

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**

MARCEL PEREZ VOGT

**Mercado de minério de ferro brasileiro de 1995 a 2014:
identificação e análise de fatores de influência na precificação.**

**Lorena
2015**

Marcel Perez Vogt

**Mercado de minério de ferro brasileiro de 1995 a 2014:
identificação e análise de fatores de influência na precificação.**

Trabalho de Graduação apresentado à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Engenheiro de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Frederico
Bernardo Lenz e Silva

Lorena
2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha Catalográfica Elaborada pela Biblioteca Especializada em Engenharia de Materiais USP/EEL.

Vogt, Marcel Perez
Mercado de minério de ferro brasileiro de 1995 a 2014: identificação e análise de fatores de influência na precificação. / Marcel Perez Vogt; orientador Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva. - Lorena, 2015.
66 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia de Materiais - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2015
Orientador: Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva

1. Minério. 2. Ferro. 3. Microeconomia. 4. Mercado. 5. Preço. I. Título. II. Frederico Bernardo Lenz e Silva, Guilherme, orient.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva pela orientação e apoio para elaboração deste trabalho.

Agradeço a meus pais Heinz e Cristina, minhas irmãs Barbara e Amalie, minha avó Miriam e a minha namorada Tiemy pelo suporte e incentivo em todos os momentos.

Agradeço aos professores e funcionários da Escola de Engenharia de Lorena pela contribuição direta ou indireta a minha formação acadêmica.

Agradeço aos companheiros de República pelos anos de convivência, crescimento e diversão.

RESUMO

VOGT, M. P. **Mercado de minério de ferro brasileiro de 1995 a 2014: identificação e análise de fatores de influência na precificação**. 2015. 66 p. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

O presente texto visa estudar o mercado brasileiro de minério de ferro e suas variações de preços durante o período de 20 anos de 1995 a 2014. O Brasil possui a segunda maior reserva de minério de ferro e é o terceiro maior produtor de minério de ferro do mundo. O minério de ferro representa aproximadamente 60% da produção mineral do país e quase 90% de sua produção é destinada ao comércio internacional. O maior e mais antigo produtor brasileiro, a Vale, é o maior exportador de minério de ferro do mundo e apresenta papel fundamental no mercado internacional. O minério de ferro é a principal matéria prima para a indústria de aço e a produção siderúrgica está diretamente relacionada a crescimento econômico e é afetada por flutuações, eventos e recessões econômicas.

Primeiramente, descreve-se a distribuição de reservas no Brasil e do mundo, a cadeia produtiva e as mais importantes companhias brasileiras. Apresenta-se a cadeia produtiva do aço e os mais importantes produtores. Então, teorias econômicas relevantes são apresentadas, como a microeconomia e a teoria dos preços. A história econômica ao longo do período proposto e os mecanismos de precificação do minério de ferro são estabelecidos.

Considerando o exposto, variáveis relevantes são selecionadas e quantificadas. O método da regressão linear é utilizado para verificar e avaliar a relação entre as variáveis e a variação de preço do minério de ferro no período proposto. Três modelos matemáticos são propostos e os resultados mostram que as variáveis podem ser consideradas como explanatórias para variação dos preços. Porém, os modelos propostos devem ser estudados com mais profundidade para o desenvolvimento de um modelo de explicação mais completo.

ABSTRACT

VOGT, M. P. **Brazilian iron ore market from 1995 to 2014: identification and analysis of influence factors on pricing.** 2015. 66 p. Monograph (Undergraduate Work in Materials Engineering) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

The current text aims to study the Brazilian iron ore market and its pricing variations along the period of 20 years from 1995 to 2014. Brazil has the second largest iron ore reserve and is the third largest producer of the world. Iron ore represents approximately 60% of the country's mineral production and almost 90% of its production is destined to international trade. Brazil's oldest and largest producer Vale is the world's largest iron ore exporter and presents major role in international market. Iron ore is the most important raw material for steel industry and the steel production is directly related to economic growth and it is affected by economic fluctuations, events and recessions.

Firstly, it describes the reserves distribution across Brazil and the world, the production chain and the most important Brazilian iron ore companies. It presents the steel production chain and the most important producers and consumers. Then, relevant economic theories are presented, such as microeconomics and the price theory. Economic history along the period proposed and iron ore pricing mechanisms are established.

Considering the exposed, relevant variables were selected and quantified. Linear regression method is used in order to verify and evaluate relation between the variables and the iron ore price variation along the period proposed. Three mathematical models were proposed and the results show that the variables can be considered as explanatory for price variations. However, the models proposed shall be studied with depth for a more complete explanation model development.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reservas mundiais de minério de ferro por país, 2014.	17
Tabela 2 - Produção mundial de aço bruto, 2013.	27
Tabela 3 - Produção brasileira de aço bruto por empresa, 2013.	28
Tabela 4 - Resumo de variáveis independentes.	42
Tabela 5 - Resultados da regressão linear simples – Modelo 1.	44
Tabela 6 - Ajuste do modelo 1.	44
Tabela 7 - Coeficiente de correlação do modelo 1.	45
Tabela 8 - Análise de variância do modelo 1.	45
Tabela 9 - Ajuste do modelo 2.	46
Tabela 10 - Coeficiente de correlação do modelo 2.	46
Tabela 11 - Análise de variância modelo 2.	46
Tabela 12 - Resultados da regressão linear simples - Modelo 3 - 1995 a 2008. ..	48
Tabela 13 - Resultados da regressão linear simples - Modelo 3 - 2009 a 2014. ..	48
Tabela 14 - Ajuste do modelo 3.	49
Tabela 15 - Coeficiente de correlação do modelo 3.	49
Tabela 16 - Análise de variância do modelo 3.	50
Tabela 17 - Dados	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Quadrilátero Ferrífero (MG).	15
Figura 2 - Mapa da Serra dos Carajás (PA).	16
Figura 3 - Produção brasileira de aço bruto	28
Figura 4 - Curva de Oferta	32
Figura 5 - Curva de Demanda.....	32
Figura 6 - PIB da China.....	35
Figura 7 - Comparação <i>The Steel Index</i> e preço de exportação.....	37
Figura 8 - Preço médio anual de petróleo.	38
Figura 9 - Variação de preço médio anual de exportação de minério de ferro.....	47
Figura 10 - Gráfico de dispersão PxA - Modelo 1.	58
Figura 11 - Gráfico de dispersão PxB - Modelo 1.	58
Figura 12 - Gráfico de dispersão PxC - Modelo 1.	59
Figura 13 - Gráfico de dispersão PxD - Modelo 1.	59
Figura 14 - Gráfico de dispersão Px E - Modelo 1.	60
Figura 15 - Gráfico de dispersão PxF - Modelo 1.....	60
Figura 16 - Gráfico de dispersão PxA - Modelo 3 - 1995 a 2008.	61
Figura 17 - Gráfico de dispersão PxB - Modelo 3 - 1995 a 2008.	61
Figura 18 - Gráfico de dispersão PxC - Modelo 3 - 1995 a 2008.	62
Figura 19 - Gráfico de dispersão PxD - Modelo 3 - 1995 a 2008.	62
Figura 20 - Gráfico de dispersão Px E - Modelo 3 - 1995 a 2008.	63
Figura 21 - Gráfico de dispersão PxF - Modelo 3 - 1995 a 2008.....	63
Figura 22 - Gráfico de dispersão PxA - Modelo 3 - 2009 a 2014.	64
Figura 23 - Gráfico de dispersão PxB - Modelo 3 - 2009 a 2014.	64
Figura 24 - Gráfico de dispersão PxC - Modelo 3 - 2009 a 2014.	65
Figura 25 - Gráfico de dispersão PxD - Modelo 3 - 2009 a 2014.	65
Figura 26 - Gráfico de dispersão Px E - Modelo 3 - 2009 a 2014.	66
Figura 27 - Gráfico de dispersão PxF - Modelo 3 - 2009 a 2014.....	66

LISTA DE ABREVIACOES

BHP	<i>Broken Hill Proprietary</i>
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
CNI	Confederao Nacional da Indústria
CFR	<i>Cost and Freight</i>
DNPM	Departamento Nacional de Produo Mineral
DRI	<i>Direct Reduced Iron</i>
FMG	<i>Fortescue Metals Group</i>
FMI	Fundo Monetário Internacional
IABR	Instituto Aço Brasil
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
PPC	Perda por calcinao
PIB	Produto Interno Bruto
PNI	Programa Nacional de Desestatizao
ROM	<i>Run of Mine</i>
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
TSI	<i>The Steel Index</i>
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WSA	<i>World Steel Association</i>

SUMÁRIO

1. Introdução	14
1.1. Minério de Ferro	14
1.2. Aço	24
2. Visão Econômica	30
2.1. Microeconomia	30
2.2. Economia Brasileira: 1995 - 2014.....	33
2.3. Precificação do Minério de Ferro.....	35
3. Metodologia.....	39
4. Resultados e Discussão.....	43
4.1. Regressão Linear Múltipla.....	43
5. Conclusão.....	51
Referências.....	52
Anexo A - Tabela de dados	57
Anexo B - Gráficos de dispersão - Modelo 1	58
Anexo C - Gráficos de dispersão - Modelo 3	61

1. Introdução

O presente trabalho tem como objetivo identificar e analisar fatores que determinaram e influenciaram a precificação de minério de ferro brasileiro ao longo do período de 1995 a 2014. O período proposto de 20 anos precedentes a este texto contempla uma série de mudanças expressivas no contexto nacional e internacional nos seguintes âmbitos: exploração de minério de ferro, produção siderúrgica e economia mundial.

1.1. Minério de Ferro

Com o objetivo de caracterizar o setor de exploração de minério de ferro, o presente tópico descreve a ocorrência e distribuição de reservas no Brasil e no mundo, as principais etapas do processo produtivo e aglomeração do minério de ferro para aplicação final, as principais empresas responsáveis pela exploração e produção no Brasil e no mundo e, por fim, os principais setores de consumo.

Segundo Chaves (2002), a mineração é uma atividade cujos objetivos são: descoberta dos recursos minerais presentes no solo, o transporte do mineral até a superfície e, por fim, tratamento do mineral para utilização na indústria. Takehara (2004) afirma que a exploração de minério de ferro é função de uma correlação entre fatores econômicos, geológicos e técnicos, além da rota de produção do aço. Consideram-se fatores como tipo do minério de ferro disponível, beneficiamento, preparação da matéria-prima para processo siderúrgico, infraestrutura regional e mercado consumidor.

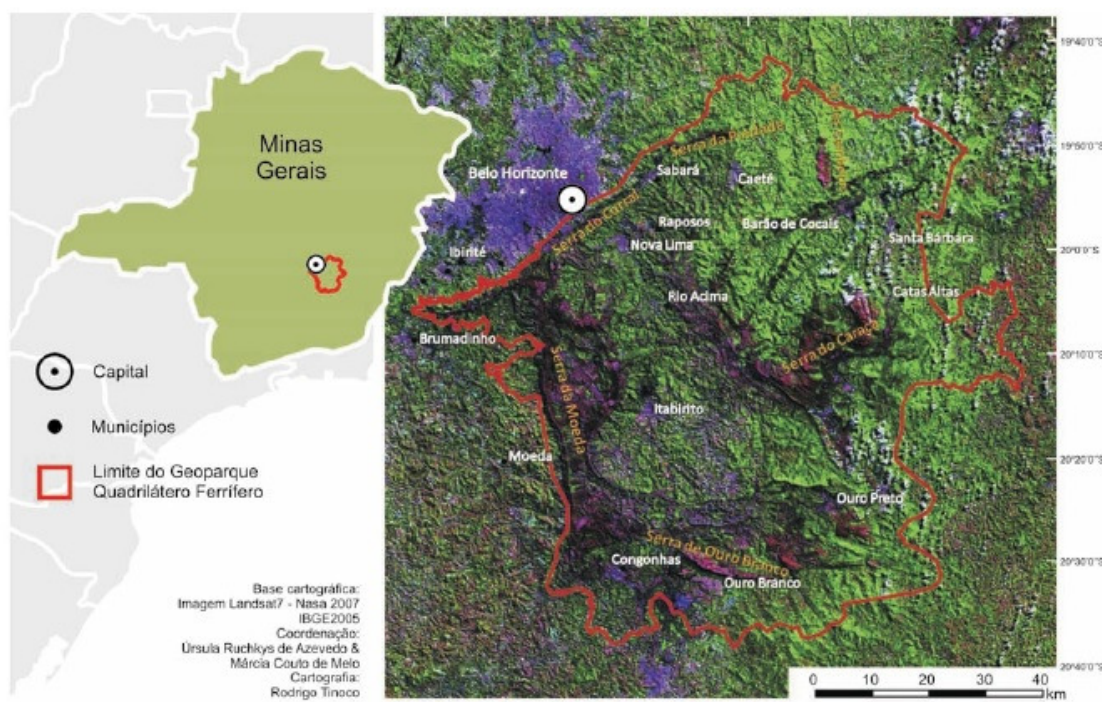
1.1.1. Ocorrência

O ferro é o quarto elemento mais abundante do planeta e compõe cerca de 5% da crosta terrestre, apresentando-se em teores detectáveis em mais de 400 minerais, segundo Chemale Júnior e Takehara (2013). Dentre os minerais economicamente exploráveis, destacam-se hematita, magnetita e goethita. A hematita tem a composição química de Fe_2O_3 , com teor de 69,94% de ferro, e trata-se do mineral de ferro de maior ocorrência. A composição química da

magnetita é Fe_3O_4 , apresentando teor de 72,36% de ferro. A goethita tem como fórmula química $\text{FeO}(\text{OH})$ e teor de ferro de 62,85%.

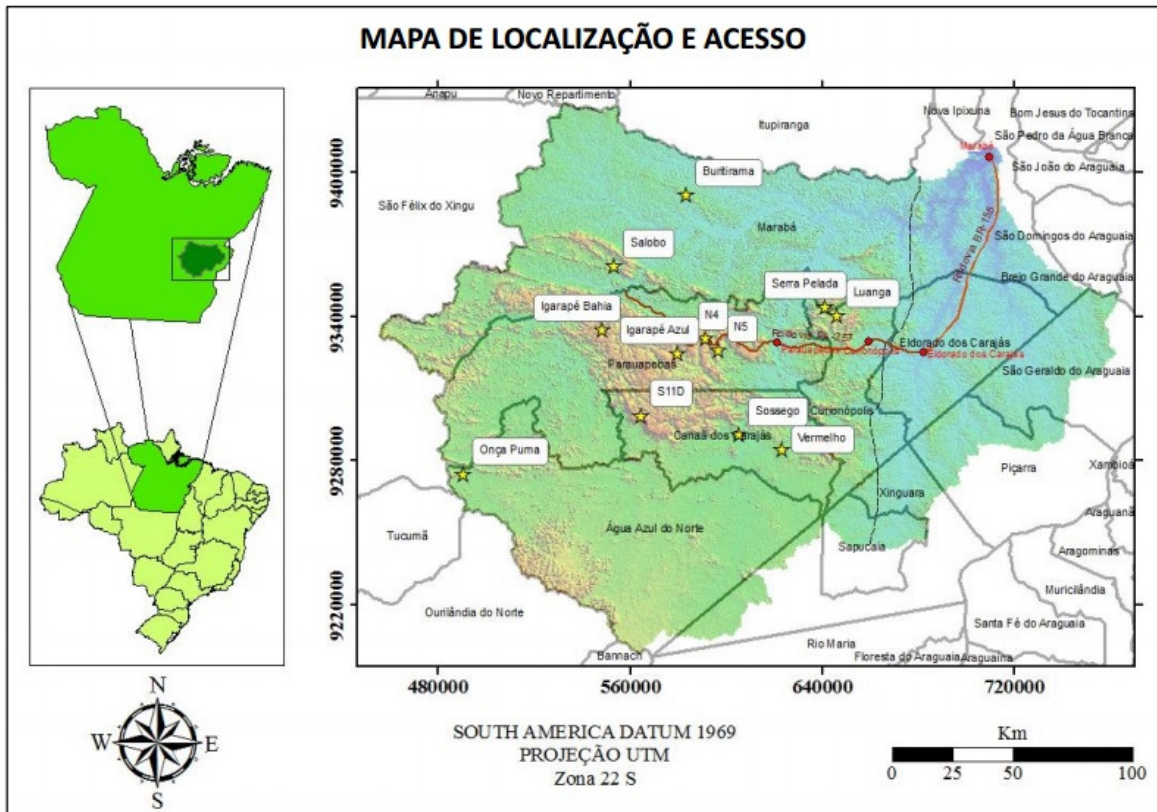
Chemale Júnior e Takehara (2013) descrevem que, no Brasil, a hematita (Fe_2O_3) tem ocorrência predominante e a magnetita (Fe_3O_4) ocorre de forma secundária. Dois dos principais depósitos de minério de ferro da América do Sul estão localizados no território brasileiro: o Quadrilátero Ferrífero (figura 1), no estado de Minas Gerais, e a Serra dos Carajás (figura 2), no estado do Pará. No Quadrilátero Ferrífero, o minério de ferro explorado é comercialmente denominado principalmente de hematita e itabirito. O itabirito se apresenta em bandas de hematita (Fe_2O_3) e magnetita (Fe_3O_4) alternadas com quartzo (SiO_2) ou dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), dentre outros componentes, com teor de ferro médio de até 55%. A hematita (Fe_2O_3) é encontrada em formas de lentes, em meio às camadas de itabirito, com teor de ferro superior a 64%. Na Serra dos Carajás, o minério de ferro se apresenta em bandas alternadas de hematita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2), além de pequena fração de magnetita (Fe_3O_4) e goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$).

