

SERGIO WANG

**O DESENVOLVIMENTO ECONOMICO DA CHINA E SEUS IMPACTOS
NA MINERAÇÃO DE FERRO NO BRASIL**

São Paulo

2018

TF-2018
W/1842
Sipno 2929/166



Escola Politécnica - EPMI



31700000808

Catálogo-na-publicação

Wang, Sérgio

O desenvolvimento econômico da China e seus impactos na mineração de ferro no Brasil / S. Wang -- São Paulo, 2018.

41 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.ECONOMIA MINERAL (INFLUÊNCIAS[CHINA]) 2.MINERAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS 3.FERRO 4.COMÉRCIO EXTERIOR (ANÁLISE QUANTITATIVA) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

TF-2018
W/184d
Sipno 2929/166

42018u



Escola Politécnica - EPMI



31700000808

Catálogo-na-publicação

Wang, Sérgio

O desenvolvimento econômico da China e seus impactos na mineração de ferro no Brasil / S. Wang -- São Paulo, 2018.

41 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.ECONOMIA MINERAL (INFLUÊNCIAS[CHINA]) 2.MINERAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS 3.FERRO 4.COMÉRCIO EXTERIOR (ANÁLISE QUANTITATIVA) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio, cujos esforços me geraram a oportunidade de me formar um profissional melhor

Aos meus colegas que, não apenas tornaram especiais os momentos na minha formação, mas que também me apoiaram e me ajudaram a ser quem sou hoje

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Resumo

O intuito deste trabalho é apresentar uma previsão do mercado brasileiro de minério de ferro por meio da análise do desenvolvimento econômico da China. A análise é relevante já que a China se prepara para ocupar o posto de maior potência econômica mundial e, para atingir esse objetivo, depende de países exportadores de matérias primas como o minério de ferro. O Brasil saiu de uma grande recessão econômica e o aproveitamento de seus recursos é uma forma de manter o crescimento econômico, sendo vital a parceria com a China. A projeção foi feita com dados de importação e exportação do minério de ferro no Brasil e na China. Pela comparação de quatro modelos diferentes, a fim de verificar a qualidade de predição deles para esse conjunto de dados, foi avaliado que o modelo caixa cinzenta com mecanismo de rolagem e aplicação de um algoritmo evolucionário, cujas vantagens incluem a possibilidade de tratar os dados de forma simples, adequado à série temporal, otimizado e que produz resultados de elevada acurácia. Com este trabalho obteve-se uma previsão para o futuro do mercado de ferro brasileiro otimista, já que se considerou, além da previsão baseada em dados, acontecimentos político-econômicos recentes, que indicam uma via de recuperação e desenvolvimento econômico estável ao Brasil por meio da exportação de minério de ferro.

Palavras Chave: China, Ferro, Projeção, Desenvolvimento, Brasil

Abstract

This article has as its main objective, provide a forecast on the Brazilian Market for iron ore based on the economic development of China. The analysis is relevant since China is on the verge of becoming the biggest economic power of the world and, in order to do so, it depends on raw materials (iron) exporting countries, such as Brazil. Brazil has just overcome an economic recession and the exploitation of its natural resources is a way to maintain its economic growth. By comparing four different models in order to assess their prediction power for the available dataset, it was evaluated that the Grey box model with a rolling mechanism and the application of an Evolutionary Algorithm, whose advantages include the possibility of handling data with ease, its adequate to its time series, being optimized and generating accurate results. The article presents an optimistic forecast for the Brazilian iron ore market, as it considers, besides a data-based analysis, the recent political and economic occurrences that indicates a way for economic recovery and development through exportation of iron ore.

Keywords: Iron Ore, Brazil, China, Forecast, Development

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. PIB EM ESCALA LOG E TAXA DE CRESCIMENTO	12
FIGURA 2 IMPORTAÇÃO DAS PRINCIPAIS COMMODITIES MINERAIS NA CHINA (EM MILHÕES DE TONELADAS) 13	
FIGURA 3. VOLUME DE IMPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO NA CHINA (EM MILHÕES DE TONELADAS).....	15
FIGURA 4. PRODUÇÃO DOMÉSTICA DE MINÉRIO DE FERRO NA CHINA EM MILHÕES DE TONELADAS E TAXA DE CRESCIMENTO.....	16
FIGURA 5. DEMANDA TOTAL DE MINÉRIO DE FERRO NA CHINA, DEPENDÊNCIA DE IMPORTAÇÕES.....	16
FIGURA 6. MODELO DE PREVISÃO PSO GM(1,1)	27
FIGURA 7. SÉRIES TEMPORAIS DE IMPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO PELA CHINA DE EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE MINÉRIO DE FERRO PARA A CHINA (EM MILHÕES DE TONELADAS).....	31
FIGURA 8. ESTIMATIVAS FUTURAS DO CONSUMO DE FERRO PELA CHINA E DA EXPORTAÇÃO DE FERRO BRASILEIRO	35
FIGURA 9. PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA NA IMPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO DA CHINA	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. IMPORTAÇÃO DAS PRINCIPAIS COMMODITIES MINERAIS NA CHINA (1997 – 2008): VOLUME (EM MILHÕES DE TONELADAS) E VALOR (EM MILHÕES DE DÓLARES)	14
TABELA 2. DEMANDA TOTAL DE MINÉRIO DE FERRO NA CHINA E PERCENTUAL DO ESTOQUE MUNDIAL	17
TABELA 3. RANKING DE RESERVAS MUNDIAIS DE FERRO	18
TABELA 4. PRODUÇÃO MUNDIAL DE MINÉRIO DE FERRO EM MILHÕES DE TONELADAS	20
TABELA 5. CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES DE MAPE	28
TABELA 6. MINÉRIO DE FERRO IMPORTADO PELA CHINA NOS ANOS 1997 ATÉ OS ANOS 2016 (MILHÕES DE TONELADAS)	29
TABELA 7. EXPORTAÇÃO FOB DE MINÉRIO DE FERRO DO BRASIL (R\$ E VOLUME EM MILHÕES DE TONELADAS).	30
TABELA 8. AVALIAÇÃO DOS ERROS DE PREVISÃO DOS MODELOS AVALIADOS	32
TABELA 9. MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS FERRO EXPORTADO PELO BRASIL, PIB DA CHINA, IMPORTAÇÃO DE FERRO PELA CHINA.....	33
TABELA 10. PREVISÃO DO VOLUME DE IMPORTAÇÃO DE FERRO PELA CHINA E DO VOLUME EXPORTADO DO BRASIL	34

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivos Específicos	10
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	11
3.1. Economia da China	11
3.2. Economia do Brasil	18
3.4. Modelos de Projeção.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6. CONCLUSÕES.....	37
7. REFERENCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento econômico da China foi, na última década, um fato que gerou grande alerta às economias mundiais por se tratar da maior economia entre os países em desenvolvimento. Recentemente, o crescimento começou a frear e apresentar taxas menores, porém seu valor continua sendo muito relevante para as demais economias mundiais, já que se trata de um país que aplica investimentos contínuos nas indústrias do setor primário e, pela larga escala, depende da importação para suprir suas necessidades de matéria prima. Neste contexto, o minério de ferro é um bem mineral que possui grande destaque, pelo seu extenso uso na produção de aço, matéria essencial para indústrias do setor primário.

O minério de ferro é um bem mineral cuja extração ocorre em grandes volumes apenas em um número limitado de países, entre eles China, Austrália, Brasil e Canadá. O Brasil é um país cuja economia está fortemente relacionada à exportação mineral, o que o torna bastante dependente das demandas internacionais de recursos minerais. No contexto atual, onde há uma crescente demanda por minério de ferro e o país é um dos maiores produtores deste mineral, há uma oportunidade de impulsionar a economia brasileira a buscar suprir a demanda existente.

A demanda crescente por minério de ferro fornece uma oportunidade de crescimento econômico ao Brasil e, considerando esse fato, torna-se relevante a realização de análises e projeções sobre a importação de minério de ferro pela China e como impactará a exportação brasileira deste bem mineral. Com os estudos realizados, será possível projetar cenários econômicos do Brasil a médio prazo, além de estimar o comportamento da produção mineral brasileira, pela avaliação da demanda de minério de ferro projetada.

Neste trabalho, pretende-se realizar uma projeção da demanda chinesa de minério de ferro, a partir da comparação de quatro modelos, e estimar seus impactos sobre as exportações brasileiras.

2. OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa é, através da comparação de diferentes modelos de projeção, prever o potencial de exportação de minério de ferro que o Brasil terá em decorrência do consumo chinês.

