

# Cenários globais e *roadmapping* estratégico para o desenvolvimento da indústria de terras raras no Brasil

Maria Fatima Ludovico de Almeida<sup>1</sup> e Carlos Augusto Caldas de Moraes<sup>2</sup>

## Resumo

Este artigo apresenta os principais resultados de um estudo prospectivo desenvolvido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) em 2012, cujo objetivo foi fornecer os direcionadores estratégicos para a estruturação futura de uma agenda com ações de curto, médio e longo prazo, vinculadas ao desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de terras raras (TRs), consideradas promissoras e estratégicas para o Brasil. Seu escopo compreendeu a construção de cenários prospectivos do mercado global de TRs e a definição do cenário de referência, que serviu de pano de fundo para a construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs no Brasil como um todo. O estudo incluiu, ainda, a definição de direcionadores estratégicos – visão de futuro e objetivos de longo prazo – referentes às cadeias produtivas de ímãs

## Abstract

*This paper aims to present the main findings of a foresight study concerning the future of global rare earth industry (REI), from the perspective of formulating a strategic agenda for Brazil focusing on this area. The study was carried out in 2012 by the Center for Strategic Studies and Management (CGEE) with the participation of more than 70 representatives of main local stakeholders. It emphasized the importance of understanding and anticipating the global market dynamics for rare earth industry, including drivers, restraints, and opportunities related to five applications: permanent magnets, catalysts, metal alloys, phosphors, and polishing powders, including special glasses and lenses manufacturing. The results can be summarized as follows: (i) four alternative scenarios of the global REI (2012-2030); (ii) a reference global*

1 Maria Fatima Ludovico de Almeida é doutora em Engenharia de Produção pela PUC-Rio, M.Sc. pela University of Manchester, DEA pela Université d'Aix-Marseille III e B.Sc. em Engenharia Química pela UFRJ. Atualmente é professora adjunta do Programa de Pós-graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação da PUC-Rio e consultora do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos e da Unesco.

2 Carlos Augusto Caldas de Moraes é doutor em Engenharia de Produção pela PUC-Rio, mestre em Administração de Empresas pelo MIT, graduado em Engenharia Civil pela UFRJ e em Administração de Empresas pela UERJ. Foi assessor técnico no CGEE e é professor adjunto do Mestrado em Economia e Gestão Empresarial da Universidade Cândido Mendes – RJ.

permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais. Também foram realizados uma pesquisa em base de dados sobre produção científica e propriedade intelectual em TRs em nível mundial (1981-2011) e um levantamento dos grupos de pesquisa e pesquisadores brasileiros que atuam nesse campo.

**Palavras-chave:** Cenários globais. Roadmapping estratégico: Indústria de terras raras. Brasil.

*scenario as a backdrop for the strategic analysis of competitive position of Brazil in the global rare earth's arena (same horizon); (iii) strategic roadmapping extended to supply chains of five applications in Brazil; and (iv) a technology and innovation policy for the development of REI in Brazil. Essentially, the conclusion is that the sustainable development of rare earth industry in Brazil will require the review of regulatory framework of mineral resources, especially strategic ones such as REEs, technological domain and collaborative efforts around key technologies of mineral processing and purification of RE materials, and also those technologies related to permanent magnets, catalysts, metal alloys, phosphors, polishing powders, including special glasses and lens manufacturing.*

**Keywords:** Global scenarios. Strategic roadmapping. Rare earth industry. Brazil.

## 1. Introdução

O tema de terras raras assumiu crescente importância no cenário mundial nos últimos anos, em decorrência da quase que total dependência de fornecimento pela China – cerca de 97% do consumo mundial em 2011 – e da disparada nos preços resultante das reduções definidas pelo governo chinês nas quotas de exportação para países consumidores. A dependência mundial em relação à China não é recente e, segundo os especialistas, emergiu em função da grande produção chinesa e dos preços mais convenientes por ela ofertados (WÜBBEKE, 2013).

Em 2011, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) já havia chamado atenção para a vulnerabilidade da economia verde quanto à falta de minerais de TRs (UNEP, 2011). Isso porque muitas das chamadas tecnologias de energia limpa, como os componentes de turbinas eólicas e os veículos elétricos, dependem de materiais com propriedades singulares, como é o caso das TRs. No momento, a disponibilidade de TRs no mercado global encontra-se em risco devido à localização da produção ser basicamente na China, vulnerabilidade a interrupções de fornecimento, além da inexistência de materiais substitutos de desempenho comparável às aplicações de TRs e do baixo índice de reciclagem.

As TRs são um grupo seletivo de 17 elementos químicos da série dos lantanídeos mais o escândio e o ítrio. Os 15 lantanídeos são: lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, samário, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio.

A expressão “terras raras” é imprópria para denominar tais elementos. Foram assim chamados porque seus óxidos se assemelham aos materiais conhecidos como terras. Também a palavra “rara” é considerada inadequada, pois os lantanídeos são mais abundantes do que muitos outros elementos, com exceção do promécio, que não ocorre na natureza. Por exemplo, os elementos túlio (0,5 ppm) e lutécio (0,8 ppm), que são as TRs menos abundantes na crosta terrestre, são mais abundantes do que a prata (0,07 ppm) e o bismuto (0,008 ppm).

As inúmeras aplicações das TRs devem-se às suas propriedades ímpares, principalmente as espectroscópicas e magnéticas. As propriedades químicas e físicas dos elementos lantanídeos são muito semelhantes em consequência da sua configuração eletrônica. Todos os átomos neutros, por serem energeticamente mais favoráveis, têm em comum a configuração eletrônica  $6s^2$  e uma ocupação variável do nível 4f (com exceção do lantânio, que não tem nenhum elétron f no seu estado fundamental).

Hoje em dia, os usos e as aplicações dos 17 elementos constituintes do grupo das TRs concentram-se em áreas de alta tecnologia e não são conhecidos, até o momento, substitutos que proporcionem o mesmo desempenho.

Nas tecnologias relacionadas a energias limpas e ao controle de emissões atmosféricas, por exemplo, as cadeias produtivas são fortemente dependentes de TRs, essenciais na fabricação de: (i) ímãs permanentes, usados em turbinas eólicas e veículos elétricos; (ii) baterias avançadas, utilizadas em veículos elétricos; (iii) semicondutores filmes finos, usados em sistemas de energia fotovoltaica; e (iv) fósforos, utilizados em sistemas de iluminação mais eficientes.

