

**FABIO MAKOTO FUKUBARA**

## **ANÁLISE E PERSPECTIVAS FUTURAS DO MERCADO DE MINÉRIO DE FERRO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Rodrigues Neves

**São Paulo**

**2018**

TF-2018  
F955a

Signo 2928842

H2018m



Escola Politécnica - EPMI



31700000817

#### Catálogo-na-publicação

Fukubara, Fabio Makoto

Análise e perspectivas futuras do mercado de minério de ferro/ F.M. Fukubara -- São Paulo, 2018.

41p

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

1. Demanda de minério de ferro 2. Economia Mineral 3. China I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

## **Resumo**

O presente trabalho procura analisar as perspectivas futuras do mercado de minério de ferro por meio da análise da demanda desse produto, principalmente pela China, o maior consumidor e comprador dessa matéria prima. Essa análise constituiu-se de uma robusta pesquisa de dados relevantes ao tema, além da criação de um modelo estatístico de vetores autoregressivos (VAR) com o intuito de quantificar a demanda futura do minério de ferro com o objetivo de mostrar a tendência desse mercado para os próximos anos.

Palavras-chave: minério de ferro, economia mineral, China, VAR.

## **Abstract**

The present work seeks to analyze the future perspectives of the iron ore market by analyzing the demand for this product, mainly by China, the largest consumer and buyer of this raw material. This analysis consists of a robust research of data relevant to the topic, as well as the creation of a statistical model of autoregressive vectors (VAR) with the purpose of quantifying the future demand of the iron ore aiming to present the trends for this market for the next years.

Keywords: iron ore, mineral economy, China, VAR.

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer minha avó, mãe e pai por todo carinho, amor e apoio incondicional. Vocês são os meus exemplos de determinação e perseverança.

Professor Manoel, obrigado por toda disposição e compreensão ao me ajudar ao longo desses anos de graduação.

Gostaria de agradecer também todos os meus amigos e colegas da Poli pela excelente convivência ao longo desses cinco anos.

Por fim, gostaria de agradecer todos os brasileiros que indiretamente possibilitaram os meus estudos nesta universidade.

*“Nós somos o que fazemos repetidamente.  
Excelência, portanto, não é um ato, mas um hábito”  
— Aristóteles*

## Lista de Figuras

Figura 1: Variação histórica do preço do minério de ferro (Bloomberg, 2018) .....	14
Figura 2: Produção brasileira de minério de ferro em milhões de toneladas (USGS, 2017) .....	16
Figura 3: Exportação brasileira de minério de ferro em milhões de toneladas (Secex) .....	17
Figura 4: Crescimento real do PIB da China (Bloomberg, 2018) .....	18
Figura 5: Participação por país na produção mundial de aço bruto (World Steel, 2017) .....	18
Figura 6: Taxa histórica e projeção da urbanização da China (United Nations, 2018) .....	19
Figura 7: Distribuição setorial da utilização de aço na China em 2017 (Wood Mackenzie, 2018) .....	20
Figura 8: Investimento em ativos fixos na China (National Bureau of Statistics, 2018) .....	21
Figura 9: Crédito para o setor imobiliário na China (National Bureau of Statistics, 2018) .....	21
Figura 10: Importação histórica de minério de ferro pela China (General Adm of Customs, 2018) ....	22
Figura 11: Crescimento do consumo de aço setorial na China (Wood Mackenzie, 2018) .....	23
Figura 12: Consumo do aço global por país (Wood Mackenzie, 2018) .....	23
Figura 13: <i>Mix</i> de vendas de minério de ferro da Vale (Vale) .....	25
Figura 14: Prêmios e descontos diários em função do teor de minério (Vale) .....	25
Figura 15: Determinação do número de defasagens (Eviews, 2018) .....	34
Figura 16: Projeção das importações futuras de minério de ferro da China (Eviews, 2018) .....	35

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Reservas de minério de ferro por país (USGS, 2018) .....	14
Tabela 2: Produção de minério de ferro por país (USGS, 2018) .....	15
Tabela 3: Demanda de aço por setor na China (Wood Mackenzie, 2018) .....	20
Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson .....	33
Tabela 5: Teste de causalidade de Granger .....	33



## Sumário

1. Introdução .....	10
2. Objetivo .....	10
3. Revisão da Literatura .....	11
3.1. Minério de ferro .....	11
3.2. Qualidade do minério .....	12
3.3. O Mercado de minério de ferro .....	12
3.4. Preço .....	13
3.5. Produção e Reservas Mundiais.....	14
3.6. Exportações .....	16
3.7. China .....	17
3.7.1. A Importância chinesa no mercado de minério de ferro .....	17
3.7.2. A demanda chinesa .....	19
3.8. Conceitos Estatísticos.....	26
3.8.1. Coeficiente de correlação de Pearson.....	26
3.8.2. Modelo de vetores autoregressivos.....	27
3.8.2.1. Teste de causalidade de Granger.....	27
3.8.2.2. Número de defasagens.....	27
4. Materiais e Métodos.....	28
4.1. Análise qualitativa.....	28
4.2. Modelo estatístico para previsão de demanda de minério de ferro .....	28
4.2.1. Modelo de vetores autoregressivos .....	29
4.2.2. Seleção de variáveis.....	29
4.2.3. Testes das variáveis e número de defasagens .....	29
5. Resultados e Discussões .....	30
5.1. Análise qualitativa .....	30
5.2. Coeficiente de correlação de Pearson .....	32
5.3. Teste de causalidade de granger .....	33
5.4. Número de defasagens .....	34
5.5. Modelo de vetores autoregressivos .....	34
6. Conclusões .....	37
7. Referências .....	38

## 1. INTRODUÇÃO

O ferro é um dos metais de maior importância para a humanidade dada as suas diversas aplicações ao longo da história. Porém, foi somente a partir da descoberta do aço que a sua utilização aumentou em uma proporção nunca antes vista. Desde então, o mercado de minério de ferro passou a ser influenciado preponderantemente pela indústria siderúrgica.

Esse minério sempre possuiu uma grande relevância no comércio internacional de *commodities*, contudo, foi somente em função do acelerado crescimento chinês iniciado na última década que a demanda por minério de ferro aumentou de forma expressiva, sendo responsável por alterar de forma acentuada a dinâmica desse mercado.

O Brasil é um país com uma das maiores reservas e produções de minério de ferro do mundo, sendo esse um dos mais importantes minerais em termos econômicos, contribuindo de forma considerável para a geração de riqueza do país. Desse modo, avaliar as perspectivas futuras com relação ao mercado desse minério é de extrema importância para a economia brasileira.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo identificar perspectivas futuras e tendências para o mercado de minério de ferro por meio da análise dos dados e fatores que mais impactam esse mercado.

Dentre esses fatores, a demanda de minério de ferro da China será o enfoque deste trabalho. É importante ressaltar que este trabalho visa analisar as tendências futuras globais do mercado de minério de ferro e não está restrito apenas ao mercado brasileiro.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1. MINÉRIO DE FERRO

Substância mineral, ou simplesmente mineral, é todo corpo inorgânico de composição química e de propriedades físicas definidas, encontrado na crosta terrestre. Minério é toda rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, que podem ser aproveitados economicamente. Esses minerais valiosos, aproveitáveis como bens úteis, são chamados de minerais-minério. O mineral ou conjunto de minerais não aproveitados de um minério é denominado ganga (CETEM, 2010).

O ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, onde ocorre na proporção de 4,2%. Entre todos os metais o ferro é o mais produzido e o que está mais presente em nossas vidas. Inúmeros minerais têm ferro como componente essencial, mas somente os óxidos apresentam grandes concentrações. Os principais minerais que contêm ferro são: hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), goethita ( $\text{FeO}/\text{OH}$ ) e siderita ( $\text{FeCO}_3$ ). A produção de minério de ferro no Brasil se desenvolve em minas a céu aberto. A lavra é em bancadas com desmonte por explosivos, escavadeiras, carregamento em pás carregadeiras e transporte em caminhões fora-de-estrada. O beneficiamento consiste de britagem, peneiramento, lavagem, classificação, concentração e pelotização. Cerca de 99,0% do minério de ferro produzido é utilizado na fabricação de aço e ferro fundido (GONÇALVES, 2010).

Aço é uma liga metálica de ferro que contém geralmente de 0,002% a 2,0% do peso em carbono, além de outros elementos de liga nas mais variadas quantidades. Os aços-carbono possuem na sua composição apenas quantidades limitadas dos elementos carbono, silício, manganês, cromo, enxofre e fósforo. Outros elementos existem apenas em quantidades residuais (MOURÃO, 2007).

