao longo do processo produtivo.

A possibilidade de realização de pesquisas em parceria com outros países é uma vantagem para pesquisadores das universidades e alguns centros de pesquisa os quais podem, inclusive, passar um período atuando em universidades e centros de pesquisa de

outros países, por meio de mestrado/doutorado sanduíche e pós-doutorado. Essa atuação traz um diferencial regional importante, aumentando a confiabilidade e competitividade dos projetos desenvolvidos. Nesse sentido, é fundamental a concessão de bolsas de pesquisa que deem o suporte econômico necessário ao pesquisador por um período determinado. Existem fomentos nesse sentido no país. Contudo, em sua maioria são vinculados ao governo federal. O governo estadual pode proporcionar programas nesse sentido, garantindo um suporte que foca no desenvolvimento regional.

3. NOVAS TECNOLOGIAS NA MINERAÇÃO

A mineração desempenha um papel vital na economia de muitos países uma vez que vastas quantidades de minerais e metais críticos são extraídas anualmente. Segundo dados da Azo Mining (2023), o mercado mineral global atingiu US\$ 1.990,9 bilhões de dólares em 2022. Esse aumento se deu, principalmente, pelos problemas ocasionados pela pandemia da COVID-19 e pela guerra entre Rússia e Ucrânia, o que causou prejuízos na cadeia de abastecimento e aumento nos preços das matérias-primas.

Embora a tecnologia esteja totalmente integrada nos processos minerais, as emissões de carbono, alterações climáticas, poluição e esgotamento das reservas são preocupações vitais para a sociedade como um todo. Estima-se que as emissões globais de carbono do setor mineral estão em torno de 4 a 7% sendo necessária uma rápida descarbonização. Assim, preocupações ambientais, econômicas e de segurança tem impulsionado a inovação na mineração.

Segundo Araújo et al. (2023), o livro *De re Metallica*, de autoria de Georgius Agricola, foi o primeiro tratado sobre mineração publicado, sendo sua primeira edição escrita em latim em 1556, tendo sido traduzido para o inglês em 1912. Esse livro trouxe uma introdução biográfica, anotações e apêndices sobre o desenvolvimento dos métodos de mineração, processos metalúrgicos, geologia, mineralogia e leis da mineração dos tempos mais antigos até o século XVI. Ricamente ilustrado, o livro apresenta situações ainda muito atuais na prática da mineração, contudo, a percepção por parte do público geral, e mesmo de alguns autores, de que não há inovação na indústria mineral é equivocada e pode estar ligada a particularidades do setor.

A indústria mineral é responsável pelo fornecimento de insumos para praticamente todas as cadeias produtivas, e a obtenção destes produtos está associada a desafios técnicos, ambientais, humanos, dentre muitos outros, que requerem aperfeiçoamento contínuo e desenvolvimento de novas práticas, cuja ação conjunta de todos os atores que participam do processo é definida por Luz et al. (2010) como fundamental para o crescimento sustentável da mineração. Esses insumos fornecidos pelo setor mineral, geralmente, necessitam de processos para adequá-los a etapas subsequentes, uma vez que, devido às suas características, dificilmente são comercializados diretamente.

Um dos maiores desafios da indústria mineral é a quantidade de dados geocientíficos que possuem. Além das informações geradas diariamente, há bancos de dados com séries históricas importantes que necessitam do gerenciamento adequado. Dessa forma, segundo Ouanan & Abdelwahed (2019), é necessário aplicar a transformação digital e a inteligência artificial (IA) tem se mostrado extremamente útil nesse caso, uma vez que dados anteriormente considerados inutilizáveis, podem levar à melhoria na eficiência e desempenho, auxiliando na tomada de decisão de forma mais segura e acertada.

A mineração 4.0 pode ser considerada como um produto das tecnologias da internet e uma melhoria dos meios físicos de processamento de dados (ou seja, o desenvolvimento da inteligência artificial, visão e aprendizagem de máquinas, redes neurais, internet das coisas, sensores inteligentes etc.) (ZHIRONKIN et al., 2022).

A Mineração 4.0 é a estrutura para a integração de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), drones automatizados, impressão 3D, robótica, sensores, análise de dados para monitoramento e avaliação de desempenho na indústria de mineração (SKENDERAS & POLITI, 2023).