Outro uso estratégico de TRs refere-se aos catalisadores utilizados no refino do petróleo e nos sistemas de exaustão de veículos. Estima-se que a falta de catalisadores que contêm lantânio, uma das TRs, reduziria a produção de derivados do petróleo pelas refinarias em cerca de 7%. Esses são apenas exemplos da ampla gama de usos industriais e aplicações de TRs abordados no estudo prospectivo em foco, segundo uma visão estratégica de longo prazo, pautada nos princípios da sustentabilidade.

Nos últimos anos, tem crescido também o interesse em aplicar as TRs na investigação das propriedades e funções de sistemas bioquímicos e na determinação de substâncias biologicamente ativas. As TRs são usadas principalmente como sondas espectroscópicas no estudo de biomoléculas e suas funções. A título de ilustração, podem ser citados: traçadores biológicos para acompanhar o caminho percorrido pelos medicamentos no homem e em animais; marcadores em imunologia (fluoroimunoensaios); e agentes de contraste em diagnóstico não invasivo, por imagem de ressonância magnética nuclear (RMN), de patologias em tecidos.

As TRs podem ser encontradas em muitos países, como China, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Índia, Malásia, Brasil e Rússia. No entanto, são difíceis de serem extraídas em volumes economicamente viáveis.

As estimativas da produção mundial eram de 124 mil toneladas por ano (t/ano) em 2012, enquanto a demanda daquele ano alcançava 135 mil t/ano, com previsão de crescimento dessa procura para até 210 mil t/ano em 2015. Por sua vez, como os projetos de mineração demoram a iniciar suas operações, a expectativa era a de que a produção mundial não ultrapassasse 160 mil t/ano nos próximos três anos, o que poderia levar à escassez desses recursos no curto prazo.

As incertezas quanto à garantia de fornecimento de TRs pela China, em função da sua atual política de quotas de exportação, têm mobilizado os países consumidores a buscarem alternativas de suprimento, por meio de acordos de cooperação e parcerias com outros países, além da China, para o desenvolvimento de projetos voltados à produção e ao processamento mineral desses recursos e de suas aplicações, buscando garantia de fornecimento e domínio científico e tecnológico, ao longo de toda a cadeia produtiva.

O Brasil, atualmente, não lavra nem produz nenhum composto de TRs, sendo totalmente dependente da importação. A produção de TRs no Brasil, que teve posição de destaque na década de 1940, é hoje praticamente nula. No entanto, o País, por suas reservas, seus teores dos minérios, sua variedade de depósitos e capacitação tecnológica, apresenta bom potencial para a extração de TRs em jazimentos polimetálicos. No último trimestre de 2010, representantes dos governos do Japão, da Alemanha e da França, em audiências na Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM) do Ministério de Minas e Energia (MME), solicitaram informações sobre o potencial de exploração e produção mineral de TRs no Brasil.

Nesse contexto, o estudo prospectivo desenvolvido pelo CGEE, com a participação de cerca de 70 representantes das principais partes interessadas do governo, da academia e da indústria, teve por finalidade fornecer os direcionadores estratégicos para a estruturação futura de uma agenda com objetivos e ações de curto, médio e longo prazo, vinculadas ao desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas promissoras e estratégicas para o Brasil.

Este artigo está estruturado em quatro seções além desta introdução. Na segunda seção, são apresentadas as bases conceituais para o desenvolvimento do estudo prospectivo, focalizando a construção de cenários, sistemas de inovação e *foresight* estratégico. Na terceira seção, é descrita a metodologia de prospecção adotada, com suporte das ferramentas de construção de cenários e de *roadmapping* estratégico. Por limitação de espaço, na quarta seção, são discutidos, de forma sucinta, seus resultados, remetendo o leitor à consulta ao documento final (CGEE, 2013). Na quinta seção são formuladas as considerações finais.

## 2. Bases conceituais

O referencial teórico no qual o estudo prospectivo do CGEE foi fundamentado contemplou três temas centrais: (i) construção de cenários; (ii) sistemas de inovação; e (iii) *foresight* estratégico.

### 2.1. Construção de cenários

Existem diversas abordagens e inúmeros métodos para construir cenários, todos com o objetivo de se obter configurações de futuros alternativos de médio e longo prazo, que poderão ser utilizados como instrumentos particularmente úteis no planejamento em nível macro (países e regiões), em nível setorial (setores da economia) e em nível institucional [instituições de ciência e tecnologia (C&T) e empresas públicas e privadas].

Devido à crescente turbulência e complexidade dos ambientes nos quais as organizações estão inseridas, os métodos de estudos prospectivos, e em particular a construção de cenários, vêm crescendo em importância e uso, tanto em nível internacional quanto no País. De fato, os cenários prospectivos têm sido amplamente utilizados nas organizações, devido a sua flexibilidade, facilidade operacional e possibilidade de aplicação diversificada a custos relativamente baixos (HUSS, 1988; SCHOEMAKER, 1992; 1993; GEORGANTZAS e ACAR, 1995; RINGLAND, 1998; 2010; GODET e ROUBELAT, 1996; GODET, 2000; SCHWARTZ, 2000; VAN DER HEIJDEN, 2005; e GBN, 2012).

Cenários prospectivos são definidos como descrições de futuros qualitativamente distintos para um sistema sociotécnico e seu contexto, bem como dos caminhos ou trajetórias que ligam esses futuros à situação inicial desse sistema e seu contexto. Compreendem a descrição de uma situação de origem e dos acontecimentos que conduzem à situação futura. Esse conjunto de acontecimentos ou “jogo de hipóteses” deve apresentar uma coerência interna.

Na literatura especializada, encontram-se diversas abordagens metodológicas para construção e uso de cenários, desde métodos mais intuitivos até métodos probabilísticos. Para fins da construção de cenários globais da indústria de terras raras, foram consideradas as abordagens metodológicas apresentadas pelos seguintes autores, Godet (2001); Durance e Godet (2010); Van der Heijden (2005); Schoemaker e Van der Heijden (1992); e Schwartz (1996; 2004). Dentre as ferramentas analisadas, optou-se pela análise estrutural (GODET, 2001; DURANCE e GODET, 2010); e pela identificação de incertezas críticas, como base para o desenho da matriz de cenários fundamentado na escolha de duas incertezas críticas mais relevantes (VAN DER HEIJDEN, 2005; SCHOEMAKER e VAN DER HEIJDEN, 1992; e SCHWARTZ, 1996; 2004).

