

IDENTIFICAÇÃO DAS PROPORÇÕES DE TERRAS RARAS NOS ÍMÃS PERMANENTES DAS INSTALAÇÕES EÓLICAS NO BRASIL

IDENTIFICATION OF RARE EARTHS PORPORTIONS ON PERMANENT MAGNETS OF WIND POWER IN BRAZIL

José Luis Saravia Ocharán

Bolsista PCI, Eng. Ambiental, M. Sc.

Francisco Mariano da Rocha de Souza Lima

Supervisor, Eng. Mineral, D. Sc.

Resumo

Os aerogeradores contendo ímãs permanentes de terras raras (TRs) apresentam-se como uma tecnologia importante para maximizar a eficiência na geração de energia eólica (EO). O Brasil apresenta um crescimento considerável na participação dessa fonte de energia renovável e é um dos países com as maiores reservas de TRs. O presente trabalho teve por objetivo estimar o consumo, demanda e reciclagem potencial de ímãs permanentes contendo TRs no cenário nacional de EO. Realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental para a coleta e processamento de dados. Os resultados indicaram que o consumo atual é de 981 toneladas, a demanda projetada até 2030 seria de 2.352 toneladas e a reciclagem potencial seria de 20 toneladas.

Palavras chave: Energias Renováveis, Terras Raras.

Abstract

Wind turbines containing permanent magnets of rare earths (RE) are important technologies to maximize efficiency in wind power generation. Brazil stands out by considerable growth in the share of this renewable energy and it is one of the countries with the largest RE reserves. The aim of the present work was estimating the consumption, demand and potential recycling of RE permanent magnets within to wind power national scenario. Bibliographical and documentary researches were carried out to collect and process data. The results showed that the current RE permanent magnets consumption is 981 tons, the forecast demand until 2030 would be 2,352 tons and potential recycling would be 20 tons.

Keywords: Renewable Energies, Rare Earths.

1. Introdução

A demanda de TRs vem se intensificado devido às suas aplicações em diversos setores de alta tecnologia como em motores elétricos, catalisadores para refino do petróleo, ímãs permanentes, baterias recarregáveis, painéis solares e diversos equipamentos médicos (IMHOLTE et al., 2018; YANG et al., 2017). Particularmente, os ímãs permanentes contendo Nd, Pr, Dy, Tb e Gd são usados em vários componentes elétricos e eletrônicos, nos motores elétricos de veículos híbridos, geradores elétricos, discos rígidos de computadores e nos modernos geradores elétricos das turbinas eólicas (YANG et al., 2017).

Há um interesse no mercado eólico pela utilização de aerogeradores contendo ímãs permanentes de TRs devido a seu alto desempenho em instalações de grande porte (acima de 01 MWh) e lugares onde as velocidades dos ventos são maiores e constantes (WENG, 2017; CODEMIG, 2016). Os sistemas rotor-estator contendo os ímãs permanentes substituem as caixas de velocidades e melhoram a eficiência energética devido à diminuição das perdas, à sua alta resistividade elétrica e à suas propriedades magnéticas (RABE et al., 2017; BESSA, 2016).

No Brasil, os elementos de TRs despertaram interesse governamental pela constatação da vulnerabilidade econômica na repentina elevação dos preços destes elementos frente ao monopólio da China na extração e produção de óxidos de TRs e por ser o segundo país no mundo com maiores reservas desses elementos (22.000×10^3 t) (DNPM, 2018; RABE et al., 2017). Apesar dessa realidade, o país apresenta grande potencial para a exploração e beneficiamento de elementos de TRs diante do crescente consumo e demanda de equipamentos e componentes de alta tecnologia.

2. Objetivos

O trabalho teve como objetivos a identificação das proporções de elementos de TRs existentes nos ímãs permanentes utilizados nos parques eólicos instalados no Brasil e a quantificação do cenário da sua reciclagem nesse setor.

3. Material e Métodos

Foi realizada uma revisão bibliográfica e documental e a partir dessas informações procedeu-se com uma fase projetiva. O estudo foi enquadrado dentro do sistema interligado nacional de energia elétrica conformada pelos ambientes de contratação regulada e livre. A geração de energia elétrica a partir de turbinas eólicas de pequeno porte (menores de 50 kWh) e instalações domésticas não ligadas ao sistema nacional foram desconsideradas.