As usinas siderúrgicas atuais podem ser divididas em dois grandes grupos: usinas integradas e usinas semi-integradas. Usina integrada é aquela cujo aço é obtido a partir de ferro primário, isto é, a matéria-prima é o minério de ferro, que é transformado em ferro na própria usina, nos altos-fornos; o produto dos altos-fornos, chamado ferro-gusa, é transformado em aço através da operação de conversão. Usina semi-

integrada é aquela cujo aço é obtido a partir de ferro secundário, isto é, a matéria-prima é sucata de aço, não havendo necessidade da etapa de redução do minério de ferro. A sucata é transformada novamente em aço comercial, por meio do emprego de fornos elétricos de fusão; são recicladoras de aço (MOURÃO, 2007).

### **3.2. QUALIDADE DO MINÉRIO**

Em relação à qualidade do minério ofertado pelas empresas participantes do mercado, é relevante o fato de que as propriedades dos minérios dependem em parte de sua gênese, pois sua exploração econômica está diretamente ligada a fatores como teor em ferro, estrutura e textura das rochas, paragênese e outra série de fatores geológicos. Os fatores citados acima não determinam só a qualidade do minério produzido, mas também os custos relacionados à sua produção. Diferentes minérios têm identidades distintas e desempenhos variados nos processos minero-siderúrgicos (GAGGIATO, 2010).

Materiais com maior teor de ferro e um nível balanceado de impurezas proporcionam um ganho de produtividade para as siderúrgicas e, sempre que viável, os produtores de aço irão optar por adquirir um minério de qualidade mais elevada para seu processo. A composição química dos minérios das jazidas brasileiras está bem acima da média global em termos de atendimento às demandas na indústria siderúrgica mundial, o que tem sido um diferencial competitivo para os produtores do setor localizados neste país (GAGGIATO, 2010).

### **3.3. O MERCADO DE MINÉRIO DE FERRO**

A indústria transoceânica de minério de ferro pode ser considerada um oligopólio porque um número relativamente pequeno de grandes vendedores tem controle sobre a oferta do produto (SOUZA, 1991).

Cerca de 93% do transporte de minério de ferro comercializado internacionalmente no mundo é feito por rotas transoceânicas e as despesas com este serviço podem representar boa parte do custo total de aquisição do minério importado. Essas características determinam de forma geral o que vem sendo considerado ao longo dos

anos como “mercado transoceânico de minério de ferro” para os produtos comercializados dentro desta dinâmica (GAGGIATO, 2010).

No caso do Brasil, a mineração do ferro representa a mais importante atividade mineral do país pelos recursos financeiros envolvidos, desde a prospecção mineral para definir os jazimentos minerais até a comercialização dos produtos comerciais de minério de ferro, participando com destaque dos investimentos prospectivos, na mão-de-obra envolvida, na arrecadação de impostos e na arrecadação da compensação financeira pela exploração de recursos minerais (CFEM), assim como no comércio exterior gerando importante divisas, e envolvendo a atividade com uma logística de transporte rodoviário, ferroviário e marítimo (QUARESMA, 2009).

### 3.4. PREÇOS

De acordo com Quaresma (2009), os preços de minério de ferro eram tradicionalmente determinados em negociações anuais, entre compradores (siderurgias) e vendedores (mineração) em determinada época do ano, para vigorarem por 6, 12 ou 24 meses. O preço, em geral, era fixado para um determinado teor de ferro (base 65% Fe) por unidade metálica (1% Fe) em centavos de dólar (US\$ *cents*) em base seca e, excluindo a granulometria e economia de escala, os elementos de custo que mais influenciavam na formação dos preços eram: custo de concentração e custos de transporte. A proporção de cada um variava de caso a caso, bem como de país para país. Outros fatores, como o tipo de transação (via contratos de médio ou longo prazo), o *status* do comprador (consórcio de siderurgias para negociação em bloco), transporte transoceânico e condições do mercado na época da transação, eram fatores também importantes. Bônus e penalidades eram aplicados se os teores de ferro contidos no minério estivessem fora do padrão contratado. Os transportes, tanto interno, das minas aos portos de embarque, na determinação do preço Fob (*Free On Bord*), quanto os fretes marítimos na formação do preço Cif (*Cost Insurance e Freight*) eram parcela importante na determinação do preço.

Como é possível observar na Figura 1, a partir de 2010 a oscilação no preço do minério de ferro começou a ser muito maior em função da negociação diária do preço da *commodity*, e não mais em função de contratos de longo prazo.



Figura 1: Variação histórica do preço do minério de ferro em dólares por tonelada.  
Fonte: Bloomberg (2018)

### 3.5. PRODUÇÃO E RESERVAS MUNDIAIS

De acordo com o U.S. Geological Survey (USGS), as reservas de minério de ferro concentram-se em um número extremamente reduzido de países, sendo que apenas Austrália, Rússia, Brasil, China e Índia possuem mais de 75% das reservas mundiais.

Tabela 1: Reservas de minério de ferro por país em milhões de toneladas.

País	Reserva minério de ferro (Mt)	Porcentagem (%)
Austrália	50.000	28,9%
Rússia	25.000	16,9%
Brasil	23.000	14,5%
China	21.000	8,7%
Índia	8.100	6,3%
Outros Países	20.600	24,8%
<b>Total</b>	<b>170.000</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: USGS (2017)

Além disso, segundo o USGS, em 2017 a produção de minério de ferro foi de 2,4 bilhões de toneladas. Desse valor aproximadamente 55% foram produzidos apenas por Austrália e Brasil, devido à alta concentração de reservas economicamente viáveis nesses dois países.

Tabela 2: Produção de minério de ferro por país em milhões de toneladas.

<b>País</b>	<b>Produção de mina (Mt)</b>			<b>Ferro contido (Mt)</b>		
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Estados Unidos	46	42	46	29	26	28
Austrália	817	858	880	486	531	545
Brasil	397	430	440	257	275	280
Canadá	46	47	47	28	29	29
China	375	348	340	232	216	210
Índia	156	185	190	96	114	120
Iran	27	35	35	13	23	23
Cazaquistão	21	34	34	12	10	10
Rússia	101	101	100	61	60	60
África do Sul	73	66	68	46	42	42
Suécia	25	27	27	15	16	16
Ucrânia	67	63	63	40	39	39
Outros Países	132	116	110	82	72	68
<b>Total Mundial</b>	<b>2.280</b>	<b>2.350</b>	<b>2.400</b>	<b>1.400</b>	<b>1.450</b>	<b>1.500</b>

Fonte: USGS (2017)

Segundo o USGS, a produção brasileira de minério de ferro foi de 440 milhões de toneladas em 2017 (Figura 2), um crescimento de 38,4% se comparado com 2006, correspondendo a uma taxa composta de crescimento anual de 3,0%.

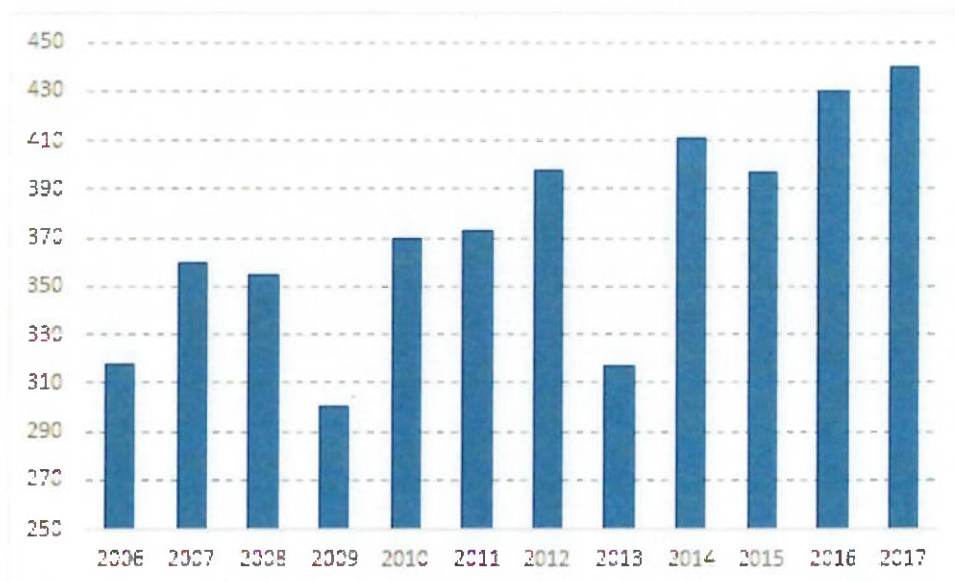


Figura 2: Produção brasileira de minério de ferro em milhões de toneladas.  
Fonte: USGS (2017)

### 3.6. EXPORTAÇÕES

No caso do minério de ferro, o mercado externo é o mais importante, pois a maior parte da produção destina-se a este mercado. Segundo a Secretaria de Comércio Exterior (Secex), em 2017 as exportações brasileiras de minério de ferro foram de cerca de 383 milhões de toneladas (Figura 3), correspondendo a cerca de 87% da produção interna. Desse montante, 54% destinaram-se a China e 7,3% ao Japão, sendo esses os dois principais compradores do minério brasileiro.