Na etapa de delimitação do sistema e seu contexto (indústria global de terras raras), buscou-se identificar a maior quantidade de variáveis (econômicas, políticas, tecnológicas, sociais e ambientais). Nesse sentido, o método prevê a condução de processos intuitivos de *brainstorming*, entrevistas com especialistas e consulta a estudos prospectivos de referência – globais ou setoriais –, logo no início dos trabalhos. Para a identificação de forças motrizes e variáveis-chave, o método de Godet caracteriza-se pelo maior rigor formal nos estudos dos efeitos das tendências, por meio da utilização da ferramenta de análise estrutural - uso do *software MicMac* desenvolvido pelo *Laboratoire d'Innovation de Prospective Stratégique et d'Organisation (Lipsor)*, na França -. Essa ferramenta é usada para analisar a difusão dos impactos das variáveis e suas inter-relações na cadeia causal de relacionamentos entre variáveis.

Uma vez construída a cadeia causal do desenvolvimento da indústria global de terras raras, foram identificados e classificados condicionantes do futuro, segundo tipologia proposta por Godet (2000), com destaque para a identificação das incertezas críticas. Na sequência, adotando-se ferramenta proposta pelos autores da Global Business Network (VAN DER HEIJDEN, 2005; SCHOEMAKER e VAN DER HEIJDEN, 1992; e SCHWARTZ, 1996; 2004), foi possível definir a matriz de cenários, como representada na Figura 2. As etapas seguintes referem-se à criação e descrição de quatro cenários alternativos; à seleção do cenário global de referência; e à análise dos desafios e das implicações para políticas públicas no Brasil, visando a estabelecer os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da indústria de terras raras no País, focalizando-se aplicações estratégicas.

## 2.2. Sistemas de inovação

Nesta seção, é apresentado o conceito de sistema de inovação, com especial atenção aos trabalhos de Freeman (1987), Lundvall (1992), Edquist e Johnson (1997), e OECD (1997). Esse conceito surgiu há mais de 20 anos e, desde então, tem sido amplamente difundido entre pesquisadores e formuladores de políticas públicas do mundo todo. Refere-se ao conjunto de organizações que contribuem para o desenvolvimento ou fortalecimento da capacidade de inovação de um país, setor ou região. Tal enquadramento pressupõe que o desempenho inovador dessas organizações depende de fatores econômicos, regulatórios, políticos, sociais e ambientais específicos dos contextos socioprodutivos em foco.

Um documento de referência publicado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), em 1997, apresenta várias definições associadas a um sistema de inovação em nível nacional:

*"[...] the network of institutions in the public and private sectors whose activities and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies."* (FREEMAN, 1987).

*"[...] the elements and relationships which interact in the production, diffusion and use of new, and economically useful, knowledge ... and are either located within or rooted inside the borders of a nation state."* (LUNDVALL, 1992).

*"[...] a set of institutions whose interactions determine the innovative performance [...] of national firms."* (NELSON, 1993).

*"[...] the national institutions, their incentive structures and their competencies, that determine the rate and direction of technological learning (or the volume and composition of change generating activities) in a country."* (PATEL and PAVITT, 1994).

*"[...] that set of distinct institutions which jointly and individually contribute to the development and diffusion of new technologies and which provides the framework within which governments form and implement policies to influence the innovation process. As such it is a system of interconnected institutions to create, store and transfer the knowledge, skills and artefacts which define new technologies."* (METCALFE, 1995).

De acordo com Lundvall (1992), além do conceito de sistema nacional de inovação, alguns autores enfatizam características sistêmicas da inovação em outros níveis da economia, a saber: (i) sistemas tecnológicos, definidos por Carlsson e Stankiewicz no início dos anos 90 (CARLSSON e STANKIEWITZ, 1995); (ii) sistemas regionais de inovação (MASKELL e MALMBERG, 1997); (iii) sistemas setoriais de inovação (BRESCHI e MALERBA, 1997; MALERBA, 2002); e (IV) abordagem triple helix (ETZKOWITZ e LEYDESDORFF, 2000).

Considerando-se os objetivos do estudo prospectivo desenvolvido pelo CGEE, adotou-se a definição de Lundvall (1992), assumindo-se os pressupostos básicos estabelecidos pela OECD (1997, p. 13), como transcrito a seguir:

*"For policy makers, an understanding of the national innovation system can help identify leverage points for enhancing innovative performance and overall competitiveness. It can assist in pinpointing mismatches within the system, both among institutions and in relation to government policies, which can thwart technology development and innovation. Countries differ in the way in which knowledge flows are structured and in the relative importance of different types of institutions, actors and linkages for their respective production systems".*

### 2.3. *Foresight* estratégico

Na perspectiva de definir direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da indústria de terras raras no Brasil, adotou-se a abordagem metodológica de *foresight*, cuja característica principal é a identificação sistemática de áreas estratégicas e tecnologias emergentes com o potencial de gerar grandes benefícios econômicos e sociais no horizonte temporal considerado (GEORGHIOU *et al.*, 2008; MILES, 2010).

Os trabalhos de referência consultados na fase conceitual do estudo prospectivo do CGEE, focalizando esse tema, foram: *'The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice'* (GEORGHIOU *et al.*, 2008); *'Research Infrastructure Foresight: Practical Guide for Integrating Foresight in Research Infrastructures Policy Formulation'* (KEENAN and POPPER, 2007); e *'The Evolution of Strategic Foresight: Navigating Public Policy Making'* (KUOSA, 2012).

A ferramenta de escolha foi o *roadmapping* estratégico, aqui definido como um processo de planejamento que permite aos gestores e formuladores de políticas públicas identificar, avaliar e selecionar alternativas para alcançar objetivos estratégicos tecnológicos claramente definidos para uma determinada área estratégica, em um determinado horizonte temporal.

A visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil, bem como das cadeias de seis aplicações consideradas estratégicas para o País, levou em consideração potencialidades, gargalos e desafios tecnológicos e de gestão a serem superados no período 2013-2030. Foram identificados os hiatos entre a situação atual e a 'visão de futuro' dessas cadeias, de tal forma que iniciativas propostas possam preencher efetivamente tais hiatos (CAMARINHA-MATOS, 2004; REZGUI e ZARLI, 2002).

A construção do *roadmap* estratégico para o desenvolvimento da indústria de terras raras no Brasil compreendeu: (i) a construção da 'visão de futuro' associada a cada cadeia produtiva; e (ii) a definição dos direcionadores estratégicos e das ações requeridas para o fortalecimento do posicionamento do Brasil e das empresas e instituições interessadas, visando a alcançar às 'visões de futuro' expressas para as cadeias produtivas de aplicações selecionadas (ímãs permanentes; catalisadores; ligas metálicas; fósforos; pós para polimento; e fabricação de vidros e lentes especiais).