Figura 1 - Mapa do Quadrilátero Ferrífero (MG).



Fonte: AZEVEDO ET AL, 2012.

Figura 2 - Mapa da Serra dos Carajás (PA).



Fonte: ALMEIDA, 2013.

Em 2014, conforme publicado por United States Geological Survey (2015), as reservas brasileiras foram estimadas em 31 bilhões de toneladas de minério de ferro, volume inferior somente às reservas da Austrália, projetadas em 53 bilhões de toneladas de minério de ferro. Apenas quatro países, Austrália, Brasil, Rússia e China, apresentam cerca de 70% das reservas mundiais. A tabela 1 indica os países detentores das maiores reservas do mundo.

O minério brasileiro apresenta teor médio de ferro estimado em 52%, superior a grandes produtores, como a China, cujo minério apresenta teor médio de 31% de ferro (USGS, 2015). Segundo Quaresma (2009), apenas três estados concentram a maior parte das jazidas de minério de ferro brasileiras: 66% das reservas nacionais estão localizadas no estado de Minas Gerais, 24% no estado do Pará e 9% no estado do Mato Grosso do Sul. O 1% restante está distribuído em 10 estados: Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Goiás, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Norte e São Paulo.

Tabela 1 - Reservas mundiais de minério de ferro por país, 2014.

País	Reservas (bilhões de toneladas)	Ferro contido (bilhões de toneladas)
Austrália	53,0	23,0
Brasil	31,0	16,0
Rússia	25,0	14,0
China	23,0	7,2
Índia	8,1	5,2
Estados Unidos	6,9	2,1
Ucrânia	6,5	2,3
Canadá	6,3	2,3
Suécia	3,5	2,2
Irã	2,5	1,4
Cazaquistão	2,5	0,9
África do Sul	1,0	0,7
Outros países	18,0	9,5
Total (aproximado)	190,0	87,0

Fonte: USGS, 2015.

1.1.2. Processo Produtivo

Conforme descrito por Takehara (2004), após extração, o minério bruto, também chamado de *run of mine* (ROM), é beneficiado, passando por processos de cominuição e classificação por tamanho e até etapas de concentração, de acordo com suas características iniciais e com a sua aplicação final. O beneficiamento de minérios é realizado por uma sequência de operações unitárias, classificadas por Chaves (2002) como operações de cominuição, de concentração e auxiliares. As operações de cominuição visam reduzir, adequar e homogeneizar o tamanho do minério por meio de sucessivos estágios de britagem e moagem, que são auxiliadas por operações de separação de tamanhos por meio de peneiras e classificadores. As operações de concentração têm como objetivo a separação de espécies minerais considerando-se as propriedades físicas de cada espécie, como forma, densidade, propriedades magnéticas e

propriedades da superfície da partícula. As operações auxiliares correspondem a transporte, homogeneização, filtragem, espessamento, secagem e estocagem.

De acordo com Mourão (1986) minério de ferro beneficiado pode ser classificado em três tipos de acordo com a sua granulometria e aplicação básica: o granulado ou *lump* apresenta tamanho de grão médio entre 8 a 50 mm e pode ser aplicado diretamente no processo siderúrgico de redução; o intervalo de 0,15 a 8 mm compreende o chamado *sinter feed*, que é utilizado para produção de sinter; e abaixo de 0,15 mm encontra-se o *pellet feed*, utilizado para produção de pelotas.

Segundo Takehara (2004), a sinterização consiste na aglomeração de mistura homogênea de *sinter feed* e aditivos, que visa o aproveitamento de finos de minério, produzindo o sinter, com redutibilidade elevada e resistência mecânica adequada, além de otimizar a produção de ferro-gusa no alto-forno. Viera et al (2003) afirmam que a composição química ideal do *sinter feed* é estabelecida em função de sua aplicação, havendo controle dos teores de componentes que afetarão a composição do sinter e do ferro-gusa, tais como: SiO_2 , Al_2O_3 , P, Mn, K_2O , Na_2O e perda por calcinação (PPC). De uma forma geral, deseja-se utilizar minério com teores elevados de ferro e conteúdo mínimo de impurezas.

Fundentes são adicionados ao *sinter feed* com a finalidade de escorificar as impurezas presentes no minério, conforme descrito por Takehara (2004). No processo de sinterização, a escória forma uma matriz que promove maior coesão entre os grãos de minério e, conseqüentemente, maior resistência mecânica. Os principais fundentes utilizados são calcário e dolomita, cuja granulometria deve ser próxima a do minério. Finos de coque são utilizados como combustíveis, atuam como fornecedores do calor necessário ao processo e promovem a permeabilidade da mistura, formando poros a medida em que são queimados. O forno de sinterização é carregado com a mistura homogênea de minério e aditivos. O coque entra em combustão, elevando a temperatura a até 1400°C , possibilitando a semifusão e aglomeração do material carregado. O material é resfriado e, posteriormente, britado e classificado.

De acordo com Campos e Fonseca (2010), o processo de pelletização tem como objetivo o aproveitamento de finos de minério de tamanho inferior a 0,15 mm, os quais apresentam dificuldade de manuseio e podem reduzir a permeabilidade dos gases no interior do alto-forno ou serem carregados por estes gases para fora do reator, elevando a emissão de material particulado.

Campos e Fonseca (2010) descrevem que, para produção de pelotas, são adicionados ao *pellet feed* vários aditivos com diferentes finalidades, visando atingir determinadas características. Finos de carvão mineral proporcionam maior distribuição de calor na queima das pelotas, bem como redução do consumo de combustível. A adição de calcário e magnesita promove endurecimento e aumento da resistência mecânica das pelotas e consequente manutenção da sua integridade ao longo da logística de transporte e do carregamento do alto-forno. Bentonita e aglomerantes orgânicos são utilizados para favorecer a aglomeração das partículas de minério de ferro e otimizar a resistência das pelotas cruas. Discos de pelletização são carregados com o minério misturado aos aditivos, o qual sofre rolamentos sucessivos e aglomera-se nas chamadas pelotas cruas, cujo diâmetro aumenta gradativamente. As pelotas cruas são então descarregadas, classificadas e encaminhadas para o processo de endurecimento por queima. Dentro do forno, inicialmente as pelotas passam por processo de secagem, seguido de processo de pré-queima, a temperaturas entre 500 e 900°C. Por fim, é efetuada a queima entre temperaturas de 1000 a 1380°C, na qual as reações químicas entre o minério de ferro e os aditivos promovem substancial aumento da resistência mecânica das pelotas. Após resfriamento, as pelotas são destinadas à logística de transporte.

Atualmente, segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2010), a produção de pelotas vem se consolidando como processo mais adequado para aproveitamento de finos de minério. A redução de volume e da qualidade de granulados produzidos mundialmente vem estimulando o incremento de pelotas nos alto-fornos. Além disso, é possível produzir pelotas com ampla variedade de composição química de acordo com as especificidades de uma usina. O processo de pelletização é considerado preferível ao processo de sinterização considerando-se as emissões de gases poluentes: a emissão de CO₂ média é de 100 kg por tonelada de pelotas, inferior a média de 230 kg para cada tonelada de

sínter. Diversos países adotaram restrições ambientais para processo de sinterização, de forma a favorecer a produção de pelotas, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias para aglomeração de finos de minério de ferro.

1.1.3. Produtores

A mineração de ferro brasileira começou a se desenvolver na década de 1940, com a fundação da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), visando suprir matéria-prima para o desenvolvimento da siderurgia nacional, conforme relatado por Ferreira (2001). Nas décadas de 1950 e 1960, a demanda interna aumentou consideravelmente com a fundação de novas usinas siderúrgicas e a exportação se tornou significativa ao passo que a CVRD (atual Vale) se tornou a maior exportadora do mundo.

Conforme dados da USGS (2015), com um total estimado de 320 milhões de toneladas produzidas em 2014, atualmente o Brasil se posiciona como o terceiro maior produtor de minério de ferro do mundo, atrás apenas da China e da Austrália, com 1,5 bilhão de 660 milhões de toneladas respectivamente.

Em 2013, representando 59,3% da produção mineral brasileira, a produção de minério de ferro e pelotas atingiu a marca de 386,3 milhões de toneladas, segundo estimativa do Departamento Nacional de Produção Mineral (2014). No mesmo ano, com 329,6 milhões de toneladas exportadas, o minério de ferro correspondeu a 88,9% das exportações brasileiras de bens minerais primários, a um valor de US\$ 26 bilhões.

Atualmente, as principais empresas produtoras de minério de ferro no país são Vale, Samarco, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Usiminas, MMX e Anglo American. Juntas, estas empresas foram responsáveis por quase 90% da produção nacional em 2013 (DNPM, 2014). A produção nacional de pelotas é realizada pela Vale e pela Samarco.

A Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) foi fundada em 1942 como uma empresa estatal, e sua exploração de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero foi

iniciada no ano de 1944. Com a exploração na Serra dos Carajás (PA) a partir de 1985, a CVRD consolidou-se como a maior exportadora de minério de ferro do mundo. Em 1997, a empresa foi privatizada através do Programa Nacional de Desestatização (PND) e, em 2007 teve seu nome alterado para Vale (VALE, 2012).

A Vale (antiga CVRD) tem sua produção de minério de ferro dividida nos seguintes sistemas: Sistema Norte, formado pelo complexo de Carajás; Sistema Sudeste, composto pelas minas de Itabira, Minas Centrais e Mariana (MG); Sistema Sul, que inclui as minas de Paraopeba, Vargem Grande e Minas Itabirito (MG); e Sistema Centro-Oeste, que compreende os complexos de Urucum e Corumbá (MS). Além disso, recebe parte da produção da Samarco (VALE, 2015). A produção de pelotas é realizada pela Vale através das usinas de Fábrica (MG), Vargem Grande (MG), São Luiz (MA) Tubarão I e II e coligadas Hispanobras, Kobrasco, Nibrasco e Itabrasco (ES) (DNPM, 2014). Atualmente, a Vale é o maior exportador do mundo, exercendo controle de 24,7% do mercado transoceânico de minério de ferro (ERICSSON; LÖF, 2014). No ano de 2014, a Vale atingiu recorde de produção de 319,2 milhões de toneladas de minério de ferro e pelotas (VALE, 2015).

A Samarco é uma empresa de capital privado fundada em 1977 que atualmente é controlada em partes iguais pelas empresas acionistas Vale e BHP Billiton. Entre seus ativos, possui o complexo de Germano, em Mariana - MG, no qual o minério de ferro é extraído e beneficiado. Na unidade de Ubu (ES), estão presentes quatro plantas de pelotização e terminal marítimo. O transporte entre as unidades é realizado por meio de três minerodutos, com cerca de 400km de extensão cada. Em 2014, a Samarco produziu cerca de 24,1 milhões de toneladas de pelotas, quase que totalmente destinadas a mercado externo (SAMARCO, 2014).

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) foi fundada em 1941, com a construção da sua usina siderúrgica em Volta Redonda (RJ). EM 1946, a companhia deu início a produção de aço e incorporou a mina Casa de Pedra, em Congonhas (MG), assegurando autossuficiência em minério de ferro. Foi privatizada no ano de 1993, também através do PND. Em 2007, iniciou a

exportação de minério. No mesmo ano, adquiriu a Companhia de Fomento Mineral e fundou sua subsidiária, a Nacional Minérios S.A (Namisa), da qual detém 60% do capital (CSN, 2015a). No ano de 2014, a CSN exportou 28,9 milhões de toneladas de minério de ferro, das quais 9,1 milhões foram provenientes da Namisa. Além disso, 6 milhões de toneladas foram destinadas ao consumo próprio (CSN, 2015b).

A Usiminas foi fundada em 1962 com inauguração de sua usina siderúrgica na cidade de Ipatinga (MG). Em 1991, por meio do PND, foi a primeira empresa a ser privatizada no país. Em 2010, foi criada a Mineração Usiminas, com a aquisição da mina de Itatiaiuçu (MG), visando o abastecimento de suas usinas e a venda para mercado externo. A produção de minério de ferro em 2014 foi de 6,1 milhões de toneladas, das quais 4,1 milhões de toneladas foram destinadas para consumo próprio (USIMINAS, 2015).

A MMX foi fundada em 2005 e, dentre seus ativos, possui os complexos de Serra Azul e Bom Sucesso, em Minas Gerais. A empresa possui capacidade instalada de mais de 7 milhões de toneladas de minério de ferro por ano, porém, sua produção encontra-se paralisada desde último trimestre de 2014, em função de recuperação judicial (MMX, 2015).

A empresa Anglo American detém o sistema Minas-Rio, com mina em Conceição do Mato Dentro (MG) e terminal no Porto de Açu (RJ), conectados por mineroduto de cerca de 530 km de extensão. Seu primeiro embarque de minério de ferro foi realizado em 2014, ano em que sua produção atingiu 700 mil toneladas. Para 2015, a projeção de produção é de 11 milhões de toneladas (ANGLO, 2015).

1.1.3.1. Produtores Internacionais

Rio Tinto é uma empresa de origem anglo-australiana que, em 1966, iniciou a exploração de minério de ferro na região de Pilbara, localizada no oeste da Austrália, e desde então se posiciona como a segunda maior produtora do mundo. Em 2014, sua produção atingiu a marca de 295,4 milhões de toneladas

de minério de ferro, totalmente dedicada à exportação, principalmente ao mercado asiático: China e Japão (RIO TINTO, 2015).

De origem anglo-australiana, BHP Billinton (antiga Broken Hill Proprietary) iniciou a exploração de minério de ferro em 1950, também no oeste da Austrália. Atualmente, posiciona-se como o terceiro maior produtor mundial e, no ano de 2014, produziu 245 milhões de toneladas de minério de ferro (BHP BILLINTON, 2015).

Sukugawa (2010) descreve que, junto à Vale (antiga CVRD), as mineradoras Rio Tinto e BHP Billinton tiveram papel fundamental no mercado internacional de minério de ferro, determinando a precificação internacional desde a década de 1960 até o início do século XXI.

Na exploração de minério de ferro no oeste da Austrália, também se destaca o Fortescue Metals Group (FMG). Fundado em 2003, corresponde ao quarto maior produtor do mundo, com um total de 165 milhões de toneladas de minério de ferro produzidas em 2014 (FMG, 2015).

1.1.4. Investimentos

De Paula (2002) descreve que empreendimentos minerais exigem elevados investimentos em um período que antecede as operações de lavra. Inicialmente são examinadas as características do depósito, seus volumes e teores, as condições operações necessárias. Geralmente, técnicas bem sucedidas executadas em uma mina somente serão aplicáveis em uma nova exploração após exaustivas adaptações. Deve-se considerar a influência do regime tributário e do chamado “risco país”, o qual compreende o grau de desenvolvimento, e condições políticas, legais e financeiras de um país ou região. Considerando ainda que as reservas são finitas, deve-se considerar, desde o começo da exploração, a recuperação da área e recomposição do meio ambiente após o encerramento das operações.

1.1.5. Consumo

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2010) estima que o parque siderúrgico brasileiro consuma aproximadamente 15% da produção nacional de minério ferro. O aumento dos preços do minério viabilizaram economicamente novas explorações e estimularam a integralização vertical das siderúrgicas, ou seja, as companhias passaram a adquirir minas ou a desenvolver novas lavras, assegurando suprimento para suas usinas.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (2014), em 2013 a exportação brasileira alcançou 329,6 milhões de toneladas de minério de ferro, das quais 14,4% em forma de pelotas. Neste mesmo ano, os principais países compradores do minério brasileiro foram China com 51,0%, Japão com 10,0%, Coréia do Sul com 5,0%, Países Baixos com 5,0%, e Alemanha com 3,0%.

1.2. Aço

A siderurgia é a principal aplicação do minério de ferro. Com o objetivo a caracterização deste setor, este tópico apresenta descrição das principais etapas processo produtivo siderúrgico, os principais tipos de produtos, os principais produtores e os principais setores de consumo.

1.2.1. Processo Produtivo

De acordo com Mourão e Gentile (2007), a produção de aço se dá por meio de duas etapas básicas: redução e conversão. As usinas siderúrgicas podem ser classificadas em duas rotas: integradas e semi-integradas, de acordo com os processos realizados. Usinas integradas detêm as duas etapas, ou seja, são responsáveis pela produção do ferro primário, geralmente ferro-gusa através da redução do minério de ferro em alto-fornos, e realizam as operações de conversão do ferro primário em aço. As usinas semi-integradas não apresentam a etapa de redução e têm a sucata de aço como principal matéria prima, atuando basicamente como recicladoras.