Zhironkin & Ezdina (2023) consideram que, atualmente, a indústria de mineração passa simultaneamente por duas etapas de transformação tecnológica – a transição para a plataforma Mineração 4.0 com a formação da plataforma do futuro (Mineração 5.0), uma vez que há a tendência de transição de tecnologias da indústria 4.0, tais como a inteligência artificial, big data, sensores inteligentes e robôs, visão de máquina etc., para a mineração 5.0, com o uso de robôs colaborativos, bioextração de minerais úteis, pós-mineração e revitalização de áreas exauridas. Alguns pesquisadores esperam a substituição da Mineração 4.0 para a 5.0 a partir de 2050.

3.1 Inovações na lavra e planejamento

Embora sejam cada vez mais raros, os acidentes com minas ainda ocorrem podendo levar a perda de vidas. Além disso, pode ocorrer perda dos recursos minerais valiosos contidos, impactando a viabilidade financeira dos projetos mineiros.

A automação é uma das tendências tecnológicas mais proeminentes na mineração. Esses avanços foram inspirados pela necessidade de aumento de produtividade, saúde e segurança.

Diferentes tecnologias inovadoras podem ser aplicadas na mineração levando não somente à redução de custos, mas também aumentando a segurança uma vez que muitos equipamentos podem ser operados e controlados remotamente, retirando os operadores da frente das tarefas perigosas. Algumas dessas tecnologias são: reconhecimento de localização, aprendizado de máquina, manufatura aditiva, robótica, internet das coisas (IoT) veículos e robôs autônomos. Já existem, por exemplo, tecnologias que fornecem modelagem 3D avançada do interior de minas subterrâneas. Ao conectar veículos e equipamentos com sensores, as empresas podem monitorar máquinas e equipamentos em tempo real e pará-los automaticamente se necessário para evitar acidentes, por exemplo.

As soluções de inteligência artificial (IA) na mineração usam dados inteligentes e aprendizado de máquina para melhorar a produção, eficiência e segurança da mineração, permitindo que as empresas gerem dados na metade do tempo do que se obtinha anteriormente em campo, permitindo que as empresas melhorem a tomada de decisões com insights baseados em dados mais rápidos e precisos.

A questão da pegada de carbono é um tópico extremamente pertinente e as empresas minerais têm buscado soluções a fim de reduzir as emissões de CO₂, visando garantir a sustentabilidade contínua do negócio. Nesse sentido, a tendência tem sido a utilização de equipamentos elétricos, inclusive caminhões que fazem o transporte do minério dentro das minas. Muitos veículos possuem diferentes sensores incorporados, como sensores de temperatura, vibração, pressão e deformação, são frequentemente usados para identificar parâmetros operacionais, como: velocidade do motor, velocidade de movimento, localização, pressão de escape, pressão do óleo do motor, taxa de consumo de combustível, temperaturas de exaustão e impulso e pressão.

Sensores de temperatura, cheiro e umidade podem detectar incêndios iminentes em minas. Existem, ainda, os sensores que podem detectar mudanças na temperatura da mina subterrânea visando indicar incêndios. Tecnologias digitais oportunizaram aos

operadores das minas a redução dos custos com equipamentos e mão-de-obra, minimizando o tempo de inatividade e melhorando a saúde e a segurança dos trabalhadores.

3.2 Inovações no processamento mineral

É necessário realizar operações a fim de adequar o minério às especificações de mercado. Alguns bens minerais demandam mais operações que outros e isso ocorre em virtude de suas associações minerais e à aplicação subsequente, tornando o beneficiamento mais ou menos complexo. Dentro das etapas realizadas tem-se a cominuição (britagem e moagem) que fragmentam o minério a fim de promover sua liberação, ou seja, fazer com que os grãos minerais fiquem livres e na granulometria adequada (tamanho) para a próxima etapa. Em seguida, o minério é encaminhado às etapas de classificação, visando separar em faixas granulométricas adequadas. Tais etapas podem ser realizadas a seco ou a úmido e envolvem, principalmente, peneiramento e hidrociclonação. Então, o minério é encaminhado às etapas de concentração, visando aumentar o teor do elemento de interesse. A escolha dessa etapa depende das propriedades diferenciadoras dos minerais do minério e podem ser físicas e/ou químicas. Ao final, realiza-se etapas de desaguamento a fim de remover a maior parte da água contida na polpa. Essa água, insumo fundamental, retorna ao processo.