Portanto, em função da grande importância do mercado externo no consumo do ferro e principalmente, da China, para se ter uma melhor compreensão das atuais condições de mercado do minério de ferro, torna-se mais importante analisar a situação do mercado exterior do que a do mercado interno.



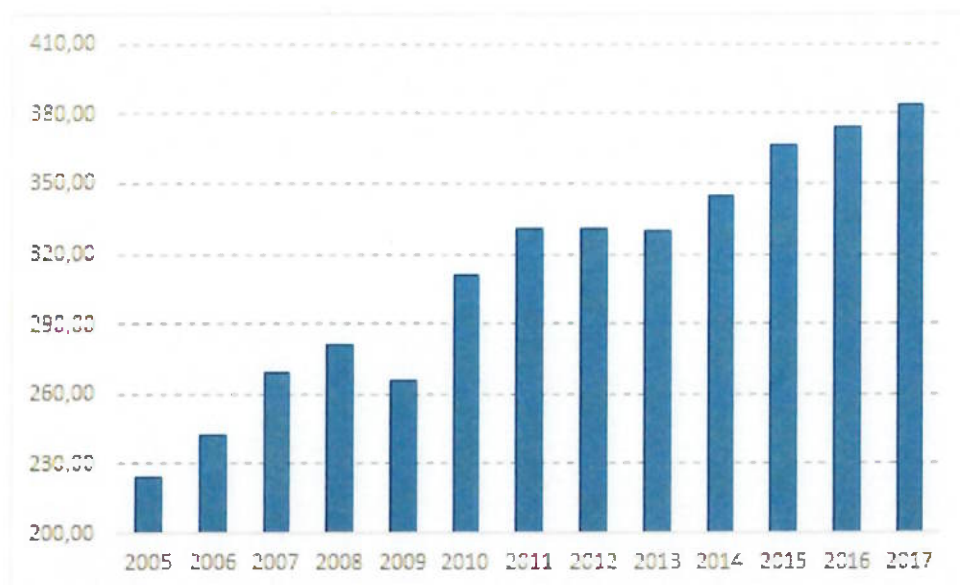


Figura 3: Exportação brasileira de minério de ferro em milhões de toneladas.  
Fonte: Secex (2018)

### 3.7. CHINA

#### 3.7.1. A IMPORTÂNCIA CHINESA NO MERCADO DE MINÉRIO DE FERRO

Entre 1998 a 2001, as indústrias siderúrgicas e de mineração de ferro no mundo todo encontravam-se num período difícil e de moderada expansão, resultado de várias incertezas e afetadas seriamente pela crise financeira da Ásia. As produções mundiais de minério de ferro e aço atingiam o patamar de 1 bilhão e 800 milhões de toneladas, respectivamente. A partir de 2002, a China fez o mundo extasiar-se, frente à maior arrancada na produção de aço de todos os tempos, saindo de um nível de produção de aço bruto de 151 milhões de toneladas em 2001, para atingir a espetacular marca de 488 milhões de toneladas, em 2007. Ou seja, em 6 anos houve um crescimento absoluto de 337 milhões de toneladas (56 milhões de toneladas/ano), ou relativo de 223%. Considerando-se o fato de que essa expansão chinesa se deu fundamentalmente na rota Alto forno – BOF, e que seus recursos em minério de ferro eram de baixo teor, ocorreu um forte impacto na importação dessa matéria-prima, o que impulsionou com vigor acentuado a mineração de ferro, em todo o mundo (MOURÃO, 2008).

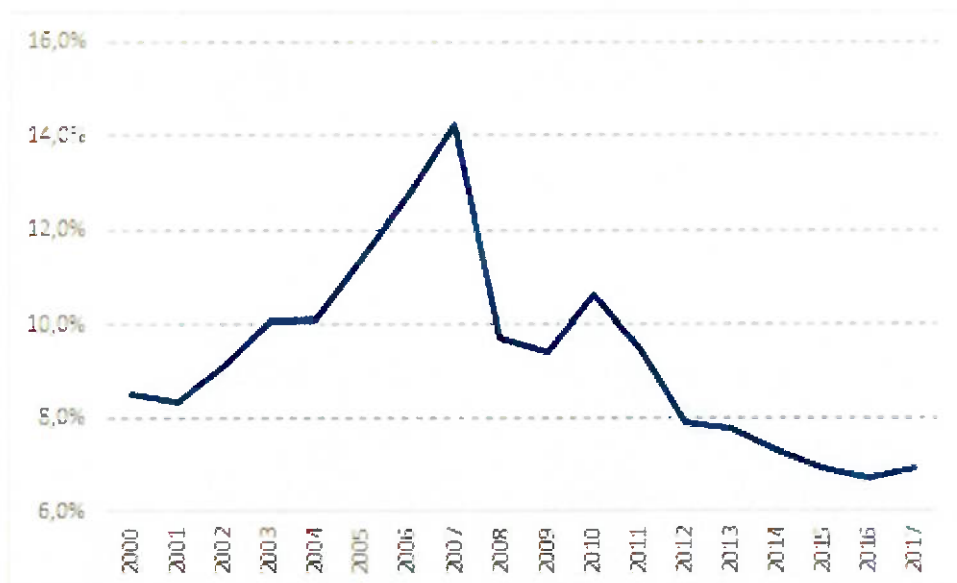
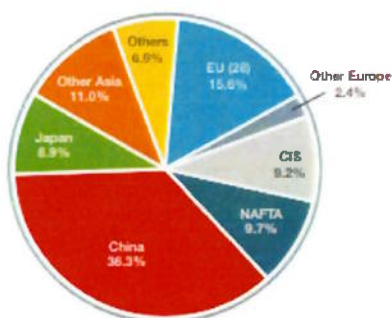


Figura 4: Crescimento real do PIB da China.  
Fonte: Bloomberg (2018).

De acordo com a Vale S.A., em 2017 a China foi responsável por aproximadamente 74% da demanda global transoceânica de minério de ferro. Isso decorre principalmente do fato de que o país, segundo dados de 2017 do World Steel Association, ter sido responsável por produzir cerca de 49,2% de todo aço produzido no mundo (Figura 5), correspondendo a uma alta evolução dado que em 2007 o consumo chinês era de apenas 36,6% (World Steel Association, 2018).

#### STEEL PRODUCTION AND USE: GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION 2007

Crude steel production  
World total: 1 350 million tonnes



#### STEEL PRODUCTION AND USE: GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION 2017

Crude steel production  
World total: 1 689 million tonnes

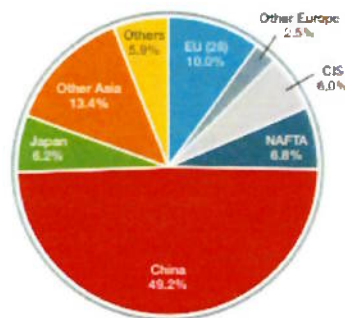


Figura 5: Participação por país na produção mundial de aço bruto.  
Fonte: World Steel Association (2018)

### 3.7.2. DEMANDA CHINESA

Até 2030 a urbanização na China atingirá o percentual de 70,6% (Figura 6). Esse acelerado ritmo de urbanização tenderá a manter as necessidades de aço do país em níveis elevados, pois quanto mais urbanizado um país, maior a necessidade por investimentos em ativos fixos, construção civil, aumento da demanda por automóveis e entre outros (Nações Unidas, 2018).



Figura 6: Taxa histórica e projeção da urbanização da China.

Fonte: United Nations - Population Division (2018).

A demanda por aço na China (Tabela 3) atingiu níveis históricos em 2017, sendo de 732 milhões de toneladas, correspondendo a cerca de 43% da produção mundial. Portanto, um único país demanda mais de 54% da produção de minério de ferro mundial e utiliza quase metade da produção de aço (Wood Mackenzie, 2018).

Tabela 3: Demanda de aço por setor na China em milhões de toneladas.

<b>Demanda por aço (Mt)</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Construção	405	418	411	399	443
Maquinário	140	163	152	156	162
Automobilística	53	55	55	62	66
Construção de navios	14	14	14	14	14
Outros	71	56	34	31	31
<b>Total</b>	<b>698</b>	<b>721</b>	<b>681</b>	<b>676</b>	<b>732</b>

Fonte: Wood Mackenzie (2018).