Atualmente, de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (2012), o parque produtor de aço brasileiro é composto por 29 usinas controladas por 11 grupos empresarias. Destas, 14 usinas são classificadas como integradas e são responsáveis por 77% da produção siderúrgica nacional, enquanto as demais 15 usinas são classificadas como não-integradas. Juntas, apresentam capacidade instalada de cerca de 47 milhões de toneladas de aço por ano.

O principal processo de redução de ferro é o realizado em alto-forno, com elevadas capacidade de produção e eficiência energética. Mourão (2007) descreve o alto-forno como um reator térmico vertical de grandes proporções, no qual as matérias-primas são carregadas periodicamente em seu topo: minério de ferro (granulado ou aglomerado em forma de sinter ou pelotas) e coque, além de aditivos como fundentes. O coque atua como redutor e é produzido a partir da destilação do carvão mineral a temperaturas de até 1000°C, que promove a aglomeração dos finos de carvão e eleva sua resistência mecânica. De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (2012), em substituição ao coque, 11% da produção brasileira de aço utiliza o carvão vegetal, obtido a partir da madeira.

Segundo Mourão (2007), mediante injeção contínua de ar e queima do coque e de combustíveis auxiliares dentro do alto-forno, a temperaturas em torno de 1500°C, ocorrem reações de redução do ferro, cujo principal produto é o ferro-gusa, uma liga composta de aproximadamente 92% a 95% de ferro, 3,5% a 5,0% de carbono e outros elementos de liga como silício e manganês em proporções muito menores. Também é produzida a escória, composta principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 e CaO . O ferro-gusa e a escória líquidos são vazados separadamente por diferença de densidade, e somente o ferro-gusa é destinado para produção do aço.

Utilizada em menor escala, a redução direta é uma alternativa à produção de ferro primário. Neste processo, a redução do minério de ferro é realizada por um redutor gasoso, o gás natural, produzindo o ferro-esponja ou *Direct Reduced Iron* (DRI), que também é destinado para produção de aço (MOURÃO, 2007).

A produção através de alto-fornos a coque corresponde a 93% da produção de ferro primário mundial, 6% se refere ao processo de redução direta e

apenas 1% a alto-fornos à carvão vegetal, conforme dados do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2010).

Malynowskyj (2007) descreve que a etapa de conversão refina o ferro-gusa, transformando-o em aço, liga metálica composta majoritariamente por ferro e carbono, cujo teor varia entre 0,002% a 2,0%, dentre diversos outros componentes em variadas proporções. O principal processo industrial é o de conversão a oxigênio, ou Linz-Donawitz (LD), devido à alta produtividade, custos favoráveis e flexibilidade para fabricação de diversos tipos de aço. O oxigênio é soprado em um mistura líquida de ferro-gusa, sucata de aço, elementos de liga e fundentes, reduzindo o teor de carbono e produzindo o aço na qualidade desejada. O refino elimina impurezas como C, Si, P e S, gases como H₂, N₂ e O₂ e inclusões, além de homogeneizar a estrutura, eliminando segregações.

Ainda segundo Malynowskyj (2007), a sucata apresenta papel importante na conversão devido ao maior rendimento metálico, considerando que seu teor de ferro é maior que o do ferro-gusa. Trata-se de uma atividade recicladora, de importância econômica e ambiental. A Confederação Nacional da Indústria (2012) estima que 70% da produção mundial de aço é baseada na rota integrada, enquanto que a parcela restante utiliza a rota semi-integrada. No Brasil, 77% da produção siderúrgica se dá por meio da rota integrada.

1.2.2. Produtos Siderúrgicos

Segundo Yokoji (2007) os produtos siderúrgicos podem ser classificados em duas categorias básicas: planos e não-planos. Os produtos planos são placas e chapas obtidas principalmente por meio de lingotamento contínuo, além de laminados a quente ou a frio. Tratam-se de produtos semi-acabados que posteriormente poderão sofrer processos de conformação, tratamento térmico, revestimento, etc. A classificação de produtos não-planos compreende os lingotes, blocos e tarugos, obtidos através de lingotamento contínuo ou convencional. Também se apresentam como produtos semi-acabados e, por meio de processos como laminação e trefilação, são utilizados na fabricação de fio-máquina, barras, tubos, vergalhões, trilhos, perfis, etc.

1.2.3. Produtores

De acordo com dados de World Steel Association (2014), a China é atualmente o maior produtor de aço do mundo, com 822 milhões de toneladas de aço bruto produzidas em 2013, correspondente a 48,5% da produção mundial. Destacam-se ainda, Japão, Estados Unidos, Índia, e Rússia, entre os cinco maiores produtores. A parcela de 83,3% da produção mundial se concentra entre os dez maiores produtores, listados na tabela 2.

Tabela 2 - Produção mundial de aço bruto, 2013.

País	Produção estimada em 10 ⁶ t	%
China	822,0	48,5
Japão	110,6	6,9
EUA	86,9	5,4
Índia	81,2	5,1
Rússia	69,5	4,3
Coréia do Sul	66,1	4,1
Alemanha	42,6	2,7
Turquia	34,7	2,2
Brasil	34,2	2,1
Ucrânia	24,1	2,0
Total mundial	1606,7	100

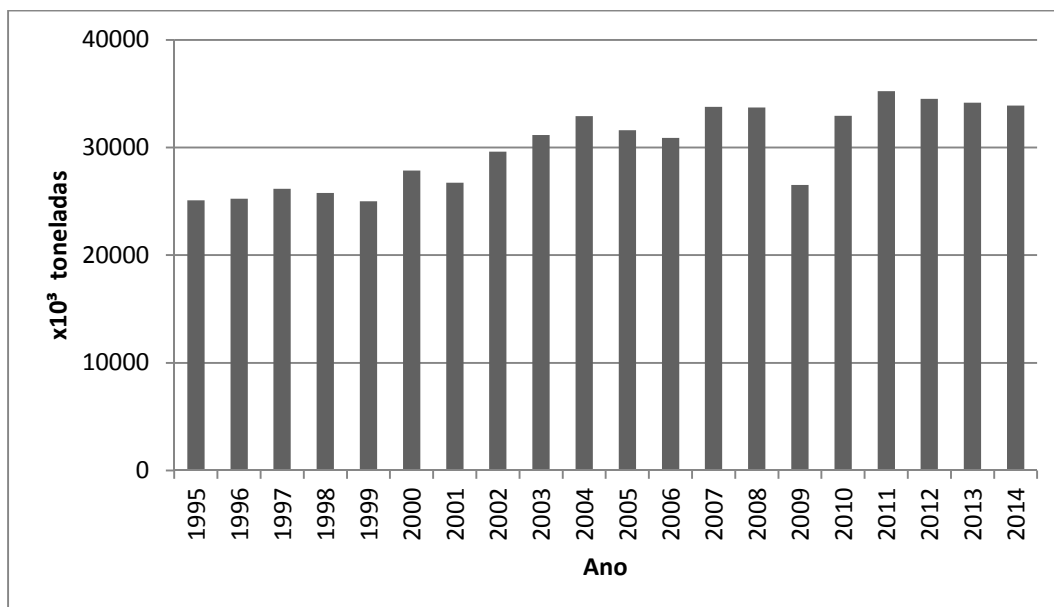
Fonte: WSA, 2014.

Ainda segundo relatório de World Steel Association (2014), o Brasil se posiciona como o 9º maior produtor do mundo, com produção de aço bruto estimada em 34,2 milhões de toneladas em 2014. Deste montante, conforme dados do Instituto Aço Brasil (2014), cerca de 9 milhões de toneladas foram destinadas ao mercado externo. A figura 3 apresenta a produção de aço bruto no Brasil durante o período proposto de 1995 a 2014.

Carvalho, Mesquita e Araujo (2013) relatam que, no ano de 2013, a produção siderúrgica brasileira, baseada em 29 usinas, apresentou capacidade instalada de 48,5 milhões de toneladas de aço bruto por ano. Entretanto, neste ano, a produção foi de aproximadamente 70% da capacidade instalada, inferior ao nível de utilização da capacidade instalada mundial da ordem de 85%. A tabela 3

apresenta o volume produzido pelas principais companhias siderúrgicas do Brasil no ano de 2013.

Figura 3 - Produção brasileira de aço bruto



Fonte: WSA, 2015.

Tabela 3 - Produção brasileira de aço bruto por empresa, 2013.

Empresa	Produção (10 ³ t)
Aperam	739
ArcelorMittal Aços Longos	3.510
ArcelorMittal Tubarão	4.430
Companhia Siderúrgica do Atlântico	3.721
Companhia Siderúrgica Nacional	4.457
Gerdau	8.063
Sinobras	314
Usiminas	6.859
Vallourec	421
Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil	304
Villares Metals	141
Votorantim Siderurgia	1.204
Total	34.163

Fonte: IABR, 2014.

1.2.4. Consumo

Segundo De Paula (2012), os principais setores de consumo de aço são: construção, transporte, equipamentos mecânicos e utilidades domésticas. Ou seja, a maior parte dos produtos siderúrgicos tem como finalidade a produção de bens de capital e de bem de consumo durável. Dessa forma, a indústria siderúrgica apresenta grande sensibilidade a condições de crédito, como valor disponível, taxa de juros aplicada e prazos de pagamento oferecidos, e às expectativas de crescimento da economia, como variação do PIB e da taxa de desemprego. Os principais substitutos para o aço são: alumínio e polímeros na indústria automobilística, cimento, na construção civil, e alumínio, vidro e polímeros no setor de embalagens.

2. Visão Econômica

O presente tópico pretende estabelecer teorias econômicas que guiaram a elaboração deste trabalho, contextualizar o cenário econômico nacional e internacional no período proposto e descrever o modelo de precificação internacional do minério de ferro.

2.1. Microeconomia

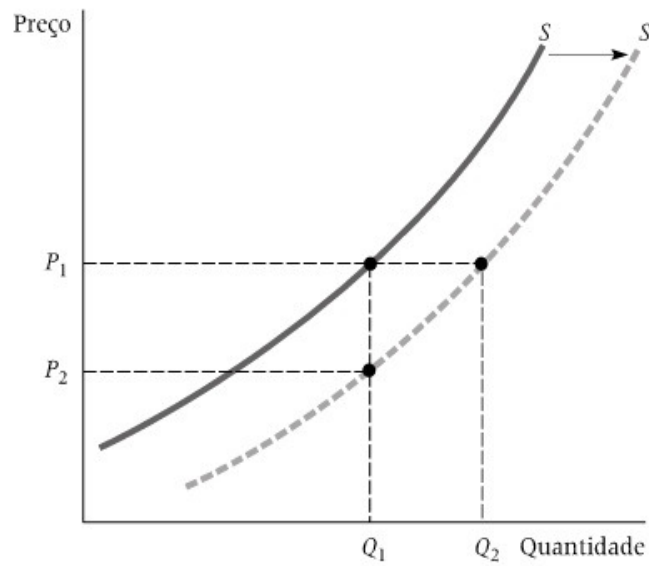
Segundo Garófalo (1992) a ciência econômica tem como um de seus ramos a microeconomia, cujo objetivo é o estudo das diferentes unidades de consumo, seja um indivíduo ou família, seja uma empresa, com seus custos e produções, sejam uma produção e os preços de bens e serviços. A microeconomia também é chamada de Teoria dos Preços, dada sua preocupação em comprovar a formação de preços, bens de serviços e recursos produtivos. Trata-se de uma ciência de natureza teórica ou dedutiva, considerando a complexidade dos fatores que influenciam uma situação e até mesmo a impossibilidade de condução de experimentos controlados. Ao analisar-se uma situação real, são selecionadas as variáveis mais relevantes e são obtidos modelos lógicos dos quais se podem retirar interpretações e conclusões plausíveis.

Garófalo (1992) afirma ainda que uma característica importante da microeconomia é a possibilidade de se constituir uma análise de equilíbrio parcial. Na tentativa de aproximar a ciência econômica das ciências exatas, uma situação específica é reduzida a um determinado número de variáveis principais, enquanto que as demais são consideradas como constantes. Uma análise de equilíbrio parcial tende a reduzir a complexidade do problema, tanto para fins didáticos quanto para que a própria análise se torne executável. Teorias microeconômicas podem ainda se basear num conjunto de proposições devidamente fundamentadas, a linguagem torna-se relevante contanto que descreva, ordene e estabeleça limites a uma circunstância, seja em forma de prosa ou em forma matemática.

Montoro Filho (1992) estabelece a demanda como o desejo de um consumidor em adquirir um determinado bem ou serviço em um determinado período de tempo. Trata-se de uma aspiração e não deve ser confundida com sua efetivação, a compra. A demanda está ligada a uma série de fatores, tais como a fatores de limitação do orçamento e as diversas características do produto. A oferta é definida como a quantidade que um produtor deseja vender em um determinado tempo. Da mesma forma que a oferta, trata-se de um plano e não sua efetivação a venda. Vários fatores influenciam a oferta de um produto, destacando-se o custo de produção. Tanto oferta quanto demanda determinam o preço em uma economia de mercado e, geralmente, são estudadas através de análise parcial, dado o enorme número de variáveis que as influenciam.

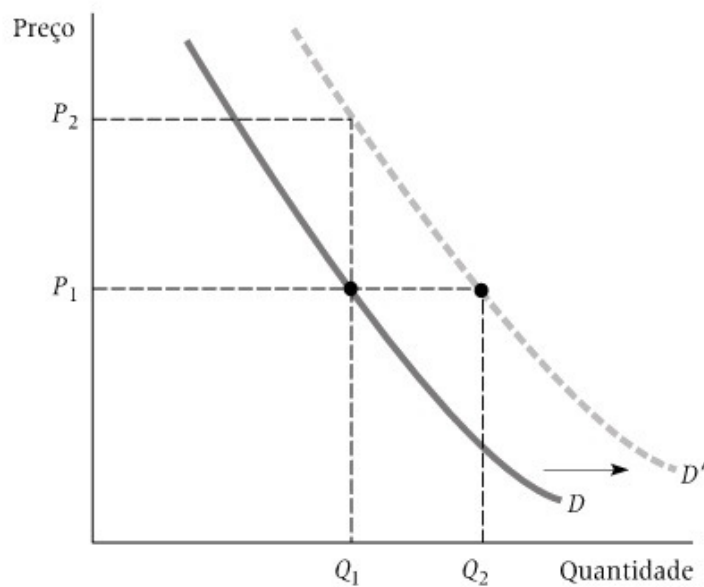
De acordo com Pyndick e Rubinfeld (2006), oferta e demanda podem ser utilizadas para descrição do mecanismo de um mercado. Numa situação livre de intervenção governamental, oferta e demanda de um produto específico atingirão um equilíbrio e determinarão seu preço de mercado, dependendo de que forma reagirão com outras variáveis econômicas. A curva de oferta S é representada pela figura 4, a qual apresenta o preço em função de quantidade ofertada. Em uma situação ideal, a curva de oferta é crescente considerando-se que, quanto maior o preço, mais o produtor desejará produzir e vender. Com a variação de fatores como o custo de produção, por exemplo, a curva pode se deslocar para S' . A curva da demanda D é representada pela figura 5, a qual apresenta o preço em função da quantidade. Em uma situação ideal, a curva de demanda é decrescente considerando-se que, quanto menor o preço, mais o consumidor desejará comprar. Com a variação de fatores como a renda, por exemplo, a curva pode se deslocar para D' .

Figura 4 - Curva de Oferta



Fonte: PYNDICK E RUBINFELD, 2006.

Figura 5 - Curva de Demanda



Fonte: PYNDICK E RUBINFELD, 2006.

Ainda segundo Pyndick e Rubinfeld (2006), são denominadas de indústrias cíclicas as indústrias cujas vendas são fortemente influenciadas por variações em condições macroeconômicas, tais como Produto Interno Bruto (PIB), renda nacional e taxa de investimentos.

2.2. Economia Brasileira: 1995 - 2014

Este tópico tem o objetivo de relatar eventos nacionais e internacionais relevantes que impactaram no desenvolvimento econômico brasileiro ao longo do período proposto, e conseqüentemente impactaram nos setores de mineração e siderurgia nacionais.

Segundo Pinheiro, Giambiagi e Gostkorzewicz (1999), no período de 1980 a 1993, a economia brasileira foi caracterizada pelo baixo crescimento econômico, elevadíssima taxa de inflação, em média de 438% ao ano, e desvalorização cambial, com conseqüente estagnação da indústria nacional. Tal situação passou a ser revertida somente a partir de 1994, com o início do Plano Real. De acordo com Andrade, Cunha e Gandra (1999), o controle estatal das principais empresas e a situação econômica nacional neste período atuaram como barreira a investimentos na modernização da indústria, cuja produtividade, competitividade e qualidade se posicionaram muito abaixo dos padrões internacionais, tornando-se tecnologicamente desatualizadas e até mesmo obsoletas.

Andrade, Cunha e Gandra (1999) relatam ainda que, de 1991 a 1993, com a implementação do Programa Nacional de Desestatização, as principais mineradoras e siderúrgicas foram privatizadas, processo que promoveu o fortalecimento destes setores industriais, devido ao fim da interferência política e aos expressivos investimentos para redução da defasagem tecnológica em relação a padrões internacionais.