Percebe-se a complexidade de processos aos quais os minérios são submetidos a fim de atingir as especificações dos clientes. A tendência natural dos depósitos minerais é que, ao longo dos anos, ocorra seu empobrecimento, levando a teores menores e de maior complexidade para se realizar o beneficiamento. Nesse sentido se desenvolveu a técnica de concentração chamada flotação, a qual compreende uma separação baseada na diferença de propriedades superficial das partículas minerais de terem (hidrofílicas) ou não (hidrofóbicas) afinidade com a água.

Uma vez que a maioria dos minerais tendem a molhar sua superfície, utilizam-se reagentes químicos a fim de prover a propriedade diferenciadora necessária à obtenção do concentrado dentro da especificação. A maioria dos reagentes químicos atualmente empregados nas empresas é sintética, importada e não-biodegradável, algumas vezes podendo ser potencialmente tóxico aos operadores e ao meio ambiente. Assim, tem-se buscado desenvolver novos reagentes que sejam tecnicamente tão ou mais eficientes

que os sintéticos, que possam ser produzidos regionalmente em locais próximos às empresas mineradoras (diminuindo os custos com transporte) e que sejam biodegradáveis. Vários estudos têm sido desenvolvidos no Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral (LaMPPMin), da Universidade Federal de Catalão (UFCAT) visando a aplicação de derivados do Cerrado ou cultivares produzidos em Goiás a fim de substituir os reagentes convencionalmente empregados na flotação no Brasil, especialmente os aplicados à rocha fosfática (fonte de fósforo para os fertilizantes) e minério de ferro, entre outros (SILVA, 2014; SILVA et al., 2014; ROCHA, 2014; PACHÊCO, 2016; MORAES et al., 2016; SILVA et al., 2017; SILVA et al., 2018; AMORIM et al., 2019).

Dentre os reagentes analisados no LaMPPMin pode-se citar os óleos vegetais extraídos do pequi e da macaúba (polpa e castanha), além do pinhão-manso, um fruto cultivado no Brasil, mas trazido da Índia para ser empregado na produção de biodiesel. Desses, o que apresenta um enorme potencial de aplicação industrial é o óleo da polpa de macaúba, tanto pelo seu perfil lipídico, produção e preço, quanto pela eficiência técnica que apresenta, comprovada por diversos estudos realizados (alguns em andamento).

A macaúba, fruto nativo do Cerrado brasileiro, obtido de uma palmeira, tem sido objeto de estudos agronômicos de um grupo vinculado à Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde realizou-se a quebra da dormência da semente, possibilitando produzir em menor tempo, aumentando a quantidade de óleo produzida. Dessa forma, passou-se de um fruto obtido através de extrativismo para um cultivo agrícola, atualmente com vários hectares plantados no norte de Minas Gerais. O LaMPPMin desenvolve um projeto de Doutorado Acadêmico em Inovação (DAI/CNPq) em parceria com a empresa Soleá Óleos Vegetais S.A., a qual cultiva e já extrai o óleo de macaúba em MG. Tal óleo tem sido testado para uso na flotação de rocha fosfática, demonstrando seu potencial de aplicação industrial.

Outro reagente amplamente utilizado em processos de flotação com função de depressor são amidos. No Brasil, devido à grande produtividade e baixo custo, emprega-se o amido de milho. Contudo, o milho é um dos cereais mais consumidos no setor alimentício, tanto humano quanto animal. Além disso, possui aplicação ampla em outras indústrias, como a produção de etanol e é um dos grãos mais exportados pelo Brasil.

Dessa forma, as minerações acabam utilizando derivados do milho se baixa pureza, como o gritz e o fubá. Dessa forma, o grupo de pesquisa do LaMPPMin testou derivados do sorgo como um substituto ao milho na mineração. Além do estado de Goiás ser o maior produtor nacional esse cereal possui menor demanda de água e nutrientes, podendo ser cultivado em condições de solos mais pobres e em regiões mais áridas. Outra vantagem é que, apesar da boa produtividade, o sorgo não é exportado no Brasil e nem empregado na alimentação humana e seu custo é cerca de 30% inferior ao do milho. Os estudos realizados demonstraram que, tanto o amido quanto a farinha de sorgo apresentam desempenho similar ou superior ao do milho para todos os minérios testados (SILVA, 2018; SILVA et al., 2019a; SILVA et al., 2019b; SOUSA, 2019; SILVA, 2021; RASMUSSEM et al., 2022; FRANÇA NETO, 2023).

