



VIII ENEI
Encontro Nacional de
Economia Industrial e
Inovação

POLÍTICA INDUSTRIAL E
ECONOMIA DO CONHECIMENTO:
NOVAS ESTRATÉGIAS DE
DESENVOLVIMENTO PARA O BRASIL

20 a 23 de Maio de 2024



A Cadeia Produtiva de Terras Raras (TR): desafios e oportunidades para o Brasil

Ryan de Albuquerque da Silva*

Resumo: Este artigo visa descrever e analisar a Cadeia Produtiva de Terras Raras - “TR”, destacando os desafios e oportunidades para o seu desenvolvimento no Brasil. As TR são um conjunto de 17 elementos químicos, classificados como minerais estratégicos de importância para o (em curso) processo de transição energética, sofisticação tecnológica e para a indústria de defesa (segurança nacional). Neste sentido, este artigo estrutura-se da seguinte maneira: a seção 1 introduz o tema. A seção 2 descreve o conceito de TR, seus campos de aplicação e a sua localização no Brasil. A seção 3 reflete, dentro do arcabouço (neo)schumpeteriano, a relação da Taxonomia Setorial de Pavitt (1984; 1989) com a Taxonomia das TR. A seção 4 descreve, de fato, a cadeia produtiva de TR, ressaltando o caso brasileiro para o seu desenvolvimento. Por fim, a seção 5 corrobora com as considerações finais sobre o tema. Em suma, destaca-se a importância de se desenvolver a cadeia produtiva de TR para o adensamento produtivo da indústria brasileira. Todavia, apesar das vantagens/potencialidades do Brasil enquanto detentor deste recurso natural, o mesmo possui desafios a serem superados para o “desenvolvimento pleno” / “verticalização” desta cadeia, no longo prazo.

Palavras-chave: Cadeia Produtiva de Terras Raras; Brasil; Verticalização; Taxonomia Setorial de Pavitt; Adensamento produtivo.

Código JEL: L70; O30; Q00.

Área Temática: (1 (1.3; 1.6)) Indústria, Produtividade e Competitividade.

The Rare Earth Production Chain (RE): challenges and opportunities for Brazil

Abstract: This article aims to describe and analyze the Rare Earth Production Chain - “RE”, highlighting the challenges and opportunities for its development in Brazil. RE are a set of 17 chemical elements, classified as strategic minerals of importance for the (ongoing) energy transition process, technological sophistication and the defense industry (national security). In this sense, this article is structured as follows: section 1 introduces the topic. Section 2 describes the concept of RE, its fields of application and its location in Brazil. Section 3 reflects, within the (neo)Schumpeterian framework, the relationship between Pavitt's Sectoral Taxonomy (1984; 1989) and the RE Taxonomy. Section 4 describes, in fact, the RE production chain, highlighting the Brazilian case in its development. Finally, section 5 corroborates the final considerations on the topic. In short, the importance of developing the RE production chain for the productive densification of the Brazilian industry stands out. However, despite Brazil's advantages/potentialities as holder of this natural resource, it has challenges to be overcome for the “full development” / “verticalization” of this chain, in the long term.

Keywords: Rare Earth Production Chain; Brazil; Verticalization; Pavitt's Sectoral Taxonomy; Productive densification.

* Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGE-IE/UFRJ). E-mail: ryan.silva@ppge.ie.ufrj.br / ryanjesus10@hotmail.com / ryandasilva015@gmail.com.

1. Introdução

A utilização de recursos naturais numa (ou “como uma”) estratégia de desenvolvimento produtivo não é algo novo. O carvão e o petróleo são clássicos exemplos a serem considerados.

Entretanto, o agravamento das condições climáticas do planeta no Século XXI aponta para a necessidade de busca por novas matérias-primas capazes de viabilizar fontes alternativas de energia às já existentes, por estas últimas serem geradoras de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera.

Somada à esta urgência climática global, determinantes de competitividade cada vez mais criteriosos, aumento e/da eficiência da produtividade industrial, questões de segurança nacional (num mundo cada vez mais suscetível a guerras), e uma crescente “corrida pela soberania tecnológica” (especialmente entre superpotências) fomentam, ainda mais, essa busca por novas fontes de matérias-primas que respondam, dêem conta, ou ao menos colaborem com soluções para essas questões.

Mas... E o Brasil? Qual tem sido (ou pode ser) a sua representatividade neste atual contexto econômico global, marcado por estas três grandes questões: *i) transição energética*, *ii) corrida tecnológica* e *iii) segurança nacional*? Será que o país tem condições de, num mundo em transição, ser um dos “pioneiros” a romper limites e paradigmas alternativos para uma nova ordem mundial? Como a questão dos “novos” recursos naturais no Brasil apontariam/apontam para esta direção?

Sob estes questionamentos, o objetivo deste artigo será o de descrever a Cadeia Produtiva de Terras Raras (“TR”), ressaltando a importância, desafios e oportunidades de desenvolvê-la no Brasil.

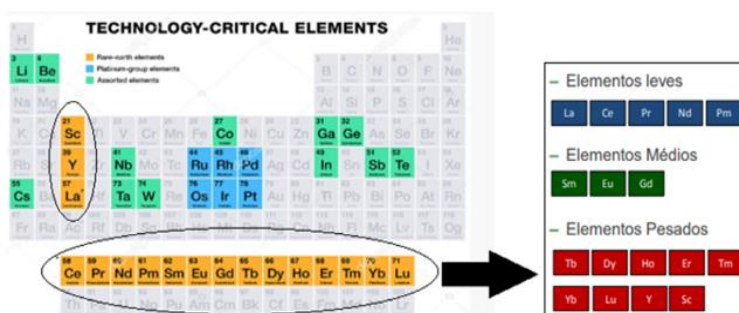
As TR são um conjunto de 17 elementos químicos, que recebem este nome por serem consideradas de difícil extração (quando localizadas). Atualmente, o Brasil é o terceiro maior detentor de depósitos de TR do mundo, com cerca de 21 milhões de toneladas (equivalente às reservas da Rússia), atrás somente da China (cerca de 44 milhões de toneladas) e do Vietnã (cerca de 22 milhões de toneladas). Obviamente, ser apenas um “detentor de reservas de TR” não garante ao país *inovação, desenvolvimento produtivo e competitividade industrial* - o motivo das “inquietações” deste trabalho.

Sendo assim, este artigo debruça-se sobre tal questão, estruturando-se da seguinte maneira: a seção 2 descreve o conceito de TR, seus campos de aplicação e a sua localização no Brasil. A seção 3 reflete, dentro do arcabouço (neo)schumpeteriano, a relação da Taxonomia Setorial de Pavitt (1984; 1989) com a Taxonomia das TR. A seção 4 descreve, de fato, a cadeia produtiva de TR, ressaltando o caso brasileiro para o seu desenvolvimento. Por fim, a seção 5 corrobora com as considerações finais sobre o tema. Em suma, destaca-se a importância de se desenvolver a cadeia produtiva de TR para o adensamento produtivo da indústria brasileira. Todavia, apesar das vantagens/potencialidades do Brasil enquanto detentor deste recurso natural, o mesmo possui desafios a serem superados para o “desenvolvimento pleno” / “verticalização” desta cadeia, no longo prazo.

2. Terras Raras (TR): conceito, aplicações e localização no Brasil

Nas definições de Lapido-Loureiro (1994, p. 189) e da IUPAC (2017), os Elementos de Terras Raras (ETR) - *doravante*, Terras Raras (TR) - correspondem ao intervalo da tabela periódica constituído de 15 elementos químicos, denominados lantanídeos, de número atômico Z, compreendido entre os números 57 (lantânio) a 71 (lutécio). Incorporam-se a esta classificação os elementos escândio (Z = 21) e ítrio (Z = 39), por possuírem propriedades semelhantes e, portanto, uma associação ao referido intervalo do ponto de vista mineralógico. Devido às suas características singulares, os 17 elementos de terras raras são classificados em 3 subgrupos (figura 1):

Figura 1 - Apresentação e classificação dos 17 elementos de TR na Tabela Periódica



Fonte: Elaboração própria, com base em IUPAC (2017) e Silva/MbAC Fertilizantes (2013, p. 2).