Como é possível observar na Figura 7, mais de 60% de todo o aço chinês é utilizado para a construção civil. Esse número é fortemente explicado pelo rápido processo de urbanização que o país vivencia, pois quanto maior a quantidade de cidadãos que se mudam para as cidades, maior a demanda por infraestrutura suficiente para suportar todo esse aumento populacional nas cidades. Isso inclui desde rodovias, portos, casas, edifícios até aeroportos (Wood Mackenzie, 2018).

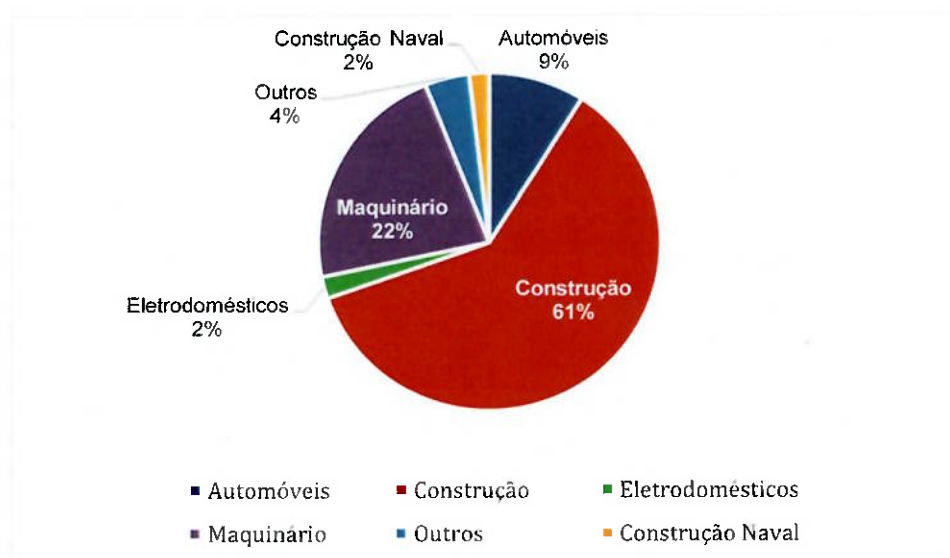


Figura 7: Distribuição setorial da utilização de aço na China em 2017.  
Fonte: Wood Mackenzie (2018).

A evolução nos investimentos em ativos fixos (Figura 8) e o crédito para o setor imobiliário na China (Figura 9) ao longo dos últimos anos permite notar uma altíssima expansão em ambos os fatores, mas já sendo possível perceber uma redução nos seus ritmos de crescimento (National Bureau of Statistics of China, 2018)

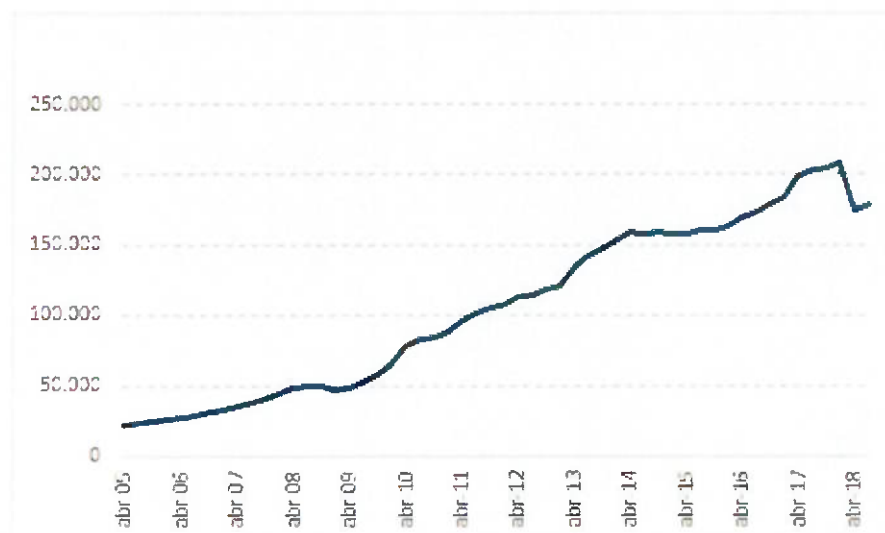


Figura 8: Investimento em ativos fixos na China, acumulado nos últimos 12 meses (100 milhões de Remimbi)

Fonte: National Bureau of Statistics of China (2018)

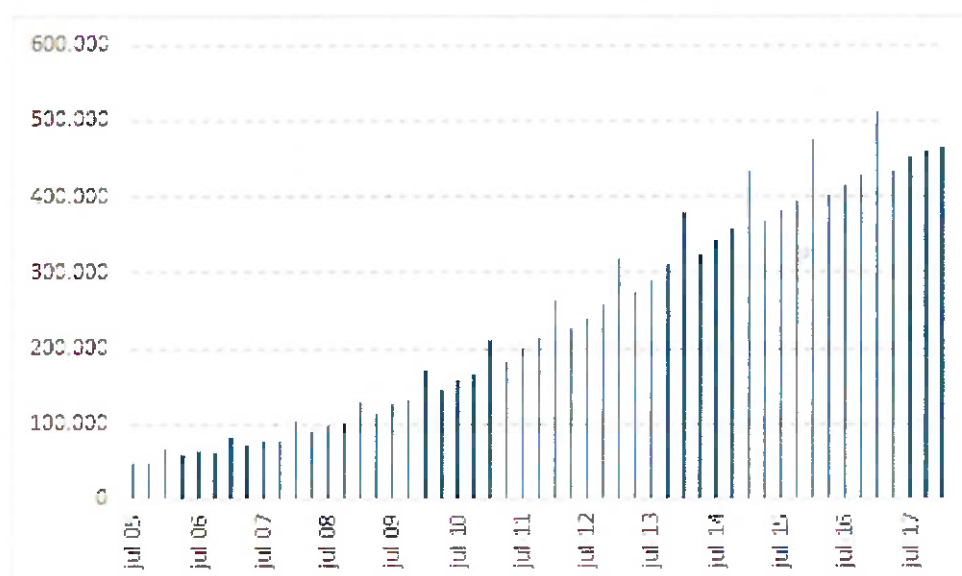


Figura 9: Crédito para o setor imobiliário na China, acumulado nos últimos 12 meses (100 milhões de Remimbi)

Fonte: National Bureau of Statistics of China (2018).

De acordo com dados do General Administration of Customs (2017), apresentados na Figura 10, as importações de minério de ferro pela China atingiram o patamar de 1.075 milhões de toneladas em 2017, um crescimento acumulado de mais de 197% em comparação com 2007. Contudo, é possível notar que apesar do alto valor absoluto de importações, esses valores estão crescendo a taxas muito mais baixas do que anteriormente. Uma boa comparação é analisar que em 2009 o crescimento de minério de ferro chegou a crescer cerca de 40% ao ano, enquanto que em 2018 a taxa de crescimento está próxima de zero (General Administration of Customs, 2017).

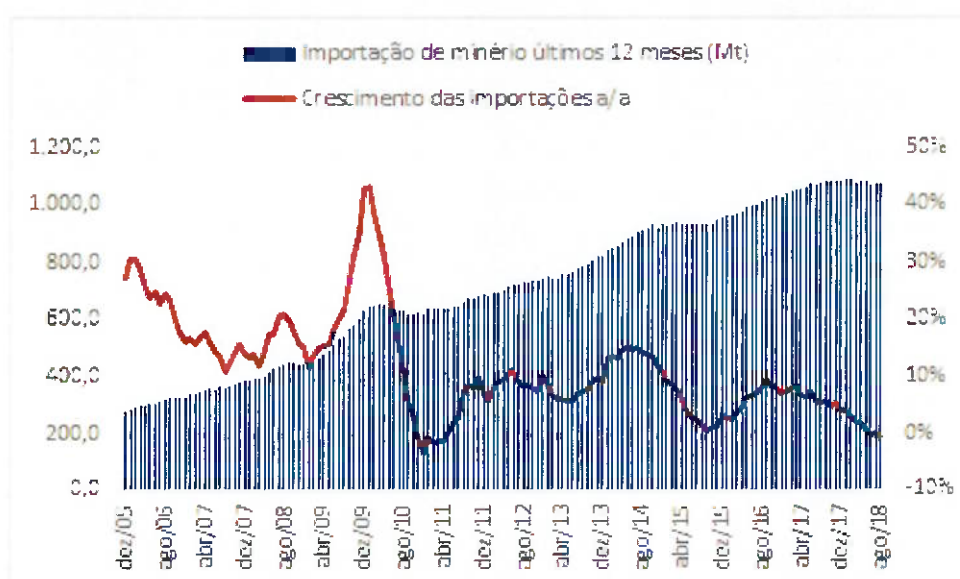


Figura 10: Importação histórica de minério de ferro pela China em milhões de toneladas  
Fonte: General Administration of Customs, 2018.

