



FÓRUM MINERAÇÃO SUSTENTÁVEL

Sandra Lúcia de Moraes
Diretora Técnica – Materiais Avançados

05/10/2022



O QUE É O IPT?

EXISTIMOS PARA PROVER SOLUÇÕES
TECNOLÓGICAS PARA A INDÚSTRIA,
OS GOVERNOS E A SOCIEDADE,
HABILITANDO-OS A SUPERAR
OS DESAFIOS DA NOSSA ÉPOCA



RECEITAS

Venda de projetos e serviços por meio da Fundação de Apoio ao IPT (FIPT)

Dotação orçamentária do Governo do Estado de São Paulo

Venda de projetos e serviços para os setores público e privado



IPT EM NÚMEROS (2021)



123 ANOS DE
CONTRIBUIÇÕES PARA
A SOCIEDADE



> 1000
FUNCIONÁRIOS E
COLABORADORES



37% DE RECEITA EM
PROJETOS DE
INOVAÇÃO



> 3450
CLIENTES
ATENDIDOS



CLIENTES SATISFEITOS
NPS 81
(ZONA DE EXCELÊNCIA)



> 17.000
DOCUMENTOS
TÉCNICOS EMITIDOS



> 2000 PROCEDIMENTOS
DE ENSAIOS E ANÁLISES
NO PORTFÓLIO

O QUE FAZEMOS?

PESQUISA,
DESENVOLVIMENTO
E INOVAÇÃO

PRODUTOS E PROCESSOS
SOFTWARES
DA BANCADA AO PILOTO
APOIO DE FOMENTO
EMBRAPII

TESTES, ENSAIOS
E ANÁLISES

PARECERES TÉCNICOS
AVALIAÇÃO
DE PRODUTOS
CERTIFICAÇÃO
DE PRODUTOS

INSPEÇÕES E
MONITORAMENTOS

OBRAS E ESTRUTURAS
MÁQUINAS E
EQUIPAMENTOS
ORGANISMO DE
INSPEÇÃO ACREDITADO

DESENVOLVIMENTO
METROLÓGICO,
MEDIÇÕES
E CALIBRAÇÕES

PROGRAMAS
DE PROFICIÊNCIA
DESENVOLVIMENTO
DE PADRÕES
METROLOGIA AVANÇADA

MATERIAIS DE
REFERÊNCIA
CERTIFICADOS

METAIS
CERÂMICAS
MINERAIS
VISCOSIDADE
AREIA NORMAL

ENSINO
TECNOLÓGICO

MESTRADO
PROFISSIONAL
CURSOS DE EXTENSÃO
CURSOS SOB DEMANDA



UNIDADES DE NEGÓCIOS

BIONANOMANUFATURA

Biotecnologia, Nanotecnologia, Microfabricação, Química e EPIs

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

Planejamento Territorial, Obras Civas, Riscos, Recursos Hídricos, Florestas

ENERGIA

Geração, Infraestrutura, Eficiência, Energias limpas

HABITAÇÃO E EDIFICAÇÕES

Conforto, Desempenho, Segurança, Materiais, Sustentabilidade

MATERIAIS AVANÇADOS

Metálicos, Poliméricos, Compósitos, Celulósicos, Corrosão

TECNOLOGIAS DIGITAIS

IoT, Sistemas Embarcados, Sistemas de Transportes, IA, Analytics

TECNOLOGIAS REGULATÓRIAS E METROLÓGICAS

Mecânica, Elétrica, Vazão, Aerodinâmica, Química





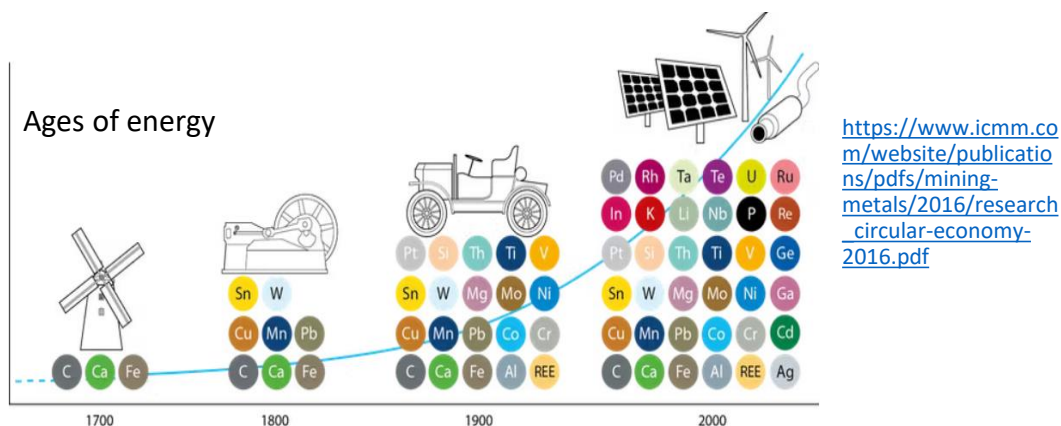
REJEITOS DA MINERAÇÃO NO BRASIL: SUA GERAÇÃO E APROVEITAMENTO



FÓRUM MINERAÇÃO
SUSTENTÁVEL

DEMANDA POR BENS MINERAIS

Elements widely used in energy pathways



Os **bens minerais** são **componentes essenciais** de grande parte dos produtos utilizados pela **sociedade moderna**, tendo um **papel fundamental** tanto para a **economia** quanto para a **população**.

Cada brasileiro consome cerca de 5,4 t/ano de insumos de origem mineral

Insumo	Consumo anual por habitante (kg)
Aço	116
Alumínio	8,3
Cobre	1,9
Manganês	1,5
Ouro	0,29
Zinco	1,29
Outros metais	4,0
Fertilizantes	27
Areia+brita	3700
Cimento	320
Argila	1220
Vidro	8,75
Gesso	18

Fonte: Araújo, 2017.