Para o cálculo dos ímãs permanentes de TRs existentes nas instalações eólicas do país, procuraram-se informações e dados de empresas que instalaram aerogeradores com esses componentes e suas capacidades instaladas no parque eólico nacional. Posteriormente, determinou-se um fator de utilização desses ímãs no setor da EO através da divisão entre a somatória dessas capacidades instaladas e a capacidade instalada acumulada de EO no país. A quantidade atual desses componentes foi calculada através da relação indicada por Campos (2015) que 03 MWh de EO precisaria de 2.700 kg de ímãs permanentes de TRs. Por último, determinaram-se as

quantidades em massa dos elementos de TRs segundo as proporções mencionadas por Jin et al. (2016) e Campos (2015), mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Proporção em massa de elementos de TRs em ímãs permanentes.

Elementos de TRs	Nd	Pr	Dy	Fe	B	Co	Al	Ni
Proporção:	18%	4,6%	6,15%	66,88%	1,02%	2,84%	0,12%	0,39%

Para a projeção da demanda nacional, inicialmente se definiu o período de avaliação até 2030. Verificou-se a evolução das capacidades instaladas acumuladas de EO no cenário nacional a fim de avaliar a tendência dos dados. A partir disso, avaliaram-se as curvas de regressão (linear, logarítmica, exponencial e potência) e os coeficientes de determinação (valor próximo de “1” indica que o modelo de regressão se ajusta à mostra e é confiável), sendo escolhida a equação polinomial de segundo grau $y = 0,042 x^2 + 0,547 x - 1,809$ com coeficiente de determinação de 0,958. Depois, aplicou-se a equação para obter os valores das capacidades instaladas acumuladas até 2030 e calcularam-se as capacidades anuais novas para cada ano projetado, sendo a diferença entre a capacidade instalada acumulada do ano seguinte menos a do ano anterior. Com essa base, determinou-se a demanda projetada de ímãs permanentes de TRs, em proporção mássica, por meio do fator de utilização multiplicado pela capacidade anual nova. Finalmente, a demanda projetada de TRs foi obtida através das proporções mostradas na Tabela 1 e conforme a demanda projetada de ímãs permanentes. Assumiu-se que as condições atuais do mercado internacional referente à comercialização de elementos de TRs seriam constantes no período de avaliação, devido, principalmente, à queda e estabilidade dos preços nos últimos 05 anos (DNPM, 2018; RABE et al., 2017).

Para as projeções da reciclagem potencial de elementos de TRs desde os ímãs permanentes, previamente se enquadrou conceitualmente essa operação como a recuperação desses elementos, em forma de óxidos, a partir das modificações físicas, químicas e mecânicas dos ímãs permanentes após da sua vida útil em instalações eólicas (LEITE, 2009). Posteriormente, por motivos de cálculos, supôs-se que o índice de reciclagem mundial seria o mesmo no contexto nacional e definiu-se a reciclagem em função da demanda projetada. Finalmente, o período de análise considerado foi de 20 anos visto que, segundo Yang et al. (2017), é a vida útil dos ímãs permanentes para aplicações eólicas.

4. Resultados e Discussão

4.1. Estimativa da quantidade de ímãs permanentes de TRs em instalações eólicas

Há duas empresas identificadas que instalaram aerogeradores contendo ímãs permanentes de TRs, sendo que atualmente uma está falida e a outra continua operando dentro do território nacional (CODEMIG, 2016). A capacidade instalada total dessas duas companhias é de 1.090 MWh. Esse valor representa atualmente 8,42% da capacidade instalada nacional de EO. Portanto, esse valor foi o fator de utilização de ímãs permanentes de TRs. Na Tabela 2 se indicam as quantidades estimadas, em massa, de elementos de TRs para o cenário eólico nacional.

Tabela 2. Quantidade em massa de TRs usados em ímãs permanentes dentro do cenário eólico nacional.

Capacidade Instalada (MWh)	Fator de Uso de IP (%)	Quantidade de IP (t)	Quantidade de Elementos de Liga (t)							
			Nd	Pr	Dy	Fe	B	Co	Al	Ni
			18,00%	4,60%	6,15%	66,88%	1,02%	2,84%	0,12%	0,39%
12.950	8,4%	981,4	176,6	45,1	60,4	656,3	10,0	27,9	1,2	3,8

Observa-se que as quantidades de TRs, consumidas até 2017 seriam de 177, 45 e 60 toneladas de Nd, Pr e Dy, respectivamente. O uso de Fe foi de 656 toneladas e os demais elementos de liga totalizaram 43 toneladas.