Averbug e Giambiagi (2000) descrevem que, em 1998, o Brasil vinha passando por uma reestruturação gradual desde o início do plano real com o intuito de estabilização da economia: havia um controle da inflação, as taxas de juros estavam em queda e os indicadores de risco país eram favoráveis, porém a dívida externa ainda era extremamente elevada. Em agosto deste ano, em meio a uma grave crise monetária, a Rússia decretou moratória em suas contas externas. A necessidade de recomposição das perdas sofridas com a moratória e o medo de que a economia brasileira pudesse caminhar na mesma direção provocaram fuga em massa de capital do Brasil. As mudanças provenientes do plano real e a adoção de medidas como um forte ajuste fiscal e um elevado

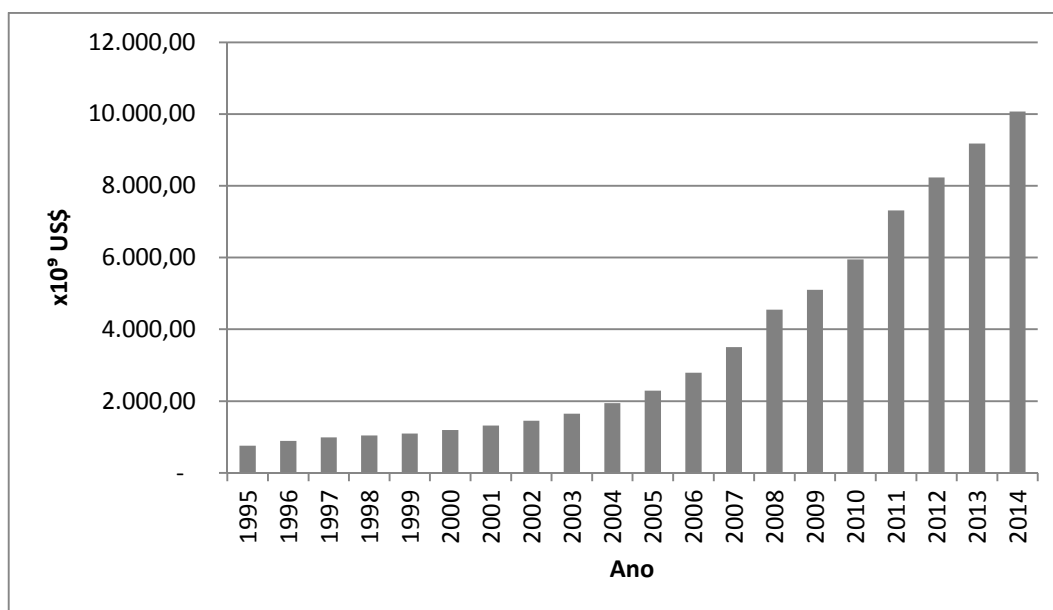
aumento das taxas de juros, além de um pacote de ajuda externa do Fundo Monetário Internacional (FMI), ajudaram a amenizar os efeitos da crise. No entanto, em 1998, os preços de commodities caíram em torno de 15% e a balança comercial brasileira apresentou déficit da ordem de US\$ 7 bilhões. A crise se estendeu a 1999, ano em que o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro obteve um crescimento de apenas 1%.

No ano de 2008, conforme descrito por Silva (2010), a crise imobiliária dos Estados Unidos, também conhecida como “crise do *subprime*”, causou impactos catastróficos na economia mundial. A falência de bancos americanos comprometeu economias mundiais que tinham os Estados Unidos como seu principal mercado comprador, a exemplo do Brasil, e gerou instabilidades econômicas de proporções globais. Investidores do mundo todo começaram a venda de ações de diversas naturezas, para cobrirem as enormes perdas no mercado imobiliário, e para se protegerem de futuras perdas, provocando enorme redução do nível de crédito e capitais principalmente a países emergentes, como o Brasil. Além disso, os preços internacionais de *commodities* sofreram quedas de até 50% naquele ano.

Coelho, Masiero e Caseiro (2015) relatam que ao final da década de 1990, o governo chinês adotou medidas visando modernização e desenvolvimento industrial, com foco nas indústrias de bens de capital, automotiva, naval, aeronáutica e de tecnologia da informação e comunicação. Neste período, as relações comerciais entre Brasil e China se baseavam principalmente na exportação de bens manufaturados brasileiros e importação de matérias-primas minerais e agrícolas chinesas. A partir do ano de 2000, os resultados desta política levaram a uma aceleração industrial e a um expressivo crescimento da economia chinesa, a qual se tornou a maior exportadora de bens manufaturados do mundo em 2009. Conseqüentemente, os papéis nas relações comerciais entre Brasil e China se inverteram, baseando-se em principalmente na importação de bens manufaturados chineses e exportação de matérias-primas minerais e agrícolas brasileiras. Conforme dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (2014), no ano de 2013 a China consumiu 51,0% do minério de ferro produzido no Brasil. Segundo Hu et al (2009), a crescente demanda da China por aço se deve à urbanização sem precedentes no país. O baixo suprimento de

sucata de aço e a baixa qualidade do minério de ferro chinês criaram a enorme necessidade de importação de minério para produção siderúrgica por meio de sua redução. O crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) chinês é apresentado na figura 6.

Figura 6 - PIB da China



Fonte: UNCTAD, 2015.

2.3. Precificação do Minério de Ferro

De acordo com Sukagawa (2010), o mercado internacional de minério de ferro ganhou importância ao final dos anos 60 com a expansão da produção mineral australiana, mediante o fim de restrições governamentais para exportação. Durante um longo período, eram negociados preços fixos anuais e estabelecidos contratos de longo prazo entre os principais produtores mundiais: a brasileira Companhia Vale do Rio Doce (CVRD, atual Vale), e as australianas Broken Hill Proprietary (BHP, atual BHP Billiton) e Rio Tinto, e os principais produtores de aço europeus e japoneses, sendo utilizados como referência aos produtores de menor expressão. Na Europa, destacavam-se como maiores compradores as companhias siderúrgicas alemãs Thyssen (atual ThyssenKrupp)

e Salzgitter, francesa Usinor (atualmente parte da ArcelorMittal) e britânica British Steel Corporation (atualmente parte da Tata Steel). No Japão, a Nippon Steel (atualmente parte da Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation) atuava como líder.

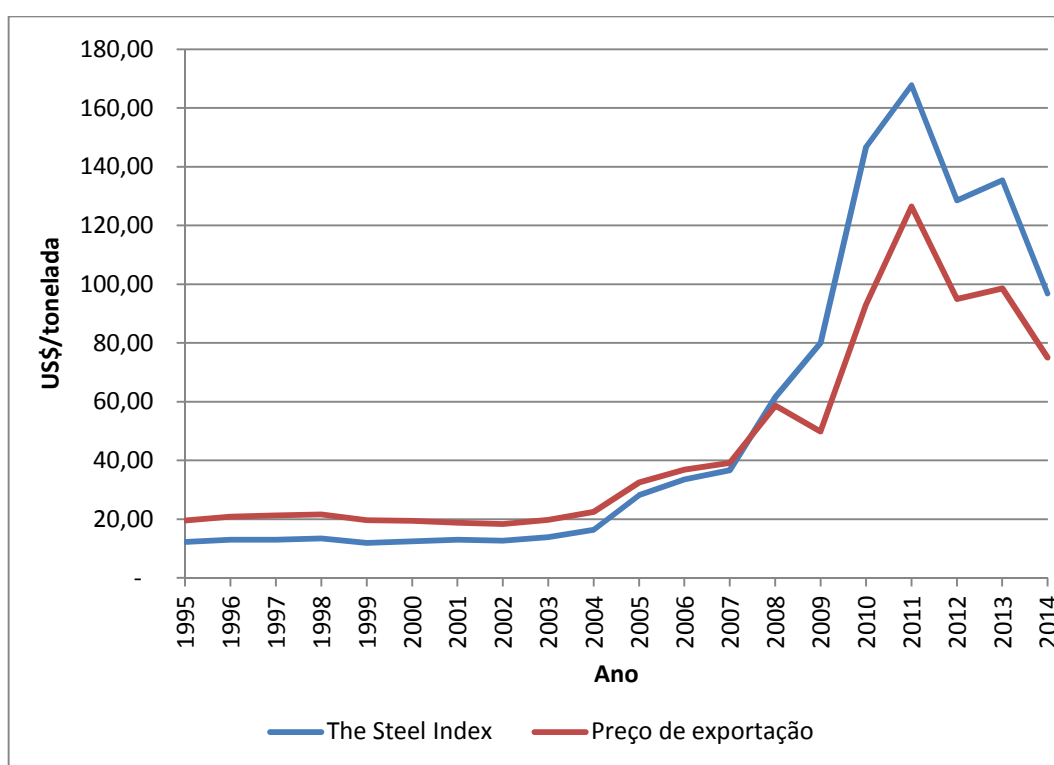
Grigoryan (2013) afirma que, no início do século 21, a abertura e o rápido crescimento da economia chinesa alteraram o equilíbrio existente no mercado. O aumento repentino da demanda provocou uma escassez na oferta de minério de ferro, elevando seu preço. Além disso, cerca de 50% da produção siderúrgica chinesa pertence a 18 companhias, enquanto a outra metade está distribuída em uma série de pequenas empresas. Com o aumento da representatividade de pequenos produtores, o método de precificação anual se tornou impraticável, se encerrando ao final de 2008. Desde então, o minério de ferro passou a ser negociado através de mecanismos baseados em variações diárias (*spot*) de preço, similar ao praticado na negociação de outras *commodities*.

Um dos principais índices mundiais de referência para o preço de minério de ferro é fornecido pelo *The Steel Index* (TSI), que pertence a Platts, uma divisão de McGraw Hill Financial (TSI, 2015). Publicado diariamente, o índice *China Import Iron Ore Fines 62% Fe - CFR Tianjin port* é determinado em função de transações *spot* reais no mercado e normalizado considerando-se o minério com composição de 62,00% de Fe, 8,00% de H₂O, 3,50% de Al₂O₃, 4,00% de SiO₂ e 0,07% de P, e o local de entrega como Porto de Tianjin (China). O termo CFR se refere a *Cost and Freight* (custo e frete), conforme definição de INCOTERMS da Câmara Mundial de Comércio, que considera os custos e riscos de transporte da mercadoria como responsabilidade do vendedor. Assim, o valor do índice representa o preço do minério somado ao valor do frete marítimo do local de origem até o porto de entrega. A variação do índice no período de 1995 a 2014 é apresentada na figura 7.

A figura 7 também apresenta a média anual de preços de exportação de minério de ferro brasileiro em dólares por tonelada (BANCO CENTRAL, 2015). Verifica-se que os preços acompanham a tendência do índice internacional e que certas variações podem ser explicadas pelo contexto apresentado neste texto. Até o ano de 2007, quando a Vale exercia forte influência na determinação dos preços

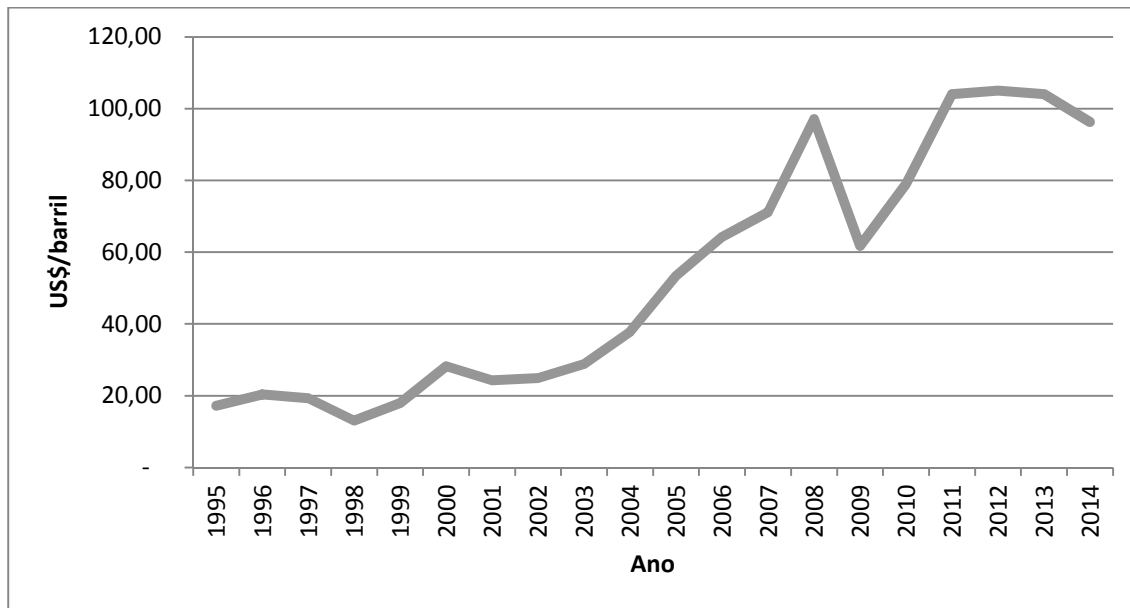
mundiais, sua dominância no mercado brasileiro permitiu que os preços nacionais ocupassem posição superior aos preços internacionais. A partir do ano de 2007, com as mudanças ocorridas no método de precificação, verifica-se redução da vantagem dos preços brasileiros. No ano de 2008, verifica-se severa redução nos preços brasileiros em função da “Crise do *subprime*” e da consequente desvalorização de *commodities*.

Figura 7 - Comparação *The Steel Index* e preço de exportação.



Fonte: UNCTAD, 2015; BANCO CENTRAL, 2015.

Outro fator importante é a forte presença do petróleo na cadeia produtiva e logística do minério de ferro. Li, Wang, Ren e Wu (2011) determinaram que existe correlação entre preço internacional de minério ferro e preço internacional de petróleo. Levou-se em consideração que a maior parte do fluxo internacional de minério de ferro se dá, expressivamente, por via marítima em navios cargueiros provenientes do Brasil e da Austrália com destino a China, de forma que o consumo de combustível representa o maior custo de transporte. A variação do preço do petróleo é apresentada na figura 8.

Figura 8 - Preço médio anual de petróleo.

Fonte: UNCTAD

3. Metodologia

Pindyck e Rubinfeld (2006) apresentam a Análise de Regressão Múltipla como ferramenta para testes de hipóteses e quantificação de relações econômicas. Em uma Regressão Linear Múltipla, as relações entre a variável dependente Y e as variáveis independentes X_1, X_2, \dots, X_n são representadas pela equação 1.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_n \times X_n + \varepsilon \quad (1)$$

Determinam-se os coeficientes $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ que melhor se ajustem aos dados disponíveis. Considera-se também um erro ε , que representa a influência coletiva de variáveis que foram omitidas no modelo, mas que também podem influenciar o termo Y . No entanto, as causas do erro são consideradas não observáveis. Os parâmetros determinados são dependentes da amostra, ou seja, dependem dos dados utilizados. As estimativas dependem do tamanho da amostra, quanto maior a amostra, mais “verdadeiras” são as estimativas. Avaliam-se os parâmetros através de uma distribuição de probabilidade.

Segundo Pindyck e Rubinfeld (2006), o coeficiente de correlação R-quadrado (R^2) mede o percentual de variação das variáveis dependentes explanatórias. Um resultado de $R^2 = 1$ implica que as variáveis se ajustam perfeitamente (100%) ao modelo proposto e, portanto, quanto mais próximo de 1, maior a qualidade do ajuste.

Werkema e Aguiar (1996) afirmam que o modelo de ajuste determinado pode ser inadequado para valores das variáveis fora do intervalo amostral considerado, ou seja, o modelo não poderá ser utilizado para extrapolação, podendo levar a conclusões errôneas.

Para Lapponi (1997), o erro padrão indicará o quanto um coeficiente estimado estará distante da população em função da variabilidade amostral. O Valor-P atua como método de avaliação dos ajustes das variáveis ao modelo, representando o maior nível de significância observado para que uma hipótese

nula (H_0) seja rejeitada. A hipótese nula estabelece que as variáveis independentes e dependente não são relacionadas.

Para organização dos dados, elaboração de gráficos de dispersão e realização de regressão linear simples e regressão linear múltipla, foi utilizado o software *Microsoft Office Excel 2007* e suas ferramentas de análise de dados.

A seguir são descritos os dados utilizados para identificação a influência de determinados fatores na variação de preço de minério de ferro brasileiro no período de 1995 a 2014. Em referência ao modelo empregado por Pindyck e Rubinfeld (2006), propõe-se o modelo descrito pela equação 2 para determinação da relação de preços em função de seis variáveis, as quais foram selecionadas a partir do contexto apresentado nos tópicos anteriores.

$$P = \beta_0 + \beta_1 \times A + \beta_2 \times B + \beta_3 \times C + \beta_4 \times D + \beta_5 \times E + \beta_6 \times F \quad (2)$$

Como variável dependente P , optou-se por utilizar o preço médio anual de exportação de minério de ferro (Banco Central, 2015), em dólares por tonelada (US\$/t), disponibilizado pela Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), devido aos principais motivos: aproximadamente 85% do minério de ferro brasileiro é exportado (CGEE, 2010) e índices internacionais são baseados em produtos provenientes de diversas localidades e entregues em território chinês, contabilizando o custo de frete (TSI, 2015).