70 anos

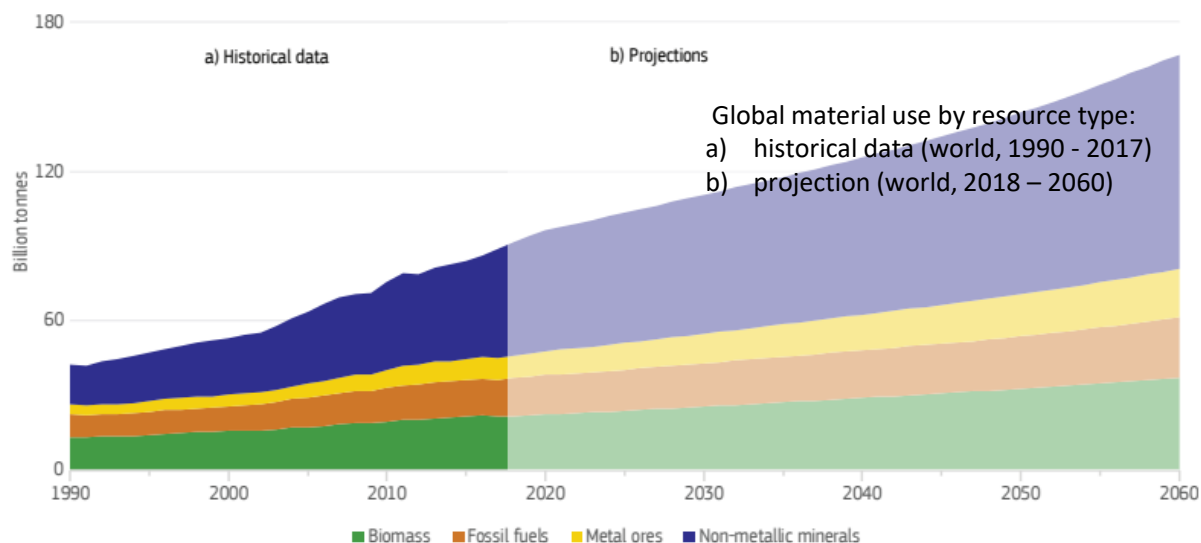
Expectativa de vida

328 t

Insumos de origem mineral

3000 t

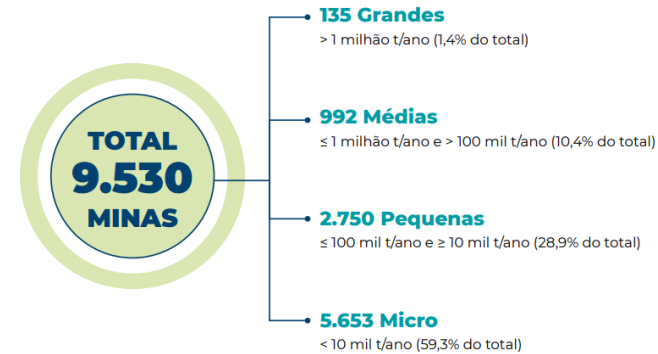
Rejeitos de mineração gerados



A INDÚSTRIA MINERAL NO BRASIL

Fatores como a extensão territorial de dimensões continentais e a expressiva geodiversidade, caracterizada por uma variedade de ambientes geológicos propícios a uma grande gama de mineralizações, conferem ao Brasil rica dotação mineral, equiparando-o às grandes potências minerais globais

É predominantemente formada por micro e pequenas empresas (88%)

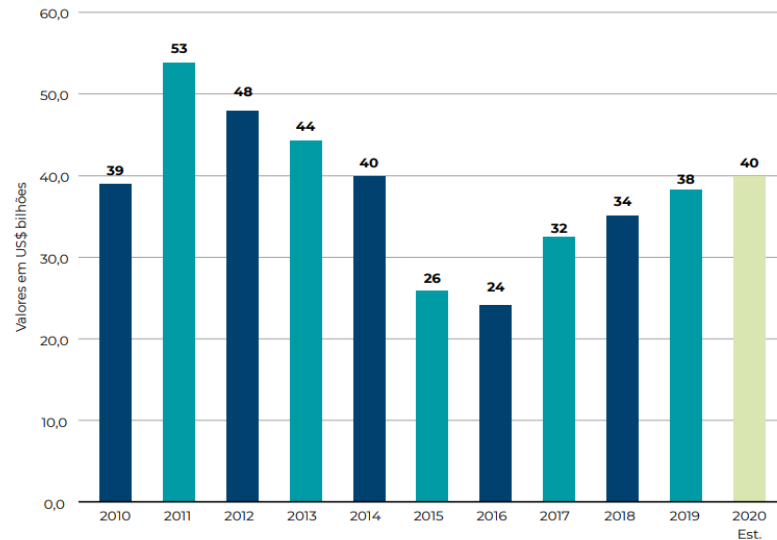


Número de minas/unidades produtoras em operação no Brasil – 2019

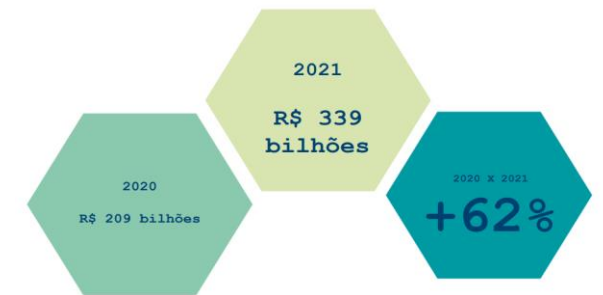


FONTE: ANM / elaboração IBRAM
Disponível em:
<https://www.inthemine.com.br/site/wp-content/uploads/2022/02/Dados-IBRAM-%E2%80%93-Sector-Mineral-%E2%80%93-2021.pdf>

PRODUÇÃO MINERAL BRASILEIRA (PMB)



Fonte: IBRAM fev/2020 – Exclui Petróleo & Gás, valores anunciados antes da pandemia do corona vírus no Brasil



- 174.719 empregos diretos (dados de Dezembro/2019)
- 2,2 milhões de trabalhadores indiretos ou induzidos

A MINERAÇÃO E A GERAÇÃO DE REJEITOS

Uma das características marcantes da indústria mineral refere-se aos expressivos volumes de massas de materiais removidos e movimentados a partir das áreas mineradas. Do montante extraído das minas, apenas uma parcela resulta no produto mineral destinado aos setores intermediários (indústria de transformação) ou final de consumo (construção civil).

Volumes consideráveis de materiais sólidos não aproveitados economicamente são gerados a partir da atividade de mineração, constituindo-se em resíduos, e classificados como estéreis e rejeitos

Os **estéreis** são os materiais escavados sem valor econômico, individualizados no processo de lavra, correspondendo às camadas sobrejacentes ou intercaladas ao corpo do minério.