### 3. Metodologia adotada no estudo prospectivo

Descreve-se, a seguir, a metodologia adotada no desenvolvimento do estudo prospectivo sobre TRs. A Figura 1 representa o fluxograma geral de execução, que compreendeu três fases: (i) conceitual; (ii) participativa; e (iii) conclusiva.



Figura 1. Metodologia adotada no estudo prospectivo

Inicialmente, a fase conceitual focalizou a revisão da literatura sobre cenários prospectivos, *foresight* estratégico e sistemas de inovação, para formar o referencial teórico de base para o desenvolvimento do estudo prospectivo e a criação de uma linguagem comum entre os participantes do processo. Na sequência, procedeu-se à pesquisa documental sobre a indústria global de terras raras, incluindo estudos prospectivos anteriores (*US GEOLOGICAL SURVEY*, 2013; MASSARI e RUBERTI, 2013; WÜBBEKE, 2013; ALONSO *et al.*, 2012; CHEGWIDDEN, 2012; KINGSNORTH, 2012; CHEN, 2011; FROST & SULLIVAN, 2011; *CENTER FOR STRATEGIC AND INTERNATIONAL STUDIES*; GUPTA e KRISHNAMURTHY, 2005).

Para a identificação dos trabalhos mais relevantes nesse campo, foram realizadas consultas sistemáticas às bases de dados *Scopus*; *Web of Science* e *Science Direct*, cobrindo o período de 1981-2011, bem como a ferramenta Google Scholar, disponível na web. Em complementação, foi mapeada a propriedade intelectual em TRs em nível mundial para o mesmo período, focalizando a cadeia produtiva como um todo e as aplicações estratégicas para o Brasil. A partir desse levantamento, foi possível definir uma taxonomia única para o estudo prospectivo de TRs, cobrindo os seguintes itens: uso industrial, aplicação de TRs, funcionalidade habilitadora e elementos TRs requeridos. Ainda nessa fase, foram levantados dados sobre terras raras no Brasil e os grupos de pesquisa e pesquisadores brasileiros atuantes neste campo e que estão cadastrados no Diretório dos Grupos de Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Na fase participativa, uma série de *workshops* foi realizada no período de maio a julho de 2012, envolvendo mais de 60 especialistas do governo, da academia e indústria. Ressaltam-se, como fator de sucesso dessa fase, o suporte e a participação intensiva da equipe dedicada ao tema que atua no Centro de Tecnologia Mineral (Cetem).

O primeiro *workshop*, realizado em Brasília, em maio de 2012, sob a coordenação do CGEE, teve por objetivos a construção de cenários prospectivos da evolução da cadeia produtiva de TRs em nível mundial e a escolha do cenário global de referência, para discussão das implicações dos condicionantes globais sobre o posicionamento estratégico do Brasil nesse campo.

O segundo *workshop* foi conduzido no Rio de Janeiro, em junho de 2013, com os objetivos de: (i) mapear as potencialidades, os gargalos e desafios da cadeia produtiva de TRs no Brasil, face ao cenário global de referência; e (ii) construir o *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs como um todo e definir os direcionadores estratégicos em relação às dimensões 'marco regulatório'; 'investimentos'; 'infraestrutura'; 'recursos humanos e competências distintas'; e 'tecnologia'.

Para a definição dos direcionadores estratégicos associados ao desenvolvimento das seis cadeias de aplicações estratégicas de TRs no Brasil, foram realizados vários *workshops* com envolvimento de grupos de especialistas das respectivas aplicações. Basicamente, esses encontros tiveram como objetivos: (i) caracterizar, esquematicamente, a cadeia produtiva da aplicação objeto do *workshop* e propor a visão de futuro resultante de seu desenvolvimento no período 2013-2030; e (ii) estabelecer direcionadores estratégicos a serem desdobrados em ações e iniciativas, visando alcançar as respectivas visões de futuro das cadeias produtivas de TRs.

Na fase conclusiva, os resultados das fases anteriores foram consolidados no documento final do estudo prospectivo, que foi publicado no ano seguinte pelo CGEE (CGEE, 2013).

## 4. Resultados do estudo prospectivo

Nesta seção, são apresentados e discutidos os principais resultados do estudo prospectivo sobre a cadeia produtiva de terras raras no Brasil. Essa exposição é iniciada com a identificação das incertezas críticas associadas ao mercado global de terras raras, incertezas essas consideradas elementos fundamentais para a construção dos cenários prospectivos. Na sequência, são representados graficamente quatro cenários globais da cadeia produtiva de terras raras (2012-2030), com indicação do cenário de referência, com trajetória mista. A partir da definição do cenário de referência, focaliza-se a cadeia produtiva de terras no Brasil, analisando-se a situação atual e definindo-se a visão de futuro e os direcionadores estratégicos em relação a

quatro dimensões consideradas fundamentais para o desenvolvimento pretendido: (i) marco regulatório; (ii) investimentos; (iii) infraestrutura; (iv) recursos humanos e competências distintas; e (v) tecnologia.

#### 4.1. Incertezas críticas

Para fins do estudo prospectivo em foco, incerteza crítica foi definida como fenômeno ou situação do contexto mundial com alto grau de incerteza e alto impacto potencial para o futuro da cadeia produtiva de TRs no horizonte considerado. Pela sua importância para a construção de cenários prospectivos múltiplos, são destacadas, na Tabela 1, as principais incertezas associadas à evolução da cadeia produtiva de TRs no mundo, considerando-se o horizonte 2030.

**Tabela 1.** Incertezas críticas associadas ao mercado global de terras raras

Variável	Incertezas críticas
Economia verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>O uso de TRs possibilitará a aplicação de tecnologias energeticamente mais eficientes, compressores herméticos para refrigeração, geradores eólicos, mancais magnéticos e outras aplicações limpas?</li> </ul>
Sociedade da informação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não foram identificadas incertezas críticas em relação a essa variável.</li> </ul>
Governança global	<ul style="list-style-type: none"> <li>Como será exercido o poder coercitivo de instituições internacionais - Organização Mundial do Comércio (OMC), Organização das Nações Unidas (ONU) e outras - para solucionar problemas no mercado global de TRs?</li> </ul>
Mercado global de aplicações que contenham ou usem ETRs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haverá fornecimento estável de TRs (óxidos e ligas metálicas) para países consumidores?</li> <li>Haverá concentração na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs?</li> </ul>
Novos materiais concorrentes ou substitutos de TRs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Surgirão novos materiais substitutos de TRs com economicidade e desempenho desejado?</li> </ul>
Reservas e produção mundial de TRs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permanecerá a hegemonia chinesa e seu controle sobre o mercado global de TRs? Até quando?</li> <li>A produção ficará concentrada em poucos países? Ou haverá diversificação das fontes de suprimento?</li> <li>Haverá continuidade e garantia do suprimento de matérias-primas, ou seja, TRs na forma de compostos?</li> </ul>
Preços internacionais de TRs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poderá ocorrer volatilidade de preços de TRs com forte impacto no desenvolvimento de projetos fora da China?</li> <li>Os preços serão regulados pela entrada de novos produtores de TRs, além da China?</li> </ul>
Políticas nacionais de países produtores e processadores de TRs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haverá diminuição de quotas de exportações pela China? Haverá risco de desabastecimento no mercado global de TRs?</li> <li>Qual será o risco à soberania nacional dos mais diferentes países dependentes do fornecimento externo de TRs?</li> </ul>