Para as variáveis independentes A , B , C , D , E e F foram considerados os dados anuais para o período de 1995 a 2014 conforme descrito a seguir. A tabela 4 apresenta um resumo das variáveis independentes consideradas para elaboração do modelo.

Como variável independente A , considerou-se o preço médio de exportação de aço (Banco Central, 2015), disponibilizado pela Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) nas categorias: produtos semimanufaturados, de ferro

ou aços; fio-máquina e barras de ferro ou aços; produtos laminados planos de ferro ou aços; e tubos de ferro fundido, ferro ou aço e seus acessórios. Foram consideradas as médias ponderadas anuais das categorias em dólares por tonelada (US\$/t). O preço do aço exerce influência em sua oferta e demanda e, conseqüentemente, na demanda de sua principal matéria-prima, o minério de ferro.

Como variável independente **B**, considerou-se o Produto Interno Bruto (PIB) da China (UNCTAD, 2015) disponibilizado por *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD). Foram utilizados valores nominais anuais em bilhões de dólares. A China se apresenta como o maior consumidor de minério de ferro do mundo, de forma que sua economia exerce influencia na demanda por minério.

Como variável independente **C**, considerou-se o Produto Interno Bruto (PIB) Mundial (UNCTAD, 2015), também disponibilizado por *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD). Foram utilizados valores nominais anuais em bilhões de dólares. Variações na economia mundial afetam a demanda por aço e, conseqüentemente, por minério de ferro.

Como variável independente **D**, considerou-se a produção mundial de minério de ferro (USGS, 1996/2015), disponibilizado por *United States Geological Survey* (USGS), em milhões de toneladas de minério de ferro produzidas anualmente no mundo todo. Estes valores não incluem a produção de pelotas e sinter. Este fator representa a oferta de minério de ferro no mundo.

Como variável independente **E**, considerou-se a produção mundial de aço bruto (WSA, 2015) disponibilizado por *World Steel Association* (WSA), em milhões de toneladas de aço bruto produzidas anualmente no mundo todo. A produção de aço está diretamente ligada a demanda por minério de ferro, sua principal matéria-prima.

Como variável independente **F**, considerou-se o preço internacional do petróleo (UNCTAD, 2015), *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD). em dólares por barril (US\$/barril). Tratam-se das médias anuais dos três principais índices mundiais: *Dated Brent light blend 38 API*, *Dubai medium*

Fateh 32 API e West Texas Intermediate 40 API. O preço do petróleo está ligado aos custos de produção e logísticos do minério de ferro.

Tabela 4 - Resumo de variáveis independentes.

Variável	Fonte	Justificativa
A) Preço médio de exportação de aço	SECEX/MDIC (Banco Central, 2015)	Afeta demanda por minério de ferro.
B) Produto Interno Bruto (PIB) da China	(UNCTAD, 2015)	Afeta demanda por minério de ferro.
C) Produto Interno Bruto (PIB) Mundial	(UNCTAD, 2015)	Afeta demanda por minério de ferro.
D) Produção mundial de minério de ferro	(USGS, 1996/2015)	Afeta oferta de minério de ferro.
E) Produção mundial de aço bruto	(WSA, 2015)	Afeta demanda por minério de ferro.
F) Preço internacional do petróleo	(UNCTAD, 2015)	Afeta custo de produção e da logística do minério de ferro.

Elaborado pelo autor.

4. Resultados e Discussão

O presente tópico apresenta a execução de cada um dos modelos propostos e seus respectivos resultados e interpretações. Através de regressão linear simples verificou-se inicialmente a relação de cada variável independente com a variável dependente P . Em seguida, utilizou-se da regressão linear múltipla para estabelecer a relação conjunta entre as variáveis apresentadas.

4.1. Regressão Linear Múltipla

A seguir, foram elaborados três modelos para realização de regressão linear múltipla, determinação dos coeficientes das funções matemáticas e avaliação de sua representatividade.

4.1.1. Modelo 1

Inicialmente, para verificação da dispersão dos dados, foi realizada regressão linear simples para variável P em função de cada variável independente de forma isolada, e para cada caso foi determinada uma função matemática e apontada seu respectivo R^2 . Cada caso foi representado por uma função conforme a equação 3:

$$P = \beta_0 + \beta_n \times X_n \quad (3)$$

O anexo B apresenta os gráficos de dispersão para variável dependente P em função de cada uma das variáveis independentes propostas. A tabela 5 apresenta um resumo dos resultados apresentados para cada regressão linear simples individual. Considerando-se os valores determinados para R^2 verifica-se boa capacidade explanatória individual, sendo a variável D , produção mundial de minério de ferro, a que apresenta maior relação com a variável dependente Y , com 86% de representatividade. Considerando-se as funções determinadas, verifica-se que, individualmente, o aumento de cada variável independente resulta num aumento do preço da variável dependente Y .

Tabela 5 - Resultados da regressão linear simples – Modelo 1.

Variável independente	Função	R ²
A) Preço médio de exportação de aço	$P = 0,1366 \times A - 21,288$	0,6806
B) Produto Interno Bruto (PIB) da China	$P = 0,01 \times B + 9,5504$	0,8142
C) Produto Interno Bruto (PIB) Mundial	$P = 0,0018 \times C - 41,608$	0,8209
D) Produção mundial de minério de ferro	$P = 0,0385 \times D - 22,812$	0,8651
E) Produção mundial de aço bruto	$P = 0,0928 \times E - 59,096$	0,7742
F) Preço internacional do petróleo	$P = 0,8923 \times F - 2,31$	0,8125

Elaborado pelo autor.

Foi realizada regressão linear múltipla considerando todos as seis variáveis independentes apresentadas para o período de 1995 a 2014, com o objetivo de se obter os parâmetros da equação 4. A tabela 6 indica os coeficientes estimados pelo método da regressão linear múltipla para respectiva variável utilizada.

$$P_1 = \beta_0 + \beta_A \times A_1 + \beta_B \times B_1 + \beta_C \times C_1 + \beta_D \times D_1 + \beta_E \times E_1 + \beta_F \times F_1 \quad (4)$$

Tabela 6 - Ajuste do modelo 1.

Parâmetro	Coefficientes (β_n)	Erro padrão (ϵ)	Valor P
Termo independente	33,3599	30,8127	0,2986
A_1 (US\$/t)	-0,0887	0,0568	0,1427
B_1 ($\times 10^9$ US\$)	-0,0149	0,0067	0,0437
C_1 ($\times 10^9$ US\$)	-0,0024	0,0023	0,3260
D_1 ($\times 10^6$ t)	0,1568	0,0424	0,0027
E_1 ($\times 10^6$ t)	-0,0964	0,0658	0,1668
F_1 (US\$/barril)	1,0799	0,4948	0,0480

Elaborado pelo autor.

A equação representa a relação entre o preço P_1 e as demais variáveis propostas pelo modelo:

$$P_1 = 33,3599 - 0,0887 \times A_1 - 0,0149 \times B_1 - 0,0024 \times C_1 + 0,1568 \times D_1 - 0,0964 \times E_1 + 1,0799 \times F_1 \quad (5)$$

O coeficiente de correlação R^2 determinado (tabela 7) apresenta o valor de 0,9364, ou seja, as variáveis do modelo proposto explicam 93,64% da variação da variável dependente P_1 , preço de minério de ferro brasileiro. Aproximadamente

6,4% da variação pode ser explicada por variáveis desconhecidas do modelo proposto.

Tabela 7 - Coeficiente de correlação do modelo 1.

Coeficiente de Correlação	0,9677
R^2 (Coeficiente de Correlação ao quadrado)	0,9364

Elaborado pelo autor.

Conforme dados da tabela 8, a análise de variância mostra que o modelo é significativo considerando um nível de significância de 95%, pois:

$$\text{Valor P} = 4,7716E - 07 < 0,05 \quad (6)$$

Assim, há evidências de que pelo menos uma variável esteja relacionada com o preço P_1 .

Tabela 8 - Análise de variância do modelo 1.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor P
Regressão	6	20436,1744	3406,0291	4,7716E-07
Resíduo	13	1389,0693	106,8515	
Total	19	21825,2438		

Elaborado pelo autor.

4.1.2. Modelo 2

Com o objetivo de se obter um modelo mais preciso, foi proposto novo modelo com base nas variáveis de maior significância do modelo 1. Considerando significância de 95% e o Valor P individual para cada variável no teste proposto, dispostos na tabela 6, realizou-se novo teste utilizando somente os parâmetros cuja hipótese nula foi rejeitada, ou seja:

$$\text{Valor P} < 0,05 \quad (7)$$

São eles: PIB da China (**B**), produção mundial de minério de ferro (**D**), e preço internacional do petróleo (**F**). Os coeficientes estimados pelo novo teste para equação 8 são indicados na tabela 9.

$$P_2 = \beta_0 + \beta_B \times B_2 + \beta_D \times D_2 + \beta_F \times F_2 \quad (8)$$

Tabela 9 - Ajuste do modelo 2.

Parâmetro	Coefficientes (β_n)	Erro padrão (ϵ)	Valor P
Termo independente	-42,6074	26,3665	0,1256
B_2 ($\times 10^9$ US\$)	-0,0059	0,0069	0,4092
D_2 ($\times 10^6$ t)	0,0661	0,0381	0,1018
F_2 (US\$/barril)	-0,1512	0,4189	0,7229

Elaborado pelo autor.

A relação entre o preço P e as demais variáveis propostas pelo segundo modelo é representada pela equação:

$$P_2 = -42,6074 - 0,0059 \times B_2 + 0,0661 \times D_2 - 0,1512 \times F_2 \quad (9)$$

Desta vez, o Coeficiente de Correlação R^2 (tabela 10) determinado apresenta o valor de 0,8711, ou seja, apenas as variáveis retiradas do modelo proposto explicam 87,1% da variação da variável dependente P_2 .

Tabela 10 - Coeficiente de correlação do modelo 2.

Coeficiente de Correlação	0,9333
R^2 (Coeficiente de Correlação ao quadrado)	0,8711

Elaborado pelo autor.

Conforme disposto na tabela 11, a análise de variância mostra que o modelo é significativo considerando um nível de significância de 95%, pois:

$$\text{Valor P} = 2,3911E - 07 < 0,05 \quad (10)$$

Assim, há evidências de que pelo menos uma variável esteja relacionada com o preço P_2 .

Tabela 11 - Análise de variância modelo 2.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	Valor-P
Regressão	3	19012,4118	6337,4706	2,3911E-07
Resíduo	16	2812,8320	175,8020	
Total	19	21825,2438		

Elaborado pelo autor.

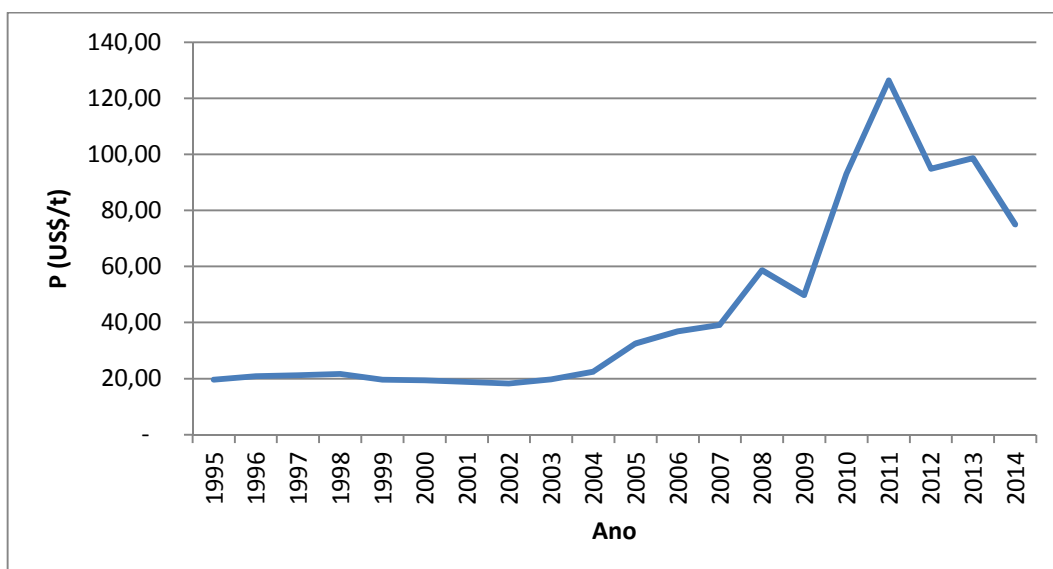
4.1.3. Modelo 3

Visando ainda a obtenção de um modelo mais adequado para a variação dos preços de minério de ferro, avaliou-se o período de tempo proposto. Considerando-se a variação do parâmetro dependente Y ao longo do período de 1995 a 2014 (figura 9), verifica-se uma alteração brusca no padrão da variação a partir do ano de 2008. A queda inicial foi provavelmente determinada pela “Crise do *Subprime*”, a qual causou queda de até 50% nos preços das commodities (SILVA, 2010), e foi sucedida de rápido crescimento e pico. Além disso, no ano de 2008, o modelo de precificação do minério determinado pelos maiores produtores e consumidores mundiais se tornou insustentável (GRIGORYAN, 2013). Dessa forma, os dados foram separados em dois períodos distintos, antes da “Crise do *Subprime*”, de 1995 a 2008, e pós-crise, de 2009 a 2014.

Para verificação da dispersão dos dados, foi realizada regressão linear simples para variável P em função de cada variável independente de forma isolada, e para cada caso foi determinada uma função matemática e apontada seu respectivo R^2 . Cada caso foi representado por uma função conforme a equação 11:

$$P = \beta_0 + \beta_n \times X_n \quad (11)$$

Figura 9 - Variação de preço médio anual de exportação de minério de ferro.



Fonte: BANCO CENTRAL, 2015.

O anexo C apresenta os gráficos de dispersão para variável dependente **P** em função de cada uma das variáveis independentes propostas para cada um dos dois períodos propostos. As tabelas 12 e 13 apresentam resumo dos resultados apresentados para cada regressão linear simples individual. Considerando-se os valores determinados para R^2 verifica-se boa capacidade explanatória individual para o período de 1995 a 2008, sendo a variável **A**, a que apresenta maior relação com a variável dependente **Y**, com 94,92% de representatividade.

Tabela 12 - Resultados da regressão linear simples - Modelo 3 - 1995 a 2008.

Variável independente	Função	R^2
A) Preço médio de exportação de aço	$P = 0,0609A + 1,708$	0,9492
B) Produto Interno Bruto (PIB) da China	$P = 0,0099B + 8,2823$	0,9032
C) Produto Interno Bruto (PIB) Mundial	$P = 0,001C - 13,439$	0,8612
D) Produção mundial de minério de ferro	$P = 0,0267D - 8,6509$	0,9093
E) Produção mundial de aço bruto	$P = 0,0455E - 17,855$	0,7381
F) Preço internacional do petróleo	$P = 0,4455F + 9,8902$	0,9196

Elaborado pelo autor.

Porém, para o período pós-crise, de 2009 a 2014, verificam-se baixos valores para R^2 , maior dispersão dos dados e, conseqüentemente, capacidade explanatória baixa ou ausente.

Tabela 13 - Resultados da regressão linear simples - Modelo 3 - 2009 a 2014.

Variável independente	Função	R^2
A) Preço médio de exportação de aço	$P = 0,3134A - 123,89$	0,7559
B) Produto Interno Bruto (PIB) da China	$P = 0,0036B + 62,161$	0,0709
C) Produto Interno Bruto (PIB) Mundial	$P = 0,0019C - 47,165$	0,2558
D) Produção mundial de minério de ferro	$P = 0,0366D - 14,19$	0,2688
E) Produção mundial de aço bruto	$P = 0,084E - 37,729$	0,2760
F) Preço internacional do petróleo	$P = 1,1014F - 11,386$	0,5776

Elaborado pelo autor.

Realizou-se nova regressão linear múltipla conforme modelo proposto, considerando apenas o período de 1995 a 2008. A tabela 14 indica os coeficientes estimados pelo método da regressão linear múltipla para respectiva variável utilizada, considerando a equação 11:

$$P_3 = \beta_0 + \beta_A \times A_3 + \beta_B \times B_3 + \beta_C \times C_3 + \beta_D \times D_3 + \beta_E \times E_3 + \beta_F \times F_3 \quad (11)$$

Tabela 14 - Ajuste do modelo 3.

Parâmetro	Coefficientes	Erro padrão	Valor-P
Termo independente	23,4724	7,6023	0,0176
A_3 (US\$/t)	0,0229	0,0168	0,2146
B_3 ($\times 10^9$ US\$)	0,0052	0,0037	0,2049
C_3 ($\times 10^9$ US\$)	-0,0005	0,0008	0,5248
D_3 ($\times 10^6$ t)	0,0204	0,0131	0,1619
E_3 ($\times 10^6$ t)	-0,0295	0,0237	0,2534
F_3 (US\$/barril)	0,1911	0,1487	0,2397

Elaborado pelo autor.