Nesta direção, o que vem chamando a atenção para este recurso natural seria a sua viabilidade econômica: “atualmente, pode-se afirmar que o desenvolvimento de uma nação é medido pelo consumo de TR para aplicações em tecnologia de ponta” (Filho e Serra, 2014, p. 753). Ademais, no que se refere às tecnologias relacionadas a energias limpas e controle de emissões atmosféricas, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) argumenta que as cadeias produtivas são “fortemente dependentes de TR”, sendo essenciais, especialmente na fabricação de quatro produtos e suas respectivas utilidades:

a) Ímãs permanentes, usados em turbinas eólicas e veículos elétricos; **b) Baterias avançadas**, utilizadas em veículos elétricos; **c) Semicondutores filmes-finos**, usados em sistemas de energia fotovoltaica; **d) Fósforos**, utilizados em sistemas de iluminação mais eficientes (CGEE, 2013, p. 29).

O quadro a seguir apresenta a “Taxonomia das TR”, desenvolvida pelo CGEE em 2013:

Quadro 1 - Taxonomia única para o estudo prospectivo de TR

Uso industrial	Aplicação de TRs	Funcionalidade habilitadora	Elementos TRs requeridos
Veículos elétricos, híbridos, <i>plug-in</i>	Ímãs permanentes	Motores de tração elétrica, substituindo ou suplementando motores de combustão interna	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Motores elétricos em veículos convencionais e avançados	Ímãs permanentes	Redução do consumo de combustível pela diminuição do peso do veículo	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Geração de energia eólica e hidrelétrica	Ímãs permanentes	Geradores sem engrenagem para maior confiabilidade e desempenho	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Ferramentas elétricas sem fio	Ímãs permanentes	Motores elétricos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Sistema integrado automático de partida	Ímãs permanentes	Sistema integrado automático de partida, reduzindo consumo de combustível	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Unidades de discos rígidos para computadores	Ímãs permanentes	Motores elétricos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Dispositivos pessoais móveis sem fio	Ímãs permanentes	Aparelhos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Y, Eu, Sm
Equipamentos para diagnóstico por imagem (MRI)	Ímãs permanentes	Geração de campo magnético	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC)	Catalisadores	Propiciam sítios ácidos para a matriz catalítica	La, Ce, Pr e Nd
Conversores catalíticos e outras tecnologias para redução de emissões atmosféricas	Catalisadores	Capacidade de oxidação de CO e ozônio para CO ₂ e O ₂	Ce, La
Indústria automotiva	Ligas metálicas ferrosas contendo TRs	Modificação de propriedades físicas e químicas para melhoria de desempenho e ampliação do espectro de usos industriais de ligas metálicas	Todos ETRs
Indústria aeroespacial, geração de energia nuclear, fabricação e operação de satélites, linhas de transmissão de energia, sistemas de refrigeração magnética, entre outros	Ligas metálicas não ferrosas contendo TRs	Modificação de propriedades físicas e químicas para melhoria de desempenho e ampliação do espectro de usos industriais de ligas metálicas	Todos ETRs
Lâmpadas fluorescentes compactas e lineares, LEDs, entre outros itens de iluminação	Fósforos	Redução no consumo de energia, com melhoria das características de cor e luminescência	Y, Eu, Tb
Dispositivos pessoais móveis sem fio	Fósforos	Displays em telas planas	Y, Eu, Tb, Gd, Ce
Telas planas de TV e displays	Fósforos (excitados por UV em baixa pressão)	Cores brilhantes – vermelha, verde e azul – em grandes telas planas	Y, Eu, Tb, Gd, Pr, Ce
Detetores de raios X e raios gama	Fósforos	Captura de luz de cintilação e sistemas de detecção	Y, Eu, Tb, La, Ce
Pós para polimento de vidros e lentes	Pós para polimento	Melhoria das propriedades ópticas de vidros e lentes	Ce
Fabricação de vidros e lentes	Fabricação de vidros e lentes especiais (mudanças de propriedades físico-químicas de vidros e lentes)	Descoloração de vidros, bloqueio de luz ultravioleta e composição de lentes e vidros especiais (usos em medicina e indústria aeroespacial, dentre outros)	La, Ce, Nd, Pr, Yb, Ho, Er
Fibras ópticas para telecomunicações	Fibras ópticas dopadas com TRs	Amplificação de sinal	Y, Eu, Tb, Er, Nd e Ho
Sensores de gases, incluindo CO	Cerâmicos	Monitoramento e controle de emissões gasosas Melhoria de desempenho de motores a combustão	Y
Lasers para usos diversos (medicina, defesa e outros)	Cerâmicos	Orientação de artefatos de defesa, precisão de corte e incisões	Y, Nd e outros
Dispositivos de armazenagem de energia (capacitores cerâmicos, de tântalo e de outros tipos dopados com TRs)	Cerâmicos	Alta densidade energética em comparação com capacitores convencionais	Todas TRs
Dispositivos de armazenagem de energia	Baterias de níquel - metal -hidreto - (Ni-MH)	Melhor custo-benefício dessa tecnologia, quando comparado a baterias de íons de lítio	La

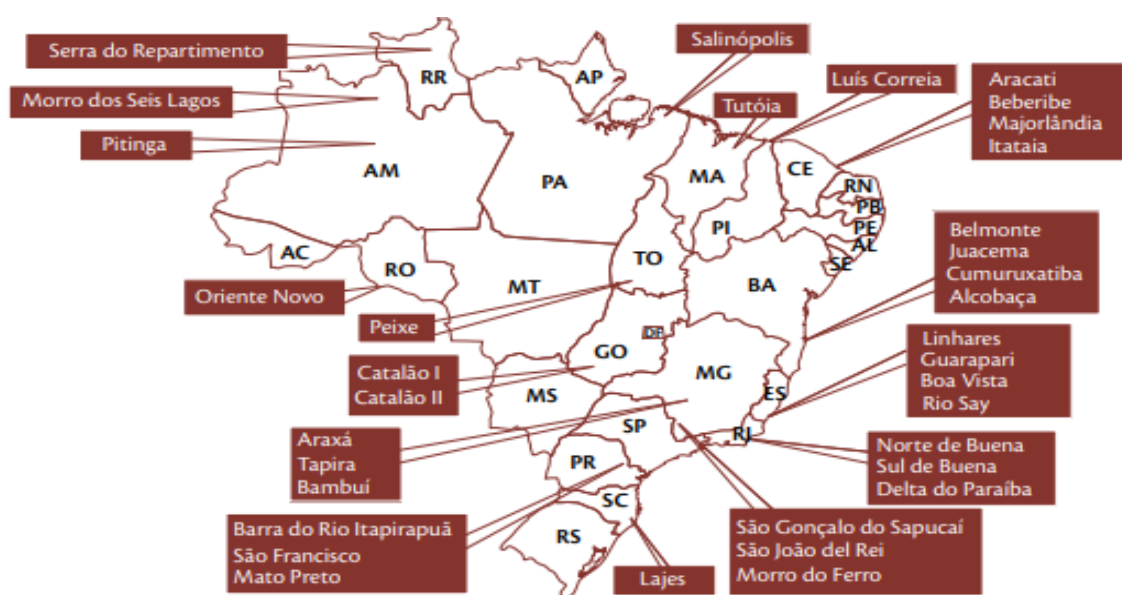
Fonte: CGEE (2013, pp. 50-51).

Em linhas gerais, podemos compreender as TR como sendo, essencialmente,

[...] um conjunto de 17 elementos químicos utilizados em muitos processos industriais, especialmente em baterias e equipamentos eletrônicos. Estão presentes em produtos que incorporam tecnologias sofisticadas e nas chamadas *high tech*, como automóveis, em especial carros híbridos e elétricos, motores de aviões, navios, telas LCD e LED, smartphones, computadores, tablets, fibras óticas, turbinas eólicas e placas fotovoltaicas, equipamentos para refinarias de petróleo, iluminação de displays, ímãs de alto rendimento e resistentes a altas temperaturas, íons de TR como agentes de contrastes para diagnósticos não invasivos em tecidos por imagem de ressonância magnética nuclear, marcadores luminescentes na investigação de enzimas, anticorpos, células e hormônios, entre outros produtos e aplicações industriais e biológicas; além do seu uso militar em mísseis e bombas de precisão, sendo, portanto, considerados estratégicos para a defesa e a tecnologia (Melo, 2017; Martins e Isolani, 2005).

A figura a seguir apresenta as ocorrências de TR no Brasil. A mesma demonstra que, desde 2010, o Brasil já vem descobrindo diversos locais que apresentam esses elementos:

Figura 2 - Descobertas de ocorrências de TR no Brasil (a partir de 2010)



Fonte: CGEE (2013, p. 74).