Devido à granulometria extremamente fina que os concentrados finais dos minérios apresentam, resultado da necessidade de se promover maior liberação dos grãos em função dos teores mais baixos, é necessário realizar processos de aglomeração a fim de adequar os tamanhos dos produtos a serem empregados nos processos metalúrgicos. Essas etapas são a briquetagem e a pelotização. Em ambos se utiliza ligantes com o objetivo de promover a união das partículas minerais e conferir as propriedades mecânicas necessárias à manipulação, transporte e armazenamento até o uso. Esses ligantes podem ser orgânicos ou inorgânicos. Dentre os orgânicos um dos mais usados é o melaço da cana de açúcar, um subproduto da produção de açúcar. A maior desvantagem do uso desse insumo é o alto custo. Dessa forma, a equipe do LaMPPMin realizou estudos visando o uso do melaço de soja para fins de calcário a fim de gerar briquetes que degradariam lentamente no solo, melhorando e otimizando a correção do pH de solos (BARROS, 2016). Os resultados foram muito bons, gerando briquetes com as características necessárias. Contudo, ainda não foi implementado na agricultura.

Após passarem pelos processos de concentração, são gerados dois produtos: um concentrado e um rejeito. Um dos grandes desafios da indústria mineral é a destinação dos rejeitos que, embora tenham essa nomenclatura, são minerais sem valor econômico agregado no momento. Dessa forma, é fundamental que sejam realizadas pesquisas a fim de desenvolver aplicações e mercado para tais resíduos, agregando valor, gerando lucros para as empresas através da venda de coprodutos e diminuindo os impactos ambientais. O investimento feito ao se construir um empreendimento mineiro é elevado,

devendo-se otimizar ao máximo o uso dos recursos naturais, que são finitos, aumentando a vida útil da(s) mina(s) e diminuindo os impactos financeiros e sociais do fechamento de uma mineração ao final de seu tempo de vida. Nesse sentido, outro trabalho realizado pela equipe do LaMPPMin foi o aproveitamento dos finos de magnetita gerados no processamento de rocha fosfática no concreto (MENDES, 2014; MENDES, 2016). Os resultados levaram à obtenção do primeiro concreto magnético do mundo. Tal inovação não possui, ainda, aplicação industrial devido à falta de investimentos para se continuar a pesquisa no sentido de analisar possíveis aplicações práticas de tal concreto.

Percebe-se que há um potencial grande de pesquisa a ser realizada no processamento mineral. Essas pesquisas podem ser: no desenvolvimento de reagentes a serem utilizados em diferentes etapas, possibilitando também o crescimento do agroindustrial dedicado ao cultivo e extração/obtenção dos materiais na forma em que serão empregados no beneficiamento mineral; novas tecnologias que promovam maior seletividade do processo em tempo real, como sensores e analisadores de teores online; equipamentos mais eficientes para minério ultrafino (abaixo de 10 μ m) e soluções para energia, uma vez que o gasto energético de uma planta de processamento mineral é enorme, principalmente na etapa de moagem.

3.3 Inovações no descarte de rejeitos

Segundo Cacciuttolo & Valenzuela (2022), rejeitos minerais são, geralmente, formados por uma lama ou pó muito fino, que sobra após a trituração do minério e a extração de minerais valiosos. A produção de rejeitos é imensa, já que poucos quilos de metal são extraídos para cada tonelada de minério processado. Os rejeitos também podem conter produtos químicos utilizados em processos metalúrgicos, bem como outros metais e sulfetos contidos no minério, que precisam ser considerados para uma gestão segura dos rejeitos. Por esse motivo, a maior parte dos rejeitos não são inertes do ponto de vista geoquímico e devem ser descartados com controle para preservar o meio ambiente.

Muitas empresas mineradoras trabalham com taxas de produção diárias elevadas gerando grandes quantidades desses rejeito, os quais precisam ser transportados e dispostos em local seguro. Até poucos anos atrás o sistema de disposição de rejeitos, no Brasil, era basicamente em barragens. Contudo, após os dois rompimentos que

ocorreram em Mariana e Brumadinho, ambas em Minas Gerais, os órgãos ambientais modificaram a legislação e a disposição de rejeitos desaguados em pilhas tem sido a estratégia adotada pela maioria das grandes empresas.

A água é um insumo fundamental ao processamento mineral, sendo pouquíssimos empreendimentos mineiros que processam o minério a seco. Isso se deve à ineficiência dos processos de concentração a seco para granulometrias mais finas (faixa de liberação dos grãos minerais). Dessa forma, trabalha-se com uma polpa (mistura de sólidos + água), sendo necessário remover a água ao final do processo, gerando-se dois produtos: o sólido que será empilhado e a chamada “água de processo” a qual retorna ao circuito de beneficiamento.

