



**Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais  
Campus Morro do Cruzeiro**



**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA METALÚRGICA**

**UM ESTUDO DE CASO SOBRE A INFLUÊNCIA DOS INDICADORES  
MACROECONÔMICOS EM UMA PRODUTORA INDEPENDENTE DE  
FERRO-GUSA**

**Bernardo Versiani Passos Coelho**

Ouro Preto, MG

2022

Bernardo Versiani Passos Coelho

**UM ESTUDO DE CASO SOBRE A INFLUÊNCIA DOS INDICADORES  
MACROECONÔMICOS EM UMA PRODUTORA INDEPENDENTE DE FERRO  
GUSA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Metalurgista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Assis

**Ouro Preto, MG**

**2022**



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Bernardo Versiani Passos Coelho**

**Um estudo de caso sobre a influência dos indicadores macroeconômicos em uma produtora independente de ferro-gusa**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Metalurgista

Aprovada em 01 de julho de 2022

### Membros da banca

Dr. Paulo Santos Assis - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Danton Heleno Gameiro - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. Jorge Luiz Brécia Murta - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Paulo Santos Assis, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/07/2022



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Santos Assis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/07/2022, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0355907** e o código CRC **01576990**.

## RESUMO

O presente estudo tem por objetivo analisar como se deram os efeitos econômicos da pandemia da COVID-19 dentro da realidade de uma usina independente de ferro-gusa, no período entre 2019 e 2021. O ferro-gusa é uma matéria-prima vital para a indústria siderúrgica mundial, assumindo papel estratégico dentro de um mercado altamente competitivo e globalizado como é a indústria do aço. As commodities naturais estão entre os insumos que mais foram afetados pela pandemia do novo coronavírus. O setor minero-metalúrgico não foi poupado da crise sanitária, e toda cadeia produtiva foi impactada. A pesquisa em questão faz uso de dados macroeconômicos das regiões envolvidas e de informações obtidas através da companhia que é objeto de estudo, buscando correlacionar os dados a fim de estabelecer parâmetros comparativos entre o mercado internacional e sua volatilidade ocasionada pela pandemia. Conforme o estudo aponta, existe uma relação significativa entre o preço do ferro-gusa e do minério de ferro, ambos negociados internacionalmente, sendo que os dados referentes ao ferro-primário foram fornecidos pela companhia estudada. É de se levar em conta que diversas outras commodities são parte da cadeia de valor que envolve o aço, portanto essas outras matérias-primas também exercem influência considerável.

**Palavras-chave:** Ferro-gusa. Siderurgia. Economia. Pandemia da COVID-29. Minério de ferro.

## **ABSTRACT**

The present study aims to analyze how the economic effects of the COVID-19 pandemic took place within the reality of an independent pig iron plant in the period between 2019 and 2021. Pig iron is a vital raw material for the global steel industry, assuming a strategic role within a highly competitive and globalized market such as the steel industry. Natural commodities are among the inputs that were most affected by the new coronavirus pandemic. The mineral-metallurgical sector was not spared from the sanitary crisis, and the entire production chain was impacted. This research uses macroeconomic data from the regions involved and information obtained from the company under study, seeking to correlate the data in order to establish comparative parameters between the international market and its volatility caused by the pandemic. As the study points out, there is a statistically significant relationship between the price of pig iron and iron ore, both traded internationally; the data referring to primary iron were provided by the company studied. One must consider that many other commodities are part of the steel value chain, so these other raw materials also exert considerable influence.

**Keywords:** Pig iron. Ironmaking. Economy. COVID-29 pandemic. Iron ore.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Representação gráfica da Lei da Oferta e Demanda	14
Figura 3.2 – Evolução da Participação de Minas Gerais no produção brasileira	18
Figura 3.3 – Preço mundial do ferro-gusa em USD/tonelada	22
Figura 3.4 – Evolução da economia chinesa	24
Figura 3.5 – Relação Exportações x Mercado Doméstico	25
Figura 3.6 – Relação Exportações x Mercado Doméstico (2010-2019)	27
Figura 3.7 – Participações comerciais entre EUA e Brasil até 2014	29
Figura 4.1 – Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa	32
Figura 4.2 – Variabilidade de Y explicada por X e regressão linear pra Y em função de X	35
Figura 4.3 – Soma dos Quadrados da Regressão Linear	36
Figura 5.1 – Taxa de crescimento do PIB estadunidense	39
Figura 5.2 – Taxa de crescimento do PIB chinês	40
Figura 5.3 – Taxa de crescimento do PIB brasileiro – comparação ano a ano	41
Figura 5.4 – Taxa de crescimento trimestral do PIB brasileiro	42
Figura 5.5 – Preço do minério de ferro 62% de Fe (USD/ton)	44
Figura 5.6 – Produção de ferro-gusa em toneladas	45
Figura 5.7 – Preço do ferro-gusa e minério de ferro em USD/ton	47

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 3.1 – Tipos de ferro-gusa conforme sua composição

16

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Relação de usinas de acordo com tipo de redutor utilizado no alto-forno	16
Tabela 3.2 – Evolução da produção brasileira por polos “guseiros”	19
Tabela 3.3 – Participação do setor nas exportações brasileiras (%)	23
Tabela 3.4 – Maiores consumidores de ferro-gusa brasileiro	26
Tabela 3.5 – Evolução da parcela da produção brasileira que permanece no mercado interno	26
Tabela 3.6 – Evolução da parcela da produção brasileira que é exportada	27
Tabela 3.7 – Matriz das importações de ferro-gusa nos últimos anos	28
Tabela 5.1 – Taxa de Crescimento do PIB dos países estudados	41
Tabela 5.2 – Preço do Gusa convertido de Reais para Dólares Americanos	46
Tabela 5.3 – Valor-P encontrado na Regressão Linear	48
Tabela 5.4 – Estatísticas obtidas na Regressão Linear	49

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AF	Alto-Forno
FEA	Forno Elétrico a Arco
FMI	Fundo Monetário Internacional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAF	Mini Alto-Forno
OMC	Organização Mundial do Comércio
PIB	Produto Interno Bruto
SINDIFER	Sindicado da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>13</b>
3.1	OFERTA E DEMANDA	13
3.2	PRODUÇÃO DE INDEPENDENTE DE FERRO-GUSA	14
3.3	O BOOM DAS COMMODITIES	19
3.4	MACROECONOMIA E AS COMMODITIES BRASILEIRAS	21
3.5	DEMANDA MUNDIAL POR AÇO E FERRO-GUSA	25
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>30</b>
4.1	COLETA DOS DADOS	32
4.2	TRATAMENTO DOS DADOS	33
4.3	ANÁLISE PRELIMINAR E PESQUISA	33
4.4	ANÁLISE POR REGRESSÃO LINEAR	34
4.5	IDENTIFICAÇÃO DE OUTRAS POSSÍVEIS RELAÇÕES ENTRE AS COMMODITIES	36
4.6	DEFINIÇÃO DOS IMPACTOS DO CENÁRIO MACROECONÔMICO NO MERCADO DE FERRO-GUSA	37
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em tempos de constante inovação tecnológica, a indústria siderúrgica permanece como pilar fundamental para o desenvolvimento do Brasil. Pioneiro na produção de ferro e aço desde o período colonial, Minas Gerais conta com um bem estruturado parque siderúrgico que faz do estado o principal produtor de aço do país (NEVES; CAMISASCA, 2013; SANTOS, 2012). De acordo com Santos (2012), em meados do século XIX as forjas já desempenhavam papel de destaque no mercado mineiro de fabricação de ferro. Em 1821, estima-se que cerca de 30 forjas eram responsáveis pela produção de 120 toneladas anuais. A intensa demanda por ferro levou à progressiva expansão do volume produzido, que chegou a 1.550 toneladas em 1864.