Desde 2010, outros locais que apresentam TR foram descobertos no Brasil. Destaca-se que em 2023, descobriu-se dois grandes depósitos de TR em argilas iônicas: no norte de Goiás e na região de Poços de Caldas, em Minas Gerais. Caracterizam-se por serem duas raras localizações no mundo com essas características geológicas fora da China (principal detentor e produtor minerador de TR).

Dada a abundância deste recurso natural em solo brasileiro bem como a sua viabilidade econômica, a seção seguinte se propõe a discutir, dentro do arcabouço (neo)schumpeteriano, a potencial utilização das TR para o adensamento produtivo da indústria brasileira.

3. Terras Raras, Padrões Setoriais e Inovação: há relação possível?

Partindo da literatura schumpeteriana sobre “concorrência”, coloca-se como discussão central a lógica da *inovação*. Sendo assim, o impacto do processo inovativo sobre a atividade econômica e demais eventos possuem caráter, essencialmente, de **natureza cumulativa**. Em outras, palavras, significa dizer que **o processo evolutivo é associado à noção de trajetória**, e não a posições estáticas. Tal processo é dependente do que foi desenvolvido no período que o antecedeu.

Os avanços neo-schumpeterianos realizados nesta direção, argumentam que as estruturas de mercado, inovação e competitividade seriam concebidas em um ambiente de inovação tecnológica distinta da vertente neoclássica. Aqui, o campo técnico é visto como um processo *dinâmico* (visão evolucionária), de natureza acumulativa e irreversível em relação à trajetória tecnológica percorrida (Nelson e Winter, 1982). A resolução de entraves técnicos estaria associada a um conjunto de

conhecimentos, informações e capacitações desenvolvidas no tempo, moldando trajetórias formadas a partir de determinantes práticos, científicos ou econômicos (Saviotti e Metcalfe, 1984).

Nessa concepção, Dosi (1988) argumenta serem as trajetórias tecnológicas as “definidoras” das direções prováveis do progresso técnico e respectivas fronteiras, possibilitando excluir as tecnologias anteriores ou rivais. Vale ressaltar que as trajetórias tecnológicas seriam subjacentes às trajetórias industriais (setoriais), porém ambas atuando em plena *sinergia* uma com a outra.

Esta contextualização se fez necessária para entendermos como a temática das TR vincula-se às noções de *inovação, trajetória tecnológica e competitividade*. Esta relação será mensurada mediante a uma análise baseada na atemporal *Taxonomia Setorial de Pavitt* (1984; 1989). A referida tipologia, relacionada à geração e difusão de inovações, tem como objetivo identificar semelhanças e diferenças (isto é, “diversidade”) em distintos setores e tecnologias. A base de dados de referência é o banco de dados do SPRU sobre inovações da indústria britânica, entre 1945-1980 (cerca de 2000 empresas, contemplando mais da metade dos setores de 3 a 4 dígitos), sendo compatível para o Brasil.

Mesmo adotando como unidade granular a firma, o objetivo desta tipologia é identificar padrões (“regularidades”) setoriais ligados às **trajetórias tecnológicas**, algo que está na “gênese” da cadeia produtiva de TR (“seção 3”). Assim, ao confrontarmos a Taxonomia Setorial de Pavitt com a Taxonomia das TR desenvolvida pelo CGEE (“Quadro 1”), podemos observar uma correlação interessante, de caráter essencialmente “sistêmico” e cooperativo entre essas duas taxonomias:

Primeiramente, apresentamos a **tipologia em classes de setores**, desenvolvida por Pavitt (1984; 1989). Esta tipologia visa descrever e explicar similaridades e diferenças entre os setores em relação às fontes, natureza e impactos das inovações, definidas: i) pelas fontes de conhecimento, ii) pelo tamanho, e iii) pelas principais linhas de atividades das firmas inovativas e pelos setores de produção de inovações e seus usuários principais (Pavitt, 1984).

Em sua primeira edição (1984), Pavitt classificou as firmas em “quatro categorias”: a) “setores dominados por fornecedores”; b) “setores intensivos em economias de escala”; c) “setores baseados em ciência”, e d) “setores de fornecedores especializados”. Todavia, como veremos mais adiante, essa classificação foi revisada por Tidd *et al.* (2001) para “cinco categorias”, com a inclusão do *setor intensivo em informação* (Pavitt, 1989). O quadro a seguir contempla e analisa as cinco categorias:

Quadro 2 - Classes de setores definidas na Taxonomia Setorial de Pavitt (1984; 1989)

TAXONOMIA SETORIAL DE PAVITT (1984; 1989)								
Classes de setores	Setores típicos	Trajetória tecnológica					Tamanho da firma	Tipo de usuário
		foco	fonte	direção	canais de transferência	proteção		
(i) Dominados pelos fornecedores (“ <i>supplier dominated</i> ”)	agrícolas, serviços privados, construção, indústria manufatureira tradicional	redução de custos	fornecedor, aprendizado, serviços técnicos	tecnologia de processo e equipamentos afins → a montante	aquisição de equipamentos e serviços correlatos	não-técnica (marketing, marcas)	pequeno	sensível a preço
(ii) Intensivos em escala (“ <i>scale intensive</i> ”)	intermediários de uso difundido (aço, vidro), duráveis de consumo (automóveis)	misto (preço, qualidade, especificações)	engenharia de produção, aprendizado próprio, fornecedores, projeto	tecnologia de processo e equipamentos afins; a montante	aquisição de equipamentos, licenciamento, treinamento, engenharia reversa	segredo de processo; know-how de projeto e operação	grande	misto
(iii) Intensivos em informação (“ <i>information intensive</i> ”)	financeiro, comércio varejista, turismo, editorial	misto	software e engenharia de sistemas, fornecedores de equipamentos e de software	tecnologia de processo e software correlato; a montante e a jusante (misto)	aquisição de equipamentos e software, engenharia reversa	copyright; know-how de projeto e operação	grande	misto
(iv) Baseados em ciência (“ <i>science based</i> ”)	eletro-eletrônica, química	misto	P&D interno e pesquisa básica, engenharia de produção e de projeto	produtos tecnologicamente relacionados → “concêntrica”	engenharia reversa, P&D, contratação de especialistas	know-how de P&D, patentes, know-how de projeto e operação	grande	misto
(v) Fornecedor especializado (“ <i>specialized supplier</i> ”)	bens de capital, instrumentação científica, software	aperfeiçoamento de produtos	projeto e desenvolvimento de produtos, usuários avançados	aperfeiçoamento de produtos → “concêntrica”	engenharia reversa, aprendizado com usuários	know-how de projeto, patentes, conhecimento de necessidades dos usuários	pequeno	sensível a performance

Fonte: Elaboração própria, com base em Pavitt (1984; 1989).

Partindo da Taxonomia de Pavitt de 1984 para a análise de cada uma destas classes, temos:

- **setores dominados por fornecedores:** agrupam os setores tradicionais (madeireiras, celulose e papel, indústrias têxteis, gráficas, indústrias de confecções, dentre outras). Em termos de porte, as firmas são predominantemente pequenas e a forma de inovação é pela incorporação de tecnologias desenvolvidas em outros setores. Predomina a inovação de processo e a trajetória tecnológica dominante é a redução de custos;
- **setores intensivos em escala:** predominam as empresas de maior porte, como também elevado esforço inovativo, que ocorre tanto em processo quanto em produto. Mas as trajetórias tecnológicas são mais fortemente orientadas para a melhora de performance, via inovação de produto, e menos para a inovação de processo, que objetiva redução de custos. Para estes setores, a proteção da apropriabilidade das inovações é garantida por segredos industriais e patentes e a trajetória tecnológica é a de aumento da escala de produção e da produção em linha, existindo ainda oportunidades de mudanças tecnológicas focadas em redução de custo. Essas empresas apresentam uma relação complementar com as firmas de fornecedores especializados, construindo um elevado câmbio técnico com estas. De modo que as firmas intensivas em escala constituem-se em espaço de teste para novos processos desenvolvidos pelas empresas fornecedoras especializadas e fornecem desenho e recursos para essas firmas;
- **setores baseados em ciência:** são os detentores das maiores oportunidades tecnológicas e sensíveis ao desenvolvimento do conhecimento científico. Neste padrão, a principal forma de aprendizado é via P&D com elevada interação com instituições de pesquisa em ciência básica. O tamanho médio das firmas é relativamente grande e sua inovação é tanto de produto quanto de processo. Contudo, em texto posterior Pavitt *et al.* (1987) argumenta que neste padrão firmas grandes convivem com firmas de menor porte;
- **setores de fornecedores especializados:** congregam máquinas e equipamentos e instrumentação, onde a complementaridade tecnológica é o foco. Note-se que isso é decorrência da sensibilidade dos usuários, tornando os clientes fonte do processo tecnológico. Isto explica o tamanho relativamente pequeno das firmas especializadas, que fornecem equipamentos e instrumentação para as demais categorias (em especial, apresenta uma complementariedade com as firmas da categoria de intensivos em escala). De modo que predominam trajetórias orientadas para a melhora de performance dos produtos, e inovações baseadas no conhecimento tácito e na experiência acumulada (Pavitt, 1984; Hamberger e Botelho, 2015).