As fontes de água doce para as atividades mineiras devem ser cuidadosamente estudadas devido aos impactos ambientais que podem ocasionar e custo para sua utilização. Além disso, o abastecimento de água durante a operação deve ser capaz de aumentar conforme a demanda durante toda a vida útil do projeto.

Tem se observado cada vez mais fenômenos climáticos que alteram o regime de distribuição de chuvas, ora ocorrendo enchentes ora secas severas. Dessa forma, há uma preocupação crescente com relação à disponibilidade de água para se realizar o processamento dos minérios, uma vez que existe também a exigência da comunidade e restrições ambientais. Por esta razão, o abastecimento de água é reconhecido como um dos fatores limitantes para o desenvolvimento de novos projetos minerais e para a expansão dos existentes em determinadas regiões. De acordo com Cacciuttolo & Valenzuela (2022), muitos depósitos de minério estão localizados na América Latina, onde países com climas secos (Chile, Peru, México, Argentina e Bolívia), os quais apresentam características de baixa precipitação e elevadas taxas de evaporação levando à necessidade de um plano de gestão eficiente da água para transportar e gerir os rejeitos durante a vida útil da mina. Outros locais na América Latina, como certas regiões do Brasil, também possuem operações de mineração que enfrentam escassez de água e seca.

Embora alguns países tenham conseguido implementar alternativas para o abastecimento de água para a mineração, como a dessalinização da água do mar ou o

uso direto dessa água, para o estado de Goiás, essa alternativa não seria viável economicamente. Ainda que o Brasil possua um extenso litoral, a distância que se teria que transportar essa água até as minerações goianas tornaria o processo economicamente insustentável. Dessa forma, deve-se focar em alternativas de recuperação e reuso da água, além de redução das necessidades de água doce de reposição através de modificações e/ou melhorias no processo empregado.

Atualmente, ainda é pequeno o número de empresas que investem em estudos a fim de caracterizar a água de processo e a forma como a mesma pode influenciar (positiva ou negativamente) na recuperação do mineral de interesse. Contudo, tem-se percebido uma que as indagações têm crescido e isso é um fator positivo, uma vez que pode levar à implementação de estratégias de gestão da água que considerem questões ambientais, questões técnicas, quadros regulatórios rigorosos, solicitações da comunidade e estratégias custo-efetivas, que resultem em uma maior economia no uso dos recursos hídricos e melhoria de processo através do tratamento da água de processos.

Uma das operações mais amplamente empregadas em processamento mineral para realizar as etapas de separação sólido-líquido é o espessamento, o qual consiste em um tanque cilíndrico cônico onde se realiza a sedimentação das partículas sólidas, removendo o líquido clarificado como *overflow*. Contudo, a umidade final do espessado (*underflow*) ainda é elevada, resultando em valores na faixa de 42 a 52%. O *underflow* era, então, enviado à barragem de rejeitos, de onde se bombeava água novamente para o processo. Contudo, o uso de barragens no Brasil está sendo descontinuado, em virtude do passivo ambiental que representam. Assim, os rejeitos espessados têm sido encaminhados para etapas de filtragem, resultando em uma umidade final na ordem de 10 a 15%, dependendo do tipo de filtro utilizado. A forma de dispor os rejeitos desaguados tem sido em pilha ou retornando às galerias exauridas no caso de mina subterrânea. É necessário, entretanto, analisar corretamente o local onde esses materiais serão dispostos, evitando impactos posteriores.

Um plano de gestão de água pode proporcionar uma melhoria na recuperação de água de rejeito para seu reaproveitamento em processo metalúrgico, transporte hidráulico de rejeito/concentrado e recuperação de minas. Assim, a elaboração desse plano deve levar

em conta todos os fatores, incluindo aqueles difíceis de quantificar como por exemplo a água de processo que se perde por evaporação.