Ainda de acordo com o autor, o modal produtivo por meio de forjas era ultrapassado, e a conjuntura política e econômica da época contribuiu para a criação de instituições de ensino que pudessem se aprofundar nos estudos e formar profissionais para o setor siderúrgico. O surgimento de novos empreendimentos favoreceu que, no final do século XIX, o mercado mineiro fosse apresentado à rota produtiva dos altos-fornos, iniciando uma mudança drástica rumo à modernidade (SANTOS, 2012).

Nesse contexto surgiu a Usina Esperança, fundada por alguns profissionais, entre os quais se destaca Jean Gerspacher, francês que veio ao Brasil por intermédio de Henri Gorceix e atuou na construção do alto-forno em 1888. A Usina Esperança foi instalada em posição estratégica em Itabirito, um local com fácil acesso à energia hidráulica e às ferrovias da região (SANTOS, 2012).

No fim do século XIX, a Usina Esperança passou por diversas reformulações, permitindo ampliação das capacidades técnicas de seu alto-forno e passou a se chamar Usina Queiroz Junior, em 1899. O empreendimento foi responsável pelo pioneirismo na produção de ferro-gusa em Minas Gerais. Parte importante do seu sucesso e de sua existência até os dias atuais se dá por conta de sua localização privilegiada, em meio aos recursos minero-metalúrgicos disponíveis, e graças à proximidade em relação à Escola de Minas de Ouro Preto, onde serve como objeto de estudo para vários professores ilustres (SANTOS, 2012).

Segundo Rizzo (2009), a matéria-prima metálica é adquirida de pequenas mineradoras nacionais, geralmente em sua forma granulada, não passando por nenhum processo intermediário antes de ser utilizada no alto-forno. A usina tem grande capacidade de gerar

produtos de alto valor, utilizando uma ampla gama de minérios que apresentam teores variados de Fe, entre 45% e 65%.

A variabilidade dessa matéria-prima deve-se principalmente à oferta flutuante desses produtos no mercado; nessa etapa já é possível perceber como o mercado externo influencia a realidade de uma produtora independente de ferro-gusa. Quando o valor do minério de ferro sobe nos mercados internacionais, a tendência é que os insumos metálicos de maior teor fiquem mais escassos no mercado nacional, principalmente para o pequeno produtor (RIZZO, 2009).

A empresa estudada possui um sistema de tratamento de gusa cujo processo permite a fabricação do ferro-gusa nodular. Esse produto é fruto da escória de ferrosilício, com objetivo de proporcionar baixos índices de manganês, fósforo e enxofre. A utilização desse tipo de ferro-gusa se dá na fabricação de peças fundidas de alta qualidade, principalmente para componentes automotivos e industriais (IIMA, 2017). Além do ferro-gusa nodular, que é um produto de maior valor agregado, compõem o portfólio da usina o ferro-gusa cinzento e de aciaria, dando à empresa capacidade de atuar em múltiplos mercados internacionais.

O ferro-gusa cinzento é o menos restritivo: sua maior variável de controle é o teor de silício, que varia entre 2% e 3%. Outro ponto de atenção na produção desse material é o carbono, que deve ficar entre 2,5% e 4%. Já o ferro-gusa de aciaria se caracteriza por teores mais baixos de silício, entre 1,5% e 2,5%, e tem também como elemento químico a ser controlado o fósforo, este deve permanecer entre 0,3% e 0,5%. O ferro-gusa nodular apresenta a composição química mais restritiva, uma vez que nele deve-se monitorar os teores de silício (Si), fósforo (P) e manganês (Mn). O silício nesse caso deve seguir entre 1,5% e 3%, o fósforo no máximo até 0,1% e o manganês em até 1%. É importante ressaltar que, para a fabricação de qualquer tipo de ferro-gusa, é necessário um excelente controle do teor de enxofre (S) (IIMA, 2017). No caso da empresa estudada, este índice se mantém em no máximo 0,15% para todos os materiais produzidos.

O presente trabalho busca entender como os aspectos macroeconômicos do mercado externo influenciam a realidade de uma siderúrgica de pequeno porte, considerando não só as análises passadas que relacionam o mercado de commodities nacional com o ambiente externo, mas também as realidades diferentes impostas pela pandemia da COVID-19. A crise sanitária causada pelo surgimento do novo coronavírus atingiu o mundo de forma abrupta, levando as bolsas de commodities a um completo descompasso em relação às empresas produtoras e gerando um aumento expressivo no preço das matérias-primas. O ambiente

global de fechamentos e restrições de movimento ocasionou diversas interrupções nas cadeias integradas de suprimentos, acentuando a correlação entre o crescimento econômico e o mercado internacional de commodities naturais (QIANG *et al.*, 2021).

O minério de ferro é um dos maiores produtos de exportação brasileiros, e ao mesmo tempo é um insumo extremamente relevante para a siderurgia nacional. Durante a mais recente alta de preços, o minério de ferro com teor de 62% Fe chegou a ser negociado a 230,00 dólares, atingindo recorde histórico, segundo o Diário do Comércio (BIANCHETTI, 2021).

Esse aumento no valor da commodity modificou a oferta por minério no mercado mundial. A crise sanitária afetou diversas formas de produção industrial, locomoção popular, e os meios de consumo da sociedade. De acordo com Qiang *et al.*, em 2021, pode-se verificar uma forte influência entre os indicadores macroeconômicos e os preços das commodities naturais no mercado internacional. Durante o período de pico da COVID-19, no sudeste asiático, essa relação se tornou ainda mais próxima, tornando a economia mundial ainda mais vulnerável a desastres naturais e eventos políticos adversos. A volatilidade de preços e as incertezas com relação ao comércio global contribuíram para um cenário de perdas econômicas expressivas por parte dos estados (QIANG *et al.*, 2021).