Essa desaceleração do crescimento chinês pode ser explicada por alguns fatores, entre eles: efeitos da crise financeira de 2008, resultando em uma redução do comércio global de uma forma geral, Governo chinês procurando migrar para uma economia de serviços ao invés de industrial, redução das taxas de natalidade e melhor qualificação da população, reduzindo a abundância de mão de obra barata, saturação de alguns mercados internos, como por exemplo o setor de construção civil em que a demanda por moradia, construção de rodovias e entre outros reduziu de forma acentuada, além de diversos outros fatores (YOUNG, 2017).

O impacto dessa dinâmica pode ser evidenciada nas projeções realizadas pela Wood Mackenzie (2018), empresa global de pesquisa e consultoria em vários setores, entre eles o de mineração.



Há a expectativa de redução da demanda por aço em diversos setores da China, como é possível observar na Figura 11, além da redução da participação chinesa no consumo global de aço (Figura 12), seguida por uma potencial ascensão da Índia (Wood Mackenzie, 2018).

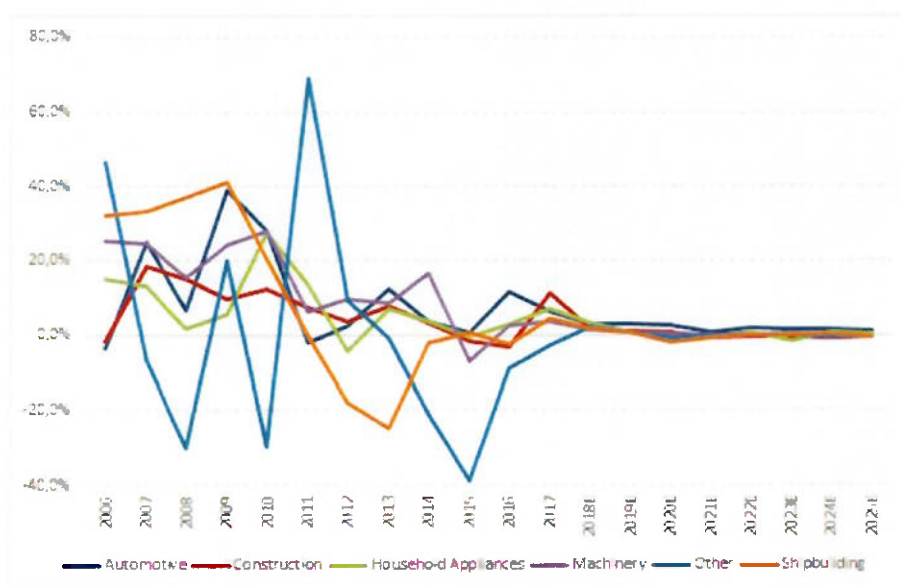


Figura 11: Crescimento do consumo de aço setorial na China  
Fonte: Wood Mackenzie, 2018.

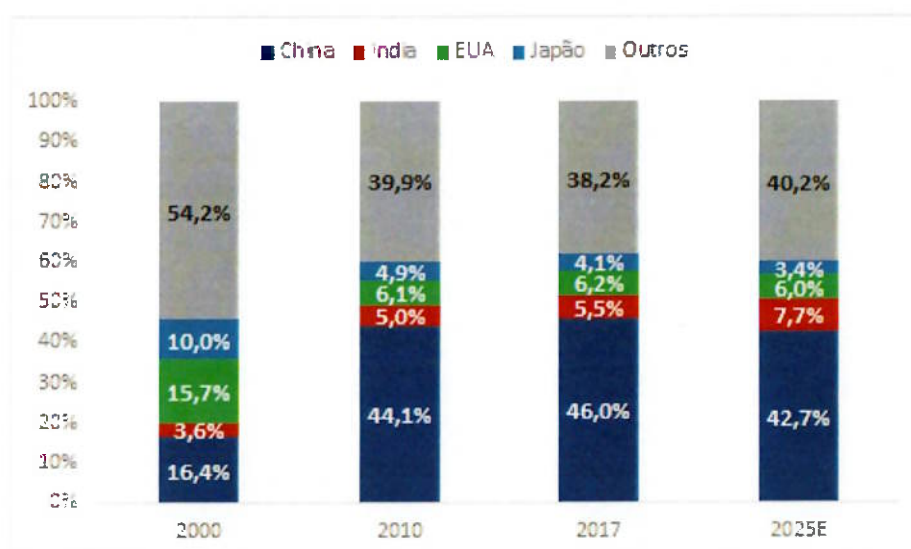


Figura 12: Consumo do aço global por país  
Fonte: Wood Mackenzie, 2018.

Outro fator extremamente relevante que tem se tornado uma questão muito importante na China e que vem afetando a demanda por minério de ferro é a crescente

preocupação com o meio ambiente, principalmente com relação a poluição atmosférica. O fato do país possuir muitas indústrias faz com que a quantidade de poluentes emitidos seja extremamente alta e em função disso, a China está implementando medidas para cortar a produção de aço por siderúrgica durante os meses de inverno com o intuito de melhorar a qualidade do ar. Cada província do país estabelece determinado percentual de corte de produção por siderúrgica, variando em função de como cada siderúrgica é classificada e quão severas serão as medidas do governo de cada província (YOUNG, 2017).

Em 2018, as suspensões de inverno serão baseadas nas emissões de poluentes de cada siderúrgica, na estrutura de transporte e no tipo de produto produzido. Por exemplo, em Tangshan, a maior cidade produtora de aço da China, o Governo local categorizou as siderúrgicas em 4 tipos: Tipo A é isento de cortes, B terá capacidade suspensão em 30%, C em 50% e D em 70% (ZHAO, 2018).

Em função desses cortes de produção, as siderúrgicas estão procurando por minérios de ferro de maior qualidade, pois produzem aços de melhores qualidades, consomem menos energia, geram menos poluentes e entre outros fatores, sendo os minérios de ferro de alta qualidade são em geral aqueles que possuem teor acima de 62% (YOUNG, 2017).

Como é possível observar na Figura 13, de acordo com informações divulgadas pela Vale S.A. no terceiro trimestre de 2018, a empresa é uma grande produtora de minério de alta qualidade, sendo que no terceiro trimestre de 2018, 79% das vendas de minério de ferro da empresa foram de produtos de alta qualidade (VALE, 2018).



Mix das vendas de minério de ferro (%)

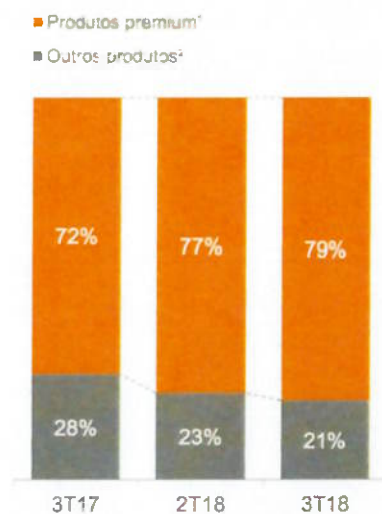


Figura 13: Mix de vendas de minério de ferro da Vale.  
Fonte: Vale, apresentação institucional 3T18.

Além disso, a Vale S.A. divulgou nos resultados do terceiro trimestre de 2018, como é possível notar na Figura 14, que o mercado atualmente de fato possui um maior interesse e procura por minério de alta qualidade, como é possível observar no aumento substancial do prêmio pago por produtos de maior qualidade. De acordo com o gráfico divulgado pela Vale S.A. em setembro de 2018, o prêmio pago foi de US\$ 23/t para o minério de teor acima de 62% de ferro em comparação com o minério de teor de 62% de ferro (VALE, 2018).

O portfólio de produtos da Vale está se beneficiando da tendência estrutural “flight to quality”

Prêmios e descontos (base diária)

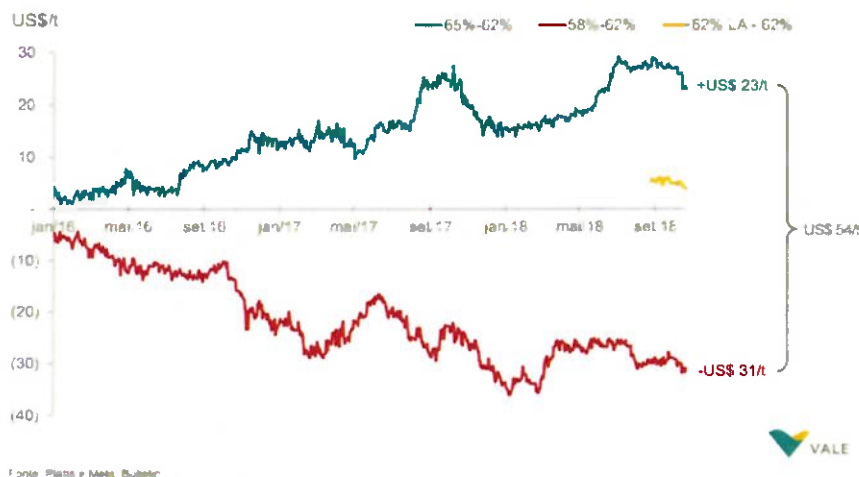


Figura 14: Prêmios e descontos diários em função do teor de minério.  
Fonte: Vale, apresentação institucional 3T18.