Por fim, de acordo com Skenderas & Politi (2023), a necessidade de fazer a transição da mineração para um setor mais favorável à inovação para que as empresas permaneçam competitivas é importante para garantir e melhorar a eficiência e produtividade, segurança, responsabilidade ambiental e sustentabilidade, otimização de recursos, acesso a depósitos remotos, competitividade de custos, integração da cadeia de abastecimento e conformidade regulatória. Ao introduzir a IA, as empresas minerais melhoram seu rendimento em torno de 10 a 20% e sua produtividade de compras em até 50%. A automação melhora a eficiência operacional e fornece o controle, de forma remota, de muitas operações, eliminando a exposição dos trabalhadores a ambientes perigosos. Drones conseguem gerar informações de locais de difícil acesso, fornecendo insights detalhados sobre as condições antes do início das operações e reduzindo os custos de manutenção de máquinas danificadas. Além disso, as redes IoT, baseadas na sinergia de tecnologias sem fio e sistemas microeletromecânicos, contribuem para a rastreabilidade e visibilidade das operações de mineração e pode automatizar a coleta de dados.

4. CONCLUSÕES

A energia renovável é um desenvolvimento fundamental que reduz a necessidade de extração de combustíveis fósseis e fornece às minas energia limpa, barata e isenta de emissões, reduzindo a pegada de carbono do setor mineral. Os veículos elétricos estão substituindo rapidamente aqueles movidos a diesel. Além disso, a colaboração entre empresas, universidades e governo tem impulsionado a inovação na mineração.

A tendência é de novas soluções surgirem rapidamente, aprimorando equipamentos e softwares existentes, ou promovendo o desenvolvimento de soluções conforme a demanda. No geral, tem se percebido uma maior atuação dos engenheiros em áreas de inteligência artificial, análise de dados, *big data*, *internet of things* etc. Tudo isso tem sido permitido através da automação das várias etapas de um empreendimento mineiro, com implantação de sensores, câmeras, tecnologias de drones, entre outras, o que permite a geração de dados que, após analisados, levam à tomada de decisões fundamentadas. Outro fator muito importante é a capacitação de mão-de-obra para atuar em P&D a fim de atender à demanda do estado, além de clientes de outros estados do Brasil ou até mesmo de outros países, tornando Goiás um importante player mundial no setor, contando com profissionais extremamente capacitados para tal.

Uma ação fundamental é caracterizar a infraestrutura de pesquisa existente no estado de Goiás, a fim de aprofundar a análise de demandas e possibilidades. A identificação das deficiências é fundamental para a formulação de políticas de inovação e para investimentos naquilo que seja capaz de alavancar o setor mineral do estado, aumentando sua produção atual e de materiais tecnológicos, trazendo oportunidades de desenvolvimento econômico regional bastante significativas. Além disso, a obtenção de certificações para os laboratórios possibilitará alcançar novos clientes uma vez aumenta o nível de confiabilidade nos resultados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=c92683edf03e46148454150021c4eecb>. Acesso em 27 out. 2023.

ALVES, H.G.; PITASSE, J.G. A evolução da abordagem da triple helix no brasil: uma análise bibliométrica. Trabalho de Conclusão do Curso (TCC), graduação em Administração, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda/RJ, 2019.

AMORIM, A.L.S.; SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S.; LIMA, R.V.O.; MATA, C.E.D. Desempenho de uma mistura de óleos de macaúba e pinhão manso atuando como coletores na microflotação de apatita. XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (ENTMME), Belo Horizonte/MG, 2019.

ARANHA, J.A.S.; ROCHA, L.T.M.D.; ZARDO, J.; MALAMUT, A. Micro-cluster de desenvolvimento socioeconômico local. Revista Inteligência Empresarial, Rio de Janeiro, n. 23, pp. 14-20, 2005. Disponível em: <https://inteligenciaempresarial.emnuvens.com.br/rie/issue/view/27/11>. Acesso em: 09 out. 2023.

ARAÚJO, F.D.S.D.D.; LIMA, R.V.O.; SILVA, L.A.; SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S. Série histórica de pedidos de patentes de flotação mineral no Brasil. In: Inovação e desenvolvimento tecnológico em gestão organizacional [E-book]. Organizadores: André Carlos Silva, Elenice Maria Schons Silva, Vagner Rosalem, Goiânia: Cegraf UFG, pp. 100 - 114, 2023.

BARROS, M.R.D. Caracterização e avaliação da utilização de aglomerantes orgânicos e inorgânicos na aglomeração de finos de calcário. Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional (PPGO), Dissertação, Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2016.

BRASIL. Decreto nº 11.401, de 23 de janeiro de 2023. Dispõe sobre a vinculação das entidades da administração pública federal indireta. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Decreto/D11401.htm#art2. Acesso em: 09 out. 2023.

BRASIL. Lei nº 10.973, de 02 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Diário Oficial da União.