Para que se estude de maneira efetiva, dispõe-se de dados históricos sobre os últimos “booms” de commodities, buscando relacionar as situações passadas nos últimos 20 anos com o cenário minero-metalúrgico atual. Além disso, busca-se correlacionar como o mercado internacional afetou a produção interna, e os efeitos causados pelos indicadores macroeconômicos dos países que são os maiores consumidores de ferro-gusa e aço nacional.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa é analisar como os indicadores macroeconômicos mundiais afetam uma usina siderúrgica de produção independente de ferro-gusa, buscando compreender como a variabilidade no preço das commodities influencia o pequeno produtor.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar a influência do mercado externo sobre o pequeno produtor nacional de ferro-gusa;
- Compreender como a pandemia da COVID-19 e a subsequente alta nos preços das matérias primas afetaram a empresa em questão;
- Comparar como a mais recente alta de preços das commodities se correlaciona com os superciclos econômicos dos insumos metálicos nos últimos 20 anos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 OFERTA E DEMANDA

De acordo com Mankiw (2014), o mercado é um conglomerado dividido entre dois grupos: aqueles que estão dispostos a vender e aqueles que estão dispostos a comprar. Cada um deles é responsável por determinar uma das forças que regem o mercado: os compradores estabelecem a demanda por um certo produto, enquanto os vendedores estipulam a oferta do produto. Ambas as forças atuam como um grupo, e dessa forma regulamentam os mercados, cada qual em um nível de organização. Muitas vezes essas forças são nomeadas “Lei da Oferta e Demanda”, e apresentam relação direta entre preço e as quantidades disponíveis de um determinado produto (MANKIW, 2014).

A quantidade de demanda de um produto pode ser determinada como sendo a quantidade disponível dele e seu respectivo desejo de compra. Para que essa relação funcione, o preço é parte fundamental da equação. Logo, quando o preço de determinado bem de consumo sobe, a procura ou demanda por este produto diminui; para que a procura aumente, faz-se necessário que o preço abaixe. Essa relação rege os mercados de forma tão intensa que é chamada de Lei da Demanda (MANKIW, 2014).

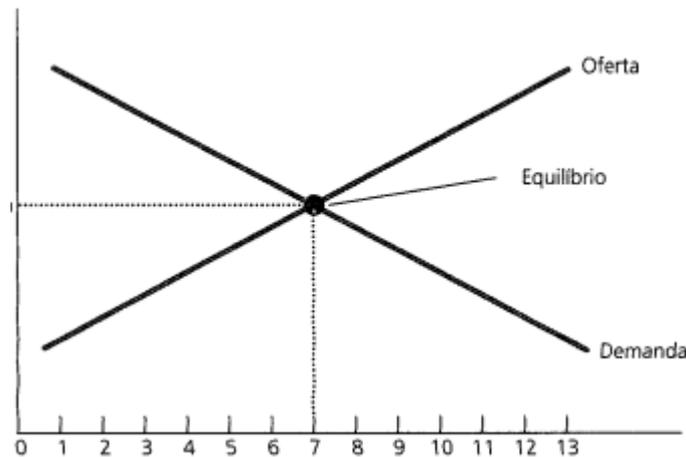
A demanda no mercado mundial nos últimos 20 anos é marcada pelo intenso crescimento econômico chinês, que foi acentuado a partir de 2001, quando o gigante asiático começou a participar do multilateralismo comercial, entrando para a Organização Mundial do Comércio (OMC). A China passou a demandar boa parte das commodities globais, como produtos agrícolas, fertilizantes, petróleo, e também produtos metálicos. Esse fenômeno é conhecido como “efeito-China” (BLACK, 2013).

A oferta, por sua vez, tem sua quantidade definida pela disponibilidade de um determinado produto e pela aptidão dos vendedores para comercializá-lo. O preço tem perspectiva de funcionamento análogo à anterior: quando o preço sobe, a tendência é que a quantidade de produto ofertada seja maior; conseqüentemente, quando o preço abaixa, a quantidade disponível cai (MANKIW, 2014).

O cenário comercial global nas últimas duas décadas foi marcado pela falta de oferta, principalmente de produtos industrializados, em um período de crescimento global intenso, principalmente no começo do século XXI. Durante esse período também houve momentos de queda abrupta da oferta, como por ocasião de fenômenos naturais como o *El Niño* (BLACK, 2013).

Tanto a oferta quanto a demanda podem ter suas quantidades e preços expressos em forma de curva, onde o eixo inferior  $y$  representa as quantidades do produto disponível, e o eixo  $x$ , os preços praticados pelo mercado. A Figura 3.1 representa a Lei da Oferta e Demanda em relação ao seu ponto de equilíbrio – exatamente na intersecção entre as curvas –, que também pode ser chamada de quantidade de equilíbrio (MANKIW, 2014).

**Figura 3.1 – Representação gráfica da Lei da Oferta e Demanda**



Fonte: MANKIW, 2014.

De acordo com o autor, o mercado vai se organizar de maneira orgânica, sendo levado ao ponto de equilíbrio, não importa qual seja o preço inicial do produto. Dessa forma, compradores e vendedores atingirão ao equilíbrio em algum momento, e nesse ponto eles estarão satisfeitos.

O mercado minero-metalúrgico também está incluído dentro dessa lógica, portanto, seus mais diversos insumos são regidos pela lei da oferta e demanda. Isso inclui o minério de ferro, carvão, fundentes e o próprio ferro-gusa. As exportações mundiais das commodities estão ligadas diretamente à utilização da capacidade instalada da siderurgia mundial pela rota de alto-forno (DE PAULA, 2014).

### 3.2 PRODUÇÃO DE INDEPENDENTE DE FERRO-GUSA

O ferro-gusa é um produto oriundo da redução de minérios e aglomerados ferríferos, formando uma liga com teores de carbono que variam entre 3,5% e 4,5%, e possui em sua composição química diversos outros elementos químicos, cujo teores devem ser controlados durante do processo de fabricação. O ferro-gusa é parte essencial do processo produtivo de

aço, podendo ser utilizado tanto no estado líquido, no caso das usinas integradas, como na forma de lingotes, produzidos por usinas independentes (RIZZO, 2009).

O ferro-gusa é produzido em reatores metalúrgicos chamados de altos-fornos, sendo estes responsáveis por cerca de 95% da produção de ferro-primário. O processo de fabricação utilizando a rota produtiva dos altos-fornos se baseia na utilização de três insumos principais: o carvão (vegetal ou coque), o minério de ferro (na forma de sinter, pelota ou granulado) e os fundentes (comumente calcário) (RIZZO, 2009).

Rizzo (2009) define como produção independente de ferro-gusa usinas que possuem altos-fornos pequenos, não integradas, e cuja produção pode variar entre 55 e 350 toneladas por dia. De acordo com o Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais (SINDIFER), em 2017, praticamente 100% dos produtores independentes de ferro-gusa, popularmente chamados de “guseiras”, utilizavam carvão vegetal como redutor principal (DE PAULA, 2014).