2.1. Objetivos Específicos

- A) Comparar modelos de projeção para se utilizar nas previsões de importação de minério de ferro da China e da exportação de minério de ferro do Brasil
- B) Dimensionar a participação do Brasil frente as demandas crescentes de minério de ferro da China
- C) Avaliar os possíveis impactos que o desenvolvimento econômico da China pode trazer ao Brasil

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Economia da China

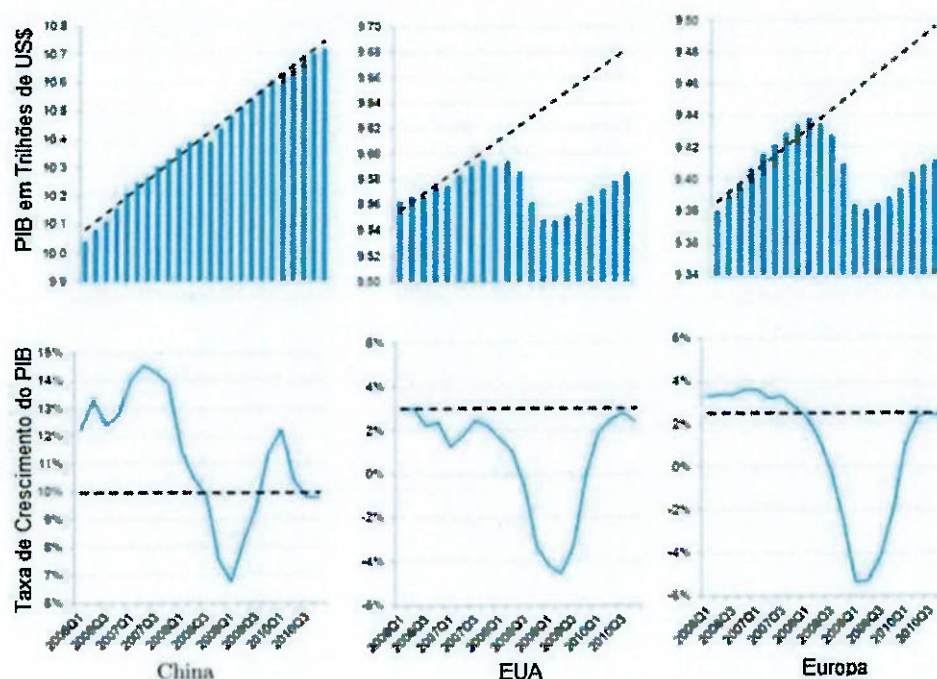
3.1.1. Geral

Segundo Breslin (2016), a China foi um país que não representou uma ameaça aos poderes vigentes no mundo por muito tempo, até que, na década de 1950, participou ativamente no conflito militar da Guerra da Coréia, se opondo às Nações Unidas e aos Estados Unidos; em 1960, se tornou uma potência nuclear; em 1971 passou a ser membro permanente do Conselho de Segurança das Nações Unidas e peça chave nas políticas da Guerra Fria. O reengajamento da China com políticas econômicas globais se tornou uma grande razão pela qual o mundo passou a reavaliar a importância da China.

Apesar de ter sido um país relevante aos seus vizinhos devido ao alto potencial de conflitos militares, a China começou a ganhar relevância para os países do Ocidente, preocupando os Estados Unidos em particular no âmbito econômico ao final do século XX. No mesmo período, havia uma forte escola de pensamento que destacava a China como o motor do crescimento econômico global, um poder em crescimento destinado a se tornar uma força econômica que ameaça uma reconfiguração da política econômica que visa atender aos interesses chineses de acordo com Weidenbaum & Hughes (1996), Bacani (2003), Overholt (1994) e Murray (1998) citados por Breslin (2016).

É interessante observar como a China passou pela crise de 2008 sem grandes danos em sua economia. De acordo com Wen & Wu (2018), o que havia de especial na China na época não era o seu crescimento econômico elevado, nem a sua falta de integração com o sistema financeiro global, já que países como a Malásia e Tailândia apresentavam um elevado crescimento econômico e a Rússia e África do Sul também estavam desconectadas desse sistema financeiro. O grande diferencial da China foi o seu pacote de estímulos, no qual o governo chinês fez uso estratégico das empresas estatais para conter a redução de demanda por agregados e das exportações como um todo. Com esses estímulos agressivos, a economia chinesa foi capaz de se recuperar brevemente da crise, reerguendo seu crescimento econômico acima dos 10% anuais, como é possível ver na figura 1.

Figura 1. PIB em escala log e Taxa de Crescimento

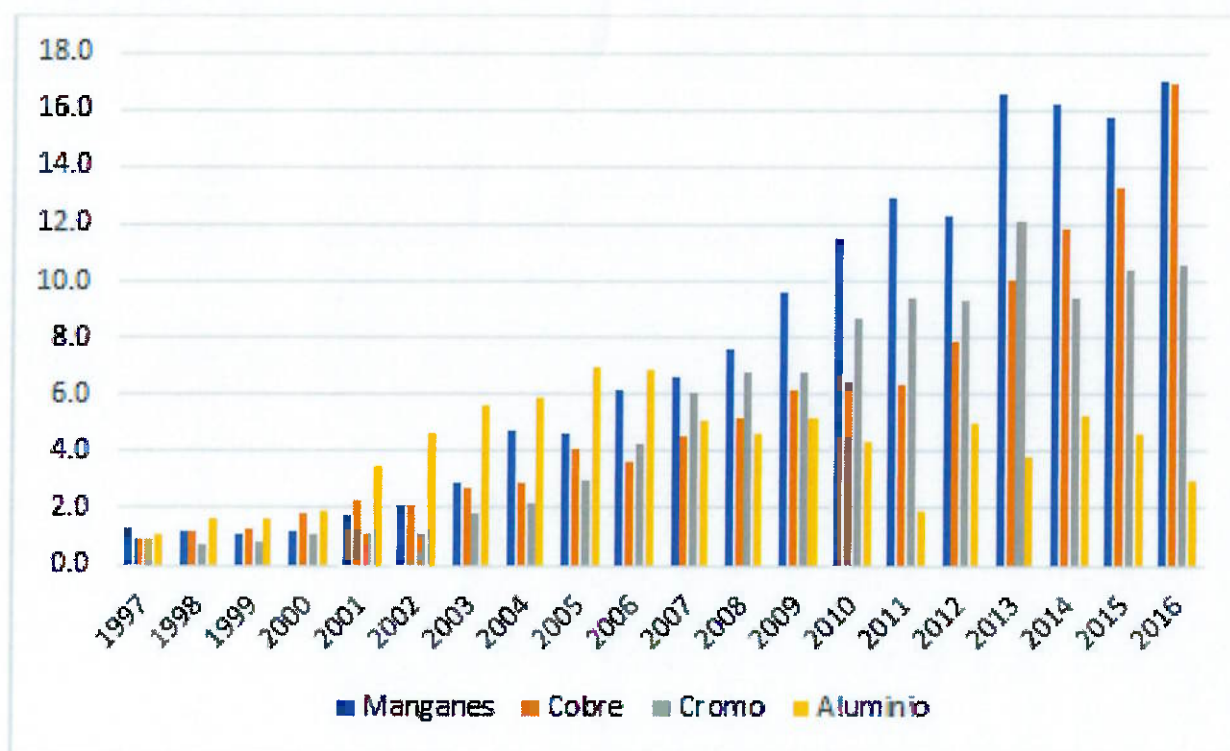


Fonte: Wen & Wu (2018)

3.1.2. Mineração e Indústria

A importação pela China dos principais bens minerais foi crescente de 1997 a 2008 (figura 2). Salvo algumas exceções como o minério de cobre que, em certos períodos, (1998-99 por exemplo) devido à crise econômica asiática, não manteve o crescimento (figura 2) como indicado por Yu (2011). Nos dados extraídos do Anuário Estatístico da China, pode-se verificar que o volume de importação de minério de ferro cresceu 25 vezes entre 1992 a 2009. Pode-se observar, ainda, crescimento no volume de importação de outros minerais (período de 1997 a 2008), como manganês em 5,7 vezes (1.3M a 7.6M ton.), cobre em 5,5 vezes (0,9 a 5,2M ton.), cromo em 7,7 vezes (de 0,9 a 6,8M ton.) e alumina em 3.8 vezes (de 1.1 a 4.1M ton.). No período de 2011 a 2016, ainda se observa um crescimento no volume de importação de minério de ferro da ordem de 2 vezes, modesto em comparação com outros períodos, mas bastante relevante. Das demais commodities minerais importadas, apenas o minério de cobre manteve uma taxa de crescimento de importação com um crescimento da ordem de 2,5 vezes (6 a 17M ton.) como se observa na tabela 1.

Figura 2 Importação das principais commodities minerais na China (em milhões de toneladas)



Fonte: China Statistical Yearbook 2016. Disponível em <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.

Tabela 1. Importação das Principais Commodities Minerais na China (1997 – 2008): Volume (em milhões de toneladas) e Valor (em Milhões de Dólares)

	Minério de Ferro		Minério de Manganês		Minério de Cobre		Minério de Cromo		Alumínio	
	Volume Mton	Milhões de US\$	Volume Mton	Milhões de US\$	Volume Mton	Milhões de US\$	Volume Mton	Milhões de US\$	Volume Mton	Milhões de US\$
1997	55.1	1614.8	1.3	123.8	0.9	421.2	0.9	110.8	1.1	238.7
1998	51.8	1467.8	1.2	90.3	1.2	458.3	0.7	80.9	1.6	354.2
1999	55.3	1379.0	1.1	87.8	1.3	474.4	0.8	74.3	1.6	337.9
2000	70.0	1857.7	1.2	95.4	1.8	805.8	1.1	96.8	1.9	638.5
2001	92.3	2502.8	1.7	131.1	2.3	898.0	1.1	81.0	3.4	624.9
2002	111.5	2789.1	2.1	151.4	2.1	809.5	1.1	78.9	4.6	753.0
2003	148.1	4856.5	2.9	205.0	2.7	1288.2	1.8	150.8	5.6	1375.8
2004	208.1	12712.0	4.7	585.7	2.9	2238.4	2.2	381.3	5.9	2043.6
2005	275.3	18372.8	4.6	683.5	4.1	3706.7	3.0	595.6	7.0	2597.2
2006	326.3	20923.8	6.2	645.8	3.6	6117.3	4.3	739.2	6.9	3023.5
2007	383.1	33795.6	6.6	1302.4	4.5	8816.4	6.1	1549.7	5.1	1974.0
2008	443.6	60531.6	7.6	3469.8	5.2	10440.2	6.8	2714.4	4.6	1775.7
2009	627.8	50140.4	9.6	1172.0	6.1	8478.0	6.8	1310.0	5.1	1303.0
2010	618.6	79427.0	11.5	2805.0	6.5	12678.0	8.7	2398.0	4.3	1498.0
2011	686.1	112406.5	13.0	2674.6	6.4	15518.1	9.4	2663.8	1.9	777.8
2012	743.6	95739.6	12.4	2186.0	7.8	16950.7	9.3	2035.6	5.0	1816.1
2013	819.1	106175.4	16.6	3192.4	10.1	19509.0	12.1	2388.4	3.8	1404.5
2014	932.3	93439.2	16.2	2718.9	11.8	21463.9	9.4	1830.9	5.3	1924.5
2015	952.7	57620.3	15.8	1993.6	13.3	19203.7	10.4	1788.1	4.7	1630.9
2016	1024.0	58032.6	17.1	2074.6	17.0	20888.1	10.6	1618.5	3.0	872.1

Fonte: China Statistical Yearbook 2016. Disponível em <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.