## 4.2. Cenários prospectivos globais e cenário de referência: 2012-2030

A partir do conjunto de incertezas críticas elencadas na Tabela 1, foram gerados quatro diagramas de cenários prospectivos com base na proposta metodológica da *Global Business Network*.

Para fins do estudo prospectivo, cenários foram definidos como descrições de futuros qualitativamente distintos para um sistema e seu contexto, bem como dos caminhos ou das trajetórias que ligam esses futuros à situação inicial desse sistema e seu contexto. Especificamente neste estudo, referem-se à evolução da cadeia produtiva de TRs em uma perspectiva global. Compreendem a descrição da situação de origem (cena de 2012) e dos acontecimentos que conduzem à situação futura. Esse conjunto de acontecimentos ou jogo de hipóteses deve apresentar uma coerência interna.

Do conjunto de diagramas gerados, foi selecionado, em plenária, o diagrama que seria a base para o exercício de cenarização propriamente dito, conforme representado na Figura 2.

A descrição dos quatro cenários prospectivos associados ao diagrama da Figura 2 compreendeu os seguintes componentes: (i) filosofia; (ii) trajetória do sistema no período 2012-2020; (iii) trajetória do sistema no período 2021-2030; (iv) principais atores; (v) condições de plausibilidade da trajetória no período 2012-2020; (vi) condições de plausibilidade da trajetória no período 2021-2030.

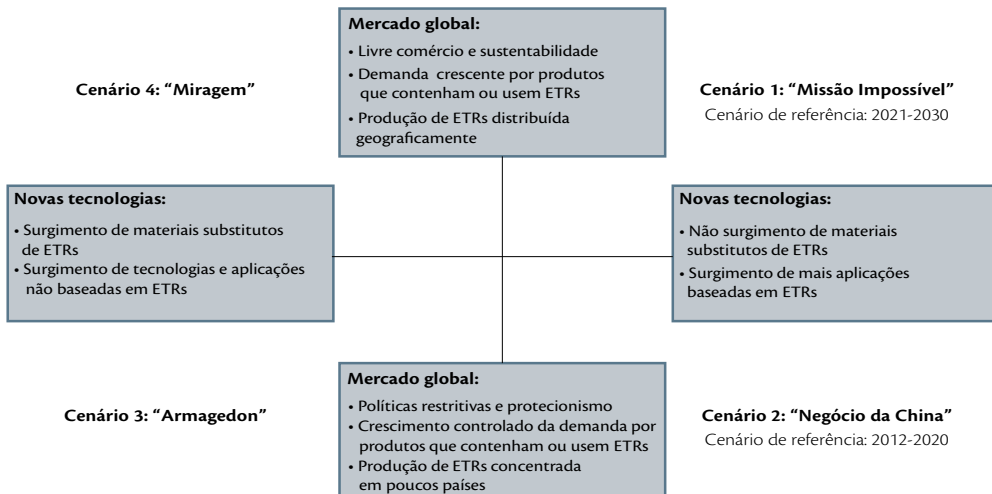


Figura 2. Quatro cenários globais da cadeia produtiva de terras raras (2012-2030) e um cenário de referência com trajetória mista

Destaca-se na Figura 2 o cenário de referência com trajetória mista, ou seja, no primeiro período (2012-2020) prevalecerá a lógica do cenário “Negócio da China” e no segundo período da trajetória (2021-2030) a lógica do cenário “Missão Impossível”.

Ainda no primeiro período, mudanças políticas e iniciativas empreendidas por países detentores de jazidas minerais contendo TRs, como é o caso do Brasil, fortalecerão o posicionamento estratégico dessas nações, que estabelecerão parcerias com outras que dominam tecnologias limpas para produção de TRs e aplicações industriais baseadas em TRs.

Partindo-se desses pressupostos, no segundo período (2021-2030), prevê-se uma ruptura na trajetória do cenário “Negócio da China”, com a entrada de novos atores no mercado global. Prevaecem o livre-comércio e a sustentabilidade da cadeia produtiva de TRs, com crescente demanda e oferta de matérias-primas e de produtos que usem ou contenham TRs.

#### 4.3. Níveis de competência associados às etapas da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: 2012-2030

Considerando o cenário global de referência e a análise estratégica do posicionamento do Brasil nas próximas décadas, são apresentados, neste artigo, os resultados da análise do nível de competência associada às etapas iniciais da cadeia produtiva de TRs no País (conforme Figura 3). Esses conteúdos constituem uma parte comum a todas as cadeias de aplicações de TRs priorizadas para serem desenvolvidas durante o período 2013-2020. Por limitação de espaço, os resultados da análise do nível de competência das cadeias produtivas das cinco aplicações de TRs não serão apresentados e discutidos neste artigo, mas podem ser consultados no documento final do estudo do CGEE (CGEE, 2013).

Destacam-se, na Figura 3, além do grau de domínio em cada uma dessas etapas, os pontos de atenção que foram considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs, como será discutido no item 4.5.

Como pode ser observado, o Brasil se encontra, atualmente, em posição favorável nos estágios experimental e piloto, em todas as etapas iniciais. Nos estágios de inovação até comercialização, predomina o domínio parcial. Para fins de construção do *roadmap* estratégico, cabe destacar a necessidade urgente de pesquisa geológica e caracterização mineral e tecnológica das jazidas de TRs no Brasil.