O material produzido por usinas não integradas é chamado “pães-de-gusa”, uma vez que são conformados para assumirem esse formato com o auxílio de lingoteiras. Esse produto pode encontrar mercado em meio a produtores de aço, sendo enviados para aciarias elétricas, ou nas fundições, onde serão utilizados para produzir peças para a indústria em geral. (RIZZO, 2009).

No caso da produção independente de ferro-gusa, os insumos utilizados em mini alto-forno (MAF) já são enviados pelo fornecedor com propriedades específicas para entrar no processo. Logo, são poucos os casos em que o minério de ferro usado não é na forma de granulado (RIZZO, 2009).

O carvão é um dos insumos mais relevantes do processo, devido a sua importância dentro do processo de um alto-forno. Neste reator, o carvão atua tanto como redutor, retirando oxigênio do insumo ferrífero ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), quanto como combustível, fornecendo a energia necessária para que as reações aconteçam da forma correta (DE PAULA, 2014).

O carvão também é uma das maiores diferenças entre o parque “guseiro” brasileiro e os demais concorrentes mundiais. A produção independente de ferro-gusa nacional, em sua esmagadora maioria, utiliza o carvão vegetal como redutor – ao passo que, em outros lugares do planeta, o coque é mais utilizado. Até 2014, havia apenas duas plantas operando com carvão vegetal fora do Brasil (DE PAULA, 2014).

De acordo com o anuário de 2020 do SINDIFER, as usinas a carvão vegetal representavam cerca de 22,5% da produção de ferro-gusa brasileira, totalizando 6,95 milhões

de toneladas de gusa. Desse valor, 4,62 milhões são de usinas independentes, como apresenta a Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Relação de usinas de acordo com tipo de redutor utilizado no alto-forno**

Ano	Siderurgia a Coque	Siderurgia a Carvão Vegetal			TOTAL GERAL
		Usinas Integradas	Usinas Independentes	Total a Carvão Vegetal	
2010	23.702.000	2.135.360	5.027.387	7.162.747	30.864.747
2011	25.334.200	2.256.500	5.824.004	8.080.504	33.414.704
2012	24.580.910	2.318.790	5.598.006	7.916.796	32.497.706
2013	23.916.956	2.283.244	5.352.074	7.635.318	31.552.274
2014	24.599.200	2.313.692	5.035.952	7.349.644	31.948.844
2015	25.592.840	2.210.560	4.306.998	6.517.558	32.110.398
2016	23.880.308	2.155.592	3.551.290	5.706.882	29.587.190
2017	25.891.186	2.440.214	3.819.653	6.259.867	32.151.053
2018	26.201.840	2.453.260	4.109.480	6.562.740	32.764.580
2019	23.948.080	2.332.220	4.621.210	6.953.430	30.901.510

Fonte: SINDIFER, 2020.

No mercado atual de ferro-gusa, pode-se determinar três tipos de produtos que se destacam pelos diferentes teores de silício, manganês, enxofre e fósforo (DE PAULA, 2014). Todos eles são produzidos pela empresa estudada, com destaque para o ferro-gusa nodular, com composição química mais restrita. O Quadro 3.1 traz a composição dos três produtos, de acordo com os teores dos elementos citados.

**Quadro 3.1 – Tipos de ferro-gusa conforme sua composição**

Tipo	Aplicação	Composição química
Ferro-gusa básico (ou de aciaria)	Siderurgia	<1,5% silício 0,5 – 1% manganês <0,05% enxofre < 0,12% fósforo
Ferro-gusa de fundição (ou cinzento)	Fundição	1,5-3,5% silício 0,5-1% manganês <0,05% enxofre <0,12% fósforo
Ferro-gusa nodular	Fundição	<0,05% manganês <0,02% enxofre <0,05% fósforo

Fonte: IIMA, 2017.

Rizzo (2009) especifica que o produto para fundição deve apresentar teores mais elevados de silício e fósforo, uma vez que esses elementos facilitam a fluidez do ferro no momento da confecção da peça fundida. O produto que irá para a aciaria a oxigênio deve ter um controle minucioso de fósforo e enxofre, a fim de não se prejudicar o refino na produção de aço; além disso, um teor irregular de elementos como silício e manganês pode ocasionar em excesso de escória no convertedor. O ferro-gusa para aciaria elétrica é menos restritivo com relação aos elementos químicos indesejados no produto; porém, o crescente uso de ferro-gusa no estado sólido em fornos elétricos torna necessário um bom controle de carbono, buscando utilizar a energia química oriunda do processo para reduzir o consumo de energia elétrica (RIZZO, 2009).

A *International Iron Metallics Association* (IIMA) apresenta as composições químicas esperadas para cada tipo de ferro-gusa disponível no mercado. Nota-se a aplicação distinta entre os tipos dos produtos metálicos que podem ser fabricados no alto-forno, sendo que sua utilização na indústria siderúrgica e de fundição é de vital necessidade para o correto balanceamento químico e térmico nos reatores metalúrgicos.

Pode-se verificar que a siderurgia e a fundição são os maiores consumidores de ferro-gusa no mercado mundial; cerca de 60% da produção de ferro-gusa em processos não integrados havia sido vendida para siderúrgicas com o objetivo de se produzir aço, sendo o setor de fundição responsável pelos outros 40% do mercado (DE PAULA, 2014).

As usinas integradas e semi-integradas são clientes de grande relevância para as produtoras independentes de ferro-gusa, comprando no mercado o ferro-gusa de aciaria, a fim de balancear a composição química do aço a ser produzido. O setor de fundição, por sua vez, compra o ferro-gusa nodular, já que este apresenta características mecânicas mais apropriadas para a fabricação de peças fundidas (DE PAULA, 2014).