Entretanto, ao longo do tempo, foram realizadas algumas reformulações nesta tipologia:

De acordo com Archibugi (2001), em versão posterior, Pavitt (1989), buscando classificar as firmas intensamente vinculadas à informação típicas dos setores de serviços, introduziu um quinto padrão: *intensivos em informação*. Com o tempo, a introdução desta nova categoria produziu o desaparecimento do padrão *dominados por fornecedores*, que segundo Archibugi (2001) se viam forçadas a tornar-se intensivos em escala ou intensivos em informação (ou então não inovar). Contudo, argumenta Archibugi (2001), a retirada da trajetória tecnológica dominados por fornecedores é um equívoco, pois consiste em padrão distinto e significativo, consistindo de setores inovativos ao adquirir máquinas e equipamentos. Portanto, as várias trajetórias tecnológicas originais possuem papel em representar a realidade como já demonstrado no caso italiano (Archibugi *et al.*, 1991; Evangelista *et al.*, 1997); no caso espanhol, como apresentado por Molero (1994) e Urraca (1997); e, no caso brasileiro por Campos e Ruiz (2009) e Silva e Suzigan (2014). Posteriormente, Tidd *et al.* (2001) revisaram a taxonomia e suas alterações, definindo um modelo com cinco categorias, os originais com a introdução de “intensivos em informação” (Hamberger e Botelho, 2015, p. 3).

Para os propósitos finais deste trabalho, adotaremos a revisão proposta por Tidd *et al.* (2001), levando novamente em consideração as cinco classes de setores descritas (Pavitt, 1984; 1989). Isto porque a Taxonomia das TR pode ser observada, mesmo que “indiretamente”, em algumas destas classes (como os “setores típicos” e a “fonte” para a classe 3, por exemplo).

Agora, “*espelhando o Quadro 1 sobre o Quadro 2*”, conseguimos identificar em quais destas classes a Taxonomia das TR se enquadra diretamente. Esta análise será realizada no quadro a seguir:

Quadro 3 - A relação entre a Taxonomia Setorial de Pavitt (1984; 1989) e a Taxonomia das TR

TAXONOMIA SETORIAL DE PAVITT (1984; 1989)	TAXONOMIA DAS TERRAS RARAS (TR)	
Classes de setores	Se aplica ¹	Não se aplica ²
(i) Dominados pelos fornecedores (<i>“supplier dominated”</i>)	X	
(ii) Intensivos em escala (<i>“scale intensive”</i>)	X	
(iii) Intensivos em informação (<i>“information intensive”</i>)		X
(iv) Baseados em ciência (<i>“science based”</i>)	X	
(v) Fornecedor especializado (<i>“specialized supplier”</i>)		X
1 e 2: Os critérios “se aplica” e “não se aplica” referem-se à uma potencial relação direta da utilização de TR com as classes de setores. Complemento: “Anexo A” e “Anexo B”.		

Fonte: Elaboração própria.

Observamos que a Taxonomia das TR relaciona-se diretamente com, ao menos, **60% (3/5)** dos segmentos ligados às classes setoriais discriminadas por Pavitt (1984; 1989). Reitera-se que os critérios “se aplica” e “não se aplica” levaram em consideração uma possível “relação direta” da utilização de TR com as classes de setores elencadas na Taxonomia Setorial de Pavitt (1984; 1989).

Mesmo com um olhar em termos de “firma”, a *Taxonomia Setorial de Pavitt ajuda-nos a identificar em quais setores/segmentos a utilização de TR pode atuar como uma via de encadeamento inter e intrasetorial*. Dado o elevado grau de cumulatividade tecnológica e de valor da cadeia produtiva de TR, depreende-se que o desenvolvimento desta cadeia com a sua posterior utilização nos *forward threads* (“encadeamentos para frente”) nos demais setores industriais, podem atuar como um mecanismo de **adensamento produtivo** na indústria brasileira, em especial, nas cadeias de produtos finais, fortalecendo, em certa medida, os “elos” a serem preenchidos pelos atores locais.

Analisada a significativa relevância de utilização das TR para o **adensamento setorial** e das cadeias produtivas na indústria brasileira, a seção seguinte visa então descrever a **Cadeia Produtiva de TR**, discutindo os desafios e oportunidades para o Brasil para a plena verticalização da mesma.

4. A Cadeia Produtiva de Terras Raras (TR): perspectivas para o Brasil

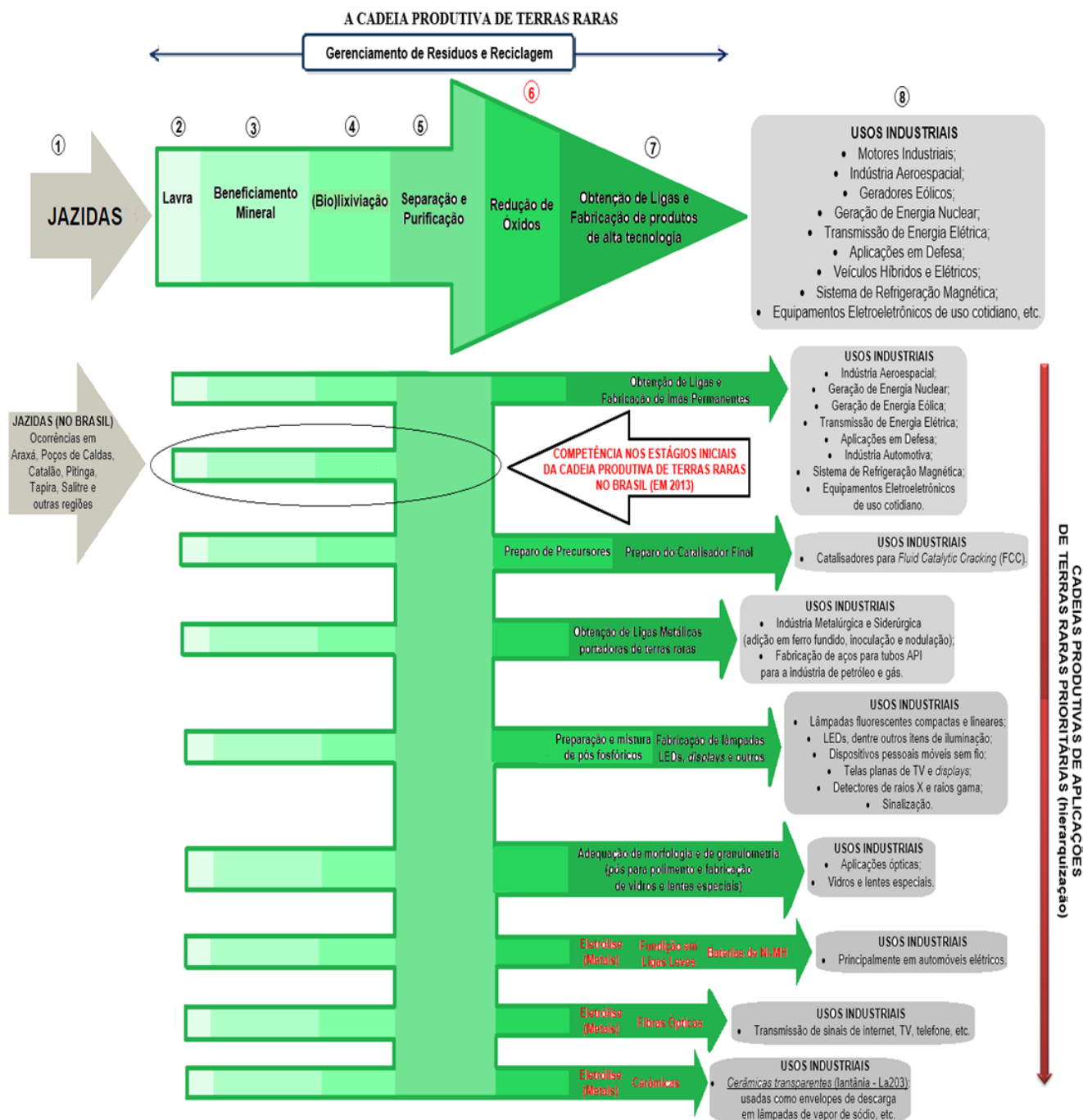
Esta seção visa esquematizar a Cadeia Produtiva de Terras Raras (TR). Em linhas gerais, Lima (2011) pontua que esta cadeia é / pode ser decomposta em várias etapas:

Inicialmente, extrai-se o minério que contém esses elementos. Depois de extraído, o minério é triturado e moído. Em seguida, em geral por um processo de flotação¹, obtém-se o minério concentrado que contém terras-raras. Depois da concentração, ocorre a separação dos diferentes óxidos de terras-raras. Depois desse processamento primário, os óxidos são refinados e convertidos em metais, que depois são combinados com outros metais para se produzir as ligas contendo terras-raras. Essas ligas são usadas em centenas de aplicação, principalmente na área de alta tecnologia (Lima, 2011, p. 14).

1. Processo para a separação dos componentes das misturas heterogêneas, com base nas massas específicas.

Nesta direção, a figura a seguir apresenta as etapas para o desenvolvimento pleno da cadeia (“verticalização”) descrita em **8 estágios**, bem como a participação do Brasil em seus referidos estágios:

Figura 3 - A Cadeia Produtiva de TR e o destaque para o Brasil



Fonte: Elaboração própria, com base em CGEE (2013), Prata/MCTI (2013) e Salomão (2023).

Como observado na figura acima, para que ocorra a verticalização da cadeia produtiva de TR, necessita-se o domínio destes 8 estágios. A China, em cerca de 20 anos, desenvolveu toda a cadeia produtiva de TR (Salomão, 2023). Ainda na figura, observa-se uma “hierarquização”, isto é, um ordenamento das cadeias produtivas de TR prioritárias a serem desenvolvidas, a começar pela **cadeia produtiva de ímãs permanentes de TR**. Para o Brasil, seria esta a cadeia de TR com maior potencial de desenvolvimento pleno (verticalização). Desde 2013, o Brasil já domina os 5 primeiros estágios.

Entretanto, observa-se como um dos primeiros grandes desafios para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TR no Brasil, o tradicional processo de **lixiviação** (“estágio 4”), descredibilizando o processo de transição energética que visa colaborar para a “sustentabilidade”:

Uma das técnicas de triagem mais utilizadas consiste no **processo de lixiviação seguido da extração por solvente**. [...] Para os minérios de baixo teor, esses métodos convencionais geralmente exigem uma alta demanda de energia para gerar altas temperaturas ou dispendem do uso de maior quantidade de reagentes químicos, o que aumenta o custo do processo e geração de resíduos (Barnettler *et al.*, 2016). Assim, há uma necessidade de se buscar novas metodologias alternativas de extração de TRs a partir destes minerais (Souza *et al.*; 2019, p. 04).

Entretanto, novas técnicas (ecologicamente mais sustentáveis) para a extração desse recurso natural já estão sendo difundidas/adotadas (inclusive no Brasil). Uma dessas técnicas é a **biolixiviação** aplicada às TR que, dentre outras alternativas, necessita ser consolidada ao longo de toda a cadeia:

A **biohidrometalurgia** pode ser considerada uma **tecnologia verde emergente** para a recuperação de metais devido ao seu processamento ambiental amigável, simples e econômico. A **biolixiviação** consiste em um processo hidrometalúrgico de água de minerais através da ação de um grupo de microrganismos capazes de produzir ácidos e/ou agentes oxidantes a partir dos constituintes do próprio minério em processo de lixiviação (GIESE, 2017; GIESE, 2019). Seria, portanto, um processo de **biossolubilização**, de diferentes minerais portadores de TRs. [...] Essa rota alternativa para a recuperação de TRs pode apresentar vantagens como a economia de insumos (ácidos e agentes oxidantes), visto que os micro-organismos afetados produzem tais insumos como metabólitos secundários a partir dos constituintes do minério. O processo biohidrometalúrgico apresenta ainda menor requerimento energético, baixo investimento de capital inicial e menor custo operacional (Yamane, 2012, apud Souza *et al.*; 2019). [...] **A aplicação de técnicas de biolixiviação para o tratamento de resíduos sólidos pode contribuir para uma economia mais sustentável e ecologicamente correta** (Souza *et al.*; 2019, pp. 14-19).

Porém, como maior desafio para a verticalização da cadeia produtiva de TR no Brasil, destaca-se a importação (ou seja, “não-produção”) de óxidos de TR (“estágio 6”). Para que se tenha o pleno domínio da cadeia de TR, o Brasil necessita desenvolver (“produzir”) este estágio, com o apoio das universidades, financiamentos (público e privado), e P&D. Como enfatiza Fernando Landgraf, professor da Escola Politécnica da USP e coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), há a necessidade de o Brasil desenvolver a indústria intermediária para produzir os óxidos de TR: “o Brasil tem os minerais e a ponta do consumo, mas falta o meio, que é a produção dos óxidos” (Landgraf, 2023). O professor ainda alerta: “O óxido de neodímio, por exemplo, que sai da indústria intermediária, **custa dez vezes mais** que o produto que sai das minas” (Landgraf, 2023).

Neste sentido, o INCT já desenvolveu a tecnologia para fabricação de superímãs e o laboratório-fábrica da Codemge, que custou R\$ 80 milhões, financiado pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). A demanda por esses minerais pode crescer até seis vezes até 2040.

Dada à importância de se desenvolver a cadeia produtiva de TR na indústria brasileira, **podemos considerar a cadeia produtiva de ímãs permanentes de TR a mais desenvolvida no Brasil (atualmente)**. Como destaque, a Universidade de São Paulo (USP) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas criaram o observatório “Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT - Terras Raras)”, desenvolvendo neste uma Linha de Pesquisa que visa o Processamento e Aplicações de Ímãs de Terras Raras para Indústria de Alta Tecnologia (“INCT-PATRIA”) que, essencialmente,

[...] têm como objetivo criar e desenvolver competências científicas, tecnológicas e de recursos humanos, com o intuito contribuir para superar os desafios que cerceiam a competitividade da cadeia produtiva nacional de ímãs de terras-raras (TRs), da mineração até a aplicação industrial, passando pela concentração dos elementos de terras raras, sua separação, a redução eletroquímica dos metais, a produção das ligas, a sinterização dos ímãs, a proteção contra corrosão e sua reciclagem. *A articulação da cadeia produtiva visa o domínio tecnológico da produção de ímãs a base de TR-FeB aplicados a tecnologias emergentes, como motores elétricos e geradores eólicos de elevado desempenho. [...] O INCT-Terras Raras (PATRIA) tem linhas de pesquisa que vão desde a extração e beneficiamento dos minérios ricos em terras raras, desenvolvimento de processos para a produção das ligas de Nd-Fe-B, produção e caracterização de super ímãs de terras raras utilizando matéria-prima nacional e, por fim, análise da viabilidade técnica de reciclagem de ímãs com foco na economia circular. Em suma, se o Brasil quiser reduzir as suas emissões de CO₂ e se tornar sustentável economicamente na eletrificação do setor automobilístico, é fundamental o desenvolvimento da sua própria cadeia de suprimentos dos elementos terras raras. Para isso, o financiamento público em pesquisas científicas nas áreas supracitadas é essencial para criar maturidade tecnológica e independência no mercado de matérias-primas* (INCT-Terras Raras, 2023).