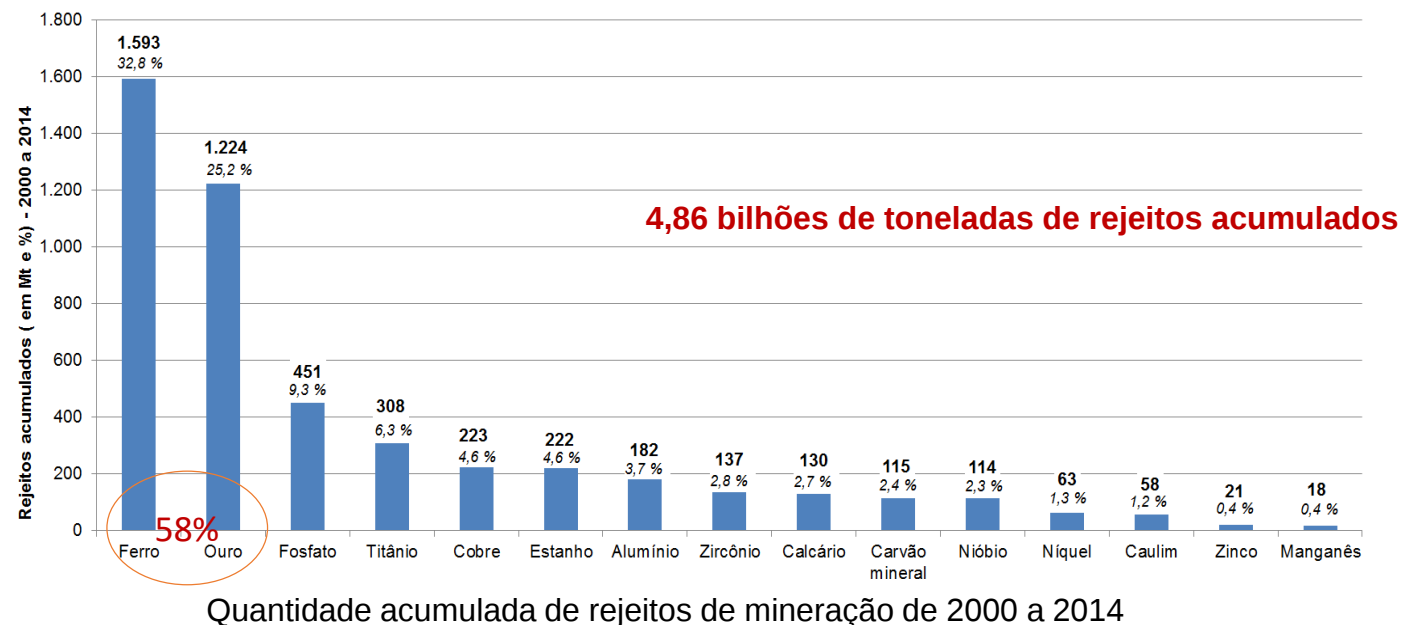
Os **rejeitos de mineração**, resultam do processo de **beneficiamento** a que o minério é submetido, em que são retiradas as impurezas (ganga) para aumentar a qualidade ou teor do bem mineral, ou quando se busca padronizar o produto (separação de rocha britada e areia por tamanho).

Três principais fatores determinam o volume de resíduos gerados em uma mina

- Os dois primeiros estão **diretamente vinculados à natureza da jazida**, envolvendo a localização do corpo mineralizado em relação à superfície e a concentração do mineral de minério contido.
- O terceiro está **relacionado ao processo de lavra e beneficiamento empregado**. Portanto, para um mesmo tipo de substância mineral, dependendo da forma de ocorrência, dos teores e das tecnologias de lavra e beneficiamento empregadas, serão geradas diferentes quantidades de resíduos.

A MINERAÇÃO E GERAÇÃO DE REJEITOS

- Em 2009 a relação mássica entre a quantidade de rejeitos gerados sobre o montante de minério extraído foi de 35,5 %.
 - Nove substâncias minerais, todas metálicas, geram individualmente mais de 10 milhões de toneladas anuais de rejeitos cada: ouro, ferro, cobre, fosfato, titânio, estanho, alumínio, zircônio e nióbio. Em conjunto, essas substâncias são responsáveis pela geração de 439,6 milhões de toneladas de rejeito, ou 85,3 % do total.



15 principais substâncias

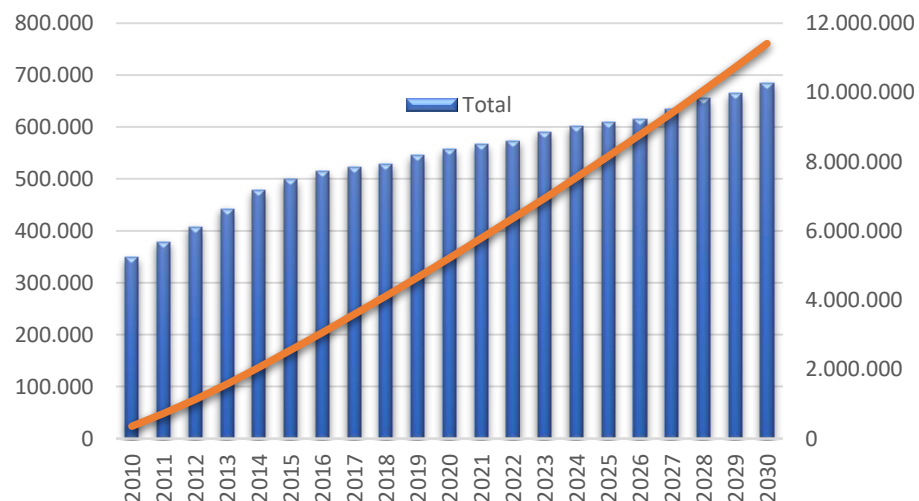
- 90% da produção total bruta de minerais em massa
- mais importantes geradoras de rejeito.