### 3.8. CONCEITOS ESTATÍSTICOS

Neste item será feita a revisão da literatura de conceitos estatísticos que serão aplicados ao longo deste trabalho para realizar uma análise quantitativa sobre a demanda futura de minério de ferro.

#### 3.8.1. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

De acordo com Correa (2003), o coeficiente de correlação de Pearson, mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica. Os valores do coeficiente podem variar de -1 até 1, sendo 1 variáveis totalmente correlacionados e -1 variáveis inversamente correlacionadas.

Correa (2003) define o coeficiente de correlação de Pearson como:

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] * [n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (1)$$

Onde:  $r$  = coeficiente de Pearson;  $n$  = número de observações;  $x_i$  = variável independente;  $y_i$  = variável dependente

#### 3.8.2. MODELO DE VETORES AUTOREGRESSIVOS

Segundo Lütkepohl (2017), a metodologia VAR (Vetores Autoregressivos) consiste em um modelo de séries temporais largamente empregado na análise da evolução e interdependência entre múltiplas séries temporais, sendo muito utilizada para a previsão de séries macroeconômicas. A grande diferenciação desse modelo consiste no fato de permitir considerar todas as variáveis como sendo endógenas (dependentes). De modo que os valores futuros de uma variável serão explicados pelos seus valores passados defasados no tempo e pelas outras variáveis do sistema.

Um modelo VAR pode ser expressado matematicamente da seguinte forma:

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + u_t, t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2)$$

Onde  $y_t$  é um vetor coluna com  $n$  variáveis endógenas;  $v$  é um vetor de constantes de dimensão  $n \times 1$ ,  $A_t$  são matrizes  $n \times n$ ,  $A$  é uma matriz  $n \times n$  de desvios padrões e  $u_t$  é um vetor  $n \times 1$  de termos de erros estocásticos não correlacionados entre si.

### **3.8.2.1. TESTE DE CAUSALIDADE DE GRANGER**

De acordo com Lütkepohl (2017), para aplicar o modelo de vetores autoregressivos é necessário verificar uma relação causal entre as variáveis analisadas e não somente um alto coeficiente de correlação.

Segundo Granger (1969), o teste de causalidade pode ser definido como: “a variável  $X$  causa a variável  $Y$ , com respeito a um dado universo de informação (que inclui  $X$  e  $Y$ ), se o presente de  $Y$  puder ser previsto mais eficientemente usando valores passados de  $X$ , do que não usando esse passado, com toda e qualquer outra informação disponível (incluindo os valores passados de  $Y$ ) sendo usada em ambos os casos”. A hipótese nula do teste consiste em dizer que  $X$  não causa granger em  $Y$  e só pode ser refutada caso a probabilidade de  $X$  não causar granger em  $Y$  for menor do que 5%. Logo, caso o teste resulte em uma probabilidade menor do que 5% pode-se dizer que a variável  $X$  possui uma relação causal com a variável  $Y$ . De acordo com Granger (1969), esse teste é necessário para determinar se de fato existe uma relação causal entre as variáveis estudadas.

### **3.8.2.2. NÚMERO DE DEFASAGENS**

Segundo Lütkepohl (2017), é preciso determinar o número de defasagens que será utilizado no modelo de vetores autoregressivos. O número de defasagens é basicamente a quantidade de períodos passados que serão considerados na determinação de um valor futuro para uma variável. Caso o número de defasagens seja 2 e o período das bases de dados trimestrais, então para determinar o valor futuro de uma variável no terceiro trimestre de 2010, poderão ser utilizados valores até o primeiro trimestre de 2010 para determinação do valor futuro dessa variável no terceiro trimestre de 2010.

De acordo com Akaike (1974), pode ser utilizado o critério de Akaike como um modo de determinar esse número de defasagens, sendo definido como:

$$A(p) = \ln|\Sigma p| + \frac{2k^2p}{T} \quad (3)$$

Onde: T é o número de observações; k é a dimensão das séries temporais, p o número estimado de defasagens e  $|\Sigma p|$  é a estimativa de covariância da matrix.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais e métodos utilizados para a elaboração desta pesquisa estão descritas a seguir.

##### **4.1. ANÁLISE QUALITATIVA**

Primeiramente procurou-se realizar uma revisão da literatura com o intuito de contextualizar o tema e apresentar dados recentes que ajudem a corroborar uma análise qualitativa sobre o assunto. Portanto, por meio da grande quantidade de informações apresentadas na revisão da literatura foi possível demonstrar qualitativamente uma tendência para o mercado de minério de ferro para os próximos anos.

##### **4.2. MODELO ESTATÍSTICO PARA PREVISÃO DE DEMANDA DE MINÉRIO DE FERRO NA CHINA**

Após uma análise qualitativa sobre o assunto, foi criado um modelo de projeção estatístico com o intuito de gerar um embasamento matemático para as análises anteriormente apresentadas. E desse modo, garantir maior assertividade na elaboração de uma tese sobre o assunto, pois os dados passados serão utilizados para determinar a tendência da demanda futura de minério de ferro na China.

###### **4.2.1. MODELO DE VETORES AUTOREGRESSIVOS**

Para criar-se esse modelo foi utilizado o software de análise estatística e econométrica, Eviews. Neste trabalho todas as bases de dados utilizadas foram montadas com valores trimestrais e no período entre o primeiro trimestre de 2010 e o primeiro trimestre de 2018. Esse período foi selecionado, pois é a partir de 2010 que os preços do minério de ferro começam a ser negociados nas bolsas de valores e portanto, passam a ter um valor com maior sensibilidade em função da demanda.

#### **4.2.2. SELEÇÃO DE VARIÁVEIS**

Para a criação do modelo de previsão de demanda, a principal variável considerada foi a importação de minério de ferro da China, pois é uma das melhores formas de se medir a demanda de uma *commodity* por um país. Portanto, no caso desta pesquisa, a demanda por minério de ferro foi analisada por meio das importações futuras estimadas de minério pela China.

Em um primeiro momento, as variáveis foram selecionadas com base nas referências analisadas para a composição deste trabalho e pela acessibilidade dos dados. Os dados selecionados para compor esta análise foram: (i) PIB da China, (ii) Produção de aço da China, (iii) Investimentos em ativos fixos da China, (iv) Crédito para investimentos no setor imobiliário chinês, (v) Preço do minério de ferro e (vi) Importação de minério de ferro da China. Outras variáveis que seriam importantes para a análise, mas que não foram encontradas bases de dados confiáveis eram: (i) Estoques de minério de ferro na China, (ii) Produção de aço por meio do uso da sucata de aço e (iii) Preço da sucata de aço no mercado chinês.

#### **4.2.3. TESTES DAS VARIÁVEIS E NÚMERO DE DEFASAGENS**

A partir da seleção dos dados foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson. De modo a verificar primeiramente quais variáveis apresentavam maior grau de correlação.

Após uma primeira determinação da correlação entre as variáveis foi feito o teste de causalidade de Granger com o intuito de determinar a relação causal entre as

variáveis para poder selecionar quais seriam usadas no modelo de vetores autoregressivos.

Para finalizar os requisitos básicos da construção do modelo foi aplicado o critério de Akaike com o intuito de determinar o número de defasagens a ser utilizado.

Por fim, com todos os requisitos verificados e com as bases de dados prontas, foi calculada a demanda futura de minério de ferro da China utilizando um modelo de vetores autoregressivos no *software* estatístico e econométrico, Eviews.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

É importante ressaltar que ao longo dos resultados e discussões serão apresentados dados e informações que foram citadas e apresentadas ao longo da revisão da literatura.

### **5.1. ANÁLISE QUALITATIVA**

Por meio da análise da grande quantidade de informações fornecidas ao longo da revisão da literatura é possível inferir algumas conclusões. O minério de ferro é uma *commodity* e portanto, varia em função da oferta e demanda. Desse modo, para entender como será a demanda futura por esse produto é necessário analisar as perspectivas dos seus compradores. Primeiramente, entender que 99% do minério de ferro (Gonçalves, 2010) é utilizado para produção de aço, logo, para entender como será o mercado de minério é preciso entender como será o mercado siderúrgico. Nesse caso, a China é responsável por consumir 49,2% da produção mundial de aço (World Steel, 2018), portanto, entender a situação da economia chinesa é o fator principal para se analisar esse mercado.