A equação representa a relação entre o preço P e as demais variáveis propostas pelo modelo:

$$P_3 = 23,4724 + 0,0229 \times A_3 + 0,0052 \times B_3 - 0,0005 \times C_3 + 0,0204 \times D_3 - 0,0295 \times E_3 + 0,1911 \times F_3 \quad (12)$$

O coeficiente de correlação R^2 determinado (tabela 15) apresenta o valor de 0,9877, ou seja, as variáveis do modelo proposto explicam 98,77% da variação da variável dependente P_3 , preço de exportação de minério de ferro brasileiro. Aproximadamente 1,3% da variação pode ser explicada por variáveis desconhecidas do modelo proposto.

Tabela 15 - Coeficiente de correlação do modelo 3.

Coefficiente de Correlação	0,9938
R^2 (Coeficiente de Correlação ao quadrado)	0,9877

Elaborado pelo autor.

Conforme dados da tabela 16, a análise de variância mostra que o modelo é significativo considerando um nível de significância de 95%, pois:

$$\text{Valor P} = 2,5344\text{E} - 06 < 0,05 \quad (13)$$

Assim, há evidências de que pelo menos uma variável esteja relacionada com o preço P_2 .

Tabela 16 - Análise de variância do modelo 3.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor-P
Regressão	6	1736,4366	289,4061	2,5344E-06
Resíduo	7	21,6968	3,0995	
Total	13	1758,1335		

Elaborado pelo autor.

Mediante comparação dos resultados apresentados no primeiro e no terceiro modelo, verifica-se que a função proposta apresenta representatividade maior no período de 1995 a 2008. Neste período, os parâmetros considerados apresentam capacidade explanatória de quase 99% da variação de preços de minério de ferro. No entanto, considerando-se o valor-P determinado para cada variável independente em um intervalo de confiança de 95%, verifica-se baixa probabilidade de rejeição da hipótese nula, o que implica na possibilidade de que não haja relação entre as variáveis.

5. Conclusão

Com base nos resultados e análises dos modelos matemáticos apresentados, verifica-se que as variáveis selecionadas caracterizam-se como explanatórias de variações nos preços de minério de ferro durante o período proposto de 1995 a 2014. O primeiro modelo proposto apresentou representatividade de 93,64%. Visando torná-lo ainda mais representativo, um segundo modelo foi composto pelas variáveis de maior significância e apresentou 87,10% de representatividade. Ao considerar o período reduzido de 1995 a 2008, o terceiro modelo proposto apresentou 98,77% de representatividade.

Verifica-se que as variáveis apresentadas se mostram adequadas para análise da variação dos preços no período que antecede à “Crise do *Subprime*”. Porém, no período pós-crise as condições de variação dos preços se tornaram mais complexas em função da maior dispersão dos dados, sendo necessária a determinação de outros fatores explanatórios que possam substituir ou complementar as variáveis apresentadas, permitindo maior compreensão dos fenômenos econômicos que regem a determinação dos preços do minério de ferro.

O método utilizado mostra-se adequado para elaboração de modelo matemático de ajuste aos dados coletados, considerando-se a alta representatividade determinada, e mostra-se versátil ao permitir a utilização de diferentes parâmetros, com devida fundamentação histórica, econômica e matemática.

Recomenda-se ainda que o modelo seja aprimorado, analisando-se diferentes variáveis que possam exercer influência na oferta e na demanda e, conseqüentemente na precificação. Devem ainda ser abordadas estratégias específicas dos produtores e consumidores, tais como novos investimentos, *joint-ventures*, formação de cartéis e políticas de importações.

Referências

- ALMEIDA, J. A. C. **Serra dos Carajás**. I Seminário de Geologia e História do Brasil. Marabá: Universidade Federal do Pará, 2013.
- ANDRADE, M. L. A.; CUNHA, L. M. S.; GANDRA, G. T. **Reestruturação na Siderurgia Brasileira**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 1999, 37 p.
- ANGLO AMERICAN. **Nossos Negócios: Minério de Ferro**. 2015. Disponível em: <http://brasil.angloamerican.com/nossos-negocios/minerio-de-ferro?sc_lang=pt-PT>. Acessado em: 18 de outubro de 2015.
- AVERBUG, A.; GIAMBIAGI, F. **A Crise Brasileira de 1998/1999 - Origens e Conseqüências**. Rio de Janeiro: BNDES, 2000.
- AZEVEDO, U. R.; MACHADO, M. M. M.; CASTRO, P. T. A.; RENGER, F. E.; TREVISOL, A.; BEATO, D. A. C. **Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG)**. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico Brasileiro, 2012.
- BANCO CENTRAL. **Sistema Gerenciador de Séries Temporais (SGS)**. 2015. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/series/port/aviso.asp>>. Acessado em: 23 de agosto de 2015.
- BHP BILLINTON. **BHP Billiton Results for the Half-Year Ended 31 December 2014**. BHP Billiton, 2015.
- CAMPOS, A. R.; FONSECA, V. O. Pelotização. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010, p. 705-750.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Siderurgia no Brasil 2010-2015: subsídios para tomada de decisões**. Brasília: CGEE, 2010, 112 p.
- CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. São Paulo: Signus Editora, 2002, v.1, 267 p.
- CHEMALE JÚNIOR, F.; TAKEHARA, L. **Minério de Ferro: Geologia e Geometalurgia**. São Paulo: Blucher, 2013, 202 p.

COELHO, D. B.; MASIERO, G.; CASEIRO, L. **A ascensão da China e seus reflexos no Brasil: fundamentos e evidências para uma estratégia de desenvolvimento**. Rev. Bras. Inov. Campinas, 2015, n. 14, p. 85-108.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (CSN). **A Empresa**. CSN, 2015a. Disponível em: <<http://www.csn.com.br/>>. Acesso em: 18 de outubro de 2015.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (CSN). **Resultados 4T14 e 2014**. São Paulo: CSN, 2015b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **A Indústria do Aço no Brasil**. Brasília: CNI, 2012. 48 p.

DE PAULA, G. M. Consolidando Posições na Mineração. **Minas Gerais do Século XXI / Banco do Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG)**. Belo Horizonte: Rona Editora, 2002.

DE PAULA, G. M. **Relatório de Estudos Setoriais: Siderurgia**. BNDES: EBC, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral 2014**. Brasília: DNPM, 2014, 141 p.

ERICSSON, M.; LÖF, A. Iron Ore Market Review 2014: Prospects Persists for Oversupply and Weak Prices. **Engineering and Mining Journal**, Jacksonville, v. 215, p. 28-32, 2014.

FERREIRA, G. E. **A Competitividade da Mineração de Ferro no Brasil**. Rio de Janeiro: MCT/CETEM, 2001, 54 p.

FORTESCUE METALS GROUP (FMG). **2015 Annual report**. FMG, 2015.

GARÓFALO, G. L. Considerações sobre a Microeconomia. In: MONTORO FILHO, A. F. et al. **Manual de Economia**. São Paulo: Saraiva, 1992. p. 89-99.

GRIGORYAN, H. **Modeling iron ore spot futures market: Examination of Momentum Effects**. Bergen, 2013, 49 p.

HU, M.; PAULIUK, S.; WANG, T., HUPPES, G.; VAN DER VOET, E.; MÜLLER, D. B. Iron and steel in chinese residential buildings: A dynamic analysis. **Resources, Conservation and Recycling**. 2010, 54(9), 591-600.

INSTITUTO AÇO BRASIL (IABR). **Anuário Estatístico da Siderurgia**. Rio de Janeiro: IABr, 2000/2014.

LAPPONI, J. C. **Estatística Usando Excel 5 e 7**. São Paulo: Laponi Treinamento e Editora, 1997.

LI, H.; WANG, B.; REN, E.; WU, C. **Empirical Analysis of the Influencing Factors on Iron ore Prices**. Deng Leng: Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC), 2011, p. 3004-3008.

MALYNOWSKYJ, A. Fabricação de Aço Líquido em Conversor de Oxigênio. In: MOURÃO, M.B. **Introdução à Siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007, p. 125-168.

MMX. **Relatório de Resultados 2014**. Rio de Janeiro: MMX, 2015.

MONTORO FILHO, A. F. Teoria Elementar do Funcionamento do Mercado. In: MONTORO FILHO, A. F. et al. **Manual de Economia**. São Paulo: Saraiva, 1992. p. 101-134.

MOURÃO, J. M. Pelotização de minérios de ferro. In: BRADASCHIA, C. **Siderurgia para não-siderurgistas**. São Paulo: ABM, 1986, v.1, p. 107-176.

PINHEIRO, A. C.; GIAMBIAGI, F.; GOSTKORZEWICZ, J. O Desempenho Macroeconômico do Brasil nos Anos 90. In: GIAMBIAGI, F.; MOREIRA, M. M. **A Economia Brasileira nos Anos 90**. Rio de Janeiro: BNDES, 1999, p. 10-42.

PINDYCK, R. S; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

QUARESMA, L. F. **Perfil da Mineração de Ferro**. Brasília: MME: SGM, 2009, 62 p.

RIO TINTO. **Fourth quarter 2014 operations review**. Rio Tinto, 2015.

SAMARCO. **Relatório de Administração e de Contabilidade Financeira**. Samarco, 2014.

SILVA, C. Uma breve análise do contágio da crise subprime americana para a economia brasileira. **A Economia em Revista**. Maringá: UEM, 2010, v. 18, n. 1, p. 123-137.

SUKAGAWA, P. Is iron ore priced as a commodity? Past and current practice. **Resources Policy**, Japão, 2010, v. 35, n. 1, p. 54-63.

TAKANO, C. Processos de preparação de matérias-primas siderúrgicas. In: MOURÃO, M.B. **Introdução à Siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007, p. 21-54.

TAKEHARA, L. **Caracterização geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros – Fração Sinter Feed**. Porto Alegre: UFRGS, 2004, 372 p.

THE STEEL INDEX (TSI). **Methodology and Specifications Guide**. Singapura: Platts, 2015.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **UNCTAD Statistics** (Database). 2015. Disponível em: <<http://unctad.org/en/Pages/Statistics.aspx>>. Acessado em: 23 de agosto de 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Mineral Commodity Summaries**. Reston: USGS, 1996/2015.

USIMINAS. **Divulgação de resultados do 4T14 e 2014**. Belo Horizonte: Usiminas, 2015.

VALE. **Linha do Tempo**. 2015a. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/timeline/Paginas/default.aspx>>. Acessado em: 18 de outubro de 2015.

VALE. **Relatório de Produção da Vale no 2T15**. Rio de Janeiro: Vale, 2015.

VIEIRA, C. B. et al. **Avaliação técnica de minério de ferro para sinterização nas siderúrgicas e minerações brasileira: uma análise crítica**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, 2003, v. 56, n. 2, p. 97-102.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Análise de Regressão: Como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo.** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

WORLD STEEL ASSOCIATION (WSA). **World Steel Annualy: Crude Steel Production, 1980-2014.** WSA, 2015.

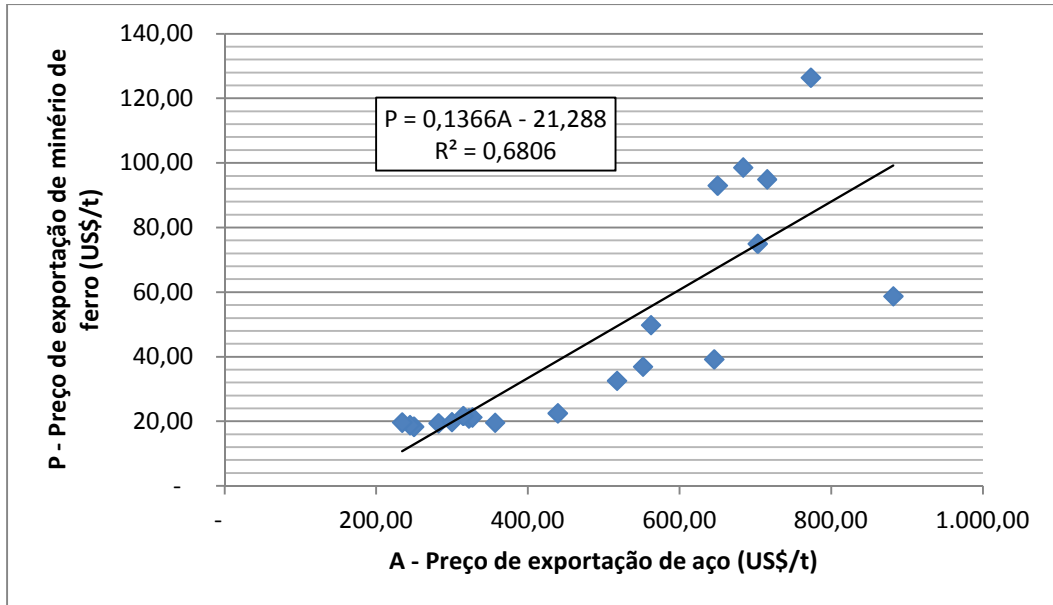
Anexo A - Tabela de dados

Tabela 17 - Dados

Ano	P (US\$/t)	A (US\$/t)	B (x10 ⁹ US\$)	C (x10 ⁹ US\$)	D (x10 ⁶ t)	E (x10 ⁶ t)	F (US\$/barril)
1995	19,57	356,68	756,96	30.871,25	1.000	753	17,20
1996	20,89	322,11	892,01	31.529,21	1.020	751	20,37
1997	21,23	326,60	985,05	31.392,30	1.040	800	19,27
1998	21,66	314,60	1.045,20	31.155,44	1.020	779	13,07
1999	19,64	234,13	1.100,78	32.339,41	994	790	17,98
2000	19,43	282,03	1.192,84	33.255,88	1.060	850	28,23
2001	18,82	244,36	1.317,23	33.082,16	1.060	852	24,33
2002	18,31	249,65	1.455,55	34.423,99	1.080	905	24,95
2003	19,77	299,62	1.650,51	38.700,86	1.160	971	28,89
2004	22,51	439,27	1.944,67	43.585,63	1.340	1.063	37,76
2005	32,55	517,39	2.287,24	47.203,49	1.540	1.148	53,35
2006	36,90	551,60	2.793,18	51.166,41	1.800	1.250	64,27
2007	39,18	645,53	3.504,41	57.596,70	2.000	1.348	71,13
2008	58,71	881,75	4.547,28	63.113,07	2.220	1.343	97,04
2009	49,79	562,19	5.105,46	59.884,33	2.240	1.239	61,78
2010	92,98	650,09	5.949,79	65.429,98	2.590	1.433	79,03
2011	126,40	772,92	7.314,44	72.442,60	2.940	1.538	104,01
2012	94,91	715,35	8.229,45	73.699,29	2.930	1.560	105,01
2013	98,57	683,74	9.181,20	75.641,05	3.110	1.650	104,07
2014	74,97	702,90	10.066,67	77.450,91	3.220	1.670	96,25

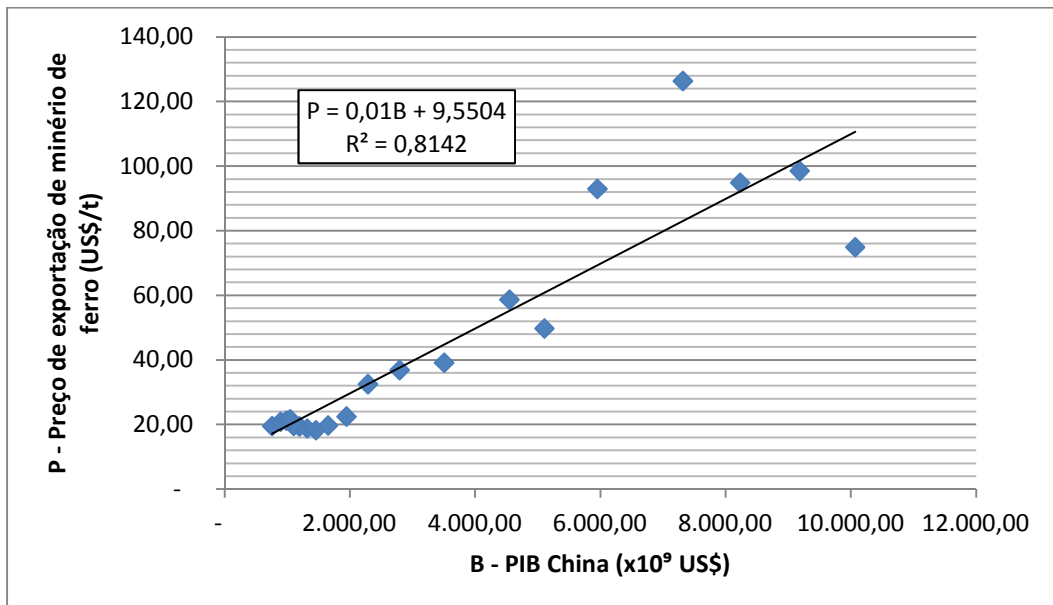
Anexo B - Gráficos de dispersão - Modelo 1

Figura 10 - Gráfico de dispersão PxA - Modelo 1.