Source: IPT, from DNPM data

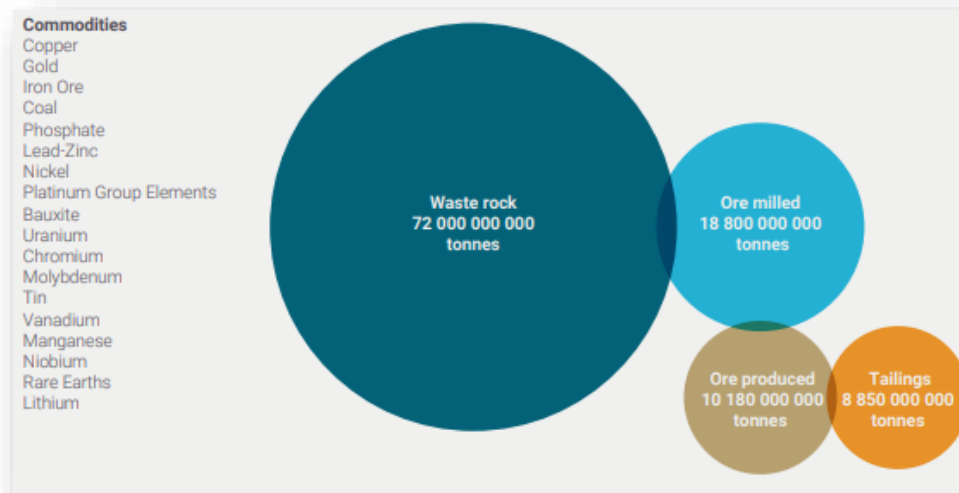
A MINERAÇÃO E A GERAÇÃO DE REJEITOS

Quantidade projetada de rejeitos de mineração gerados pelas quatorze substâncias selecionadas, no Brasil (2010-2030) - em 1 mil t

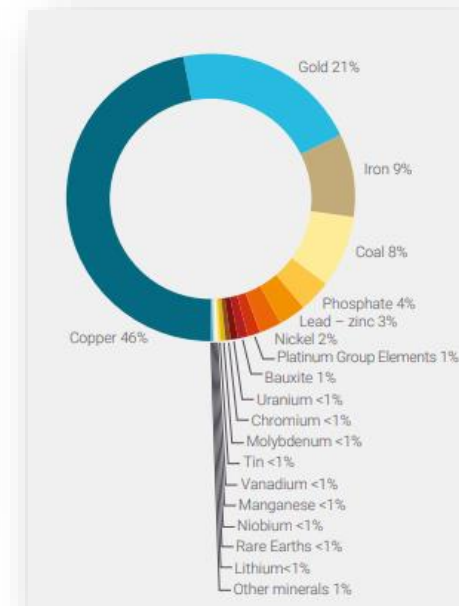
Fosfato, Ouro, Titânio, Cobre, Níquel, Alumínio, Zircônio, Estanho, Calcário, Nióbio, Caulim, Zinco, Manganês



Fonte: IPT com dados de IPEA (2012)



Estimativa do volume de rejeitos e estéril produzidos em 2016 em relação à produção de minério



Fonte:

https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/09/Ch-II-Mine-Tailings-Facilities_Overview-and-Industry-Trends.pdf

TECNOLOGIAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL

Não é possível falar de tecnologias de aproveitamento de rejeitos sem destacar as tecnologias aplicadas em beneficiamento mineral. Tais tecnologias são desenvolvidas com base nas diferenças de propriedades apresentadas pelas espécies minerais.

As separações físicas são e ainda serão as mais empregadas no processo de industrial de produção mineral.

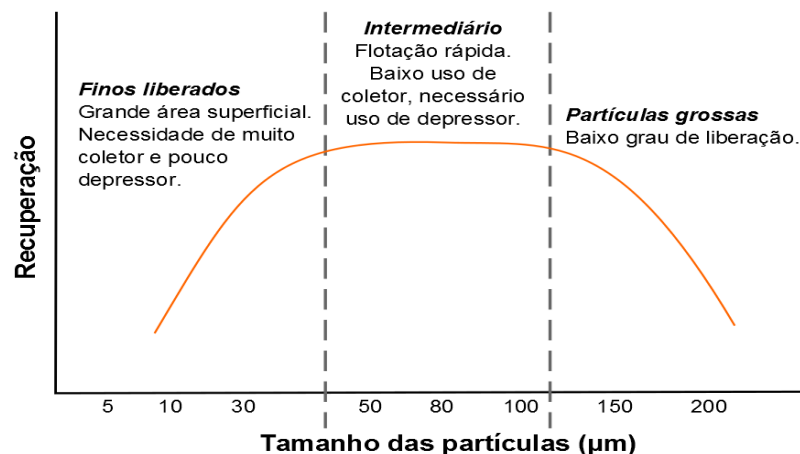
- A granulometria de liberação dos bens minerais, geralmente, é da ordem de 100 μm . No entanto, em decorrência do empobrecimento das jazidas verificado nas últimas décadas, têm-se lavrado e beneficiado minérios complexos finamente disseminados, cujo intervalo de liberação é da ordem de 100 μm – 10 μm .
- Os processos de concentração são agrupados em duas categorias: gravítica e magnética, e flotação
- As separações gravíticas e magnéticas são as tecnologias de separação mineral mais antigas e maduras
- Flotação ainda não foi completamente entendida..

Processo de concentração	Propriedade diferenciadora	Tecnologia empregada	Equipamento
Gravítico	Peso específico (densidade)	Jigagem	Jigue
		Separação em meio denso	Vaso de Tromps
		Separação em lâmina d'água	Tambor Roda Teska Ciclone de meio denso Dina Whirpool Ciclone autógeno Calha Espiral Cone Reichert Mesa vibratória
		Separação centrífuga	Separador Knelson Separador Falcon Multigravity separator (MGS) Jigue centrífugo Kelsey
Magnético	Susceptibilidade magnética	Separação magnética	Separador de correias cruzadas Separador de ímã permanente (ETR) Separador de tambor Separador Gill Separador de carrossel (Jones) Separador de alto gradiente, tipo carrossel Separador de corrente induzida (Eddy current) Separador Ferrous Wheels Separador Slon
Flotação, dispersão seletiva	Reatividade de superfície	Flotação	Células mecânicas Células-tanque Células pneumáticas Coluna canadense
Hidrometalúrgico	Reatividade química	Hidrometalurgia	Lixiviação em tanque Lixiviação em pilha Biolixiviação
Eletrostático	Condutividade elétrica	Separação eletrostática	Separador eletrostático

TECNOLOGIAS APLICADAS PARA O APROVEITAMENTO DE REJEITOS: patentes e publicações tecno-científicas

Idealmente os rejeitos não deveriam conter as espécies de interesse, mas verifica-se, porém, um alto percentual desses minerais que não são recuperados nos processos de concentração e se reportam a esse fluxo. No caso do minério de ferro, o teor de ferro no rejeito pode variar de 10 a 60 %.

- Quanto ao tamanho, Wolff [6] afirma que a indústria mineral tradicionalmente designa os rejeitos da seguinte forma: :
 - rejeitos grossos ou granulares ($>50\text{ }\mu\text{m}$);
 - rejeitos finos (entre 10 e $50\text{ }\mu\text{m}$), and
 - lamas ou rejeitos ultrafinos ($< 10\text{ }\mu\text{m}$).