Após vários anos de forte crescimento econômico do país, como observado ao longo da revisão da literatura, a China começou a desacelerar o seu ritmo de crescimento em decorrência do fato de que atualmente o nível de urbanização aumentou de forma acentuada, assim como a infraestrutura, nível socioeconômico da população e o pelo

fato de a China estar em um estado de transição de um país em desenvolvimento para um país desenvolvido.

Ao longo de todo esse desenvolvimento, o consumo de aço e consequentemente, minério de ferro, aumentou de forma expressiva, passando de 36,3% em 2007 para 49,2% em 2017 (World Steel, 2018), pois havia uma grande necessidade dessa matéria-prima principalmente para a construção civil e produção industrial, decorrentes da instalação de diversas indústrias no país e do fato de ter ocorrido um processo de urbanização extremamente acelerado (taxa de urbanização no país aumentou de 35,9% em 2000 para 58% em 2018 (Nações Unidas, 2018), ocasionando em um forte aumento pela necessidade de aço.

Após vários anos investindo em maquinário e construção é natural o país atingir um certo grau de saturação em relação a esses ativos. Quando as cidades estão em crescimento é natural haver a necessidade de construir moradia, portos, aeroportos, estradas e entre outros. Porém, uma vez que as cidades já se estabilizaram, essa necessidade diminui. E isso é o que vem acontecendo com a China. Contudo, essa desaceleração no crescimento econômico do país não quer dizer que haverá uma redução no consumo de minério de ferro. Como é possível observar ao longo da revisão da literatura, há uma tendência de redução no aumento do crescimento da demanda do país, mas não uma redução do consumo.

Apesar da expectativa de que a demanda de minério de ferro crescerá de forma muito mais lenta, as perspectivas para o Brasil continuam sendo muito animadoras. Isso decorre em função do fato de que as reservas brasileiras são compostas de minério de altíssima qualidade, ou seja, alto teor de ferro e baixa quantidade de impurezas, sendo extremamente adequadas para um país como a China que atualmente visa reduzir o nível de poluição do país e melhorar sua qualidade de ar. Essa tendência global de consumo de minério de alta qualidade pelo fato de produzir um aço melhor mais facilmente e gerar menos poluentes, impacta positivamente o Brasil dado o fato de o país possuir minério de ferro de excelente qualidade, sendo uma vantagem competitiva extremamente vantajosa. Isso pode ser comprovado ao observar os resultados divulgados pela Vale S.A. que mostram que em setembro de 2018 estava

sendo pago um prêmio de 23 dólares por tonelada de minério de ferro de teor acima de 62% de ferro em comparação com o minério padrão de 62% de teor de ferro.

De uma forma geral, apesar de a expectativa ser de uma redução no crescimento da demanda de minério de ferro pela China, o Brasil continua sendo um país muito bem posicionado para esse mercado em função de possuir reservas de minério de ferro de excelente qualidade, sendo portanto, um país que muito provavelmente será crescentemente beneficiado em função do objetivo do Governo Chinês em reduzir a poluição do país.

## **5.2. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON**

Por meio do estudo das diversas referências analisadas ao longo deste trabalho, foram selecionadas algumas variáveis que possuem maior probabilidade de serem fatores determinantes da demanda de minério de ferro. É importante ressaltar que neste exercício a importação de minério de ferro da China foi utilizada como uma aproximação da demanda de minério chinês. As variáveis selecionadas para o cálculo do coeficiente foram: (i) PIB da China, (ii) Produção de aço, (iii) Investimento em ativos fixos, (iv) Crédito para investimentos no mercado imobiliário, (v) Preço do minério de ferro. No caso todas as bases de dados foram consideradas do primeiro trimestre de 2010 até o primeiro trimestre de 2018, sendo que as informações sobre importação de minério de ferro da China foram extraídas do General Administration of Customs, o PIB e o preço do minério foram extraídos da Bloomberg e a produção de aço, investimento em ativos fixos e crédito para investimentos no mercado imobiliário foram extraídos do *National Bureau of Statistics of China*. Todas essas informações foram extraídas em julho de 2018.



Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson.

Variável	Importação de minério de ferro
PIB China	0,97
Produção de aço	0,97
Investimento em ativos fixos	0,90
Crédito para investimento em ativos fixos	0,84
Preço do minério de ferro	-0,87

Fonte: Elaboração própria (Julho de 2018).

Como é possível observar na Tabela 4, essas variáveis de fato possuem um alto grau de correlação com a importação de minério de ferro, em especial o PIB e a produção de aço que apresentam coeficientes muito próximos de 1. A correlação é negativa no caso do preço do minério de ferro em função do fato de que quanto maior o preço menor a demanda (importação) e vice-versa.

### 5.3. TESTE DE CAUSALIDADE DE GRANGER

O Eviews é um *software* que permite aplicar o teste de causalidade de Granger nas bases de dados selecionadas. O resultado desse teste é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Teste de causalidade de Granger.

Hipótese Nula	Probabilidade
PIB da China não causa Granger na importação de minério de ferro	0,0149
Crédito para o setor imobiliário não causa Granger na importação de minério de ferro	0,0200
Investimento em ativo fixo não causa Granger na importação de minério de ferro	0,0884
Preço do minério de ferro não causa Granger na importação de minério de ferro	0,8023
Produção de aço não causa Granger na importação de minério de ferro	0,0974

Fonte: Elaboração própria (2018).

Por meio desse teste é possível notar que apenas o PIB da China e fontes de crédito para o mercado imobiliário que apresentam probabilidade menores que (0.05) quando comparados com a importação de minério de ferro, sendo portanto as únicas variáveis que refutam a hipótese nula do teste de Granger. Desse modo, essas serão as variáveis selecionadas para a criação do modelo de vetores autoregressivos, pois são as únicas que de fato apresentam uma relação causal com a importação de minério de ferro.

#### 5.4. NÚMERO DE DEFASAGENS

O número de defasagens foi calculado com base nos critérios de Akaike , sendo que como é possível observar na Figura 15, o critério de Akaike corresponde a coluna "AIC" da Figura 15, sendo que essa coluna possui um asterisco, sendo essa a forma do programa informar que esse é o número selecionado de defasagens pelo critério selecionado. Desse modo, a determinação dos valores futuros das variáveis será feita com base nos valores passados de até 2 períodos. Por exemplo: a determinação dos valores do quarto trimestre de 2018 será feita utilizando valores de até o segundo trimestre de 2018.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-1425.309	NA	1.11e+34	95.42057	95.70081	95.51022
1	-1268.198	240.9028	3.65e+30	87.34653	89.30821	87.97409
2	-1137.674	147.9277*	9.17e+27*	81.04491*	84.68802*	82.21037*

\* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Figura 15: Determinação do número de defasagens

Fonte: Eviews

#### 5.5. MODELO DE VETORES AUTOREGRESSIVOS

O modelo de vetores autoregressivos foi construído utilizando três bases de dados históricas: (i) importação de minério de ferro da China, (ii) PIB chinês e (iii) Crédito para o mercado imobiliário na China. Foram selecionadas 2 defasagens e o período de análise foi do primeiro trimestre de 2010 até o segundo trimestre de 2018, sendo assim feita uma projeção para os próximos 5 anos a partir do segundo trimestre de 2018 com relação a demanda de minério de ferro da China. A Figura 16 mostra o resultado da projeção em milhões de toneladas de minério de ferro por ano.