BRASIL. Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm#art2. Acesso em: 25 out. 2023.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm#art219a. Acesso em: 25 out. 2023.

BRASIL, Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18001.htm. Acesso em: 27 out. 2023.

CACCIUTTOLO, C.; VALENZUELA, F. Efficient use of water in tailings management: new technologies and environmental strategies for the future of mining. *Water* 2022, 14(11), 1741, 2022.

DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L.R. Sistemas de inovação e infraestrutura de pesquisa: considerações sobre o caso brasileiro. *Radar - Tecnologia, Produção e Comércio Exterior*, Brasília, n. 24, 2013. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/radar/temas/infraestrutura/236-radar-n-24-sistemas-de-inovacao-e-infraestrutura-de-pesquisa>. Acesso em: 09 out. 2023.

ENGEL, V.; AREND, S.C. A inovação tecnológica no contexto do desenvolvimento regional endógeno. *Crises do Capitalismo, Estado e Desenvolvimento Regional*, Santa Cruz do Sul/RS, 2013.

ETZKOWITZ, H. Reconstrução criativa: hélice tripla e inovação regional. Revista Inteligência Empresarial, Rio de Janeiro, n. 23, pp. 2-13, 2005. Disponível em: <https://inteligenciaempresarial.emnuvens.com.br/rie/issue/view/27/11>. Acesso em: 09 out. 2023.

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. Estudos Avançados, 31 (90), 2017.

FRANÇA NETO, P.P.D.; MATA, C.E.D.D.; SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S.; SILVA, L.A. Influência da dosagem e do tempo de condicionamento de amina na flotação de minério de ferro utilizando a farinha de sorgo como depressor. Tecnol. Metal. Mater. Min., vol. 20, e. 2807, 2023.

FREEMAN, C. The ‘national system of innovation’ in historical perspective. Cambridge Journal of Economics, Cambridge, v. 19, pp. 15-24, 1995

GOIÁS PELA INOVAÇÃO. Disponível em: <https://www.goiaspelainovacao.org.br/>. Acesso em: 25 out. 2023.

GOIÁS (Estado). Lei nº 16.922, de 08 de fevereiro de 2010. Dispõe sobre o incentivo à inovação tecnológica no âmbito do Estado de Goiás e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Goiás.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Indicadores de propriedade industrial 2018: o uso do sistema de propriedade industrial no Brasil. Rio de Janeiro: INPI, 2018.

LEAL, C.I.S; FIGUEIREDO, P.N. Inovação tecnológica no Brasil: desafios e insumos para políticas públicas. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro 55(3): 512-537, 2021.

LONGO, W.P.E. Conceitos básicos sobre ciência, tecnologia e inovação. 2007.

LOPES, A.P., KISSIMOTO, K.O., SALERNO, M.S., LAURINDO, F.J.B., CARVALHO, M.C. Gestão da inovação: uma revisão da literatura sobre a evolução e os diferentes modelos de inovação. XVIII ICIEOM, Braga, Portugal, 2012.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M. (ed.). Tratamento de minérios. 5ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MARTINI, A.M.M.G.; ANTUNES, A.M.D.S. Mapeamento de competências nacionais no segmento de E&P da indústria petrolífera. Revista Inteligência Empresarial, Rio de Janeiro, n. 23, pp. 24-39, 2005. Disponível em: <https://inteligenciaempresarial.emnuvens.com.br/rie/issue/view/27/11>. Acesso em: 09 out. 2023.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/lei-do-bem/paginas/o-que-e-a-lei-do-bem>. Acesso em: 25 out. 2023.

MENDES, M.V.A. Análise técnica da substituição parcial do agregado miúdo por rejeito magnético na produção de concreto. Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional (PPGO), Dissertação, Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2016.

MENDES, M.V.A. Aproveitamento dos finos de magnetita gerados no processamento de rocha fosfática. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2014.

MORAES, I.L.A.D.; SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S. Flotação de apatita utilizando óleo de pinhão-manso. Estudos Interdisciplinares em Ciências Biológicas, Saúde, Engenharias e Gestão, Cap. 15, pp. 239-247, 2016.

MORAIS, J. M. Uma avaliação dos programas de apoio financeiro à inovação tecnológica com base nos fundos setoriais e na Lei de Inovação. In: De Negri, J.A.; Kubota, L.C. (Orgs.). Políticas de incentivo à inovação tecnológica no Brasil. Brasília: Ipea, 2008.