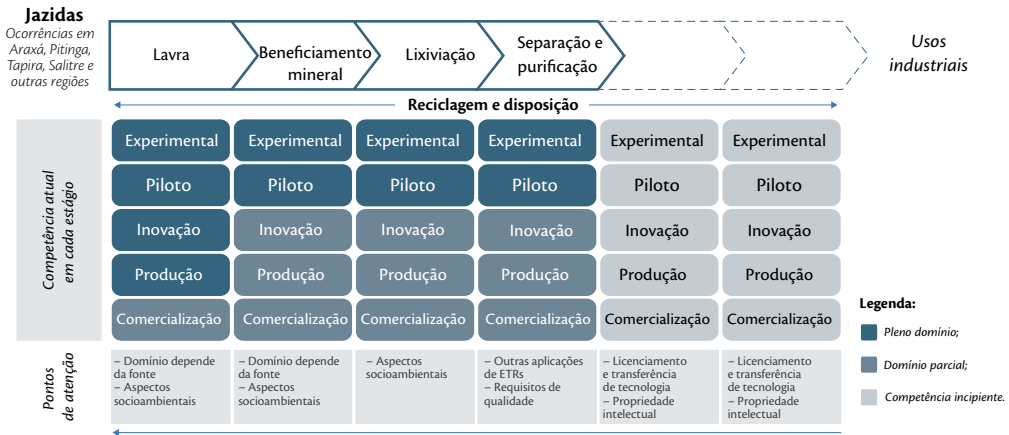


Figura 3. Competência atual nos estágios das etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras no Brasil

#### 4.4. Situação atual e visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil: 2012-2030

Na seqüência, foi definida a visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil (horizonte 2030) e, em seguida, foram estabelecidos os objetivos estratégicos para alcance dessa visão:

“Autossuficiência e inserção competitiva do Brasil no mercado internacional de terras raras a partir do aproveitamento racional, eficiente e integral desses recursos minerais, com domínio científico e tecnológico ao longo de toda a cadeia produtiva, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade”.

Para definição dos objetivos estratégicos, são consideradas as seguintes dimensões de análise: (i) mercado de aplicações de TRs; (ii) reservas e produção de TRs no Brasil; (iii) política nacional para TRs; (iv) marco regulatório: papel da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) quanto aos minerais radioativos; aspectos de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS); e controle de emissões atmosféricas; (v) investimentos nas cadeias produtivas, formação de empresas e parcerias público-privadas; (vi) infraestrutura física para as cadeias produtivas de aplicações de TRs; (vii) recursos humanos; e (viii) tecnologia de produtos finais que contêm/usam TRs; avanços tecnológicos nas etapas iniciais das cadeias produtivas de aplicações (Tabela 2).

**Tabela 2.** Situação atual e visão de futuro para formulação dos direcionadores estratégicos da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: 2012-2030

Dimensão	Situação atual	Visão de futuro (2030)
Marco regulatório	Legislação vigente não prioriza a produção de TRs de forma competitiva, sustentável, com agregação de valor. Restrições na produção de TRs decorrentes da sua associação a radionuclídeos.	Novo marco regulatório estimula os investimentos produtivos e prioriza a produção de TRs de forma competitiva e sustentável. Equacionadas, na legislação brasileira, as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas.
Investimentos	Iniciativas governamentais no sentido de estudar a viabilidade da cadeia no Brasil. Iniciam-se cooperações internacionais entre empresas e governos para enfrentar o monopólio chinês. Iniciativas de investimentos de empresas na produção de TRs no Brasil. Não há foco específico em aplicações.	Consolidação das cadeias estratégicas, como ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, fósforos de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais. Investimentos em cadeias produtivas de outras aplicações, como cerâmicos, fibras ópticas e baterias. Há garantia de fornecimento dos insumos demandados pela indústria, incentivando a instalação, no Brasil, de empresas que atuam em vários segmentos da cadeia produtiva.
Infraestrutura	Lei nº 10.197, regulamentada pelo Decreto nº 3.807, dispõe sobre o financiamento a projetos de implantação e recuperação de infraestrutura de pesquisa nas instituições públicas de ensino superior e de pesquisa e dá outras providências – legislação relacionada ao CT-Infra. <sup>3</sup> Infraestrutura para atividades industriais e de comercialização, a ser desenvolvida em função de anúncios de empreendimentos metalúrgicos e de aplicações industriais.	Infraestrutura laboratorial modernizada em instituições acadêmicas, ICT e empresas. Infraestrutura consolidada para a produção de TRs e de aplicações industriais. Gargalos de logística de produção e distribuição equacionados.
Recursos humanos e competências distintas	Existência de instituições de C&T (ICT), grupos de pesquisa e instituições acadêmicas com competência em temas de TRs. O número de grupos de pesquisa e especialistas dedicados a PD&I em TRs é relativamente pequeno em relação à China e aos Estados Unidos. Parte da competência tecnológica em TRs, existente no passado, migrou para outros campos.	Contínuo aperfeiçoamento de mão de obra qualificada, evitando-se o quadro desfavorável e a evasão para outros setores, como observado em décadas anteriores. Competência tecnológica faz frente aos desafios tecnológicos das cadeias produtivas de aplicações de TR consideradas estratégicas para o País.
Tecnologia	Baixo orçamento para o desenvolvimento de tecnologias para as cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas para o País (ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, fósforos de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais). Vencimento de patentes gera possibilidades de produção no Brasil e exportação de aplicações baseadas em TRs, bem como produtos finais que contêm ou usam TR. Concepção inicial da Rede Brasileira de Terras Raras.	Domínio tecnológico completo das cadeias produtivas prioritárias, ou seja, da mina ao produto final que contém ou usa TRs. A Rede Brasileira de Terras Raras, com efetiva atuação das instituições de C&T (ICT) públicas e privadas, empresas e instituições acadêmicas, nas atividades de PD&I voltadas para a cadeia produtiva de TRs. Acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio, via acordos de cooperação internacional. Empresas joint-ventures resultantes de parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas para produção e processamento de TRs.

3 CT-Infra é um dos Fundos Setorial de Ciência e Tecnologia, criados a partir de 1999, como instrumentos de financiamento de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no Brasil. O CT-Infra é destinado a viabilizar a modernização e ampliação da infraestrutura e dos serviços de apoio à pesquisa desenvolvida em instituições públicas de ensino superior e de pesquisas brasileiras, por meio de criação e reforma de laboratórios e compra de equipamentos, entre outras ações. Fonte: <<http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fontes-de-recurso/fundos-setoriais/quais-sao-os-fundos-setoriais/ct-infra>>. Acesso em maio de 2015.

## 4.5. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil: 2012-2030

A Tabela 3 apresenta uma síntese com os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil, cobrindo o período 2012-2030.