Para Landgraf (2017), de um lado o país dispõe de grandes reservas minerais desses elementos químicos (início da cadeia - “estágio 1”) e, de outro, grandes usuários dos ímãs em geradores eólicos,

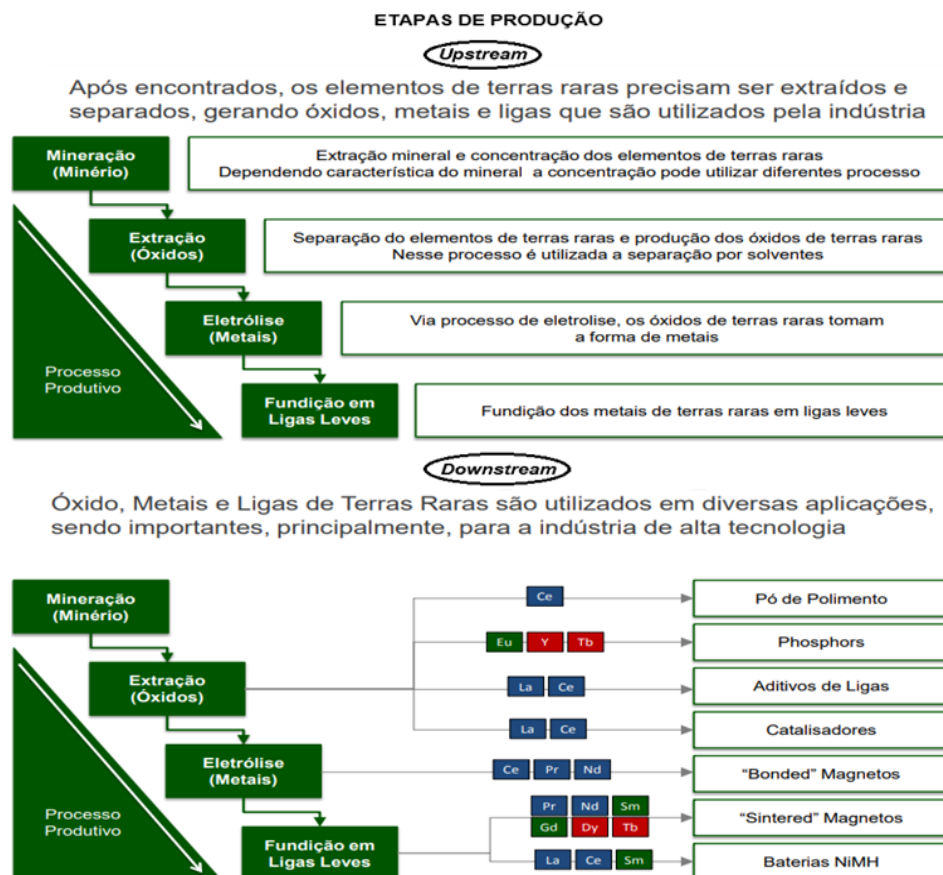
equipamentos eletroeletrônicos e de informática (fim da cadeia - “estágio 8”): “Se a cadeia produtiva - da mineração ao ímã - se estabelecer no Brasil, estará aberta a porta para uma miríade de startups que poderão criar atuadores para tudo o que a *Internet das Coisas* poderá exigir” (Landgraf, 2017).

Salomão (2023) relata que em 2023, uma nova forma de depósito de TR foi descoberta no Brasil, trazendo uma nova e importante realidade para o país: as **argilas iônicas (AI)**: “AI são depósitos secundários ainda pouco estudados. Até recentemente, depósitos de argilas iônicas eram raros fora da China. Havia referências em Mianmar, Madagascar e poucos outros lugares. Existiam garimpos, mas nenhuma mina. A descoberta de AI no norte de Goiás pela Mineração Serra Verde inaugura o primeiro depósito pesquisado e minerado fora da China” (Salomão, 2023, p. 4). O autor diferencia as TR encontradas/extraídas em **jazidas primárias** em detrimento das **AI**:

Jazidas primárias: minas convencionais (eventualmente rocha dura) e altos custos de processamento hidrometalúrgicos, que demanda tecnologia concentrada na China. Os problemas ambientais principais são os depósitos de rejeitos às vezes com radioatividade acima dos limites. **Argilas iônicas:** minas muito grandes em função do baixo teor e de pequena espessura do minério (geralmente até 10m, embora em Poços de Caldas sejam referidas espessuras bem maiores). Custos de produção mais baixos, cesta de óxidos geralmente mais valiosas, baixos problemas com radioatividade. Os problemas ambientais são principalmente as grandes dimensões das minas, em razão dos baixíssimos teores e pequena espessura das jazidas (Salomão, 2023, p. 8).

Nesta direção, Salomão (2023) salienta que as argilas iônicas podem tornar o Brasil, em prazo relativamente curto, num importante produtor de óxidos/carbonatos de TR, podendo atrair indústrias *downstream* da cadeia produtiva, e gerando demanda interna e recursos para desenvolvimento de outras etapas da produção. No entanto, o autor frisa ser a cadeia produtiva *downstream* de TR muito mais complexa (e sofisticada) do que cadeias monominerálicas (figura 4):

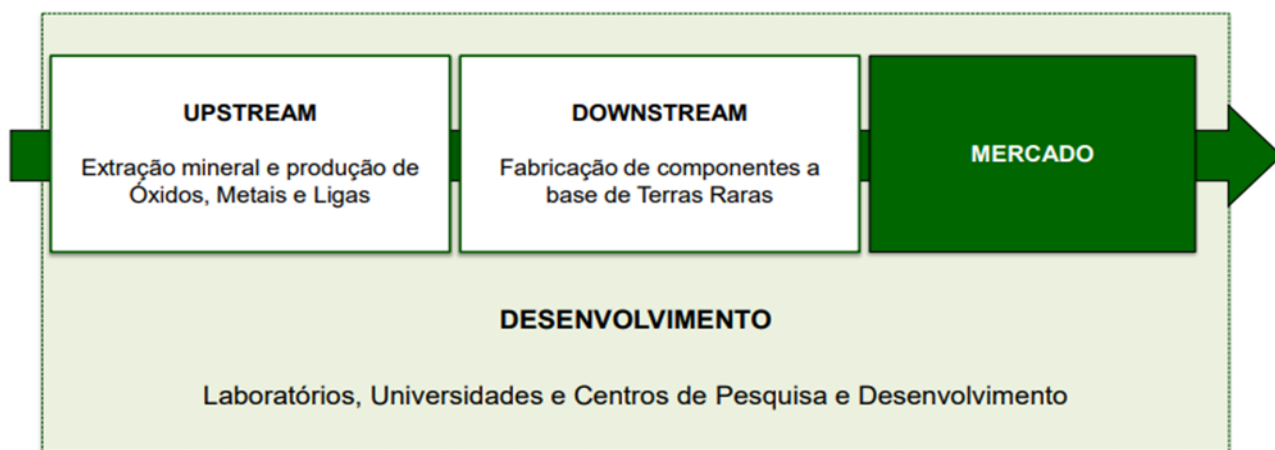
Figura 4 - Esquema detalhado das etapas de produção *upstream* e *downstream* de TR



Fonte: Silva/MbAC Fertilizantes (2013) - adaptado.

Nota-se que as TR passam por uma complexa e agregada cadeia de produção até serem utilizadas como insumos em produtos finais no mercado, como sintetiza a “figura 5”:

Figura 5 - Síntese das etapas “upstream” e “downstream” da Cadeia Produtiva de TR



Fonte: Silva/MbAC Fertilizantes (2013, p. 4).

Em suma, Salomão (2023) argumenta parecer “lógico” priorizar, neste primeiro momento - no Brasil - a cadeia *upstream*, **com especial ênfase na separação dos óxidos individualizados de TR** (“estágio 6” - figura 3). Disponibilizando desses óxidos, o país será capaz de atrair empresas para a etapa seguinte da cadeia, com a produção de metais e ligas induzindo, consequentemente, a criação de um mercado interno, convergindo para o argumento defendido por Landgraf (2017; 2023).

5. Considerações Finais

Este artigo procurou descrever e analisar a Cadeia Produtiva de Terras Raras (TR), destacando os desafios e oportunidades para o seu desenvolvimento no Brasil. Vimos que as TR são um conjunto de 17 elementos químicos, considerados “minerais estratégicos” de importância para o processo de transição energética, sofisticação tecnológica e para a segurança nacional, na atualidade.

Inicialmente conceituamos TR, relatamos seus campos de aplicação e a sua localização no Brasil. Através da sua “taxonomia”, observamos que as TR possuem inúmeras aplicações industriais e no dia a dia, daí serem classificadas como “minerais estratégicos”. Desde 2010, registros de TR no Brasil estão sendo relatados. Mais recentemente, em 2023, depósitos de argilas iônicas de TR nos estados de Goiás e Minas Gerais foram identificados, revelando o Brasil como um dos principais detentores de TR nessas condições geológicas fora da China (atual líder mundial neste mercado).