3.1.3. O Mercado de minério de Ferro na China

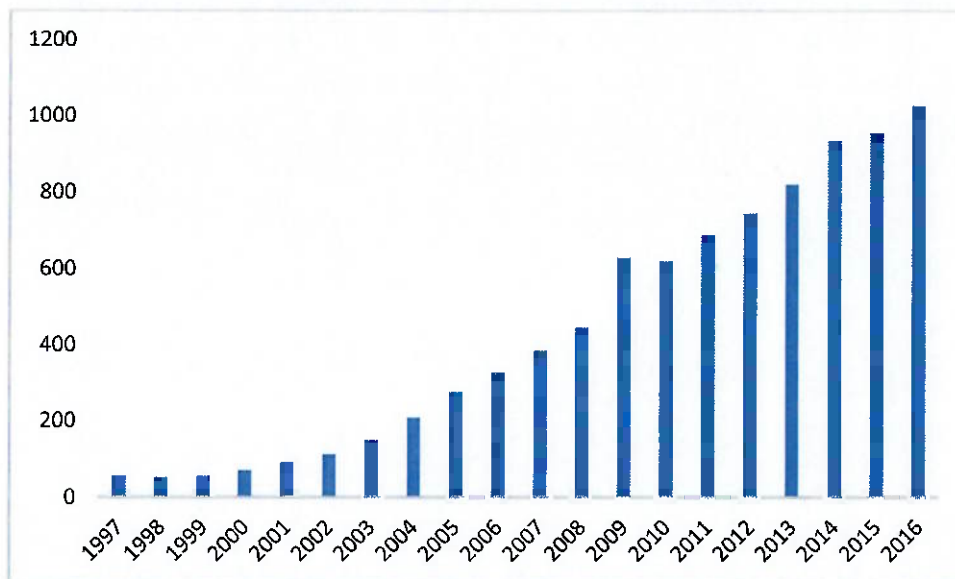
De 1998 a 2008, a demanda de ferro pela China cresceu 5.3 vezes, de 164 para 861 milhões de toneladas (figura 3 e tabela 1). Neste período, a produção doméstica cresceu 3.3 vezes (de 112 a 366 milhões de toneladas) enquanto a importação teve um crescimento de 8.5 vezes, de 52 a 444 milhões de toneladas. Como consequência, a China passou a ser cada vez mais dependente da importação do minério de ferro. Essa dependência refletida na porcentagem de 31,6% do ferro utilizado ser importado em 98, passou para 54,8% em 2008 e 72.9% em 2009 (figura 4).

Os fatores que geraram um volume exponencialmente elevado de demanda de minério de ferro em 2009 foram: (a) Pacote de estímulos fiscais na China, com grande investimentos nos mercados imobiliários e de infraestrutura no período subsequente a crise; (b) a redução de demanda em 2008 resultante dos elevados preços do minério e o crescimento acelerado da demanda em 2009 seguido de uma queda nos preços e (c) cortes na produção doméstica do minério de ferro, dado que os lucros deste mercado foram afetados de maneira adversa com o declínio dos preços em 2008.

A tabela 2 mostra a demanda de ferro na China e a sua participação na demanda mundial no período de 2006-2009. Durante este período, a taxa de crescimento da demanda de minério de ferro na China foi duas vezes mais rápida do que a demanda mundial. O resultado disso foi que a demanda de ferro mundial da China passou de 40.2% em 2006 para 54,3% em 2009. Na tabela 2, no entanto, percebe-se que a demanda agressiva da China deixou de representar a maior parte da produção de minério de ferro global, devido principalmente ao aumento mundial de produção do bem mineral.

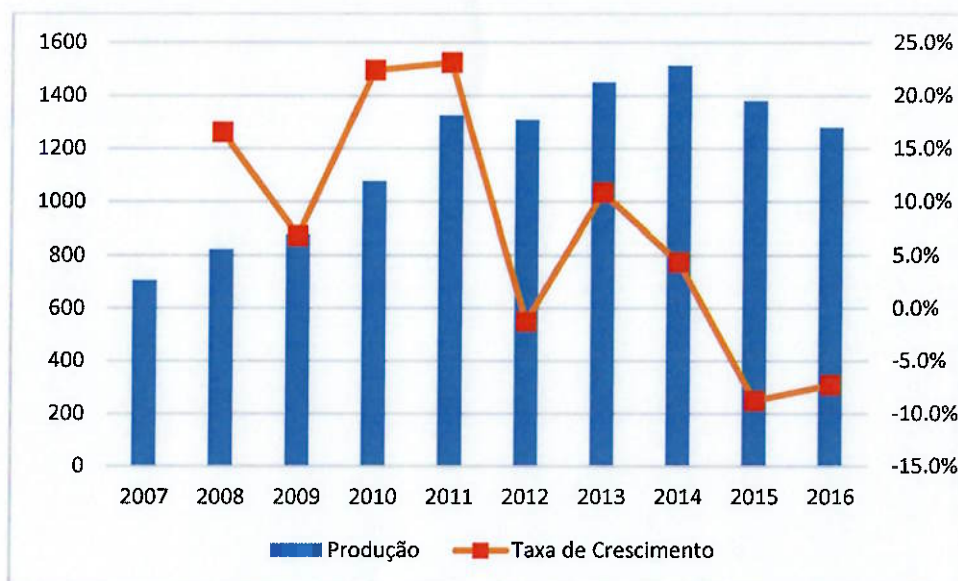
A China foi o maior produtor de aço na década de 2005 a 2015. No início deste período, ela foi responsável pela produção de um terço do aço mundial, superando em mais de três vezes a produção do Japão e dos Estados Unidos, o segundo e terceiro maiores produtores, respectivamente. Em 2008, 47,4% da produção mundial de aço já pertencia a China de acordo com Ma (2010).

Figura 3. Volume de importação de minério de ferro na China (em milhões de toneladas)



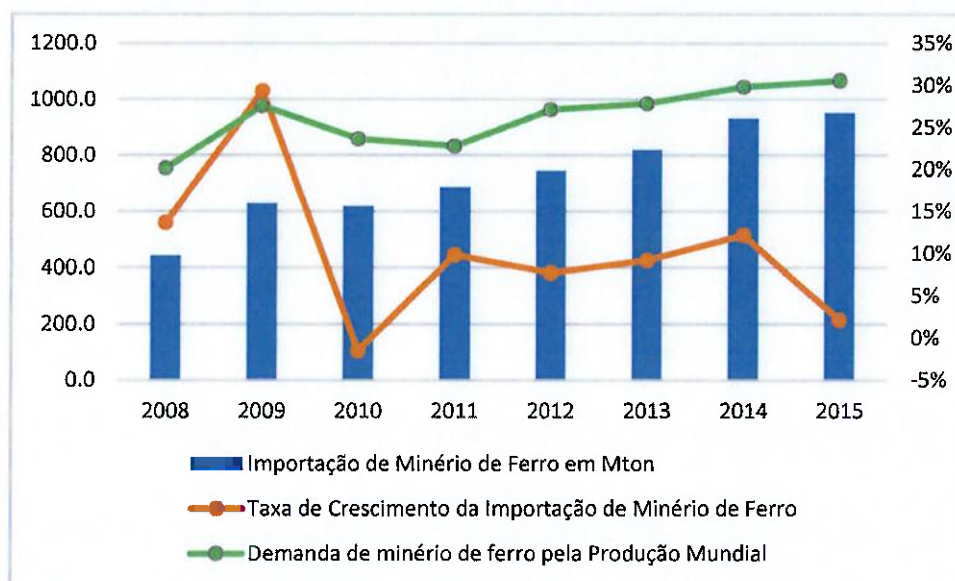
Fonte: China Statistical Yearbook 2016. Disponível em <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.

Figura 4. Produção doméstica de minério de ferro na China em milhões de toneladas e taxa de crescimento



Fonte: China Statistical Yearbooks, 2016; British Geological Survey, 2016

Figura 5. Demanda total de minério de ferro na China, Dependência de importações



Fonte: China Statistical Yearbook; World total production volume data from BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2016). Estimativas do Autor

Na tabela 2, a demanda por minério de ferro pela China foi calculada como o total de produção de ferro chinês com a importação de ferro. A produção total mundial pode ser observada como a demanda total quando calculando a representatividade da demanda chinesa no total da demanda mundial.

Tabela 2. Demanda total de minério de Ferro na China e Percentual do Estoque mundial

	Demanda Total da China por Minério de Ferro		Demanda da China em relação a produção mundial (%)	Produção Mundial de Minério de Ferro	
	Volume em milhões de toneladas (1)	Taxa de Crescimento (%)	$((1)/(2))*100$	Volume em milhões de toneladas (2)	Taxa de Crescimento (%)
2008	443.60	13.6%	20.1%	2205.00	6.9%
2009	627.80	29.3%	27.6%	2275.00	3.1%
2010	618.60	-1.5%	23.6%	2620.00	13.2%
2011	686.08	9.8%	22.8%	3012.00	13.0%
2012	743.60	7.7%	27.1%	2742.00	-9.8%
2013	819.10	9.2%	27.8%	2943.00	6.8%
2014	932.34	12.1%	29.9%	3123.00	5.8%
2015	952.72	2.1%	30.6%	3115.00	-0.3%

Fonte: China Statistical Yearbooks; World total production volume data from BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2016); Estimativas do autor.

3.2. Economia do Brasil

3.2.1. Geral

3.2.2. Mineração e Exportação

O minério de ferro é um recurso que abunda em todo o mundo, porém as melhores jazidas estão concentradas em um número limitado de países. Cinco, destas melhores jazidas, detêm 77% das reservas totais. O Brasil possui a quinta maior reserva do mundo, de acordo com dados coletados da British Geological Survey em 1999 (tabela 3), equivalente a 20 bilhões de toneladas. As reservas do Brasil e da Austrália destacam-se, pois apresentam o maior teor de ferro contido; em geral superior a 60%.