4.2. Demanda projetada

Espera-se, segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia do Brasil, uma expansão da capacidade instalada de EO até 17,88 GWh para o final de 2023 (ABEEOLICA, 2018). Nos próximos anos uma companhia de capital chinês que instala aerogeradores, contendo os ímãs permanentes, suprirá inicialmente 180 MWh (COSTA, 2018). Sendo essa companhia umas das líderes mundiais na instalação e operação de parques eólicos, presume-se um aumento das futuras instalações desse tipo de aerogeradores no país (COSTA, 2018). A Figura 1 mostra a evolução das capacidades instaladas de EO no Brasil.

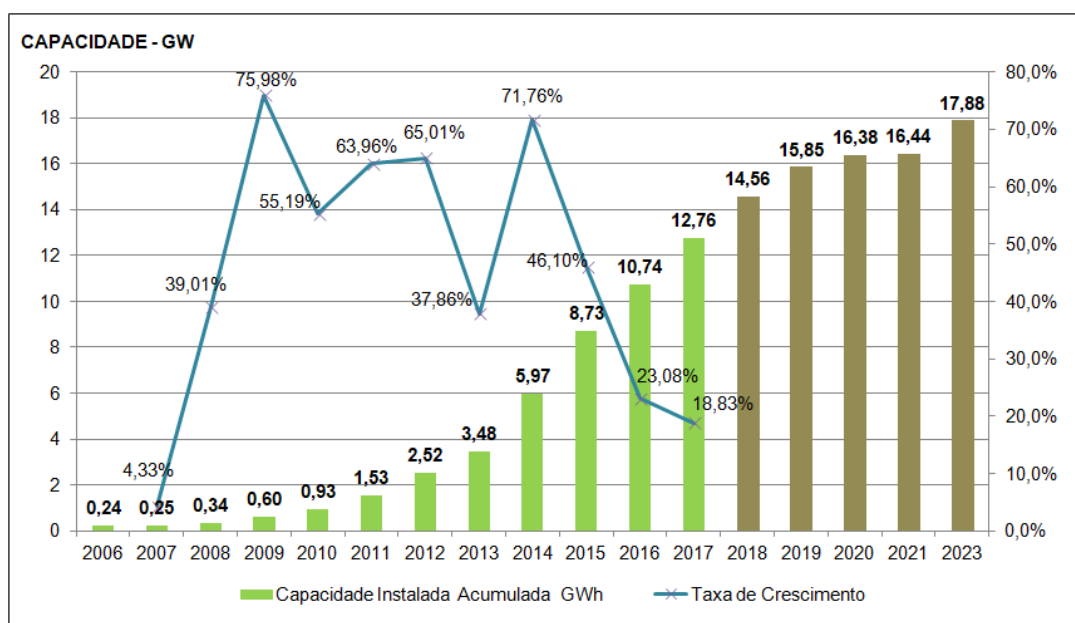


Figura 1. Evolução das capacidades instaladas de energia eólica.

A partir das capacidades e metas anuais de EO publicadas até 2023 e conforme a metodologia explicada (aplicação da equação de regressão desde 2014), a Figura 2 mostra as capacidades instaladas acumuladas, as capacidades anuais novas de EO e a demanda de ímãs permanentes de TRs até 2030.