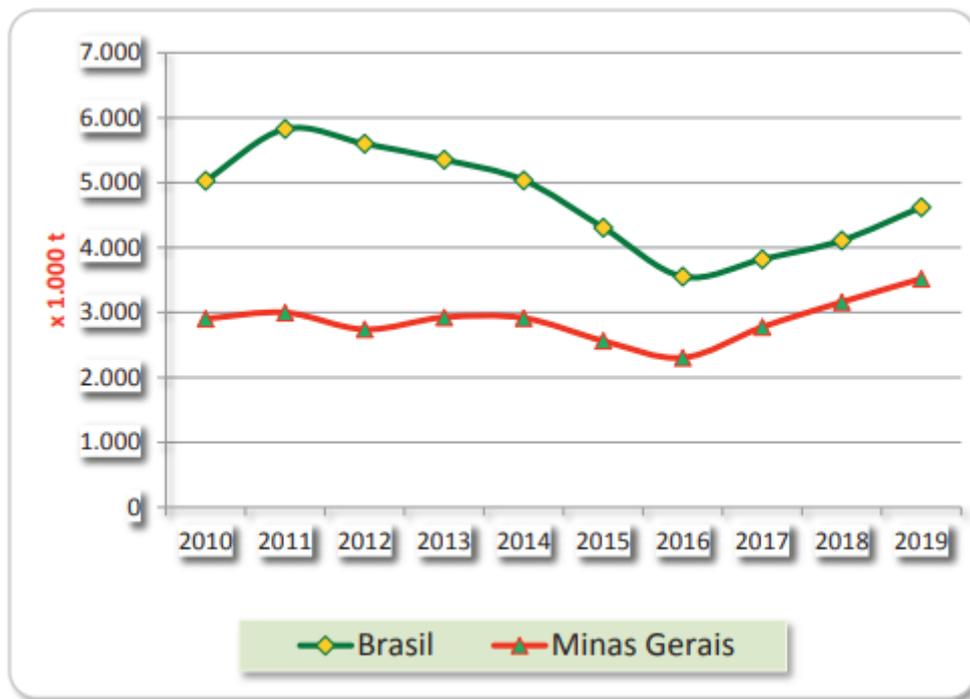
De acordo com a IIMA, o uso de ferro-gusa para produção de aço via forno elétrico a arco (FEA) tem crescido, especialmente na América do Norte, juntamente com a utilização de ferro-esponja. Por conta do seu alto teor de ferro e baixa quantidade de impurezas, o ferro-gusa é responsável pela produção de aço de alta qualidade, e a sucata ferrífera não deve ser considerada como um substituto das commodities (IIMA, 2017).

O ferro-gusa atua como complemento à sucata e demais materiais da carga para produtores que utilizam a via FEA, sendo que, em média, o ferro-gusa corresponde a entre 5 e 10% da carga metálica global para fabricantes que possuem aciarias elétricas. Um dos benefícios relevantes do ferro-gusa em relação aos demais concorrentes metálicos,

principalmente ao ferro-esponja, é sua facilidade de manuseio e de estocagem, mesmo em ambientes abertos (IIMA, 2017).

Historicamente, a comercialização do ferro-gusa produzido pelas indústrias independentes tem maior aptidão para atender mercados externos. Entre os anos de 2000 e 2013, o coeficiente de exportações manteve-se em pelo menos 50%, sendo que no último ano analisado, Minas Gerais teve cerca de 29% da produção vendida para o exterior (DE PAULA, 2014). Na Figura 3.2, o SINDIFER apresenta a evolução histórica da produção mineira em relação à brasileira.

**Figura 3.2 – Evolução da Participação de Minas Gerais no produção brasileira**



Fonte: SINDIFER, 2020.

O Brasil produziu, em 2019, 4,6 milhões de toneladas de ferro-gusa oriundos de siderúrgicas independentes. O estado de Minas Gerais contribui de maneira significativa para a produção nacional, sendo responsável por cerca de 76% da produção em 2019. Outros importantes polos produtores são Pará (Carajás), Mato Grosso do Sul e Espírito Santo, com respectivamente 11,4%, 6,7% e 5,7% da produção do país, como mostra a Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 – Evolução da produção brasileira por polos “guseiros”**

Ano	Minas Gerais	%	Carajás (*)	%	Espírito Santo	%	Mato G. Sul	%	TOTAL
2010	2.904.187	57,8	1.661.333	33,0	198.700	4,0	263.167	5,2	<b>5.027.387</b>
2011	2.998.000	51,5	2.019.004	34,7	357.000	6,1	450.000	7,7	<b>5.824.004</b>
2012	2.738.437	49,4	2.108.101	37,1	260.227	4,7	491.241	8,8	<b>5.598.006</b>
2013	2.924.957	54,6	1.763.104	33,0	195.988	3,7	468.025	8,7	<b>5.352.074</b>
2014	2.914.132	57,9	1.462.516	29,0	226.304	4,5	433.000	8,6	<b>5.035.952</b>
2015	2.562.327	59,5	1.291.440	30,0	215.976	5,0	237.255	5,5	<b>4.306.998</b>
2016	2.302.368	64,8	858.885	24,2	220.929	6,2	169.108	4,8	<b>3.551.290</b>
2017	2.775.393	72,6	553.016	14,5	346.690	9,1	144.554	3,8	<b>3.819.653</b>
2018	3.160.010	76,9	403.431	9,8	317.472	7,7	228.835	5,6	<b>4.109.748</b>
2019	3.520.142	76,2	525.963	11,4	263.907	5,7	311.198	6,7	<b>4.621.210</b>

(\*) Carajás → Incluem-se aqui os estados de Maranhão e Pará..

Fonte: SINDIFER, 2020.

A Tabela 3.2 também expõe o crescimento paulatino da relevância de Minas Gerais frente aos outros estados brasileiros: em 9 anos, o principal polo produtor de ferro-gusa independente nacional passou de 57,8% da produção total para 76,2% em 2019. O mercado que mais perdeu participação no cenário guseiro foi o polo de Carajás, que inclui Maranhão e Pará (SINDIFER, 2020).

### 3.3 O BOOM DAS COMMODITIES

O mercado de matérias primas sofreu alguns momentos de rápido crescimento em seus preços no período que sucedeu a Segunda Guerra Mundial; destacam-se as ocorrências do chamado “boom das commodities” durante os anos de 1950-51 e 73-74. Ambas as situações foram precedidas por um crescimento acentuado dos indicadores macroeconômicos (RADETZKI, 2006).

Um terceiro boom é identificado por Radetzki (2006) como tendo iniciado em 2003. Posteriormente, Warell (2018) identificou o fim desse superciclo, em 2014. A autora ainda determinou que, no caso do minério de ferro, indicadores macroeconômicos como a taxa de crescimento do produto interno bruto chinês se relacionam com o preço das commodities globais.

O minério de ferro é uma das principais commodities para a cadeia produtiva do aço, podendo seu preço variar de maneira muito significativa, conforme a natureza do minério. Sua

precificação está diretamente ligada ao crescimento econômico chinês, maior consumidor da commodity, e às práticas efetuadas pelas empresas atuantes no mercado (WARELL, 2018).

No caso específico do minério de ferro, Warell (2018) define que a commodity passou por um chamado superciclo, caracterizado por um longo período de tendências positivas para o preço da matéria-prima. A literatura determina que o superciclo é um fenômeno com duração entre 10 e 35 anos, majoritariamente causado por uma demanda crescente e contínua, sendo que o ciclo durará enquanto houver demanda.

A visão da microeconomia sobre a “Lei de Oferta e Demanda” vai de encontro ao que foi observado durante o superciclo do minério de ferro, no qual os preços continuaram elevados enquanto houve demanda pujante. O crescimento acelerado dos setores consumidores de aço na China, principalmente a atividade industrial, a construção civil e o segmento de infraestrutura, protagonizou a maior parte da demanda por minério de ferro nesse período (WARELL, 2018).