Tabela 3. Ranking de reservas mundiais de ferro

CLASSIFICAÇÃO	PAÍSES	CONTINENTES	RESERVAS
1º	Rússia	Ásia	78
2º	Austrália	Oceania	28
3º	Canadá	América do Norte	26
4º	EUA	América do Norte	25
5º	Brasil	América do Sul	20
6º	Índia	Ásia	12
7º	África do Sul	África	9,3
8º	China	Ásia	9
9º	Suécia	Europa	4,6
10º	Venezuela	América do Sul	3,3
	Outros Países		15,5
TOTAL			230,7

Nota: Em bilhões de toneladas

Fonte: BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. World Mineral Statistics. London, 1999

Em volume de reservas, o Brasil é superado por apenas quatro países: Rússia, Austrália, Canadá e EUA. Porém, as grandes reservas de ferro brasileiras possuem certas características tecnológicas naturais que conferem um grau de vantagem em relação ao ferro de outros países. Além disso, as jazidas são de fácil lavra e possibilitam a produção de grandes volumes a baixo custo. As reservas brasileiras estão concentradas, principalmente, no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais e na serra dos Carajás, no Estado do Pará.

O minério de ferro, de acordo com o Sumário Mineral do DNPM, é o principal bem mineral produzido no país tendo uma participação na Produção Mineral Brasileira da ordem de 25% em 1999 e contribuiu com mais de US\$ 3 bilhões para a pauta de exportações brasileiras, neste mesmo ano. Já em 2016, a participação na Produção Mineral Brasileira cresceu para 64,3%, contribuindo com mais de US\$ 5 bilhões.

De acordo com Ferreira (2001), analisando o mercado interno de ferro no período de 40 a 99, este cresceu nos últimos anos desse período e, em 1999, conseguiu absorver cerca de 30% da produção total. Em 2016, a absorção do ferro produzido pelo mercado interno brasileiro se manteve próximo, atingindo a marca de 33%.

A produção mundial de minério de ferro concentra-se em poucos países. A China com 255 milhões de toneladas desde 94 até 2016 foi a maior produtora de minério de ferro e o Brasil, que no passado era o segundo maior produtor, desde 2009, passou ser o terceiro maior produtor, perdendo para a Austrália. (Tabela 4)

A produção mundial de minério de ferro, que atingiu 1 bilhão de toneladas desde 1995, foi concentrada principalmente na China, Brasil, Austrália, Rússia e Índia. A China, que era autossuficiente, vem recorrendo a importações para atender a significativa evolução de sua indústria siderúrgica. A Austrália, grande produtora mundial, destina quase toda a sua produção para o mercado externo enquanto o Brasil comercializa internacionalmente quase 70% do minério produzido.

Pela tabela 4, observa-se que o Brasil deixou de ser o segundo maior produtor do minério de ferro e que não consegue manter o crescimento em sua produção, diferente da rival Austrália cuja produção apenas cresceu, atendendo a demanda mundial de ferro.

A produção brasileira também merece destaque, atingindo a marca de 390 milhões de toneladas, no ano de 2011, ou seja, 20% da produção mundial, cuja a demanda global alcançou a cifra de um bilhão e novecentos e vinte milhões de toneladas (BRAZ, 2009).

No ano de 2015, pelo Relatório anual do departamento nacional de produção mineral (DNPM), mais de 54% de toda a produção de minério de ferro foi exportada, sobretudo para a China, maior importador e consumidor mundial, seguido do Japão, Coréia do Sul, Países Baixos e Omã. É importante ressaltar, que o mercado chinês foi

responsável pela importação de aproximadamente 52% de todo o volume exportado pelas mineradoras brasileiras.

Tabela 4. Produção mundial de minério de ferro em milhões de toneladas

País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
China	707	824	880	1077	1326	1309	1451	1514	1381	1280
Austrália	299	342	394	433	488	519	609	739	809	858
Brasil	354	351	331	372	460	400	346	345	389	424
Índia	213	212	218	207	168	136	152	129	158	192
Rússia	105	99	92	95	104	104	102	102	101	101
Ucrânia	78	72	66	78	80	67	70	68	67	67
África do Sul	42	48	55	58	58	67	71	80	73	66
EUA	52	53	26	49	54	54	52	56	46	40
Canadá	33	32	31	37	33	39	42	44	46	49
Suécia	24	24	17	25	26	32	37	35	29	32
Venezuela	19	19	14	14	16	15	11	11	11	11
Outros	126	129	151	175	199	230	238	263	190	185
Total	2052	2205	2275	2620	3012	2742	2943	3123	3110	3120

Fonte: BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. World Mineral Statistics. London, 2017

3.3. Análise de Correlação

Para realizar uma análise mais detalhada, deve ser analisado a relação entre as variáveis de interesse. No caso, é relevante verificar a correlação entre o PIB da China com a importação de Ferro, além da relação entre a importação de minério de ferro total da China com a exportação de ferro do Brasil.

A correlação de Pearson, que mede o grau da correlação entre duas variáveis quantitativas e que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados, será calculada pela equação:

$$\rho_{x,y} = \text{corr}(x,y) = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y}$$

3.4. Modelos de Projeção

De acordo com Hyndman e Athanasopoulos (2018), modelos de projeção apropriados são definidos a partir dos dados disponíveis. Se não houver dados, ou os dados disponíveis não se apresentarem relevantes para projeções, então métodos qualitativos devem ser utilizados. Já métodos quantitativos são utilizados quando duas condições são atendidas:

- Existe informação numérica a respeito do passado
- É possível assumir que alguns aspectos de padrões passados se manterão no futuro

A gama de métodos de projeção quantitativa é ampla, havendo um desenvolvimento dentro de disciplinas específicas para propósitos específicos. Cada método possui suas próprias propriedades, acurácias e custos que devem ser considerados ao escolher um método específico.

3.4.1. Séries Temporais

Tudo que pode ser observado de forma sequencial ao longo do tempo é uma série temporal.

Os métodos de previsão temporais mais simples apenas utilizam informações presentes da variável a ser prevista, não havendo a tentativa de incluir outros fatores que podem afetar seu comportamento. Esses métodos extrapolam padrões de sazonalidade e de tendência, mas ignoram outras informações como iniciativas de marketing, atividade de competidores, mudanças nas condições econômicas, etc.

3.4.2. Etapas para realizar projeções futuras

Para se realizar uma projeção futura são necessários cinco passos básicos. São eles: 1) Definir o problema, 2) Coletar informação, 3) Realizar análise preliminar (exploratória), 4) Escolher e adequar modelos, 5) Usar e avaliar modelos de previsão.

De acordo com Madsen (2005), é possível classificar as modelos de projeção em três modelos de caixa. São eles: modelos de caixa branca, modelos de caixa pretas e modelos de caixa cinzenta. Modelos de caixa branca possuem estrutura conhecida e determinística, logo a incerteza é descartada e o modelo geralmente é específico. Modelos de caixa escura, por outro lado, são baseados em dados, avaliando-se os

entradas e saídas, o que torna o modelo em si e seus parâmetros menos relevantes. Já modelos cinzentos são uma mistura dos outros dois modelos citados, combinando conhecimento prévio sobre o problema com avaliações dos dados fornecidos.

3.4.3. Modelos de caixa cinzenta

Modelos cinzento são um tipo de modelo de projeção que necessita apenas de dados de anos recentes para realizar uma predição confiável e de acurácia confiável, o que torna este método mais vantajoso em relação aos demais. O modelo pode comportar diversas variáveis e ordens, no entanto, seu uso é comum em situações com uma variável e em equações de primeira ordem, sendo representados como GM (1,1).

A teoria cinzenta emprega um “operador gerador de acúmulos (OGA)” que reduz a aleatoriedade dos dados crus, tornando-os uma série monótona crescente. Pela conveniência do seu uso, a teoria cinzenta tem sido amplamente e eficientemente utilizada em projeções, análises de sistema, processamento de dados, auxílio na matriz de decisões, entre outros, como destacado por Li et al. (2011). Adicionalmente, métodos de projeção cinzentos podem ser utilizados para prever sistemas com fatores de incerteza e podem encontrar regularidade em dados de baixo volume, discretos, desordenados e não-sistemáticos de maneira temporal. Logo, o modelo cinzento tem sido utilizado em diversas aplicações, como discutidos por Jiang et al. (2004); Li et al. (2010); Tsaur e Liao (2007) e Zhao et al. (2012).

Os dados de exportação de ferro pelo Brasil e de importação de Ferro pela China apresentam um caráter com tendência exponencial, um resultado esperado e bastante comum em análises de demanda de minério de Ferro de acordo com Ma (2013). De acordo com Hyndman e Athanasopoulos (2018) modelos de predição mais tradicionais na literatura, modelos auto regressivos, médias móveis, ARMA (auto regressivo de média móvel), ARIMA (auto regressivo integrado com média móvel), modelos Box-Jenkins, que são comumente aplicados em análises estatísticas de séries temporais, requerem uma amostragem grande para gerar previsões com precisão elevada. Logo, para dados a curto prazo, foi necessário a criação de modelos que conseguem gerar previsões precisas com amostras mais limitadas de acordo com Ma (2013). No caso, o modelo proposto por Deng em 1989, o GM (1,1) Modelo Cinzento Univariável de Primeira ordem é bastante adequado.

A teoria de sistemas cinzentos foi desenvolvida por Deng em 1989 para uso em análises matemáticas nos fenômenos de incertezas. Os dados carregados com incertezas são os chamados dados “cinza” de acordo com Deng (1989). De forma similar, dados “brancos” são aqueles onde as informações são totalmente apresentadas e, de maneira oposta, dados “pretos” são dados cujas informações são totalmente incertas

De acordo com Deng (1989), o modelo GM (1,1) consiste nas seguintes etapas:

- i) Expressar a série original não negativa com n valores históricos observados como:

$$X(0) = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$$

Onde $x^{(0)}(k)$ é o valor do comportamento da série em k, com $k = 1, 2, \dots, n$.