OUANAN, H.; ABDELWAHED, E.H. Image processing and machine learning applications in mining industry: Mine 4.0. IEEE 2019 International Conference on Intelligent Systems and Advanced Computing Sciences (ISACS) and International Conference on Intelligent Systems and Advanced Computing Sciences (ISACS), Taza, Morocco, 2019.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). Manual de Oslo: Diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação. 2ª edição. Paris: OCDE, 1997.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO (OECD). Manual de Oslo. Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica. Departamento Estatístico da Comunidade Europeia, FINEP, 1997.

PACHÊCO, C.A.T. Análise técnica e econômica do uso do óleo da polpa de macaúba (*Acrocomia Aculeata*) como coletor na flotação. Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional (PPGO), Dissertação, Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2016.

PORTER, M.E. A vantagem competitiva das nações. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

QUICKDEV (site). O que é tríplice hélice: empresas, governo e universidade. Disponível em: <https://quikdev.com.br/triplice-helice/>. Acesso em: 30 out. 2023.

RASSMUSSEN, L.G.; SILVA, E.M.S.; SILVA, A.C. Flotação de rocha fosfática utilizando amido de sorgo como depressor. 2º CEPEX-UFCAT Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Catalão e III Seminário Interno de Iniciação à Pesquisa Científica, Tecnológica e em Inovação: Iniciação Científica, Universidade Federal de Catalão (UFCAT), Catalão/GO, 2022.

RAUEN, C.V. O novo marco legal da inovação no brasil: o que muda na relação ICT-empresa. Radar, 43, pp. 21-35, 2016.

ROCHA, T.W.P. Utilização do óleo da castanha de macaúba como coletor na microflotação da apatita. Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional (PPGO), Dissertação, Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2014.

SILVA, L.A. Análise técnico-econômica da mistura das farinhas milho, milheto e sorgo como depressor de nióbio da flotação de carbonatos. Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional (PPGO), Dissertação, Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2021.

SILVA, E.M.S. Utilização de amido de sorgo como depressor na flotação de minérios. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (PPGEM), Tese, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte/MG, 2018.

SILVA, A.C.C.; MORAES, I.L.A.D.; SILVA, E.M.S.; SILVA FILHO, C.M.; SOUSA, D.N. Seletividade do óleo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) na microflotação de apatita, calcita e quartzo. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 341-349, 2018.

SILVA, E.M.S.; PERES, A.E.C.; SILVA, A.C.; LEAL, M.C.D.M.; LIÃO, L.M.; ALMEIDA, V.O.D. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 1 – extraction and characterization. *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 8, Issue 1, pp. 396-402, 2019a.

SILVA, E.M.S.; PERES, A.E.C.; SILVA, A.C.; FLORÊNCIO, D.L.; CAIXETA, V.H. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 2 – flotation tests. Volume 8, Issue 1, pp. 403-410, 2019b.

SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S.; SILVA, T.F.V.; FERREIRA, K.C. Influência do método de saponificação na microflotação de apatita utilizando óleo da castanha da macaúba. *Tecnol. Metal. Mater. Min.*, vol.14, n. 1, p.30-38, 2017.

SILVA, T.C. Utilização do óleo de pequi como coletor na microflotação de apatita. Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional (PPGO), Dissertação, Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2014.

SILVA, T.C.; SILVA, A.C.; SILVA, E.M.S.; ALVES, B.E. Aplicação do óleo de pequi como reagente coletor na microflotação de apatita. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; pp. 99-107, 2014.

SKENDERAS, D.; POLITI, C. Industry 4.0 Roadmap for the Mining Sector. Mater. Proc., 15, 16, 2023.

SOUSA, D.N. Avaliação do uso da farinha e amido de milho como depressores na flotação de minerais. Programa de Pós-Graduação em Ciências Exatas e Tecnológicas (PPGCET), Universidade Federal de Goiás (UFG), Catalão/GO, 2019.

SOUZA, T.S.; LIMA, R.L.D.P.; SCHAITL, M.; SILVA, A.C.; BARROS, M.R.D.; SILVA, E.M.S. Gestão estratégica da inovação nas universidades de Goiás. In: Inovação e desenvolvimento tecnológico em gestão organizacional [E-book]. Organizadores: André Carlos Silva, Elenice Maria Schons Silva, Vagner Rosalem, Goiânia: Cegraf UFG, pp. 63-76, 2023.

ZHIRONKIN, S.; GASANOV, M.; SUSLOVA, Y. Orderliness in Mining 4.0. Energies 2022, 15(21), 8153, 2022.