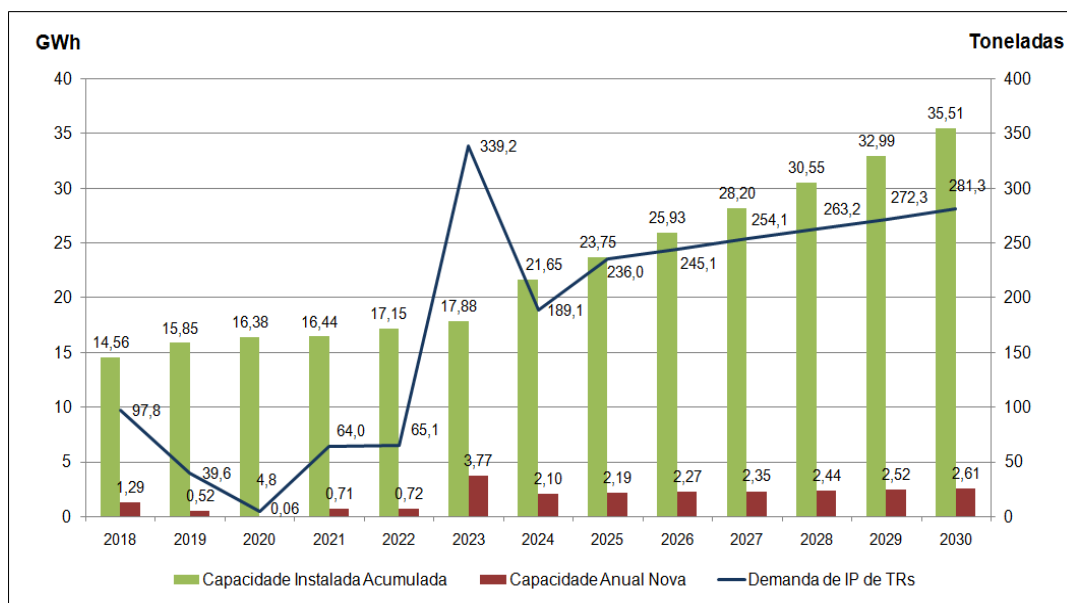


Figura 2. Capacidades instaladas acumuladas, capacidades anuais novas e demanda de ímãs permanentes de TRs.

A capacidade instalada acumulada de energia eólica seria 35,51 GWh no final de 2030. Sob um cenário moderado crescente, assumiu-se um fator de utilização anual de 8,42% até 2020, de 10% até 2025 e de 12% até o final de 2030. Dessa maneira, a demanda estimada de ímãs permanentes de TRs se apresenta na Figura 3.

Tabela 3. Composição em massa de TRs para a demanda de ímãs permanentes no cenário eólico nacional.

Elemento	Ano												
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Nd (t)	17,6	7,1	0,9	11,5	11,7	61,1	34,0	42,5	44,1	45,7	47,4	49,0	50,6
Dy (t)	6,0	2,4	0,3	3,9	4,0	20,9	11,6	14,5	15,1	15,6	16,2	16,7	17,3
Pr (t)	4,5	1,8	0,2	2,9	3,0	15,6	8,7	10,9	11,3	11,7	12,1	12,5	12,9
Out. Ele. (t)	69,7	28,2	3,5	45,6	46,4	241,7	134,7	168,1	174,6	181,1	187,5	194,0	200,5

Nesse período, a demanda total de ímãs permanentes de TRs seria de 2.352 toneladas. Baseado no balanço de massa do Relatório Técnico da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (2016), esse valor precisaria aproximadamente de 5.112,4 toneladas de óxidos de TRs. Conforme as proporções apresentadas na Tabela 1 e segundo as projeções da demanda de ímãs permanentes, nota-se que 423 (18%), 145 (6,2%) e 108 (4,6%) toneladas seriam de Nd, Dy e Pr, totalizando 676,1 toneladas. A quantidade de Fe seria de 1.573 toneladas (66,9%) e as quantidades dos outros elementos de liga somariam um total de 103 toneladas (4,4%). A diferença entre os valores dos óxidos para as composições em massa dos elementos de TRs se justifica pelos teores e eficiências dos processos de separação, redução, produção da liga e produção dos ímãs permanentes.

4.3. Reciclagem potencial de ímãs permanentes e terras raras

No cenário nacional não existem evidências de cadeias de reciclagem de ímãs permanentes fabricados com TRs devido, principalmente à falta de técnicas e métodos adequados para extrair e produzir os óxidos de forma eficiente, em grande escala e com maior custo-benefício. As projeções da reciclagem potencial desses elementos baseiam-se assumindo que o índice de reciclagem mundial de 1% será o mesmo na conjuntura

nacional e que a eficiência da recuperação será de 90% (GUEROULT et al., 2018; JIN et al., 2016). O período de análise será desde 2030 até 2050 visto que o início do fornecimento de energia elétrica com aerogeradores de ímãs permanentes foi em 2010 e a vida útil é de 20 anos. A Figura 4 indica a reciclagem anual estimada dos elementos e ímãs permanentes de TRs que estão em função da demanda mostrada na Figura 3.

Tabela 4. Estimativa da reciclagem potencial de TRs a partir dos ímãs permanentes do setor da energia eólica.

Ano	Nd (t)	Dy (t)	Pr (t)	Out. Ele. (t)	Ano	Nd (t)	Dy (t)	Pr (t)	Out. Ele. (t)
2030	0,07	0,03	0,02	0,29	2041	0,10	0,04	0,03	0,41
2031	0,12	0,04	0,03	0,48	2042	0,11	0,04	0,03	0,42
2032	0,12	0,04	0,03	0,46	2043	0,55	0,19	0,14	2,18
2033	0,31	0,10	0,08	1,21	2044	0,31	0,10	0,08	1,21
2034	0,34	0,12	0,09	1,34	2045	0,38	0,13	0,10	1,51
2035	0,25	0,08	0,06	0,98	2046	0,40	0,14	0,10	1,57
2036	0,25	0,08	0,06	0,98	2047	0,41	0,14	0,11	1,63
2037	0,22	0,08	0,06	0,87	2048	0,43	0,15	0,11	1,69
2038	0,16	0,05	0,04	0,63	2049	0,44	0,15	0,11	1,75
2039	0,06	0,02	0,02	0,25	2050	0,46	0,16	0,12	1,80
2040	0,01	0,00	0,00	0,03					