**Tabela 3.** Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil: 2012-2030

Dimensão	Direcionadores estratégicos	Período 2012-2030
Marco regulatório	<p>Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p> <p>Equacionar, na legislação brasileira, as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas.</p>	<p>Instituir direito minerário como garantia de financiamento de implantação, ampliação e verticalização.</p> <p>Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório da mineração, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p>
Investimentos	<p>Criar mecanismos de financiamento, em condições compatíveis com os concorrentes internacionais, e gerar incentivos para atração de empresas de toda a cadeia produtiva.</p>	<p>Desburocratizar, simplificar, criar ou aperfeiçoar mecanismos de financiamento público-privado e gerar incentivos para atração de empresas de cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas: ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento/fabricação de vidros especiais.</p> <p>Ampliar disponibilidade de mecanismos de financiamento público-privado para atração de empresas das demais cadeias produtivas de aplicações de TRs: cerâmicos, baterias e fibras ópticas.</p> <p>Divulgar, no exterior, as vantagens competitivas do País em TRs (recursos naturais, infraestrutura tecnológica e recursos humanos) para o desenvolvimento de projetos industriais, parcerias e joint-ventures referentes às cadeias produtivas de TRs no Brasil.</p>
Infraestrutura	<p>Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios, as facilidades de pesquisa, o suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p>	<p>Mapear as principais infraestruturas de pesquisa científica e tecnológica existentes no País, nas universidades, instituições de C&amp;T (ICT) públicas e privadas e empresas, bem como o nível de utilização dessas infraestruturas e o perfil da demanda na área de TRs.</p> <p>Fornecer à comunidade científica e tecnológica o acesso, pela internet, a informações sobre as infraestruturas de pesquisa existentes, sua localização, possibilidades e condições de uso na área de TRs.</p> <p>Apoiar investimentos em infraestrutura voltados à PD&amp;I, para uso comum de instituições nacionais e empresas na área de TRs, aprovados por mecanismos concorrenciais.</p> <p>Apoiar projetos de infraestrutura associados à constituição da Rede Brasileira de Terras Raras.</p> <p>Prazo: 2012-2015.</p> <p>Implantar parcerias público-privadas para ampliação e modernização da infraestrutura de serviços tecnológicos e de logística para as diversas etapas da cadeia produtiva de TRs.</p> <p>Promover a formação de arranjos produtivos locais (APL) e a criação das respectivas infraestruturas referentes às cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas.</p>



Dimensão	Direcionadores estratégicos	Período 2012-2030
Recursos humanos e competências distintas	Capacitar recursos humanos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs	<p>Implantar programa de bolsas de mestrado e doutorado para desenvolvimento de dissertações, teses, trabalhos científicos e patentes na área de TRs.</p> <p>Criar grades curriculares, nos cursos de graduação e nível médio, que cubram as áreas de conhecimento fundamentais à formação de recursos humanos capacitados para atuarem nas diversas etapas da cadeia produtiva de TRs.</p> <p>Implantar cursos <i>lato sensu</i>, de curta e média duração, sobre a importância estratégica de TRs e a problemática do desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no País.</p> <p>Criar programas de intercâmbios internacionais e de atração de especialistas estrangeiros nos diversos campos de conhecimento da cadeia produtiva de TRs.</p>
Tecnologia	Promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação voltados para a cadeia produtiva de TRs.	<p>Estruturar e implementar a Rede Brasileira de Terras Raras, mobilizando empresas, instituições de C&amp;T, associações de classe e governo.</p> <p>Implantar linhas de financiamento preferenciais para PD&amp;I em prospecção, produção, separação e aplicação de TRs.</p> <p>Estabelecer acordos internacionais, visando ao acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio.</p> <p>Realizar atividades de prospecção tecnológica para as cadeias produtivas de aplicações de TRs, visando ao estabelecimento de prioridades, à atualização e à revisão da política de CT&amp;I.</p>

## 5. Considerações finais

Este artigo buscou sumarizar os principais resultados de um rico processo participativo de construção de cenários globais e de *foresight* estratégico, reunidos em sua totalidade na publicação “Usos e aplicações de terras raras no Brasil: 2012-2030”, editada pelo CGEE em 2013. São apresentadas, a seguir, as principais conclusões e proposições referentes à cadeia produtiva de TRs como um todo.

A visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à autossuficiência e inserção competitiva do Brasil no mercado internacional de TRs, a partir do aproveitamento racional, eficiente e integral desses recursos minerais, com domínio científico e tecnológico ao longo de toda a cadeia produtiva, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

A estratégia nacional proposta para concretizar essa visão é sintetizada a seguir:

- Realizar mapeamento de ocorrências, identificação e dimensionamento das reservas e viabilizar a produção e o processamento mineral de TRs;

- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Promover políticas públicas de cunho mineral, industrial e de CT&I voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Equacionar, na legislação brasileira, as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas;
- Criar mecanismos de financiamento, em condições compatíveis com os concorrentes internacionais, e gerar incentivos para atração de empresas de toda a cadeia produtiva e suas aplicações;
- Viabilizar as cadeias produtivas das seis aplicações de TRs estratégicas para o País, de forma sustentável e competitiva;
- Consolidar e expandir infraestrutura de laboratórios, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Capacitar recursos humanos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs; e
- Promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação associados a desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.

Finalmente, cabe ressaltar que a construção do cenário global de referência e as proposições voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs, bem como das cadeias referentes a suas aplicações, visam fundamentalmente a fortalecer o posicionamento estratégico do Brasil como um País capaz de explorar, de modo sustentável, TRs para as diversas aplicações focalizadas neste estudo prospectivo. Tais proposições foram resultado de um processo participativo e estruturado, envolvendo mais de 60 especialistas em TRs, oriundos dos setores acadêmico, empresarial e governamental.

Recomenda-se fortemente a posterior construção dos roadmaps estratégicos do desenvolvimento das cadeias produtivas consideradas estratégicas para o Brasil, envolvendo representantes dos diversos setores associados aos 23 usos industriais de TRs identificados no estudo do CGEE.