Recuperação na flotação em função do tamanho de partícula. Fonte: Marques [9]; Silva et al. [10]. adaptado de Fuerstenau [7].

Proporções e características mundiais de rejeitos estocados em barragens.

Mineral processado	Proporção rejeito/tonelada processada de minério (kg/tonelada)	% sólidos (w/w)	Distribuição granulométrica
Carvão	75 -120	5-55	$> 75\text{ }\mu\text{m}$ (19%) até $< 4\text{ }\mu\text{m}$ (66%)
Bauxita	1 - 1,5 Lama vermelha/alumina produzida	20-80	$2 - 100\text{ }\mu\text{m}$ $< 5\text{ }\mu\text{m}$ (50%)
Cobre	128 -196		$> 75\text{ }\mu\text{m}$ (66%) até $< 1\text{ }\mu\text{m}$ (34%)
Fosfato	375	5-45	$> 75\text{ }\mu\text{m}$ (66%) até $< 37\text{ }\mu\text{m}$ (57%)
Ferro	450-500	30-50	$< 10\text{ }\mu\text{m}$

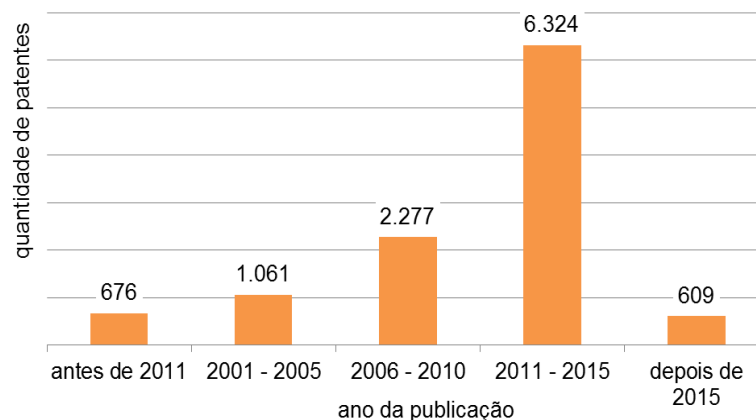
Source: elaborado pelos autores com dados de Wang et al. [8];

TECNOLOGIAS APLICADAS PARA O APROVEITAMENTO DE REJEITOS: patentes e publicações tecno-científicas

A tentativa de valoração de rejeitos gerados pela mineração tem sido amplamente avaliada no Brasil e no mundo. Há uma abundância de artigos técnico-científicos abordando o tema, tanto na linha de recuperação do bem mineral de interesse contido no rejeito, quanto na sua aplicação nos mais variados segmentos.

➤ busca por patentes sobre o tema rejeitos da mineração :

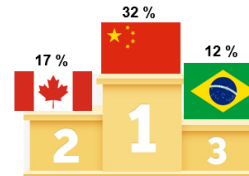
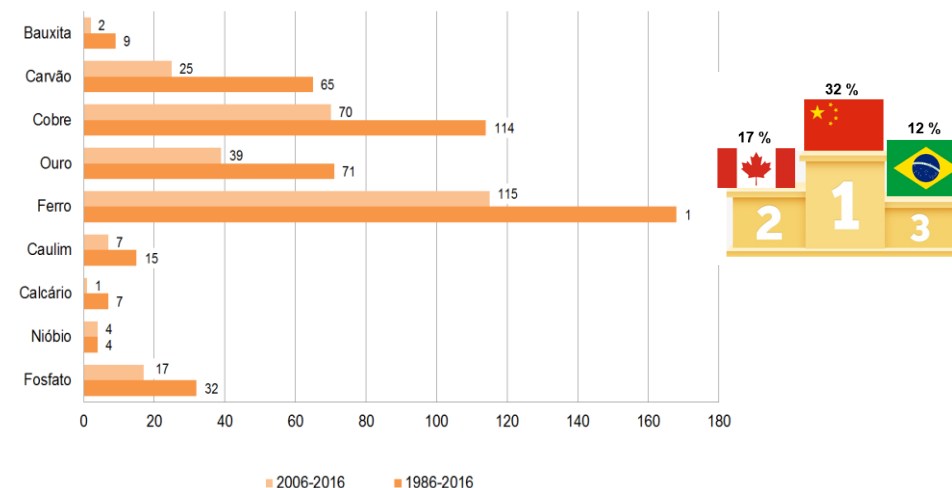
- novembro de 2016 - plataforma Orbit, palavras- chave: mineral process, mineral processing, mineral dressing, ore process, ore processing, ore dressing, cada uma associada às palavras tailings ou waste
- O resultado da busca retornou **11.028** patentes que atenderam aos critérios selecionados
- Objeto das patentes: two main technological domains: "Materials and metallurgy" and "Chemical engineering".