Durante o período, a reciclagem potencial de ímãs permanentes de TRs seria de 33.846 quilogramas. De acordo com as proporções da Tabela 1, nota-se que 5.483, 1.873 e 1.401 quilogramas seriam de Nd, Dy e Pr. Esses óxidos de TRs recuperados totalizariam 8.758,8 quilogramas, equivalendo uma nova produção em torno de 20.142,9 quilogramas (20,1 toneladas) de ímãs permanentes.

5. Conclusão

Há uma tendência crescente das capacidades instaladas de EO até 2030, enfatizando um crescimento acumulativo da demanda de ímãs permanentes de TRs. O consumo atual de ímãs permanentes seria de 981,4 toneladas, sendo que 282,1 toneladas correspondem a elementos de TRs (Nd, Pr e Dy). A demanda projetada seria de 2.352 toneladas de ímãs permanentes e teria, em massa, 676,1 toneladas de elementos de TRs. Seriam necessárias 5.112,4 toneladas de óxidos de TRs para suprir essa demanda. Os benefícios da reciclagem seriam percebidos em longo prazo devido ao tempo de vida útil. Entre 2030 até 2050 seriam recuperados 8,8 toneladas de óxidos de TRs, significando uma nova produção de 20,1 toneladas de ímãs.

6. Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq e CETEM, pela bolsa concedida e pelo apoio à pesquisa.

7. Referências Bibliográficas

ABEEOLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível: <<http://www.abeeolica.org.br/>> Acesso: 22 / 03 / 2018.

BESSA, F. P. Estudo de Viabilidade Técnica e Económica de um Parque Eólico na Serra de Montedeiras. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energias. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2016, Portugal, 128 p.

CAMPOS, M. F. et al. Terras-Raras: Aplicações e Tendências do Mercado para os Próximos Anos. In: Seminário Brasileiro de Terras-Raras, 3, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, 26 – 27 novembro, 2015. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTIC, Rio de Janeiro, 2015.

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. Viabilização de um Laboratório-Fábrica de Ímãs de Terras Raras no Brasil. Relatório Técnico Preliminar do Modelamento para Viabilização do Laboratório-Fábrica de Ligas e Ímãs. Entrega 2.1. Maio, 2016.

COSTA, L. Chesf, da Eletrobras, contrata chinesa Goldwind em tentativa de retomar parque eólico. Notícias, 19-04-2018. Reuters. Disponível em: <<https://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKBN1HQ2TA-OBRBS>> Acesso: 16-05-2018.

DIÁRIO DO COMÉRCIO. IMPSA vai lançar oferta pública no Brasil ou EUA. Notícias, 21-05-2014. Disponível em: <<http://diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=135473>> Acesso: 16-05-2018.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2016. ISS 01012053. 2018, 131 p.

FREITAS, M. WEG dá vida ao 1º ônibus elétrico movido a energia solar brasileiro. Notícias, 23-02-2017. Santa Catarina, Jornal OCP. Disponível em: <<https://ocp.news/geral/weg-da-vida-ao-primeiro-onibus-eletrico-movido-a-energia-solar-no-brasil>> Acesso: 16-05-2018.

GUEROULT, R. et al. Opportunities for plasma separation techniques in rare earth elements recycling. Journal of Cleaner Production, 182, (2018) 1060 - 1069.

IMHOLTE, D. D. et al. An assessment of U.S. rare earth availability for supporting U.S. wind energy growth targets. Energy Policy 113. pp. 294–305, 2018.

JIN, H. et al. Comparative Life Cycle Assessment of NdFeB Magnets: Virgin Production versus Magnet-to-Magnet Recycling. Procedia CIRP 48, pp. 45 – 50, 2016.

LEITE, P. R. Logística reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2a ed., 2009.

RABE, W. et al. China's supply of critical raw materials: Risks for Europe's solar and wind industries? Energy Policy, 101, pp.692 – 699, 2017.

WENG, Z. et al. Assessment of Global Rare Earth Supply & Wind Energy Growth: Opportunities and Challenges. In: Green and Sustainable Chemistry Conference, Berlin, Germany, 4-17th May. 2017.

YANG, Y. et al. REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review. J. Sustain. Metall. (2017) 3 : 122–149.