Prates (2007) se dedica a estudar a alta ocorrida por esses bens de valor durante o período de 2002 e 2006. Entretanto, a autora propõe uma análise da evolução dos preços que abrange não só as commodities metálicas, mas também as do setor energético e agrário. O estudo determina alguns fatores relevantes para explicar a volatilidade do mercado de commodities – os dois principais seriam as condições macroeconômicas mundiais e a influência da China. O ritmo de crescimento mundial é um elemento de grande relevância nesse contexto (PRATES, 2007).

Em períodos de expansão econômica, há tendência do crescimento do consumo de produtos industriais, levando, portanto, ao aumento da demanda por matérias-primas naturais. Esses insumos têm oferta limitada em curto prazo, o que favorece o comportamento cíclico no que tange ao preço. A partir da análise das taxas de crescimento econômico durante os anos de 2001 e 2005, pode-se verificar de forma clara o efeito supracitado, tendo em vista que a média anual de crescimento nesse período foi de cerca de 4,3%. O preço das commodities acompanhou esse movimento, principalmente o das matérias primas metálicas e energéticas. Os insumos agrícolas também sofreram alta, embora tenham a tendência a serem mais influenciados por fatores sazonais e climáticos (PRATES, 2007).

Com o avanço da globalização e a integração cada vez maior entre as cadeias de produção mundiais, pode-se observar que os fatores macroeconômicos no planeta são ainda mais relevantes para o preço das commodities. Durante a recuperação econômica, após a

queda abrupta dos mercados causada pela pandemia da COVID-19, o preço das commodities seguiu a tendência descrita por Prates (2007).

A flutuação dos preços das commodities exerce grande influência em economias exportadoras como a brasileira. No curto prazo, o período de baixa durante o superciclo das commodities acaba por trazer consequências negativas para a gestão macroeconômica de países emergentes e exportadores. A longo prazo, também se observam efeitos que podem ser negativos para a economia brasileira, uma vez que o momento de alta de preços de commodities, isto é, o começo do boom, leva à um aumento em investimentos na produção de matérias-primas (BRESSER PEREIRA; MARCONI, 2008).

Aportes financeiros desse tipo em países com abundância de recursos naturais podem levar à uma diminuição de produção manufatureira e conseqüente desindustrialização. Logo, observa-se uma tensão entre a alta dos preços das commodities no mercado e a possibilidade de “doença holandesa”. Na literatura, entende-se doença holandesa como a não industrialização ou desindustrialização de países com grande disponibilidade de recursos naturais, e que tendem a se especializar na produção desse tipo de bem. Muitos autores discutem se o Brasil sofre esse tipo de problema e se o superciclo das commodities não seria um dos motivos para a ocorrência desse fenômeno (BRESSER PEREIRA; MARCONI, 2008).

### 3.4 MACROECONOMIA E AS COMMODITIES BRASILEIRAS

Prates (2007) estabelece relações entre o dólar e o preço das commodities mundiais ao longo da primeira metade dos anos 2010, quando uma desvalorização do dólar frente às outras moedas de destaque (euro e iene) – processo que passou a ocorrer após 2005 – ocasionou uma queda nos preços mundiais de matérias primas, levando a uma tendência de baixa no superciclo das commodities.

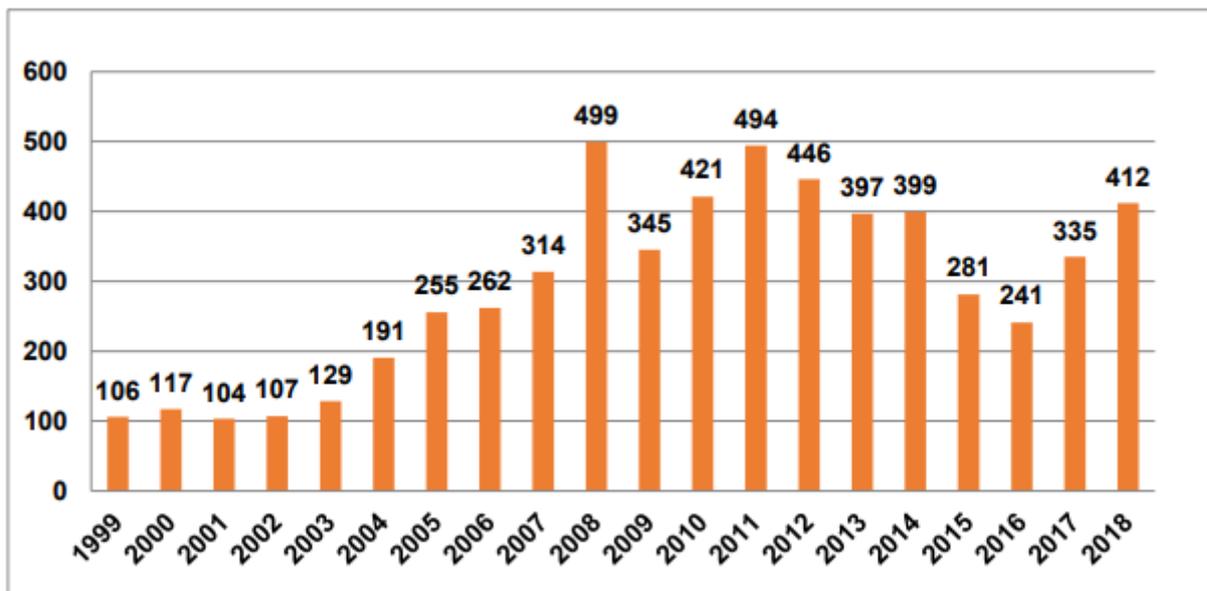
O dólar é a principal moeda-chave para negociação de commodities no mercado mundial; sendo assim, seu valor em relação à moeda brasileira interfere de forma significativa nas exportações. Em outros momentos da história, o boom das commodities sempre esteve influenciado não apenas pelo crescimento econômico mundial, mas também pelo crescimento chinês e por uma desvalorização do dólar no mercado global (PRATES, 2007).

Ao observar o contexto do atual superciclo das commodities, nota-se que os aspectos macroeconômicos mundiais seguem parâmetros semelhantes aos observados por Prates (2007). O mercado de ferro-gusa tem uma relação com as variações do mercado internacional,

se relacionando com o crescimento econômico dos maiores países consumidores, como os EUA. Durante a crise econômica mundial que começou em 2008, com a quebra de alguns dos principais bancos americanos, observa-se uma queda no PIB estadunidense de cerca de 2,8% e, subsequentemente, uma queda de 28,3% na produção de ferro-gusa no Brasil, totalizando 25,42 milhões de toneladas (NOGUEIRA, 2019).