Ano do primeiro pedido de depósito

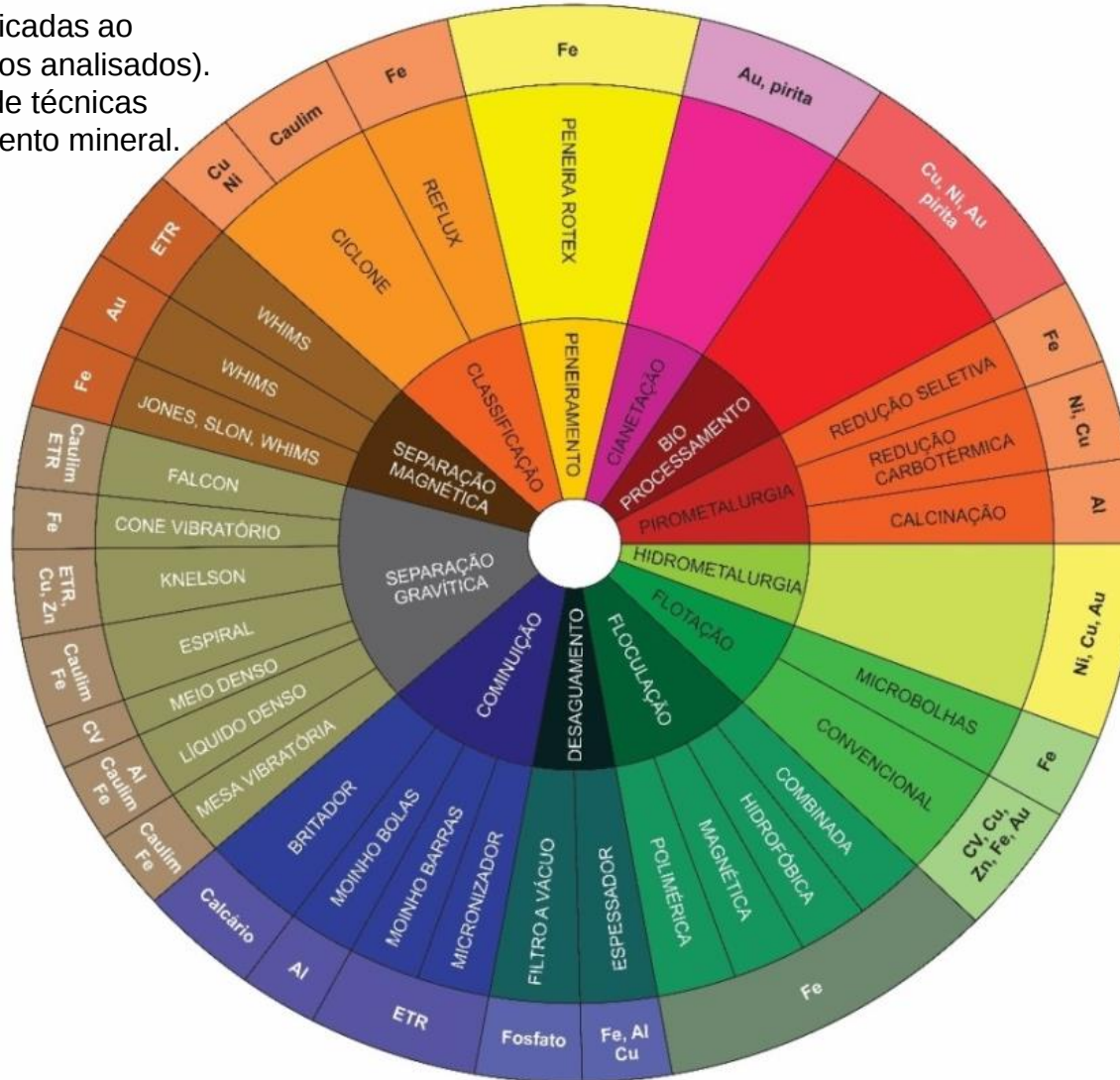


Quantidade de artigos localizados por ano no período 1986– 2016.



TECNOLOGIAS APLICADAS PARA O APROVEITAMENTO DE REJEITOS: patentes e publicações tecno-científicas

Síntese das tecnologias aplicadas ao tratamento de rejeitos (artigos analisados). Destaque para o emprego de técnicas consagradas do beneficiamento mineral.



- Tecnologias abordadas nos artigos,
 - forte predomínio (41,5 %) do uso de separações gravíticas ou magnéticas (respectivamente 22,6 % e 18,9 %).
 - A busca não encontrou nenhuma inovação radical de tecnologias de processamento mineral.

- Os artigos selecionados foram classificados em:
 - teóricos (8 artigos de revisão),
 - prospecção de mercado (1 artigo); ou
 - trabalhos experimentais (25 artigos). 64 % em escala de bancada, 20 % em escala industrial e 4 % em modelo físico.
 - TRL (Technology Readiness Levels)
 - grande maioria desenvolvimento de tecnologia (TRL 1 a 4); e
 - no estágio inicial de desenvolvimento exploratório (TRL 5).

ECONOMIA CIRCULAR E REJEITOS DA MINERAÇÃO

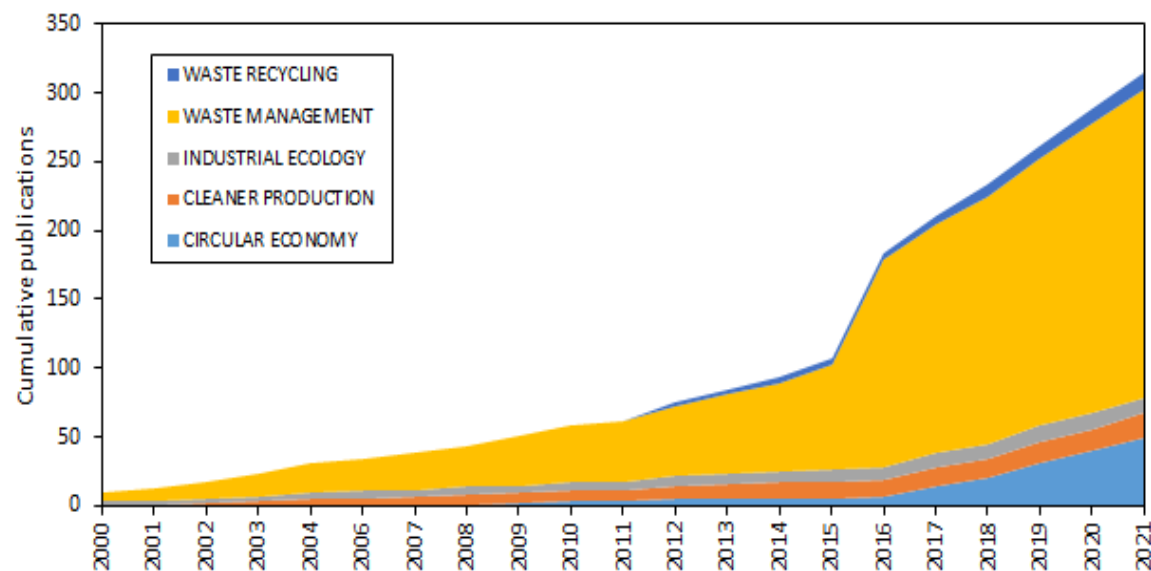
De fato, a problemática de disposição e aproveitamento de rejeitos e resíduos está distante de ser equacionada, no entanto, percebe-se uma crescente preocupação dos vários *stakeholders* em encontrar formas de enfrentar o desafio de um desenvolvimento mineral mais sustentável.