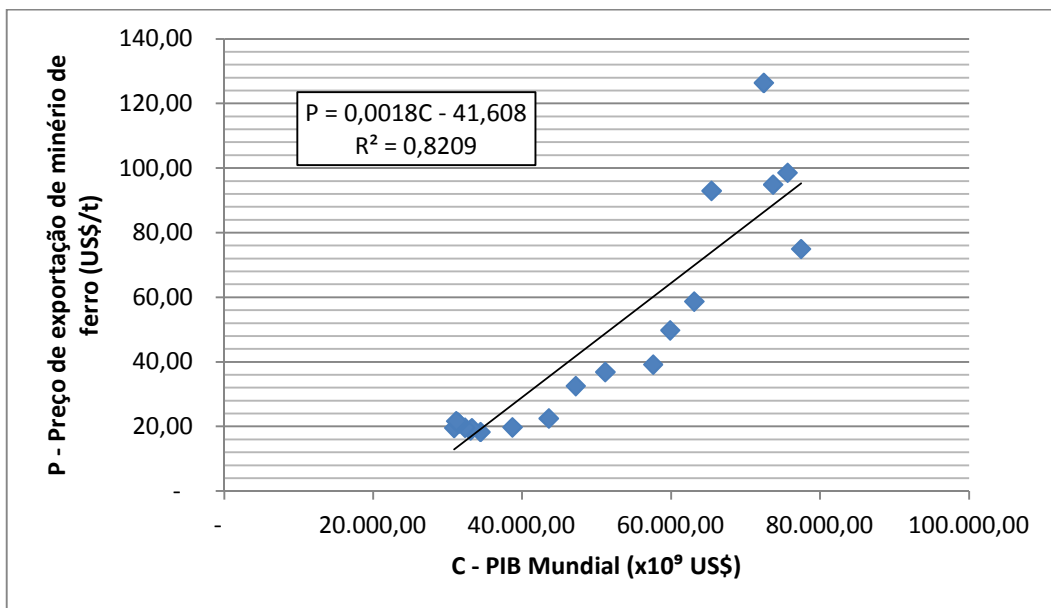
Elaborado pelo autor.

Figura 11 - Gráfico de dispersão PxB - Modelo 1.



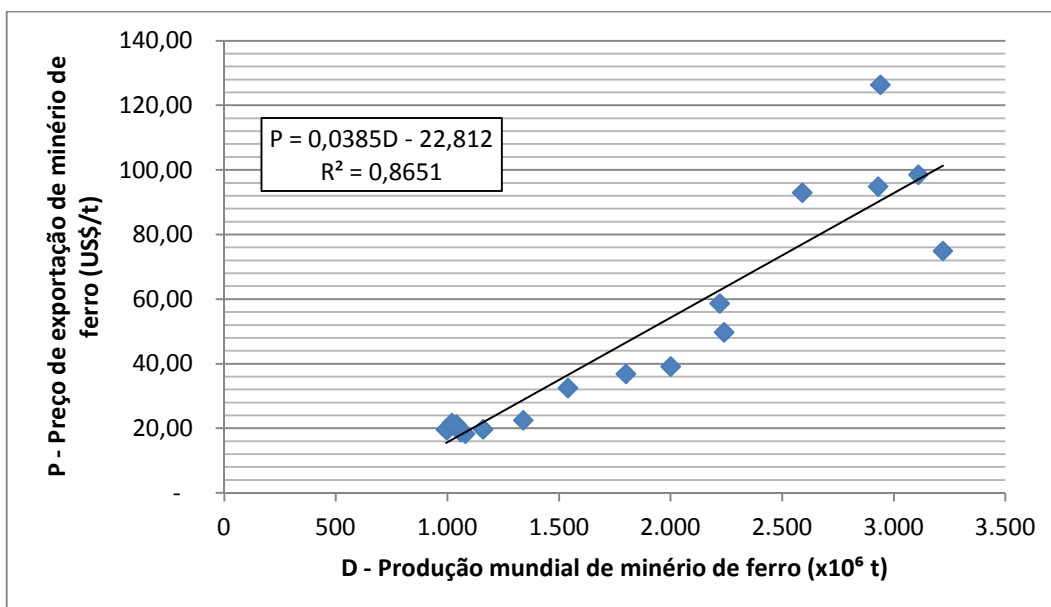
Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Gráfico de dispersão PxC - Modelo 1.



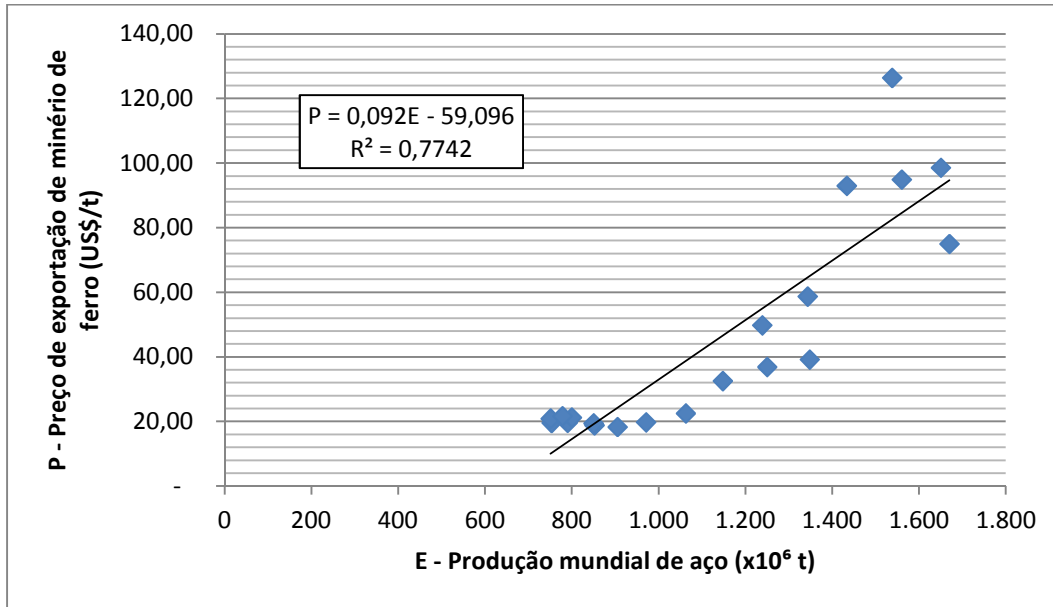
Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Gráfico de dispersão PxD - Modelo 1.



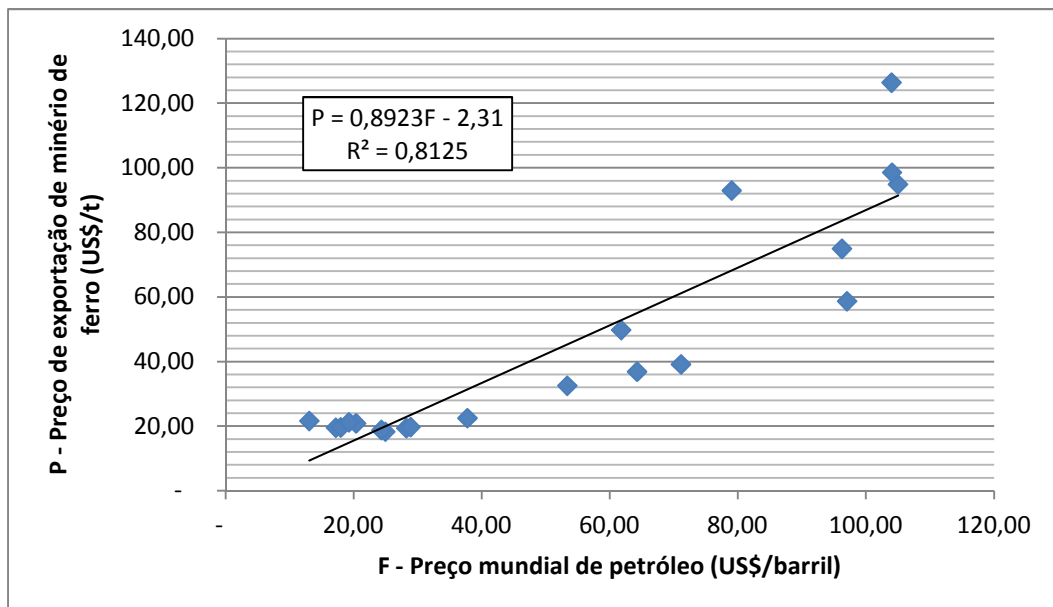
Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Gráfico de dispersão PxE - Modelo 1.



Elaborado pelo autor.

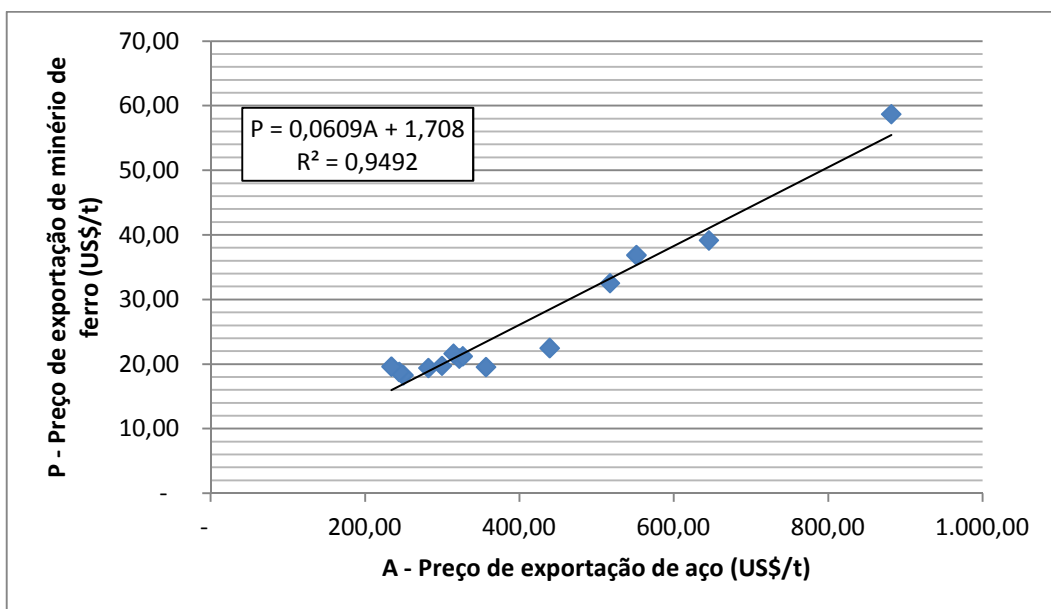
Figura 15 - Gráfico de dispersão PxF - Modelo 1.



Elaborado pelo autor.

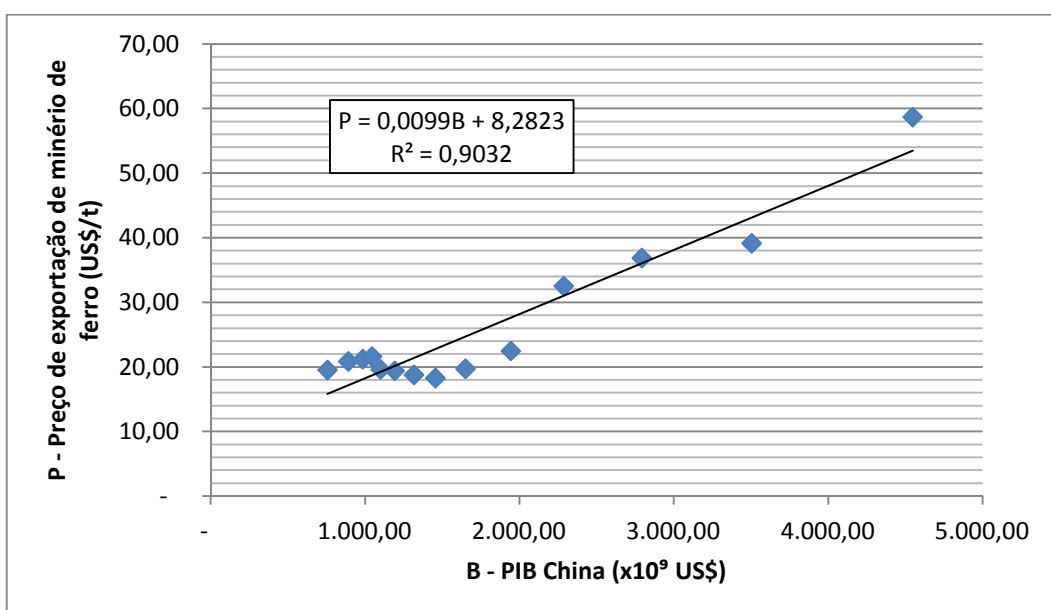
Anexo C - Gráficos de dispersão - Modelo 3

Figura 16 - Gráfico de dispersão PxA - Modelo 3 - 1995 a 2008.



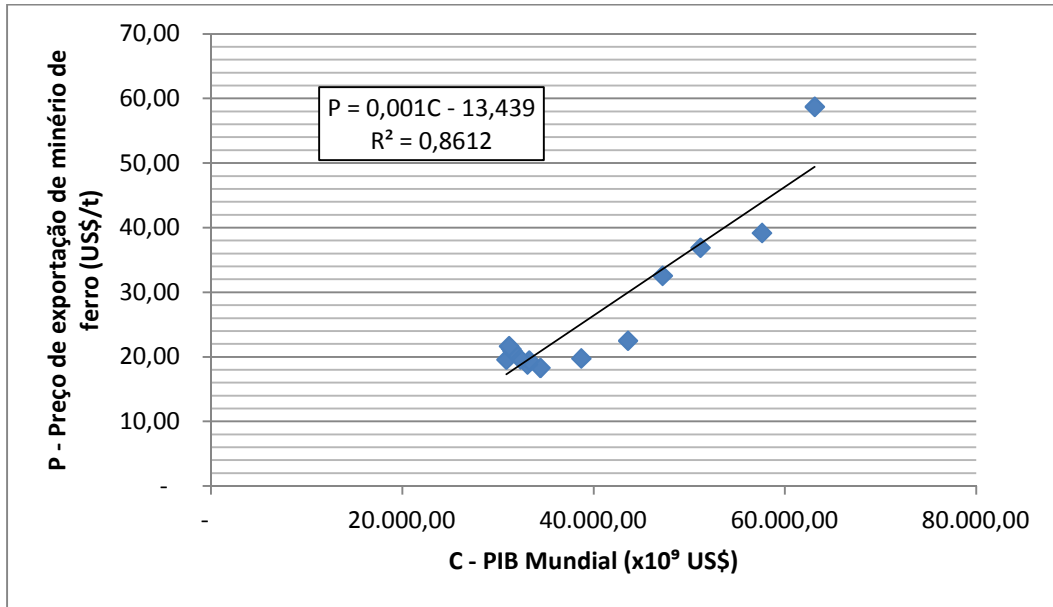
Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Gráfico de dispersão PxB - Modelo 3 - 1995 a 2008.



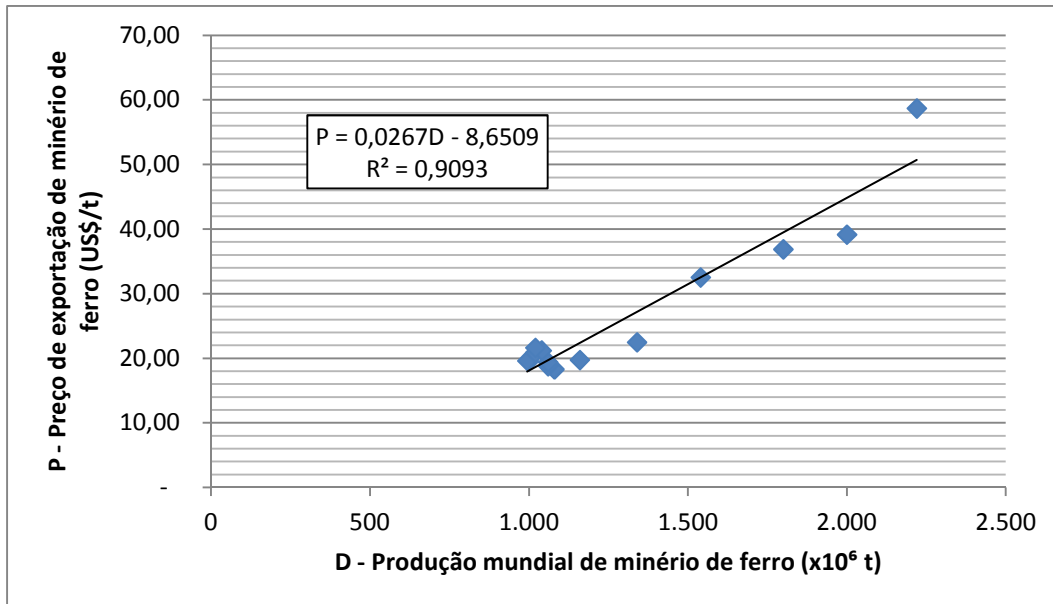
Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Gráfico de dispersão PxC - Modelo 3 - 1995 a 2008.