- ii) Usar o Operador Gerador Acumulado (AGO) para converter $X^{(0)}$ em uma série crescente monótona.

$$X(1) = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$$

Onde:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$$

- iii) A equação diferencial cinza do modelo GM (1,1) é dado por:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$$

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$$

Onde:

$$Z(0) = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n))$$

$$z^{(1)}(k) = \lambda x^{(1)}(k) + (1 - \lambda)x^{(1)}(k - 1)$$

Na qual a é o coeficiente de desenvolvimento, b é o ator cinzento. $z^{(1)}(k)$ na equação (x) é chamado valor de fundo do modelo GM (1,1), onde λ corresponde a um coeficiente de ajuste horizontal. O coeficiente λ fica no intervalo $[0,1]$ e, tradicionalmente, é utilizado com valor 0,5. A seleção do valor de λ é feita para gerar a menor taxa de erro de acordo com Wen et al. (2000)

- iv) Utilizando o método dos mínimos quadrados, podemos estimar os valores de a e b da equação (x) como demonstrado a seguir:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

$$Y = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{pmatrix}$$

- v) Usando o inverso do operador gerador acumulado (IAGO) e utilizando valores a e b estimados, os valores estimados de $\hat{x}^{(0)}(k)$ para $k=2,3,\dots,n$, podem ser estimados por meio das equações:

$$\begin{cases} \hat{x}^{(1)}(k) = (x^{(1)}(1) - \frac{b}{a})e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a}, & k = 2, 3, \dots, n \\ x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1) \end{cases}$$

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k - 1)$$

- vi) O cálculo do erro pode ser calculado por diferentes medidas. Os três critérios mais comumente utilizados são “Erro Médio Absoluto (MAE)”, “Erro Quadrático Médio (RMSE)” e “Média Absoluta da Porcentagem do Erro (MAPE)” de acordo com Lee e Shih (2011). A qualidade da previsão é maior quanto menor o valor do critério escolhido. De acordo com Makridakis (1993), o critério MAPE é mais estável que os demais critérios, logo ele foi

empregado neste trabalho como referência. Para o cálculo do MAPE, será necessário detalhar o Erro Percentual (PE) que compara os valores reais com valores previstos nos dados de treinamento do modelo para avaliar a precisão em determinado tempo k . O PE é calculado por:

$$PE(k) = \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \times 100\%, \quad k = 2, 3, \dots, n$$

Logo, a precisão total do modelo é dada pelo MAPE:

$$MAPE = \frac{1}{(n-1)} \sum_{k=2}^n |PE(k)| \times 100\%$$

3.3.4. Otimização do Modelo

No entanto, existem situações nas quais o modelo cinzento de primeira ordem com uma variável (GM (1,1)) não se adequa bem aos dados disponíveis, então para melhorar a acurácia do modelo, Akay (2007) utilizou um mecanismo de rolagem no caso de dados exponenciais e caóticos. Pi et al (2010), por exemplo, utilizou a predição cinza para prever a demanda de energia na China. Wang et al. (2011) propôs um NGBM (1,1) modelo otimizado que pode refletir realisticamente a não linearidade em dados. Li et al. (2012) usaram um modelo adaptativo baseado no modelo de grey para prever o consumo de eletricidade em países asiáticos. Zhou (2009) otimizou a não linearidade do modelo cinza de Bernoulli utilizando um Otimizador de Enxame de Partículas (Particle Swarm Optimization PSO). Zhao et al. (2012) melhorou o GM (1,1) com um algoritmo DE.

No entanto, os dados podem apresentar grandes variações em tendências ou apresentar características diferentes em diferentes momentos. Para lidar com dados de importação de minério de ferro, como feito por Ma et al. (2013), que são dados caóticos e exponenciais, é recomendado utilizar o mecanismo de rolagem em conjunto com o GM (1,1), por se tratar de uma técnica eficiente na melhoria da acurácia das projeções Akay (2007) citado por Ma et al (2013). No modelo GM (1,1) com mecanismo de rolagem, o modelo é aplicado no conjunto:

$$X(0) = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(k)), \quad k < n$$

Após a obtenção do resultado, o método é aplicado novamente com a inclusão do dado projetado $x^{(0)}(k+1)$ ao final da série e o valor mais antigo é removido. Então, a série $X(0) = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(k+1))$, $k < n$ é utilizada para realizar a projeção do valor $x^{(0)}(k+2)$.

Para valores de $k = 4, 5, 6, \dots, n-1$, o MAPE calculado para momento $(k+1)$ na série é dado por:

$$PE(k+1) = \frac{x^{(0)}(k+1) - \hat{x}^{(0)}(k+1)}{x^{(0)}(k+1)} \times 100\%, \quad k+1 < n$$

O erro calculado para o GM (1,1) com mecanismo de rolagem é dado por:

$$MAPE = \frac{1}{(n-4)} \sum_{k=4}^{n-1} |PE(k+1)| \times 100\%$$

Algoritmo evolucionário (AE) é um termo genérico utilizado para indicar algoritmos de otimização baseados em uma população e que utilize operadores inspirados em mecanismos biológicos de evolução, tais como seleção, reprodução e mutação de acordo com Machado (2005). Os candidatos a solução do problema de otimização são os indivíduos desta população e uma função de custo ou adequação determina a capacidade de um determinado indivíduo sobreviver ou não. A medida em que se aplicam os operadores do algoritmo, a população evolui.

O algoritmo evolucionário tem sido aplicado em vários campos e provou ser eficiente e performar rapidamente em gerar soluções aproximadas em campos como engenharias, economias, marketing, pesquisas operacionais, etc. O Algoritmo Evolucionário pode não gerar a solução ótima a um problema, mas demanda poucos esforços para chegar em soluções próximas ao ótimo e, de acordo com Machado (2005), por não necessitarem de derivadas como outros métodos de otimização tradicionais, nem conhecimento acerca do espaço de busca, permite que seja utilizado em quase todos os tipos de problemas de otimização.

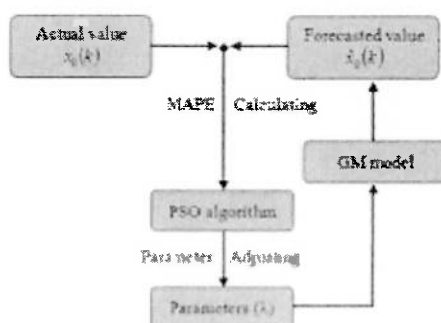
Existem diversos tipos de algoritmos evolucionários utilizados, dentre eles se destacam o algoritmo genético proposto por Holland (1975), AIBP (Aprendizado

Incremental Baseado em População) sugerido por Baluja (1994) e Inteligência de Enxames.

Ma et al. (2013) utilizaram o algoritmo PSO para otimizar o parâmetro “lambda” do modelo cinzento GM (1,1) utilizado na projeção da importação e consumo do minério de Ferro na China. Após, também foi empregado um mecanismo de rolagem para realizar a modelagem com maior acurácia. Ao utilizar dados de 1996 a 2011, Ma foi capaz de provar que o método proposto melhorou a acurácia e ainda realizou projeções para os 5 anos seguintes à publicação do seu artigo.

O modelo de uso do algoritmo proposto por Wen et al. (2010) é:

Figura 6. Modelo de Previsão PSO GM(1,1)



Fonte: Wen et al. (2010)

No qual se compara os valores obtidos pela previsão com os valores reais para se obter um valor de erro e, com a utilização de um algoritmo, testar valores diferentes de lambda para minimizar o erro.

Ma et al. (2013) propõe a utilização do algoritmo Otimizador por Enxame de Partículas onde se cria N partículas aleatórias se movimentam em um espaço de busca determinado pelos parâmetros limitantes com posições iniciais x e velocidades iniciais v . O valor de erro é calculado para cada partícula e, assim, busca-se o melhor resultado global (para todas partículas) e local. Cada iteração é um novo cenário pós movimentação das partículas e, os resultados prévios obtidos de melhores resultados globais e locais impactam na forma como as partículas se movimentarão.

3.3.5. Critérios de Análise de Erros

Ao realizar a comparação de diferentes métodos, deve-se avaliar qual deles é o mais adequado para a utilização nas previsões. Por Ma et al. (2013), para tratar de dados de importação de minério de ferro, o mais adequado é utilizar o critério MAPE.

De acordo com DeLurgio (1998), para o uso da Média Absoluta da Porcentagem do Erro (MAPE), existem certas faixas que definem a qualidade da previsão, são elas:

Tabela 5. Classificação dos valores de MAPE

MAPE (%)	Qualidade
<10	Alta acurácia
10 a 20	Bom
20 a 50	Razoável
>50	Baixa Acurácia

Fonte: DeLurgio (1998)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Coleta de Dados

Para começar a análise dos cenários de mercado de Ferro, foi necessário coletar dados da importação de minério de ferro da China nos anos recentes. (China Statistical Yearbook, diversos anos).

A tabela 6 apresenta dados anuais de minério de ferro importado pela China anualmente de 1997 até 2016:

Tabela 6. Minério de ferro importado pela China nos anos 1997 até os anos 2016 (milhões de toneladas)

Ano	Volume de minério de ferro (milhões de toneladas)
1997	55.000
1998	52.000
1999	55.000
2000	70.000
2001	92.000
2002	112.000
2003	148.000
2004	208.000
2005	275.000
2006	326.000
2007	383.090
2008	443.560
2009	627.780
2010	618.630
2011	686.080
2012	743.600
2013	819.100
2014	932.340
2015	952.720
2016	1023.950

Fonte: Statistical Yearbook of China

Com o intuito de analisar os impactos da importação de ferro do Brasil pela China, foi necessário realizar, também, a coleta de dados referentes à exportação do minério de ferro pelo Brasil.