A crise bancária de 2008 também impactou de maneira expressiva os preços do ferro-gusa no mercado mundial. De acordo com Nogueira (2019), em 2009, o preço da commodity atingiu 345 dólares, uma queda de 30,9% frente aos 499 dólares do ano anterior. No ano de 2010, houve recuperação do PIB dos EUA, e uma subsequente alta de cerca de 20% nos preços praticados pelo mercado de ferro-gusa (NOGUEIRA, 2019). A Figura 3.3 apresenta os dados elaborados pela autora, considerando os preços de ferro-gusa durante os anos de 1999 e 2018.

**Figura 3.3 – Preço mundial do ferro-gusa em USD/tonelada**



Fonte: NOGUEIRA, 2019.

O dólar estadunidense é outra variável relevante para o mercado de commodities global, sendo que os booms anteriores foram, de uma forma ou de outra, afetados pela taxa cambial mundial. No primeiro boom ainda havia desbalanço no mercado europeu pós-guerra; no segundo, a conjuntura era de extrema volatilidade no mercado de câmbio, uma vez que o valor do dólar já não possuía mais relação direta com o ouro (RADETZKI, 2006).

A queda do dólar e as taxas de juros historicamente baixas aplicadas pelos Estados Unidos têm como consequência o aumento de investimentos no mercado futuro de

commodities; vários *stakeholders* utilizam dessa estratégia para contornar a depreciação da moeda estadunidense. Essa prática acaba por gerar um contexto em que diversos fundos de investimento acabam por formar uma bolha especulativa no mercado futuro de commodities, elevando assim o preço desses bens e contribuindo para o superciclo (BRESSER PEREIRA; MARCONI, 2008).

Segundo Prates (2007), O “efeito-China” se trata do crescimento exponencial vivido pelo país, e tem como consequência a alta do preço das commodities industriais e metálicas, especialmente impulsionada pelos mercados automotivo, metalúrgico e de construção civil. Além do crescimento da demanda por esse tipo de matéria-prima, a China também teve a seu favor sua entrada na OMC no começo dos anos 2000, com a participação do estado chinês nos mecanismos de negociação multilaterais. Tal situação pode ser verificada na Tabela 3.3, que apresenta as a participação de cada setor dentro das exportações nacionais, incluindo setor agrícola, indústria extrativa (inclui minério de ferro), indústria de transformação (nele se insere a produção de materiais metálicos) e a participação do ferro-gusa e aço semi-acabado.

**Tabela 3.3 – Participação do setor nas exportações brasileiras (%)**

<b>Ano</b>	<b>Agro</b>	<b>Ind. Extr</b>	<b>Ind. Transf</b>	<b>Semiacabados de Ferro ou Aço</b>
2022	24,2	22,3	53,0	2,1
2021	19,6	28,5	51,3	2,3
2020	21,6	23,4	54,5	1,5
2019	19,5	22,9	57,1	1,9
2018	19,7	21,4	57,5	2,2
2017	17,9	18,5	61,9	1,9
2016	17,4	14,8	66,2	1,5

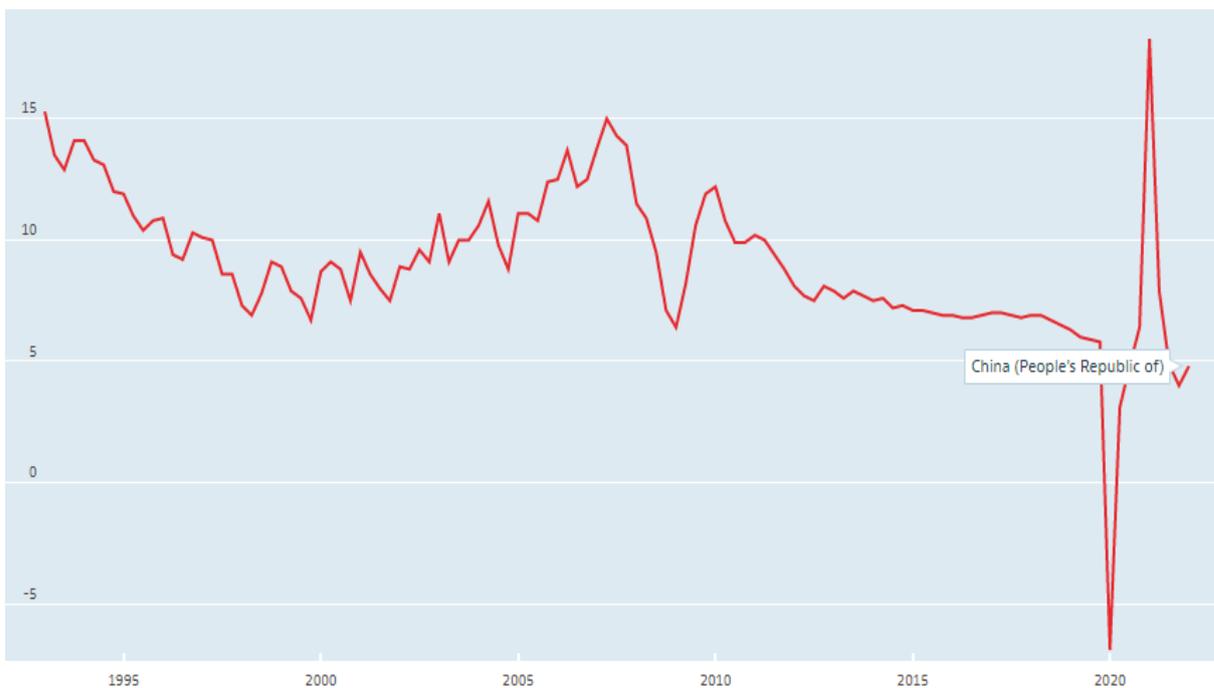
Fonte: Elaborada pelo autor com dados do Ministério da Economia, 2022.

Pela análise estrita das importações de minério de ferro e aço, como é foco deste trabalho, pode-se perceber que existe um crescimento expressivo da importação dessas commodities por parte dos chineses. A demanda chinesa por commodities metálicas foi muito intensa nesses anos – em 2003 a China consumiu cerca de 26,5% do aço mundial, 19,8% do cobre e cerca de 19% de todo o alumínio do mundo (PRATES, 2007). Boa parte desse aumento se deve às reduções tarifárias decorrentes da entrada da China na OMC, o que contribuiu de maneira intensa para a continuidade do processo de industrialização e urbanização do gigante asiático (BRESSER PEREIRA; MARCONI, 2008).

A recuperação econômica chinesa após a crise causada pela COVID-19 é outro ponto que corrobora com o descrito por Prates (2007). A China apresenta um crescimento sólido em bases históricas, mantendo o ritmo de avanço econômico mesmo em momentos em que a economia global passa por instabilidades e recessões, como em 2008 (QIANG *et al.*, 2021).