Temas discutidos em Webnares 2020-2021

No.	Cx-Produto	Minério original	Informações e referências
1	Feldspato para indústria cerâmica	Rejeitos/estéril pegmatitos do Vale do Jequitinhonha	https://www.youtube.com/watch?v=KiOwi_kqcbo Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" Parte 4 IBRAM Apresentação de Maria Jose/ Sigma
2	Fertilizantes Rochagem	Rejeito Ardósia_SC e MG e de rochas do ES	https://www.youtube.com/watch?v=KiOwi_kqcbo Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" parte 4- IBRAM Apresentação Reinaldo / Abirochas. Projetos em desenvolvimento no CETEM
3	Ardósia Expandida para cultivo	Rejeito de Ardósia	https://www.youtube.com/watch?v=KiOwi_kqcbo Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" parte 4. IBRAM Abirochas: Projeto em desenvolvimento com Embrapa
4	rejeitos para pavimentação de estradas	Minério de ferro	https://youtu.be/8zL6FCDolR4 Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" parte 3 UFV- parte experimental DNIT – possibilidade de aplicação em pavimentação de estradas de terra vicinais e como lastro em ferrovias. Também pode ser usado no cimento para obras de infraestrutura
5	Rejeitos para construção civil	Minério de ferro	https://youtu.be/8zL6FCDolR4 Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" parte 3 Vale-Além das aplicações em pavimentação, pode ser usado em blocos para construção civil e dormentes. Ferrovia da Vale pode reduzir custo em logística outras aplicações em nichos, com maior valor agregado.
6	Calcário para indústria cimenteira	Minério de fosfatos	https://youtu.be/8zL6FCDolR4 Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" parte 3 Mosaic – Cajati,
7	Gesso Agrícola	Resíduo na fabricação de ácido fosfórico Mosaic	https://youtu.be/8zL6FCDolR4 Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" parte 3
8	Ácido silícico para fluoretção de água	Resíduo na fabricação de ácido fosfórico Mosaic	https://youtu.be/8zL6FCDolR4 Sustentabilidade no uso dos rejeitos da mineração: economia, regulação e aproveitamento" parte 3
9	Metacaulim Como cimento pozolânico	Rejeito e estéril de minério de ferro	https://youtu.be/8fwlapJI6E Bate papo sobre barragens – webinar Reaproveitamento de Rejeitos e Estéril Insight Educação Executiva, 10.02.2021 Prof Evandro Gama da UFMG, processo em escala piloto
10	Produtos pré-moldados para construção civil	Rejeito de minério de ferro	https://www.mininghub.com.br/programas/m-start/ Start up Laminatus, ciclo 1 do programa M start do Mining Hub
11	Aglomerado substituto de brita e argila expandida	Rejeito de bauxita	https://www.mininghub.com.br/programas/m-start/ Start Up Pronto, ciclo 4 do Programa M start do Mining Hub
12	Technosoils Recomposição dos rejeitos e pilhas de estéril para agricultura	1. Mina de calcário em SP	Revealing Tropical Technosoils as an Alternative for Mine Reclamation and Waste Management. Francisco Ruiz Fabio Perlati, Daniel P. Oliveira e Tiago O. Ferreira. Minerals 2020
13	Utilização de pilhas de estéril e rejeitos para agricultura	2. Uso de biossólidos em estéril de minério de ferro- Vale	Estudo de viabilidade ambiental e Econômica da aplicação de lodo de esgoto sanitário na recuperação de Áreas degradadas do Quadrilátero Ferrífero, MG. Tese de mestrado Roberta Nunes Guimarães, UFMG, 2018
14	Utilização de pilhas de estéril e rejeitos para agricultura	Uso de biossólidos em estéril de mina minério sulfetado de níquel Vale Inco	Rethinking waste. Robyn Gaebel, Proceedings of Tailings and Mine Waste 2019

ECONOMIA CIRCULAR E REJEITOS DA MINERAÇÃO

Publicações científicas sobre economia circular e conceitos relacionados na mineração e processamento mineral - Web of Science, 2000–2021.



Fonte: atualizado a partir de Cisternas et. al. (2021)

Esforços atuais para a aplicação de economia circular neste setor: Cisternas et al. (2021)

- as indústrias de mineração são conservadoras quanto à adoção de novas tecnologias ou estratégias de processamento;
- com poucas exceções, o campo de processamento mineral luta para avançar dos requisitos básicos de EC.
 - tratamento de rejeitos para eliminação de poluentes, tratamento de gases para redução da presença de elementos tóxicos ou melhorias na recuperação de água.
- uso potencial de resíduos de mineração como materiais de construção.

• Concluem: desafios para a indústria de mineração

- geração de grandes quantidades de rejeitos e o amplo uso de recursos hídricos e energéticos.
- grandes mudanças são necessárias para substituir as tecnologias atuais por alternativas que ofereçam uma redução significativa no consumo de recursos.
- Isso permitiria estar mais alinhado ao conceito de EC e poderia trazer efeitos positivos do ponto de vista econômico e ambiental.