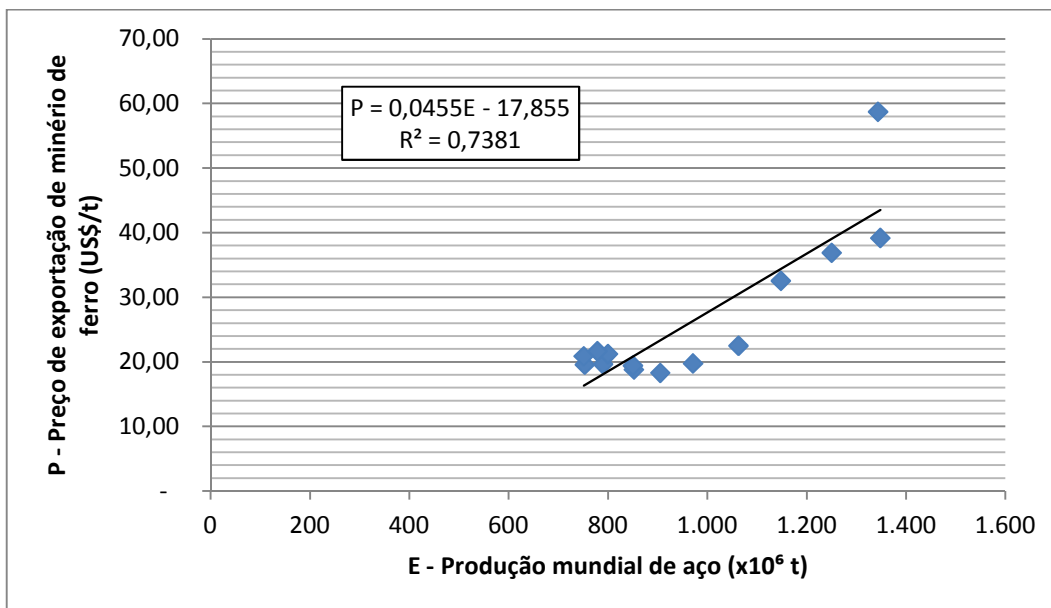
Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Gráfico de dispersão PxD - Modelo 3 - 1995 a 2008.



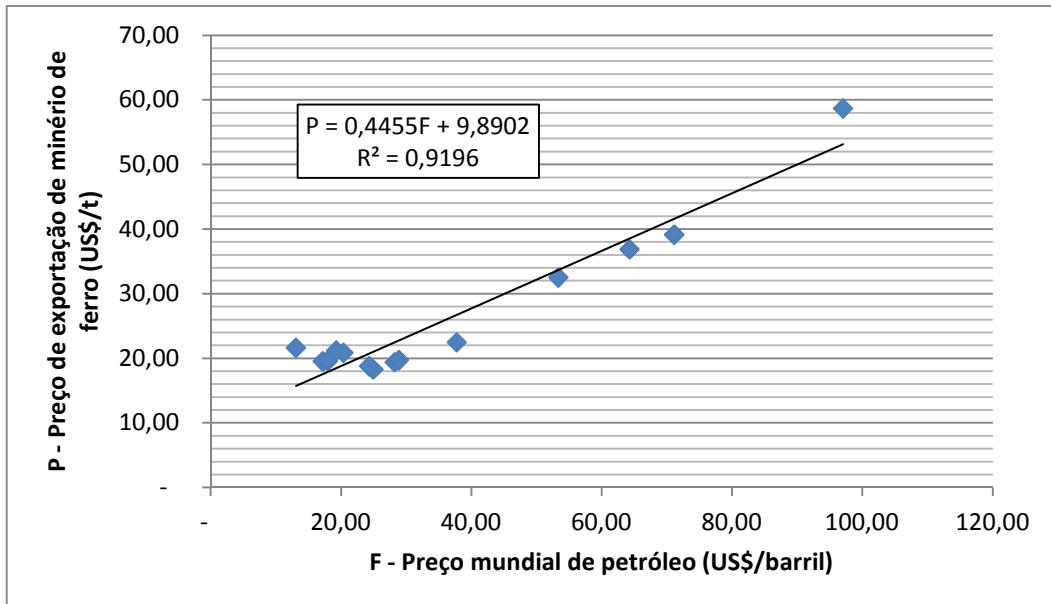
Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Gráfico de dispersão PxE - Modelo 3 - 1995 a 2008.



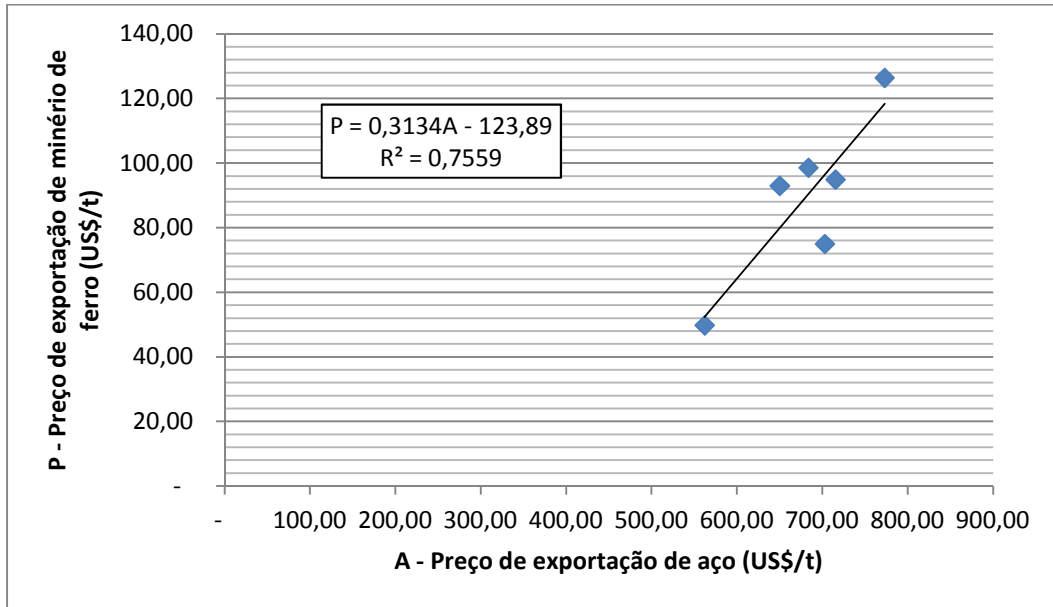
Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Gráfico de dispersão PxF - Modelo 3 - 1995 a 2008.



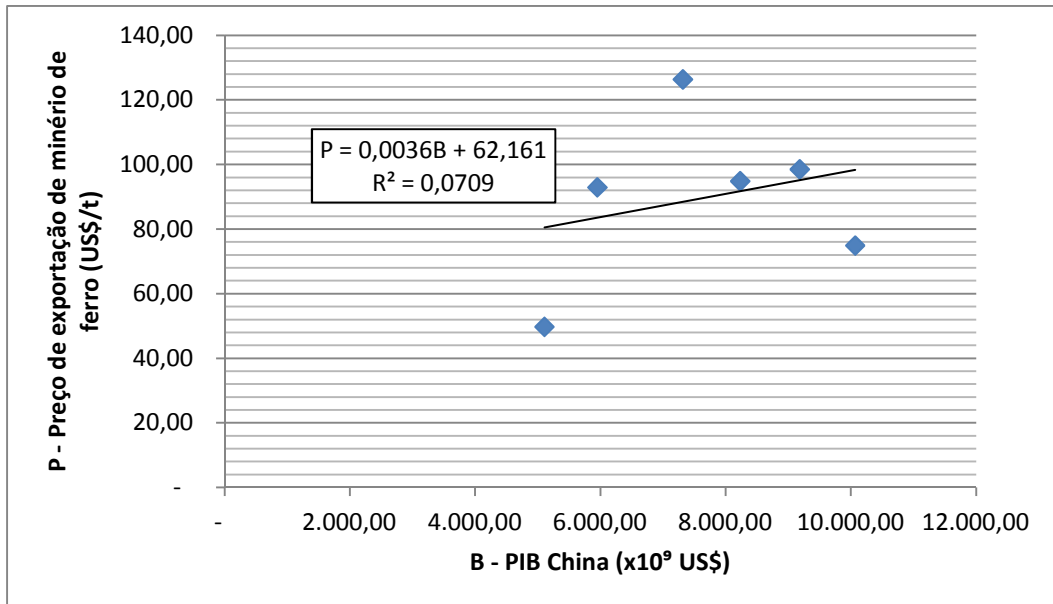
Elaborado pelo autor.

Figura 22 - Gráfico de dispersão PxA - Modelo 3 - 2009 a 2014.



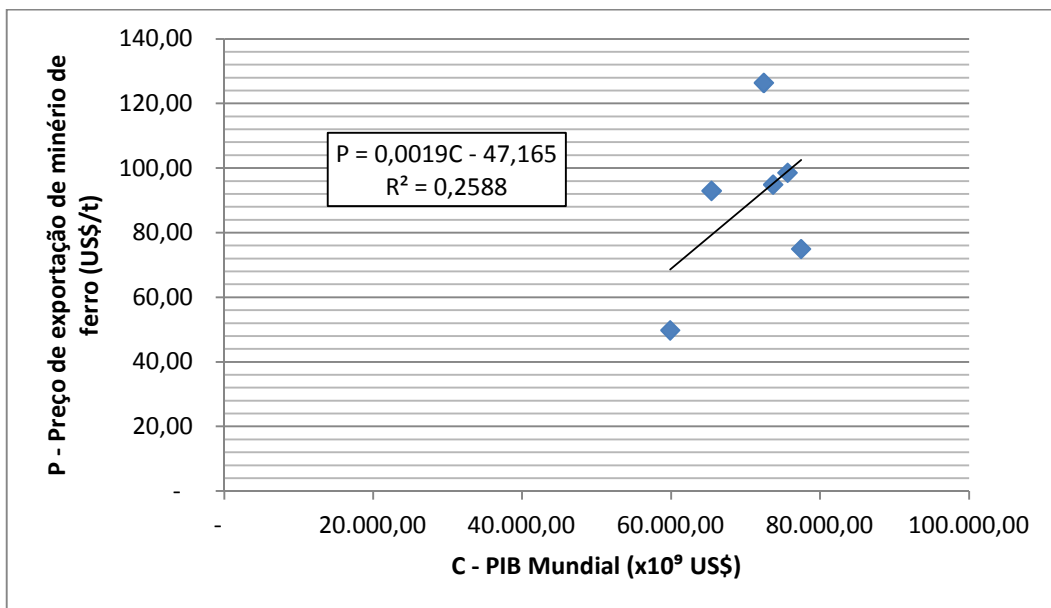
Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Gráfico de dispersão PxB - Modelo 3 - 2009 a 2014.



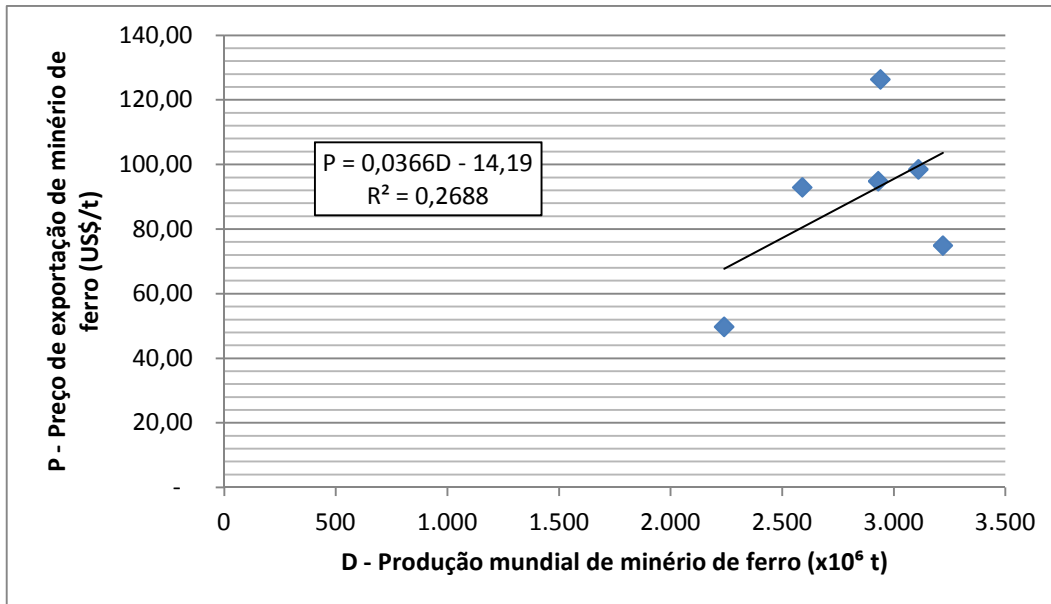
Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Gráfico de dispersão PxC - Modelo 3 - 2009 a 2014.



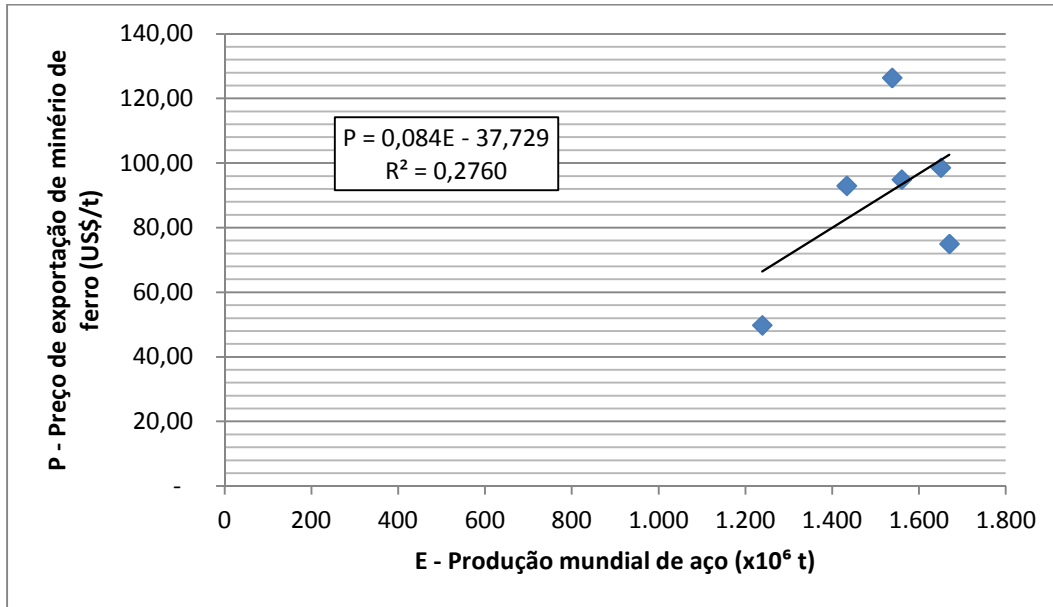
Elaborado pelo autor.

Figura 25 - Gráfico de dispersão PxD - Modelo 3 - 2009 a 2014.



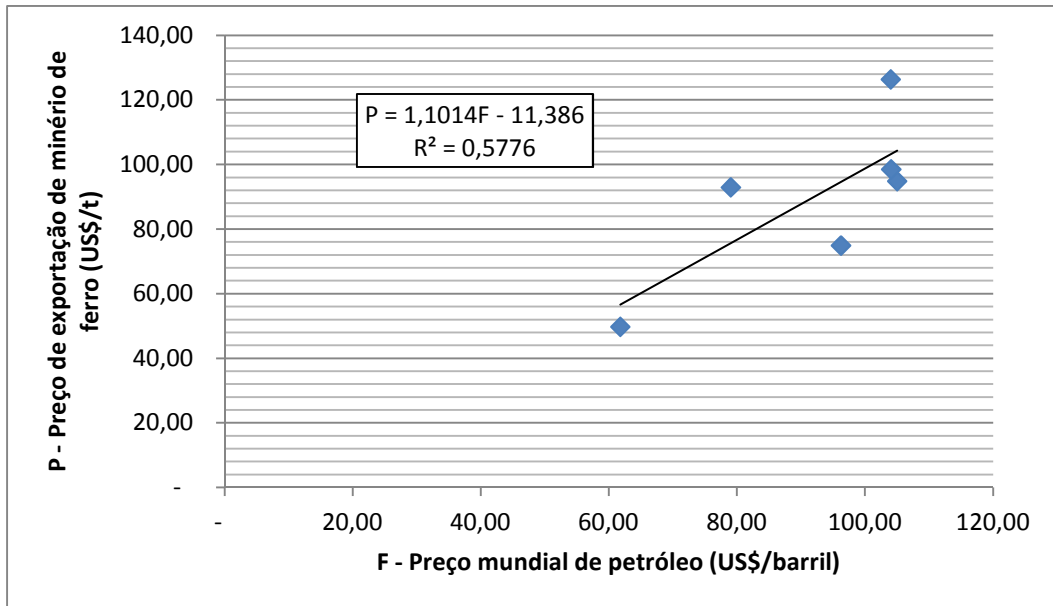
Elaborado pelo autor.

Figura 26 - Gráfico de dispersão PxE - Modelo 3 - 2009 a 2014.



Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Gráfico de dispersão PxF - Modelo 3 - 2009 a 2014.



Elaborado pelo autor.