## Referências

- ALONSO, E. *et al.* Evaluating rare earth element availability: a case with revolutionary demand from clean technologies. **Environmental Science and Technology**, v.46, p. 3406-3416. 2012.
- BRESCHI, S.; MALERBA, F. Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. In: Edquist, C. (Ed.). **Systems of innovation: technologies, institutions and organizations**. London and Washington: Pinter. 1997.
- CAMARINHA-MATOS, L.M. *et al.* A strategic *roadmap* for advanced virtual organizations. In: **Collaborative Networked Organizations**. Springer, 2004.
- CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. In: CARLSSON, B. (Ed.), **Technological systems and economic performance: The case of factory automation**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1995.
- CENTER FOR STRATEGIC AND INTERNATIONAL STUDIES. **Global rare-earth production: history and outlook**. 2010. Disponível em: <[http://csis.org/files/attachments/101215\\_EnergyHedrick.pdf](http://csis.org/files/attachments/101215_EnergyHedrick.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2014.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Usos e aplicações de terras raras no Brasil: 2012-2030**. Brasília: CGEE. 2014.
- CHEGWIDDEN, J. Overview of Chinese rare earth market. In: INTERNATIONAL RARE EARTH CONFERENCE 2012, 8. Hong Kong, China: **Proceedings...** 2012.
- CHEN, H. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. **Journal of Rare Earths**, v.29, n.1, p.1-6, 2011.
- DURANCE, P.; GODET, M. Scenario building: uses and abuses. **Technological Forecasting and Social Change**, v.77, n.9. p. 1488 – 1492, 2010.
- EDQUIST, C.; JOHNSON, B. Institutions and organizations in systems of innovation. In: EDQUIST, C. (Ed.), **Systems of innovation: technologies, institutions and organizations**. London: Pinter Publishers. 1997.
- ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems and 'Mode 2' to triple helix of university-industry-government relations, **Research Policy**, v.29, n.2, p. 109-123. 2000.
- FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London: Pinter Publishers.1987.
- FROST; SULLIVAN. **The global role of rare earth materials**. New York: Frost &Sullivan. 2011.
- GEORGANTZAS, N.C.; ACAR, W. **Scenario-driven planning: learning to manage strategic uncertainty**. Westport, Connecticut: Quorum Books, 1995.

- GEORGHIOU, L.; CASSINGENA, H.J.; KEENAN, M.; MILES, I.; POPPER, R. (Eds) **The handbook of technology foresight: concepts and practices**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing. 2008.
- GLOBAL BUSINESS NETWORK. GBN. **Plotting your scenarios**. 2012. Disponível em: <<http://www.gbn.com>>. Acesso em: 12 nov. 2013.
- GODET, M. The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls. **Technological Forecasting and Social Change**, v.65, n. 3, p. 3-22, 2000.
- GODET, M.; ROUBELAT, F. Creating the future: the use and misuse of scenarios. **Long Range Planning**, v. 29, n. 2, p.164 -171. 1996
- GUPTA, C.K.; KRISHNAMURTHY, N. **Extractive metallurgy of rare earth**. Boca Raton, Florida: CRC Press. 2005.
- HUSS, W.R. A move toward scenario analysis. **International Journal of Forecasting**, v. 4, n.3, p. 377-388. 1988.
- KEENAN, M. P; POPPER, R. **Research infrastructure foresight: practical guide for integrating foresight in research infrastructures policy formulation**. European Community: ForeIntegra. 2007.
- KINGSNORTH, D.J. The global rare earths industry: a delicate balancing act. **Technical report**, Deutsche Rohstoagentur. 2012.
- KUOSA, T. **The evolution of strategic foresight: navigating public policy making**. Farnham, UK: Gower Publishing Ltd. 2012.
- LABORATOIRE D'INNOVATION DE PROSPECTIVE STRATEGIQUE ET D'ORGANISATION – LIPSOR. **Methods of Prospective**. Disponível em: <<http://en.lapropective.fr/methods-of-prospective/softwares/59-micmac.html>>. Acesso em: 23 mar. 2014.
- Lundvall, B-A. **National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning**. London: Pinter Publishers. 1992.
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy**, v. 31, p. 247-264. 2002.
- MASKELL, P; MALMBERG, A. Towards an explanation of regional specialization and industry agglomeration. **European Planning Studies**, v.5, n.1, p. 25-41. 1997.
- MASSARI, S.; RUBERTI. M. Rare earth elements as critical raw materials: focus on international markets and future strategies. **Resources Policy**, v. 38, p.36-43, 2013.
- METCALFE, S. The economic foundations of technology policy: equilibrium and evolutionary perspectives. In: STONEMAN, P. (Ed.) **Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change**, Oxford: Blackwell Publishers. 1995.

- MILES, I. The development of technology *foresight*: a review. **Technological Forecasting and Social Change**, v.77, n.9, p.1448 -1456, 2010.
- NELSON, R.R. (Ed.) **National innovation systems**: a comparative study. New York, Oxford University Press. 1993.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **National innovation systems**. Paris: OECD Publications. 1997.
- PATEL, P.; PAVITT, K. The nature and economic importance of national innovation systems. **STI Review**, n. 14, Paris: OECD. 1994.
- REZGUI, Y.; ZARLI, A. Roadcon: an European strategic *roadmap* towards knowledge-driven sustainable construction. In: ICE, Nov. 2002. **Proceedings...** [S.l.]: Civil Engineering, 2002.
- RINGLAND, G. **Scenario planning: managing for the future**. UK: John Wiley & Sons, 1998.
- \_\_\_\_\_. The role of scenarios in strategic *foresight*. **Technological Forecasting and Social Change**, v.77, n.9, p.1493 – 1498, 2010.
- ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS. **The rare earths challenge: how companies react and what they expect for the future**. 2011. Disponível em: <[http://www.rolandberger.com/media/publications/2011-10-09-rb-sc-pub-The\\_Rare\\_Earth\\_Challenge.html](http://www.rolandberger.com/media/publications/2011-10-09-rb-sc-pub-The_Rare_Earth_Challenge.html)>. Acesso em: 23 mar. 2014.
- SCHOEMAKER, P.J.H. Multiple scenario development: its conceptual and behavioral foundation. **Strategic Management Journal**, v. 14, p. 193–213, 1993.
- SCHOEMAKER, P.J.H.; VAN DER HEIJDEN, C.A.J.M. Integrating scenarios into strategic planning at Royal Dutch/ Shell: case study. **Planning Review**, May/June 1992, p. 41–46, 1992.
- SCHWARTZ, P. **A arte da previsão**: planejando o futuro em um mundo de incertezas. São Paulo: Ed. Best Seller, 2000.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM - UNEP. **Green economy vulnerable to rare earth minerals shortages**. Unep Global Environmental Alert Service (GEAS). Jan. 2011. Disponível em: <<http://apps.unep.org/publications/pmtdocuments/GreenEconomyVulnerabletoRareEarthMineralsShortages.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2014.
- US GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries: rare earths**. 2013. Disponível em: <[http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\\_earths/mcs-2013-raree.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/mcs-2013-raree.pdf)>. Acesso em: 24 out. 2014.
- VAN DER HEIJDEN, K. **Scenarios: the art of strategic conversation**. 2.ed. West Sussex: John Wiley & Sons. 2005.
- WÜBBEKE, J. Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry. **Resources Policy**, v.38, n.3, p.384-394, 2013.