Os dados brutos de exportação são publicados pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Para tratar estes dados foi utilizado um software de linguagem livre, Python, devido ao grande volume de dados, dispostos de forma granular. Uma vez analisados, os resultados da tabela 7 foram obtidos:

Tabela 7. Exportação FOB de minério de ferro do Brasil (R\$ e volume em milhões de toneladas).

Ano	China em Milhões de R\$(FOB)	Total em Milhões de R\$(FOB)	% FOB China	China em Milhões de toneladas	Total Ferro em Milhões de toneladas	% KG China
1997	17.94	284.62	6%	9.22	134.09	7%
1998	19.97	325.31	6%	10.52	150.21	7%
1999	24.12	274.60	9%	13.43	139.80	10%
2000	27.12	304.82	9%	15.11	156.89	10%
2001	48.26	293.14	16%	28.05	155.74	18%
2002	59.72	304.89	20%	34.55	166.53	21%
2003	76.49	345.59	22%	40.97	174.85	23%
2004	111.50	475.89	23%	52.70	211.44	25%
2005	178.46	729.66	24%	59.06	224.16	26%
2006	262.95	894.89	29%	81.31	242.53	34%
2007	374.01	1055.79	35%	105.96	269.45	39%
2008	500.57	1653.85	30%	98.62	281.68	35%
2009	782.37	1323.98	59%	166.09	265.95	62%
2010	1330.42	2886.77	46%	152.37	310.69	49%
2011	1979.70	4181.72	47%	164.50	330.83	50%
2012	1492.21	3098.93	48%	169.94	326.53	52%
2013	1593.31	3249.15	49%	170.71	329.64	52%
2014	1230.33	2581.91	48%	179.88	344.38	52%
2015	641.33	1403.71	46%	184.09	365.05	50%
2016	731.48	1328.93	55%	214.56	373.96	57%

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

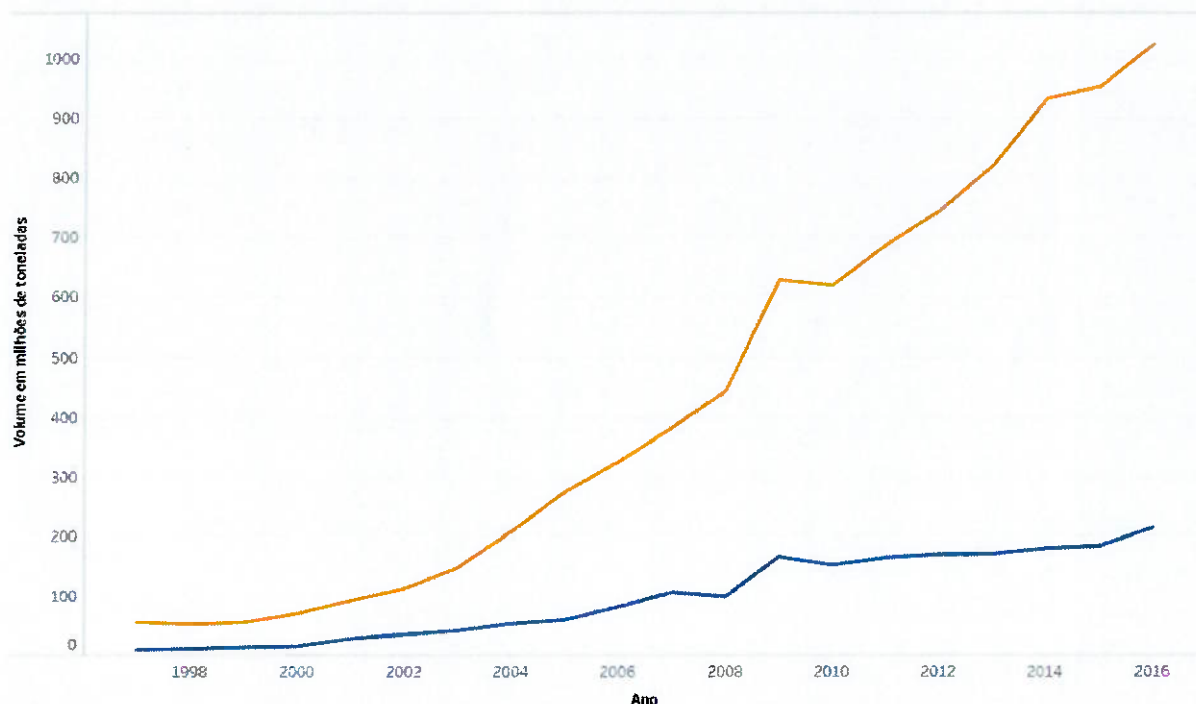
A partir dos dados coletados se observa que o ano de 2009 marca uma grande mudança no perfil de relacionamento comercial mantido entre Brasil e China no âmbito de minério de ferro. Observa-se um aumento no volume de minério de ferro destinado a China apesar de não haver aumento na produção, quebrando a tendência de crescimento constante de direcionamento de exportação à China que foi ocorrendo ao longo do período de 1997 a 2008. Este perfil novo adquirido no qual aproximada 50% do minério de ferro exportado é destinado a China se manteve até o ano de 2016.

4.2. Séries históricas da importação Chinesa e Exportação Brasileira

Para realizar projeções de importação de minério de ferro pela China e a exportação de minério de ferro do Brasil é necessário analisar o comportamento dos dados, pois, para realizar uma projeção quantitativa deve se assumir que padrões que ocorreram no passado se replicarão no futuro de acordo com Hyndman e Athanasopoulos (2018)

A figura 7 mostra que o crescimento de demanda por minério de ferro pela China apresentou um aumento que não foi acompanhado pela exportação de ferro pelo Brasil.

Figura 7. Séries temporais de importação de minério de ferro pela China de exportação brasileira de minério de ferro para a China (em milhões de toneladas)



Fonte: China Statistical Yearbook (2017) e Ministério da Indústria e Comércio Exterior (2018)

4.3. Análise dos Métodos de projeção

Para realizar projeções, é importante testar diversos métodos e avaliar a adequação deles à situação em questão.

Com os dados de importação tratados e organizados, eles foram carregados no Excel, onde foram submetidos à aplicação dos modelos sugeridos por Ma et al. (2013).

No entanto, por questões de reprodutibilidade do método, escolheu-se utilizar o algoritmo evolucionário da função “Solver” do Excel. Pelo fato do otimizador por Enxame de Partículas também ser um algoritmo evolucionário, acredita-se que ele pode atuar como um substituto do PSO.

Utilizando as faixas propostas de qualidade de predição por Delurgio (1998) como referência, será possível comparar os métodos propostos para escolher a melhor opção.

A aplicação dos modelos Grey Model (1,1), Grey Model (1,1) com mecanismo de rolagem e os mesmos modelos adicionados do Algoritmo Evolucionário com os dados de importação da China gerou os resultados descritos na tabela 8, que indicam a qualidade de predição que cada modelo oferece:

Tabela 8. Avaliação dos erros de previsão dos modelos avaliados

Ano	Import. China	GM(1,1)	PE (%)	GM(1,1) - Otim	PE (%)	GM(1,1) - RM	PE (%)	GM(1,1)-RM-Otim
1997	55.00	55.00		55.00		55.00		55.00
1998	52.00	139.16	-167.61%	129.16	-148.38%	49.83	4.18%	50.82 2.26%
1999	55.00	158.10	-187.46%	145.68	-164.88%	58.33	-6.05%	59.65 -8.45%
2000	70.00	179.63	-156.61%	164.32	-134.75%	68.28	2.46%	70.00 0.00%
2001	92.00	204.09	-121.83%	185.34	-101.46%	79.93	13.12%	82.15 10.71%
2002	112.00	231.87	-107.03%	209.06	-86.66%	117.65	-5.05%	117.29 -4.73%
2003	148.00	263.44	-78.00%	235.80	-59.33%	140.90	4.80%	146.66 0.91%
2004	208.00	299.31	-43.90%	265.97	-27.87%	185.61	10.76%	189.17 9.05%
2005	275.00	340.06	-23.66%	300.00	-9.09%	278.67	-1.33%	276.14 -0.42%
2006	326.00	386.36	-18.51%	338.38	-3.80%	368.91	-13.16%	362.75 -11.27%
2007	383.09	438.96	-14.58%	381.67	0.37%	406.99	-6.24%	392.08 -2.35%
2008	443.56	498.73	-12.44%	430.49	2.95%	450.79	-1.63%	451.08 -1.70%
2009	627.78	566.63	9.74%	485.57	22.65%	516.39	17.74%	521.07 17.00%
2010	618.63	643.77	-4.06%	547.69	11.47%	791.94	-28.01%	734.54 -18.74%
2011	686.08	731.42	-6.61%	617.76	9.96%	749.03	-9.18%	686.08 0.00%
2012	743.60	831.01	-11.75%	696.79	6.30%	705.80	5.08%	718.73 3.34%
2013	819.10	944.15	-15.27%	785.93	4.05%	816.54	0.31%	819.10 0.00%
2014	932.34	1072.70	-15.05%	886.48	4.92%	892.63	4.26%	895.56 3.94%
2015	952.72	1218.74	-27.92%	999.89	-4.95%	1039.17	-9.07%	1027.39 -7.84%
2016	1023.95	1384.68	-35.23%	1127.82	-10.14%	1040.45	-1.61%	1023.95 0.00%
		MAPE	55.65%	MAPE	54.26%	MAPE	9.60%	MAPE 6.85%

Fonte: Autor

Com os testes dos modelos GM (1,1), GM (1,1) com rolagem e GM (1,1) apenas com algoritmo evolucionário e GM (1,1) com algoritmo evolucionário e Rolagem, pode-se verificar que o uso do mecanismo de rolagem com o auxílio do Algoritmo Evolucionário gera análises com resultados bastante acurados, sendo possível aplica-los na predição da exportação de minério de ferro brasileiro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Relacionamento entre as variáveis

Utilizando a equação de correlação de Pearson, obtemos a correlação entre a importação de ferro da china e o PIB chinês e também a correlação destas variáveis com a exportação de ferro do Brasil para a China. Os resultados obtidos são indicados na tabela 9.