Posteriormente, ponderamos, dentro do arcabouço (neo)schumpeteriano, a relação da Taxonomia Setorial de Pavitt com a Taxonomia das TR. Observamos, dentro da taxonomia setorial pavittiana, que a utilização das TR pode atuar como um mecanismo de adensamento produtivo na indústria brasileira, daí a clara necessidade de se desenvolver a Cadeia Produtiva de TR no Brasil.

Por fim, descrevemos a Cadeia Produtiva de TR e o seu factível desenvolvimento no Brasil.

Em suma, concluiu-se que, apesar das vantagens e potencialidades do Brasil enquanto detentor deste recurso natural, o mesmo possui desafios a serem superados para o desenvolvimento pleno (verticalização) da cadeia produtiva de TR a nível nacional no longo prazo, sendo, o maior deles, a produção/separação dos óxidos individualizados de TR na etapa *upstream* da cadeia.

Assim, a literatura sugere priorizar, num primeiro momento, a etapa *upstream* da Cadeia Produtiva de TR no Brasil. Desenvolvida plenamente esta etapa, naturalmente fomentar-se-á a etapa *downstream* da cadeia produtiva de TR com sua posterior utilização nas cadeias de bens finais. Para que isto ocorra, é de suma importância a participação do governo nas três esferas (municipal, estadual e federal), laboratórios, universidades e centros de P&D, atuando para a verticalização da cadeia.

Uma vez consolidada e verticalizada, vislumbra-se considerar no longo prazo, a Cadeia Produtiva de TR no Brasil como uma “janela de oportunidade de inserção internacional”, capaz de tornar o país um importante *player global* na oferta de óxidos, ligas, ímãs permanentes e afins de TR (“pretensão futura” deste trabalho). Ademais - e não menos importante -, o desenvolvimento desta cadeia necessita ser pensado (e executado), desde o seu início, dentro de uma legislação ambiental que não ignore (“puna”) a questão da mineração em unidades de conservação (unidades de proteção ambiental) e em terras indígenas (outra questão a ser considerada / abordada em um futuro trabalho).

6. Referências Bibliográficas

- ARCHIBUGI, D. Pavitt's Taxonomy Sixteen Years on: A Review Article. **Economic Innovation and New Technology**. 10. pp. 415–425. 2001. Disponível em: <http://www.danielearchibugi.org/downloads/papers/2017/11/Archibugi_Pavitt_Taxonomy.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- ARCHIBUGI, D.; CESARATTO, S.; SIRILLI, G. Sources of Innovative Activities and Industrial Organization in Italy. **Research Policy**. 20. pp. 299–313. 1991. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0048-7333\(91\)90091-4](https://doi.org/10.1016/0048-7333(91)90091-4)>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- BARMETTLER, F., CASTELBERG, C., FABBRI, C., & BRANDL, H. Microbial mobilization of rare earth elements (REE) from mineral solids – A mini review. **AIMS Microbiology**, 3(2), 190-204. 2016. DOI:10.3934/microbiol.2016.2.190. Acesso em: 20 dez. 2023.
- CAMPOS, B.; RUIZ, A. U. Padrões Setoriais de Inovação na Indústria Brasileira. **Revista Brasileira de Inovação** 8(1). pp. 167-210. jan-jun. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/rbi.v8i1.8648978>>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Ciência, Tecnologia e Inovação. **Uso e aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030**. Brasília - DF. 2013. 258p. p. 29. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Terras_Raras_Web_9532.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- DOSI, G. **The nature of the innovative process**. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; SILVERBERG, G. (Ed.). Technical change and economic theory. London: F. Pinter, 1988. p. 221-238. Disponível em: <<https://econpapers.repec.org/bookchap/ssalembks/dosietal-1988.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2024.
- EVANGELISTA, R., PERANI, G., RAPITI, F., ARCHIBUGI, D. **Nature and Impact of Innovation in the Manufacturing Industry: Some Evidence from the Italian Innovation Survey**. *Research Policy*. 26. pp. 512-536. 1997. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00028-0](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00028-0)>. Acesso em: 28 jan. 2024.
- FILHO, P. C. de S.; SERRA, O. A. **TERRAS RARAS NO BRASIL: HISTÓRICO, PRODUÇÃO E PERSPECTIVAS**. Química Nova, Vol. 37, No. 4. p. 753. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140121>>. Acesso em: 20 dez. 2023.
- GIESE, E. C. Evidences of EPS-iron (III) ions interactions on bioleaching process mini-review: the key to improve performance. **ORBITAL: THE ELECTRONIC JOURNAL OF CHEMISTRY**, 11(1), pp. 200-204. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufms.br/index.php/orbital/article/view/15940/10903>>. Acesso em: 27 dez. 2023.
- GIESE, E. C. Biolixiviação: Uma avaliação das inovações tecnológicas na biomineração de minerais sulfetados no período de 1991 a 2015. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, 14(3), 192-203. 2017. DOI:10.4322/2176-1523.1205. Acesso em: 27 dez. 2023.
- HAMBERGER, P. A. do V.; BOTELHO, M. do R. A. **Padrões Setoriais de Inovação das Pequenas e Médias Empresas Industriais Brasileiras: uma análise em nível da firma**. Anais do XLIII Encontro Nacional de Economia. ANPEC - Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia. 2015. 21 p. 3. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/encontro/2015/submissao/files_I/i970d9029a9ecc7d95c5f8f58af42631d3.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- INCT. Instituto de Ciência e Tecnologia. **INCT-Terras Raras (PATRIA)**. Disponível em: <<https://inct-terras-raras.prp.usp.br/linhas-de-pesquisa>>. Acesso em: 23 dez. 2023.
- IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. **Periodic Table of the Elements**. 2017. Disponível em: <<https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>>. Acesso em: 07 dez. 2023.
- LANDGRAF, F. “Em 2024, Brasil vai começar a produção de ímãs de terras raras em Minas Gerais”. Entrevista cedida ao Jornal **O GLOBO Negócios**, realizada por João Sorima Neto, em 22 dez. 2023. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/negocios/noticia/2023/12/22/em-2024-brasil-vai-comecar-a-producao-de-imas-de-terras-raras-em-minas-gerais.ghtml>>. Acesso em: 23 dez. 2023.
- LANDGRAF, F. Palestra: “Super ímãs de terras-raras e a Quarta Revolução Industrial”, ministrada no Evento Campus Party, 2017. **IPT na Mídia**. Disponível em: <https://www.ipt.br/ipt_na_midia/551-terras_raras_e_futuro_da_industria_.htm>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas. **Série Estudos e Documentos**, 21, CETEM, 1994. p. 189. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/287>>. Acesso em: 07 dez. 2023.

LIMA, P. C. R. Terras-Raras: a importância de um plano estratégico. **Cadernos ASLEGIS**. n. 42. pp. 11-36. p. 14. jan-abr. 2011. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/11394/terras_raras_lima.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 jan. 2024.

MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. C. **Terras Raras**: aplicações industriais e biológicas. Química Nova, 28(1), pp. 111-117. 2005. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3137>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MELO, F. R. **A geopolítica das terras raras**. Revista Carta Internacional, 12(2), pp. 219-243. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.21530/ci.v12n2.2017.634>>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MOLERO, J. Desarrollos Actuales de La Teoria del Cambio Tecnológico: Tipologias y Modelos Organizativos. **Información Comercial Española**, No. 726. 1994.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An Evolutionary Theory of economic change**. 1982. 452 p. Disponível em: <https://inctped.ie.ufrj.br/spiderweb/pdf_2/Dosi_1_An_evolutionary-theory-of_economic_change..pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PAVITT, K. **Sectoral patterns of technical change**: towards a taxonomy and theory, Research Policy, vol. 13, 6 ed. pp. 343-373, 1984. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0)>. Acesso em: 16 jan. 2024.

PAVITT, K. **What do We Know about the Usefulness of Science?** The Case of Diversity. SPRU Discussion Paper. 65. 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-349-21275-0_2>. Acesso em: 18 jan. 2024.