### Importação de minério de ferro

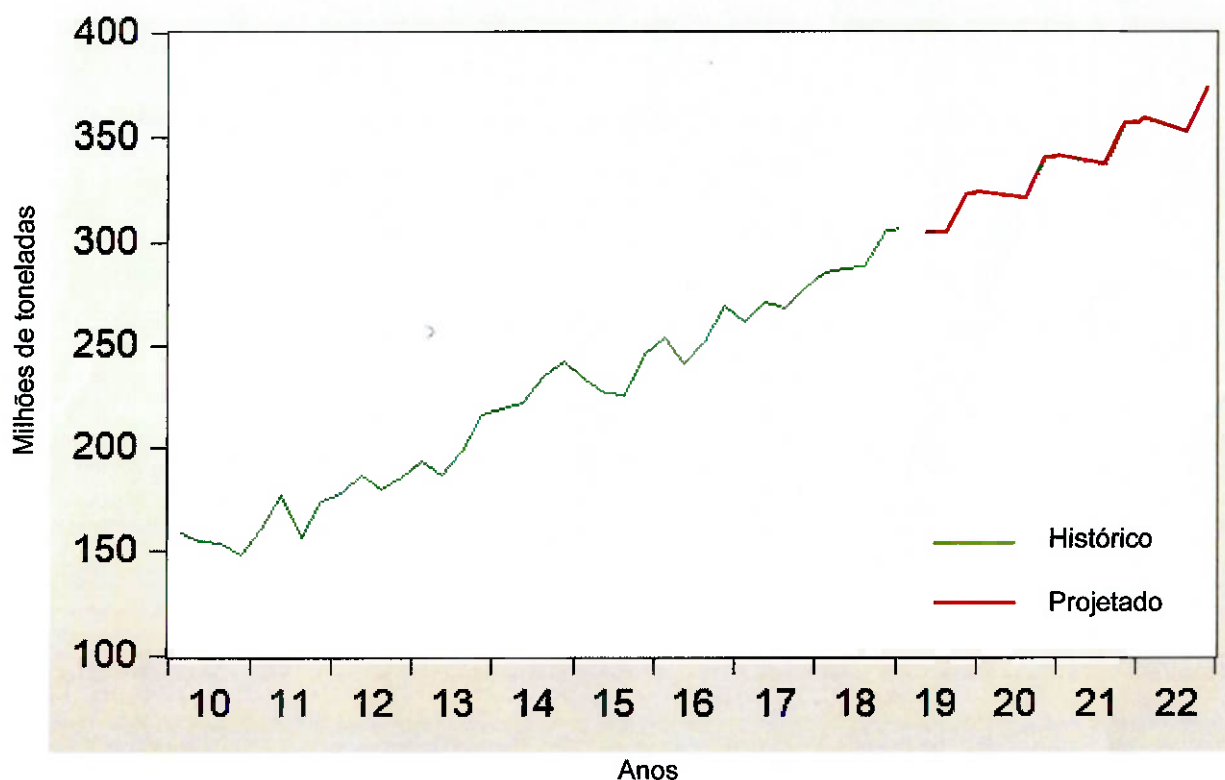


Figura 16: Projeção das importações futuras de minério de ferro da China em milhões de toneladas por trimestre.

Fonte: Eviews

O resultado dessa projeção é que se espera uma demanda por minério de ferro de 1.440 milhões de toneladas em 2022, o que representaria um crescimento de cerca de 5,9% ao ano para os próximos 5 anos.

Desse modo, esse resultado observado apenas corrobora a análise qualitativa anteriormente apresentada, demonstrando que a tendência desse mercado é de

crescimento para os próximos anos, do ponto de vista de demanda pela China. É importante ressaltar que esse modelo tem como intuito mostrar qual a tendência desse mercado, não esperando de fato prever com uma alta precisão a demanda futura. Isso porque o minério de ferro é uma *commodity* na qual a oferta possui uma resposta muito lenta em função de um aumento na demanda, pois não é possível expandir a produção de minério de forma expressiva em um curto intervalo de tempo devido ao fato de os projetos de mineração demorarem anos para entrar em operação. Além de que muitos outros fatores que influenciam na demanda desse produto, como apresentados anteriormente não foram considerados no caso deste trabalho em função da dificuldade no acesso à informação, como por exemplo, outras variáveis como o preço da sucata de aço, estoques de aço na China e entre outros.

## 6. CONCLUSÕES

A China continuará sendo a líder global de consumo de minério de ferro nos próximos anos, sendo sozinho o país responsável por consumir mais da metade da produção mundial dessa *commodity* e sendo portanto, o fator determinante da perspectiva futura desse mercado.

Atualmente esse país está passando por um momento de desaceleração do ritmo de crescimento, impactando de forma geral o desempenho de diversas indústrias, inclusive da siderurgia, o principal comprador de minério de ferro. Contudo, essa desaceleração não está provocando uma redução no consumo, mas apenas uma redução na taxa de crescimento da demanda, ou seja, o consumo ainda cresce, mas em um ritmo menor. Desse modo, é possível esperar que a demanda por minério de ferro continue crescendo mas em taxas muito mais baixas.

Dentro desse contexto, o Brasil está bem posicionado nesse mercado, pois apesar de o crescimento esperado para os próximos anos ser menor, a tendência é que o consumo chinês aumente cada vez mais em direção à um minério de ferro de maior qualidade, produto cuja demanda está aumentando de forma significativa ao longo dos últimos anos pelo fato de gerar uma quantidade de poluentes muito menor, sendo a redução da poluição um dos grandes focos do Governo chinês na atualidade e nesse sentido, o Brasil é um país estratégico no fornecimento dessa matéria prima pelo fato de ser um dos poucos a possuir grandes reservas de minério de ferro de alta qualidade e portanto, ser um dos países com perspectivas mais positivas e animadoras para os próximos anos.

## 7. REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. 1974
- BTG Pactual. LatAm Metals & Mining Iron Ore Handbook. Iron ore Handbook: From bust to boom. São Paulo, 2018.
- BUSINESS INSIDER. China's top steel city outlines winter output cuts, seen more lenient than last year. 2018. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/r-chinas-top-steel-city-outlines-winter-output-cuts-seen-more-lenient-than-last-year-2018-10>
- CETEM. Introdução ao tratamento de minérios. Rio de Janeiro. 2010.
- CORREA, S.M. Probabilidade e Estatística. Minas Gerais. 2003
- CUNHA, André Moreira. Impactos da Ascensão da China Sobre a Economia Brasileira: Comércio e Convergência Cíclica. Revista Economia Contemporânea, Rio de Janeiro. 2011.
- DAI, A. China Basic Material Sector. DBS Bank, 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, DNPM. Sumário Mineral 2016.
- DONG-MEI, L.; GUO-DONG, L. Prediction of Xinjiang Iron and Steel Production Based on VAR Model and Analysis of Its Influencing Factors. Changsha, 2018.
- ENDERS, W. Applied econometric time series. 2004
- GAGGIATO, V. C. A Competitividade no Mercado Transoceânico de Pelotas de Minério de Ferro, seus Delineadores e o Posicionamento dos Integrantes deste Mercado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- GOMES, T.M. Impacto das propriedades das pelotas de minério de ferro no processo de produção de gusa no alto-forno. Seminário de redução de minério de ferro e matérias-primas. Espírito Santo, 2015.
- GONÇALVES, C.A. Ferro/Aço. Departamento Nacional de Produção Mineral, DNPM. 2010.
- Granger, C.W.J. Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. Econometrica. 1969.

- HARRIS, R. I. D. Using cointegration analysis in econometric modelling. Londres, 1995
- HEIDER, M. Cenários de produção para o minério de ferro no Brasil em 2030. Mineartigo, acessado em setembro de 2018 ([www.inthemine.com.br](http://www.inthemine.com.br))
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, IBRAM. Informações e análises da economia mineral brasileira. 7ª edição. 2012
- LÜTKEPOHL, H. New Introduction to Multiple Time Series Analysis. Alemanha, 2017.
- LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C. Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2010.
- LOURÃO, M.B. Introdução à Siderurgia. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.
- LOURÃO, J. M. Estudo prospectivo do setor siderúrgico: NT minério de ferro e pelotas situação atual e tendências 2025. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.
- NATIONAL BUREAU OF STATISTICS OF CHINA. Quarterly and Monthly data, acessado em julho de 2018 (<http://data.stats.gov.cn/english/>)
- NONNENBERG, M.J. China: Estabilidade e crescimento econômico. Revista de Economia Política, vol. 30, pp. 201-218, 2010.
- QUARESMA, F.L. Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 – 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. Ministério de Minas e Energia, 2009.
- SAVIN, N. E.; White, K. J. The Durbin-Watson Test For Serial Correlation With Extreme Sample Sizes Or Many Regressors. Econometrica, v. 45. 1977.
- SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. 1978
- SOUZA, G. S. A dinâmica do mercado transoceânico de minério de ferro; evolução histórica e perspectivas do ano 2000. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1991. (Dissertação, Mestrado em Geociências).
- UNITED NATIONS. Desa/Population Division, acessado em setembro de 2018 (<https://population.un.org/wup/Download/>).
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Iron Ore Statistics and Information, acessado em setembro de 2018 ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)).

VALE. Apresentação institucional 3T18, acessado em novembro de 2018 ([www.vale.com](http://www.vale.com))

YOUNG, L.E. Regional Steel Companies, DBS Bank. 2017

WOOD MACKENZIE. Global iron ore long-term outlook Q3 2018. 2018.

WORLD STEEL ASSOCIATION. World Steel in Figures 2018, acessado em setembro de 2018 ([www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org)).

ZHAO, M. Weekly theme: Differentiated winter cuts; steel and aluminum cuts loosening. China, 2018.