Tabela 9. Matriz de Correlação entre as variáveis Ferro exportado pelo Brasil, PIB da China, Importação de ferro pela China

	Ferro Exportado do Brasil	PIB China	Importação Ferro China
Ferro Exportado do Brasil para a China	1		
PIB China	0.960302	1	
Importação Ferro China	0.973933	0.98427	1

Fonte: Autor

As correlações indicam um forte relacionamento entre as variáveis, o que, somado ao recente aumento do percentual da exportação de minério de ferro brasileiro dedicado a China, indica uma dependência elevada do mercado de ferro brasileiro a economia chinesa.

Vale observar que o direcionamento de grande parte do minério de ferro exportado pelo Brasil para a China se iniciou após a crise de 2008, momento no qual houve uma grande redução no valor da tonelada de ferro e redução na produção de ferro anunciado pela Vale. A redução anunciada foi de 30 milhões de toneladas métricas anuais e teve como objetivo se adequar ao cenário de desaceleração do crescimento da economia global (Financial Times, 2008)

Porém, neste mesmo período, a Vale iniciou planos de ações para facilitar e flexibilizar a entrada do minério de ferro brasileiro na China, já que este leva 45 dias desde sua partida de portos brasileiros até ser descarregado na China, enquanto suas concorrentes australianas e indianas levam apenas 10 dias. Os planos consistiram na construção de centros de distribuição mais próximos aos clientes para reduzir o tempo de entrega além de reduzir riscos de repetir o cenário de 2007 e 2008 que, antes da crise, havia uma demanda aquecida que dobrou o custo do frete para a China, que atingiu US\$ 100 a tonelada, e houve investimentos em navios de maior capacidade,

projetou-se o que viria a ser o Valemax, o maior mineraleiro do mundo capaz de transportar até 400 mil toneladas. (Vale S.A., 2013).

Com base nessas informações, é possível verificar os fortes vínculos existentes entre o mercado de ferro brasileiro com a China e sua economia. O forte relacionamento gerou frutos na forma de um aumento na produção de ferro brasileiro.

5.2. Projeções para os próximos 5 anos

Uma vez obtido um modelo que atende aos critérios de acurácia de DeLurgio (1998), foi feita a projeção para os 5 anos seguintes. Os resultados estão na tabela 10.

Tabela 10. Previsão do volume de importação de ferro pela China e do volume exportado do Brasil

GM (1,1) – RM Otimizado		
Ano	Importação Prevista	Exportação Brasileira para China
2017	1065.577	230.897
2018	1131.358	260.244
2019	1185.742	284.936
2020	1252.610	317.064
2021	1316.300	348.999

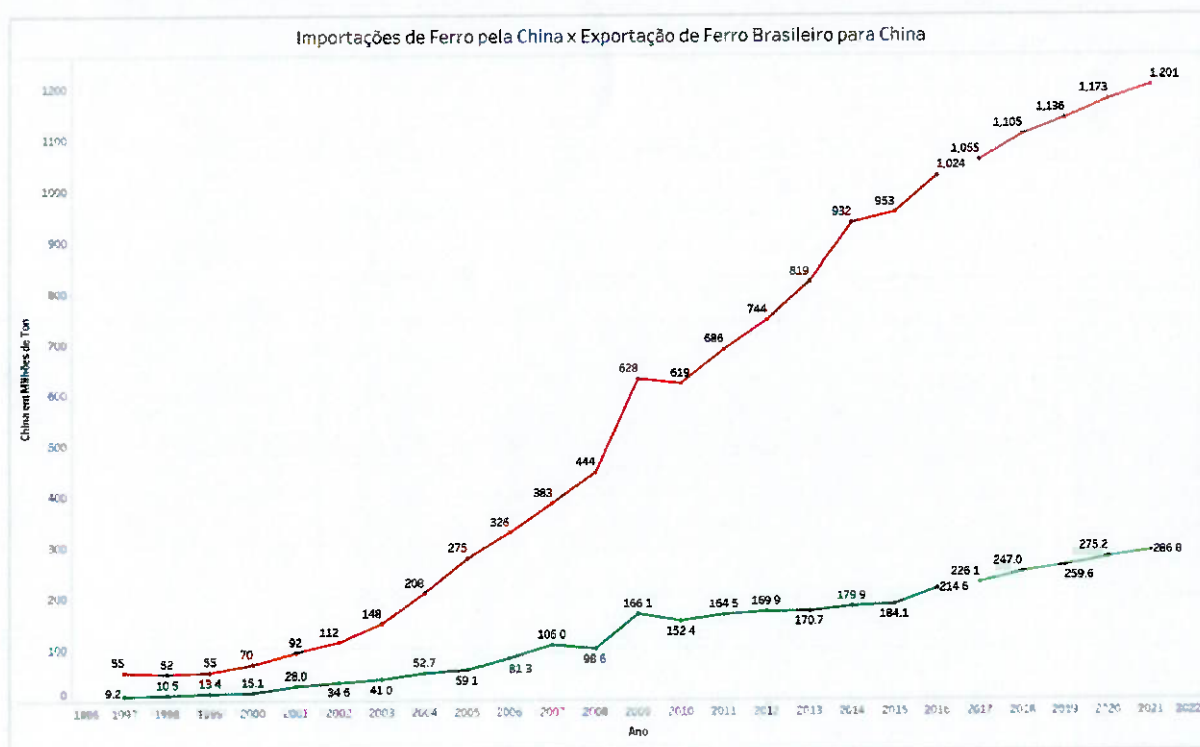
Fonte: Autor

Analisando o comportamento das projeções por meio da figura 8, é possível inferir que ainda há um potencial latente de crescimento da demanda de ferro pela China e, conseqüentemente, um aumento significativo na quantidade de ferro que o Brasil pode produzir para atender a esta demanda.

Avaliando a participação brasileira nas importações de ferro da China, pode se perceber pelo figura 9 que o Brasil contribuiu com valores de 20 a 30% nos últimos anos, havendo um forte declínio em 2009, momento no qual o Brasil não conseguiu acompanhar o aumento da demanda chinesa, mesmo que mais da metade de exportação de ferro já fosse destinado à China, como indica a tabela 7.

Ao realizar a análise das projeções de exportação de minério de ferro do Brasil que é destinado à China e a importação do bem mineral pelos chineses, prevê-se que haverá um aumento da participação brasileira no minério de ferro importado pela China como indica a figura 9

Figura 8. Estimativas futuras do consumo de ferro pela China e da exportação de ferro brasileiro

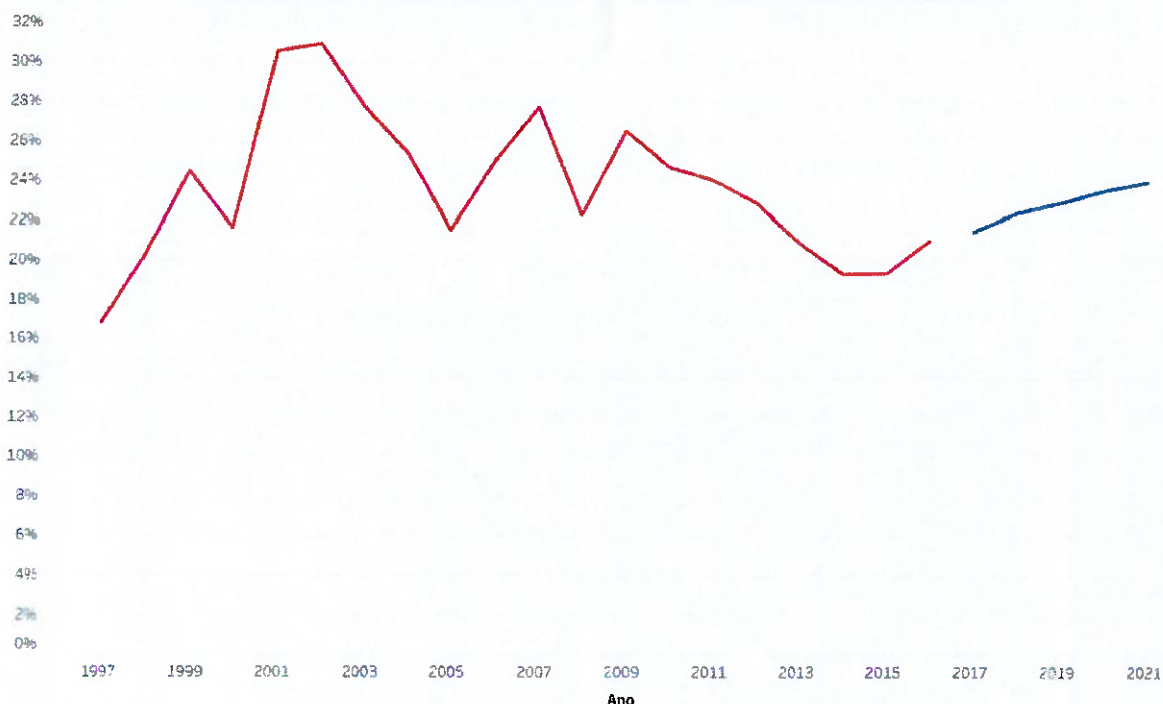


Notas: Curva vermelha indica os volumes de importação de minério de ferro da China e a curva verde indica os volumes de exportação de minério de ferro do Brasil destinado à China, ambos em milhões de toneladas. As partes mais claras da curva indicam a projeção realizada.