PAVITT, K., ROBSON, M., TOWNSEND, J. **The Size Distribution of Innovating Firms in the UK: 1945-1983**. Journal of Industrial Economics. 35(3). pp. 297-316. 1987. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/2098636>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

PRATA, A. T. **Cadeias Produtivas para Terras Raras**. Subcomissão Temporária de Elaboração do Marco Regulatório da Mineração em Terras Raras no Brasil (CCTSTTR). MCTI. Brasília. 2013. Disponível em: <https://www.senado.leg.br/comissoes/CCT/AP/AP20130514_AlvaroPrata.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2023.

SALOMÃO, E. P. **Novas perspectivas para o Brasil no Mercado de Terras Raras**. MINERAÇÃO TERRAS RARAS S/A. Sexto Seminário Brasileiro de Terras-Raras (VI SBTR/CETEM, 2023). Disponível em: <<https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/VI-Seminario-Brasileiro-de-Terras-Raras/NOVASPERSPECTIVASPARAOBRASILNOMERCADODETERRASRARASFINAL.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2023.

SAVIOTTI, P. P.; METCALFE, J. S. **A theoretical approach to the construction of technological output indicators**. 1984. Vol. 13. 3 ed. pp.141-151. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90022-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90022-2)>. Acesso em: 15 jan. 2024.

SILVA, A. **Terras Raras**: da mina ao mercado. MbAC Fertilizantes. 2013. Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/antigo/images/palestras/2013/iisbtr/13-antenor-silva.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2023.

SILVA, C.F.; SUZIGAN, W. Padrões Setoriais de Inovação da Indústria de Transformação Brasileira. **Estudos Econômicos**. 44. pp. 277-321. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-41612014000200003>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SOUZA, A. C. S. P.; NASCIMENTO, M.; GIESE, E. C. Desafios para a extração sustentável de minérios portadores de Terras Raras. Centro de Tecnologia Mineral, CETEM, Avenida Pedro Calmon 900, 21941-908, Rio de Janeiro, RJ. **HOLOS**, Ano 35, v.1, e8274, 2019. fev. 2019. pp. 04-19. DOI: 10.15628/holos.2019.8274. Acesso em: 25 jan. 2024.

TIDD, J., BESSANT, J., PAVITT, K. **Managing Innovation**: Integrating Technological, Market, and Organizational Change. John Wiley & Sons. 2 ed. 2001.

URRACA, A. R. **Determinantes de La Actividad Innovadora en La Industria Espanola en el Marco de Los Patrones de Innovación**. Tese de Doutorado. Departamento de Economía y Empresa. Facultad Ciencias Jurídicas y Sociales de Toledo. Universidad de Castilla-La Mancha. 1997.

YAMANE, L. H. **Recuperação de metais de placas de circuito impresso de computadores obsoletos através de processo biohidrometalúrgico**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo (USP) - SP, Brasil. 2012. DOI: 10.11606/T.3.2012.tde-07062013-154359. Acesso em: 28 dez. 2023.

7. Anexos

Anexo A - “Tabela 1. Distribuição de insumos de conhecimento em inovações significativas, segundo fonte institucional” (Pavitt, 1984, p. 347)

Table 1

Distribution of knowledge inputs into significant innovations, according to institutional source

Sector ^a	Source of knowledge inputs (%) ^b			Number of observations
	Intra-firm	Other firm	Public Infrastructure	
Food (211-229)	53.4	44.6	2.0	101
Pharmaceuticals (272)	62.8	37.2	0	129
Soap and detergents (275)	60.0	40.0	0	30
Plastics (276)	40.4	55.2	4.4	114
Dyestuffs (277)	68.1	30.5	1.4	69
Iron and steel (311)	47.7	44.9	7.4	149
Aluminium (321)	68.0	28.0	4.0	50
Machine tools (332)	64.1	29.8	6.1	231
Textile machinery (335)	61.2	36.6	2.2	278
Coal-mining machinery (339.1)	52.3	31.6	16.1	199
Other machinery (339.4 + 339.9)	59.1	36.6	4.3	115
Industrial plant (341)	51.6	41.9	6.5	31
Instruments (354.2)	61.6	25.2	13.2	440
Electronic components (364)	48.2	37.1	14.7	170
Broadcasting equipment (365)	64.4	33.9	1.7	59
Electronic computers (366)	50.6	33.3	16.1	81
Electronic capital goods (367)	67.2	9.7	23.0	113
Other electrical goods (369)	60.8	35.3	3.9	51
Shipbuilding (370)	47.9	43.8	8.2	73
Tractors (380)	78.7	21.3	0	47
Motor vehicles (381)	69.3	29.7	1.0	101
Textiles (411-429)	67.3	32.7	0	110
Leather goods and footwear (431/450)	44.4	48.1	7.4	54
Glass (463)	48.2	44.6	7.1	36
Cement (464)	62.5	33.3	4.2	24
Paper and board (481)	66.7	28.2	5.1	39
Other plastics (496)	55.8	41.9	2.3	43
Other	–	–	–	56
Total	58.6	34.0	7.4	3013

^a Numbers in brackets refer to the appropriate Minimum List Heading.

^b Each row adds up to 100 percent.

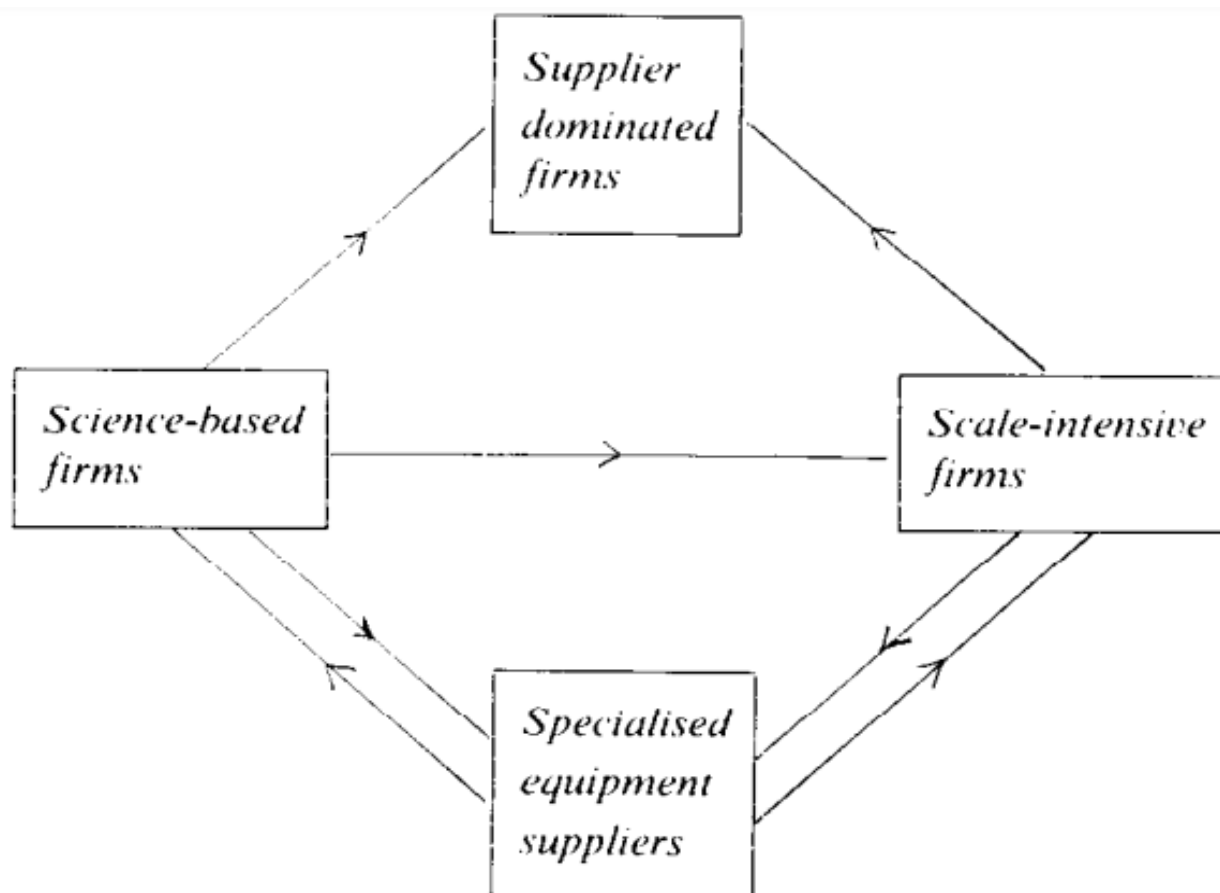


Fig. 1. The main technological linkages amongst different categories of firm.