ECONOMIA CIRCULAR E REJEITOS DA MINERAÇÃO

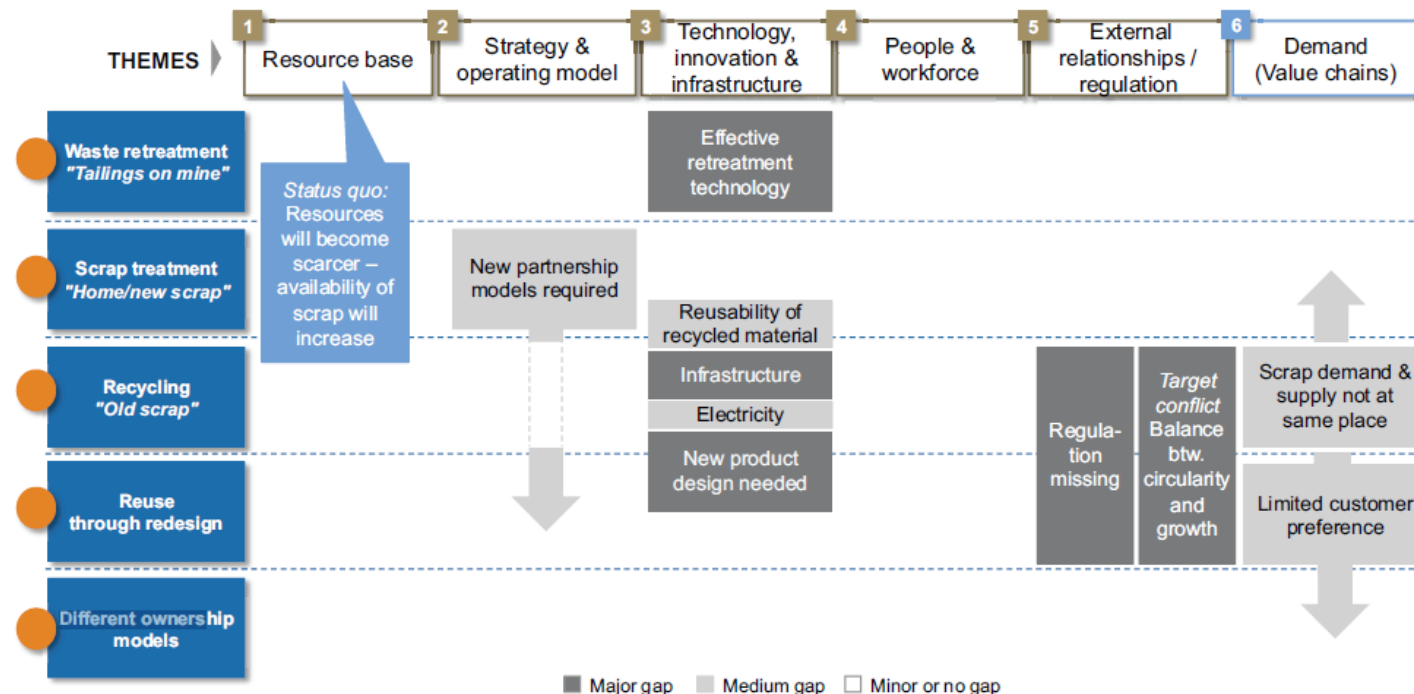
Industry Agenda

Mining & Metals in a Sustainable World 2050

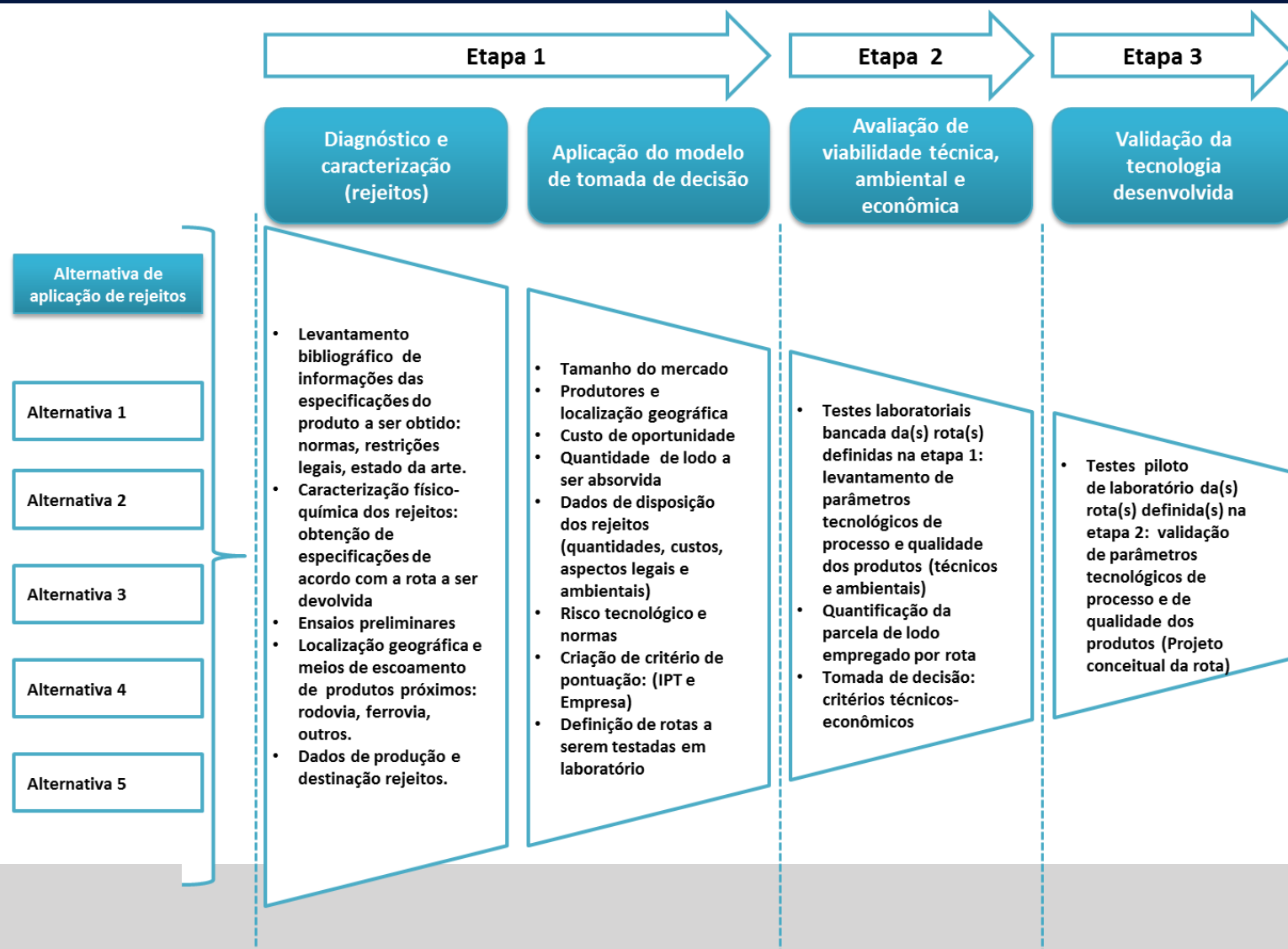


Destaca as principais transições que irão moldar a cadeia de valor da mineração e metais neste novo mundo sustentável e fornece uma estrutura para apoiar as ações necessárias, com forte apelo para a circularidade.

Five Aspects of the Circular Use of Commodities and Metals



ECONOMIA CIRCULAR E REJEITOS DA MINERAÇÃO



Fonte: modelo IPT



CONSIDERAÇÕES

Inegável importância da indústria mineral

- tanto para a **economia** quanto para **população**

Geração de rejeitos é inerente a essa atividade e tende a crescer

- Redução dos teores das reservas
- Melhoria da eficiência do processos (novas tecnologias, processos autônomos) – redução da geração

Desafios para o aproveitamento são de cunho tecnológico, econômico e ambiental

- Desenvolvimento de rotas tecnológicas
- Design de produtos
- Novos modelos de negócio e parcerias (startups)

Discussão da adoção de economia circular na mineração

- As publicações indicam um crescimento do tema a partir de 2016
- Concluem que a mudança do atual modelo linear da economia para um modelo circular não só traria benefícios no cenário econômico, como também reduziria significativamente o impacto negativo no meio ambiente

OBRIGADA!

Sandra Lúcia de Moraes, Dra.

Diretora Técnica – Materiais Avançados

sandralm@ipt.br

(11) 3767-4250

(11) 9 9915-2362

https://www.ipt.br/unidades_de_Negocios/MA