Fonte: Autor

Figura 9. Participação Brasileira na importação de minério de ferro da China

Percentual da Importação de Minério de Ferro da China oriunda do Brasil



Fonte: Autor

Preocupações referentes a capacidade brasileira de atender à demanda e repetir o cenário de 2009 devem ser amenizadas considerando os positivos resultados de produção que a mina S11D em Carajás tem obtido. De acordo com diversas notícias a respeito da produção da S11D, a produção estimada para o ano de 2018 já caminha a 58 milhões de toneladas quando a previsão inicial era de 50 a 55 milhões. Além disso, assim que terminar o “rampup”, a mina deverá produzir 90 milhões de toneladas anualmente. (Vale, 2016)

Considerando a Parceria Estratégica Global China-Brasil, plano de parcerias para desenvolvimento bilateral entre os dois países atualizada em 2015 para duração até 2021, é plausível esperar que os resultados previstos sejam atingidos ou que eles sejam até melhores com o desenvolvimento da S11D. Vale ressaltar que há um risco da parceria ser desfeita devido aos pronunciamentos feitos pelo candidato à presidência do Brasil eleito, o que pode trazer resultados negativos ao mercado de ferro brasileiro, dado que a China importa mais da metade de todo o ferro brasileiro exportado.

6. CONCLUSÕES

Com a realização da pesquisa foi possível encontrar um modelo de projeção, dentre os mais comumente aplicados no contexto de importação e exportação de minério de ferro, que se adequa ao escopo da pesquisa e realiza previsões com elevada acurácia. O modelo cinzento GM(1,1) aplicado em conjunto ao mecanismo de rolagem e a um algoritmo evolucionário para otimização do parâmetro λ do modelo gerou um MAPE de 6,85%, um valor que dentro dos critérios de seleção, indica elevada acurácia.

Após a comparação, aplicou-se o modelo adequado nos dados de importação chinesa e de exportação brasileira de minério de ferro e, com os resultados obtidos, pode-se avaliar que haverá um aumento da exportação de minério de ferro por parte do Brasil e haverá uma absorção desse aumento por parte da China, cuja demanda ainda se manterá em crescimento.

Feita as projeções e as análises, além da avaliação do relacionamento econômico entre os países Brasil e China, foi possível gerar uma análise otimista para o Brasil, onde há uma oportunidade de ganhos financeiros até que a Parceria Estratégica Global China – Brasil se encerre em 2021 ou que o desenvolvimento chinês se encerre de forma repentina.

Como o modelo utilizado na análise opera com uma variável, ele está sujeito a erros que não são previstos, como variações no âmbito político-econômico de ambos países em questão, Brasil e China, além de flutuações no valor da tonelada de minério de ferro, avanços tecnológicos, entre outras possíveis variáveis que podem afetar o mercado de minério de ferro.

É relevante destacar a possibilidade de aplicação de diferentes modelos com uma abordagem multifatorial para futuros trabalhos, além da análise com um cenário que já considera a impossibilidade da manutenção do crescimento econômico chinês, avaliando os possíveis impactos negativos que isso trará ao Brasil, além de possíveis novos destinos que seriam interessantes para se destinar o minério de ferro produzido no Brasil, como o Japão, Coreia, Tailândia, ou novas economias emergentes

7. REFERENCIAS

ASSAREH, E., BEHRANG, M.A., ASSARI, M.R., GHANBARZADEH, A., **Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in Iran.** Energy 35, 5223-5229, 2010.

AKAY, D., **Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey.** Energy 32 (5), 1670–1675, 2007.

Análise do Mercado de ferro pós crise de 2008. Disponível em : https://www.ft.com/content/88fc2368-a6af-11dd-95be-000077b07658?nclick_check=1. Data de acesso: 15 de nov, 2018

BAJULA, S., 1994, **Population-Based Incremental Learning: A method for integrating genetic search based function optimizations and competitive learning**, Technical Report CMU-Cs-94-163, June.

BRESLIN, S., **China and the Global Political Economy.** University of Warwick, UK: Palgrave Macmillan, p14-40, 2016

BOONCHUAY, C., ONGSAKUL, W., **Risk-constrained optimal bidding strategy for a generation company using self-organizing hierarchical particle swarm optimization.** Applied Artificial Intelligence 26, 246-260, 2012.

CORRÊA, R. S. F., SIMIONI, R. L., **Os “Benefícios Fiscais” e o setor de minério de ferro no Brasil: Uma barragem financeira que rompe continuamente**, RIPE: Divisão Jurídica v. 51, n. 67, 2017

DELURGIO S. A. **Forecasting principles and applications.** Irwin Professional Publishing, 1998.

DENG J., **Grey Prediction and Decisionmaking**, Huazhong University of Science and Technology Press, Wuhan, China, 1989.

Descrição da Parceria Estratégica Global Brasil-China. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/ficha-pais/4926-republica-popular-da-china>. Data de acesso: 15 de nov, 2018

Descrição sobre a produção mineral da Vale. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/economia/s11d-da-vale-deve-superar-previsao-de-producao-de-minerio-em-2018-diz-fonte-22713642.html>. Data de acesso: 16 de set. de 2018

FAN S., ZHANG X., **Infrastructure and regional economic development in rural China.** China Economic Review, volume 15, Issue 2, 2004, p203-2014

FERREIRA, G. E., **A competitividade da mineração de ferro no Brasil,** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

HYNDMAN R.J., ATHANASOPOULOS, G., **Forecasting: Principles and Practice.** Monash University, Australia, 2018.

HOLLAND, J.H., **Adaptation In Natural and Artificial Systems,** Ann Arbor, University of Michigan Press, 1975

IGLESIAS S. P., LIMA M. S., **Retrocessos brasileiros por propostas controversas de Bolsonaro.** Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-11-06/new-brazil-government-kicks-off-transition-with-austerity-pledge>. Data de acesso: 15 de nov. 2018

IRON ORE MANUAL. Tóquio: The Tey Report Co., 1999.

JIANG Y., YAO Y.Y., MA Z., **Applying Grey forecasting to predicting the operating energy performance of air cooled water chillers.** International Journal of Refrigeration, 2004, 27, 385-392

KENNEDY J., EBERHART, R.C., **Particle swarm optimization.** In **Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks.** Perth, WA, Australia. 1942-1948, 1995.

LI D.C., CHANG C.J., CHEN C.C., CHEN C.S., **Using non-equigap grey model for small data set forecasting – a color filter manufacturing example.** Journal of Grey System, 2010, 22, 375-382

LIU L., WANG Q., LIU M., LI L., **An Intelligence Optimized Rolling Grey Forecasting Model Fitting to Small Economic Dataset,** Abstract and Applied Analysis, vol. 2014, Article ID 641514, 10 pages, 2014

MA J., **World iron Ore Production Retrospect and Prospect**, 2010. Disponível em: http://www.lrn.cn/zjtq/academicPaper/201008/t20100823_745035.htm

MA W., ZHU X., WANG M., Forecasting iron ore import and consumption of China using grey model optimized by particle swarm optimization algorithm. **Resources Policy**, 38, 613-620, December 2003

MACHADO, M.D., 2005, **Algoritmo Evolucionário PBIL Multi_Objetivo Aplicado Ao Problema da Recarga de Reatores Nucleares**, Rio de Janeiro, XI, 127 p29,7 cm (COPPE/UFRJ, D, Sc., Engenharia Nuclear, 2005)

MADSEN, H., BACHER, P., JUHL, R., MOLLER, J.K., 2015, **Grey-Box Modeling; An approach to combined physical and statistical model building**, **Mathematical Sciences Collaboration in Energy Systems Integrations**, Institut for Matematik of Computer Science

MAKRIDAKIS S., **Accuracy measures: theoretical and practical concerns**, International Journal of Forecasting, Volume 9, Issue 4, 1993, Pages 527-529, ISSN 0169-2070

NEZHAD, A.M., MAHLOOJI, H, **A revised particle swarm optimization based discrete Lagrange multipliers method for nonlinear programming problems**. **Computer & Operations Research** 38, 1164-1174. 2011.

PI D., LIU J., QIN X., **A grey prediction approach to forecasting energy demand in China. Energy Sources, Part A: Recovery, utilization, and Environmental Effects**, 2010, 32, 1517-1528.

SUMÁRIO MINERAL 1998. Brasília, MME/DNPM, 1999./Coordenação técnica de Antônio Eleutério de Souza.

TSAUR R.C., LIAO Y.C., **Forecasting LCD TV demand using the fuzzy grey model GM(1,1)**. International Journal of Uncertainty, fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2007, 15, 753-767.

Vale S.A., **Informações a respeito da S11D**. Disponível em: <http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/major-projeto-da-historia-da-mineracao-completa-um-ano-de-operacao.aspx> Acesso em: 9 de dez. de 2018.

Vale S. A., **Vale e China: 40 anos de parceria**. Disponível em:

<http://www.vale.com/EN/aboutvale/news/Documents/quiz-china/pdf/40anosValeChina.pdf> Acesso em: 16 de set. de 2018

WANG Z.X., HIPEL K.W., WANG Q., HE S.W., **An optimized NGBM(1,1) model for forecasting the qualified discharge rate of industrial wastewater in China.** Applied Mathematical Modelling 35, 2011, 5524-5532.

WEN, J.C., WU Y.P., HE Y., **The study of α in GM(1,1) model.** Journal of the Chinese Institute of Engineers 23 (5), 2000, 583-589.

WEN, Y. WU, J., **Withstanding the Great Recession Like China.** The Manchester School, 2018

YU, S.W., WEI, Y.M., WANG, K., **A PSO-GA optimal model to estimate primary energy demand of China.** Energy Policy 42, 429-340, 2012.

YU Y., **Development Trends of Iron Mines and Status and Problems of Beneficiation Technology in China.** (Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy, Changsha 410012, Hunan, China)

YU Y., **Identifying the Linkages Between Major Mining Commodity Prices and China's Economic Growth-Implications for Latin America,** Edições 11-86 de IMF Working Papers, International Monetary Fund, 2011

ZHANG S., XUE X., JIN Z., **Current situation and comprehensive utilization of iron ore tailings resources in our country.** (School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

ZHAO Z., WANG J.Z., ZHAO J., SU Z.Y., **Using a Grey model optimized by differential evolution algorithm to forecast the per capita annual net income of rural households in China.** Omega 30, 2012, 525-532

ZHOU J.Z., **Parameter optimization of nonlinear Grey Bernoulli model using particle swarm optimization.** Applied Mathematics and computation 207, 2009, 292-299.