A pandemia da COVID-19 mudou todo o panorama econômico mundial, alterando as rotas de suprimentos, trazendo restrições e fechamentos comerciais e desacelerando sensivelmente a economia mundial. O mercado de matérias-primas esteve sujeito às flutuações resultantes da crise sanitária; nota-se que a queda brusca no PIB chinês levou a uma subsequente tendência de diminuição nos preços das commodities. Quando o governo chinês começou a reabertura, em julho de 2020, observa-se uma melhora gradual nos indicadores econômicos chineses e, conseqüentemente, nas matérias-primas em geral (QIANG *et al.*, 2021).

**Figura 3.4 – Evolução da economia chinesa**



Fonte: OCDE, 2022.

Ao longo do período de pico pandêmico na China, especificamente entre dezembro de 2019 e julho de 2020, verificaram-se vulnerabilidades que relacionam o mercado de commodities naturais e o desempenho econômico do país asiático, maior consumidor de matérias-primas do mundo. Ainda é possível destacar que diversas commodities, como carvão, metálicos, entre outros, podem ter seus mercados – e, conseqüentemente, seus preços – impactados de maneira expressiva por eventos globais catastróficos (QIANG *et al.*, 2021).

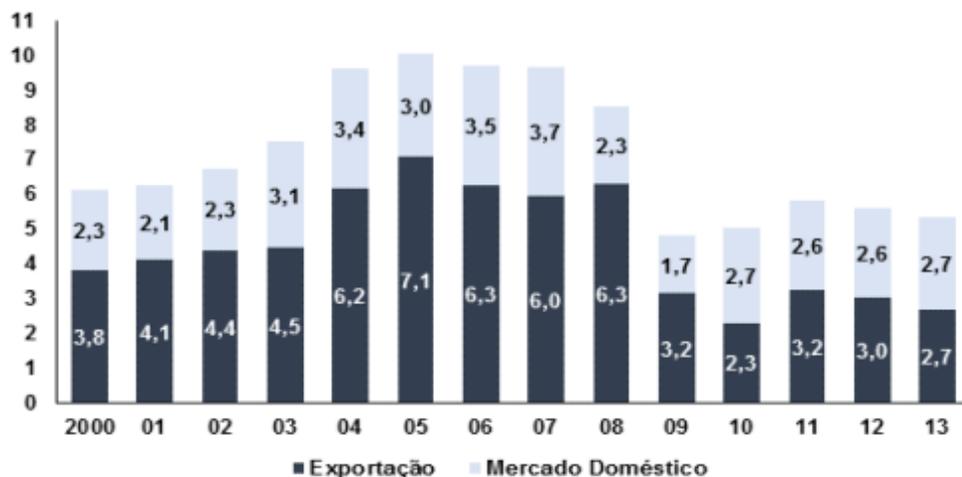
A China e o Brasil têm ligações comerciais históricas; essa relação cresceu de maneira expressiva desde o começo do século XXI, sendo que desde 2009 a China é o maior parceiro comercial brasileiro, ultrapassando os EUA. Desde 2008 o Brasil se caracteriza por ser majoritariamente um exportador, sendo que as matérias-primas, incluindo metais e produtos agrícolas, representam mais de 60% de seu portfólio comercial (MORTATTI; MIRANDA; BACCHI, 2011).

### 3.5 DEMANDA MUNDIAL POR AÇO E FERRO-GUSA

Para a produção de aço e, conseqüentemente, de ferro-gusa, são necessárias diversas matérias primas que são negociadas no mercado mundial; no caso das produtoras independentes do Brasil, o minério de ferro e o carvão vegetal são as principais commodities de interesse. Tais insumos afetam de maneira significativa o preço do material produzido, portanto, a demanda mundial por aço é um aspecto determinante para que a produção independente de ferro-gusa seja economicamente viável (DE PAULA, 2014).

O mercado independente de ferro-gusa é extremamente ligado às cadeias de comércio globais, sendo o Brasil, a Rússia e a Ucrânia os maiores fornecedores mundiais dessa commodity (DE PAULA, 2014). De acordo com o anuário de 2020 do SINDIFER, que tem o ano de 2019 como base, os maiores importadores do ferro-gusa nacional foram os Estados Unidos da América, tendo a Ásia como destino secundário, como mostra a Tabela 3.4. A Figura 3.5 mostra a evolução histórica, partindo dos anos 2000 até 2013, nota-se o menor volume de produção e exportações durante o período da crise financeira global em 2008.

**Figura 3.5 – Relação Exportações x Mercado Doméstico**



Fonte: SINDIFER, 2014.

Tabela 3.4 – Maiores consumidores de ferro-gusa brasileiro

Importadores	Em 1.000 t				
	2015	2016	2017	2018	2019
Est. Unidos	1.601,20	792,00	1.005,16	737,50	1.227,00
Ásia	242,00	297,50	315,80	320,63	849,21
Europa	454,90	531,50	634,32	537,59	519,69
América Latina	398,20	548,10	321,21	316,14	267,73
Outros	55,30	8,30	5,15	0,44	1,77
<b>TOTAL</b>	<b>2.751,60</b>	<b>2.177,40</b>	<b>2.281,64</b>	<b>1.912,30</b>	<b>2.865,40</b>

Fonte: SINDIFER, 2020.

O Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono (EBC) aponta que os EUA são historicamente os maiores ativos importadores de ferro-gusa no planeta. A posição estadunidense com relação ao comércio mundial de outras commodities metálicas, como sucata, também são fatores que fazem com que o país seja um grande consumidor de ferro-gusa.

O anuário estatístico produzido pelo SINDIFER apresenta a mudança gradual que a produção independente de ferro-gusa de Minas Gerais passa nos últimos 10 anos, crescendo em volume, em participação no mercado externo, mas sem perder sua relevância no mercado doméstico. A Tabela 3.5 e a Tabela 3.6 mostram a evolução da produção brasileira de forma regional, entre os quatro principais produtores e seus principais mercados consumidores.

Tabela 3.5 – Evolução da parcela da produção brasileira que permanece no mercado interno

MERCADO INTERNO					
Ano	Minas Gerais	Maranhão e Pará	Espírito Santo	Mato Grosso do Sul	TOTAL
2010	2.213.921	144.910	105.080	254.540	<b>2.718.450</b>
2011	1.981.638	-	215.660	396.694	<b>2.593.991</b>
2012	1.950.422	-	154.267	429.116	<b>2.583.805</b>
2013	2.065.852	-	128.411	466.025	<b>2.660.288</b>
2014	1.941.816	-	72.839	433.000	<b>2.447.655</b>
2015	1.316.669	-	48.738	190.034	<b>1.555.441</b>
2016	1.187.019	-	54.880	131.673	<b>1.373.572</b>
2017	1.369.291	-	112.642	56.084	<b>1.538.017</b>
2018	1.931.109	-	77.000	189.336	<b>2.197.445</b>
2019	1.502.901	-	53.011	199.919	<b>1.755.831</b>

Fonte: SINDIFER, 2020.

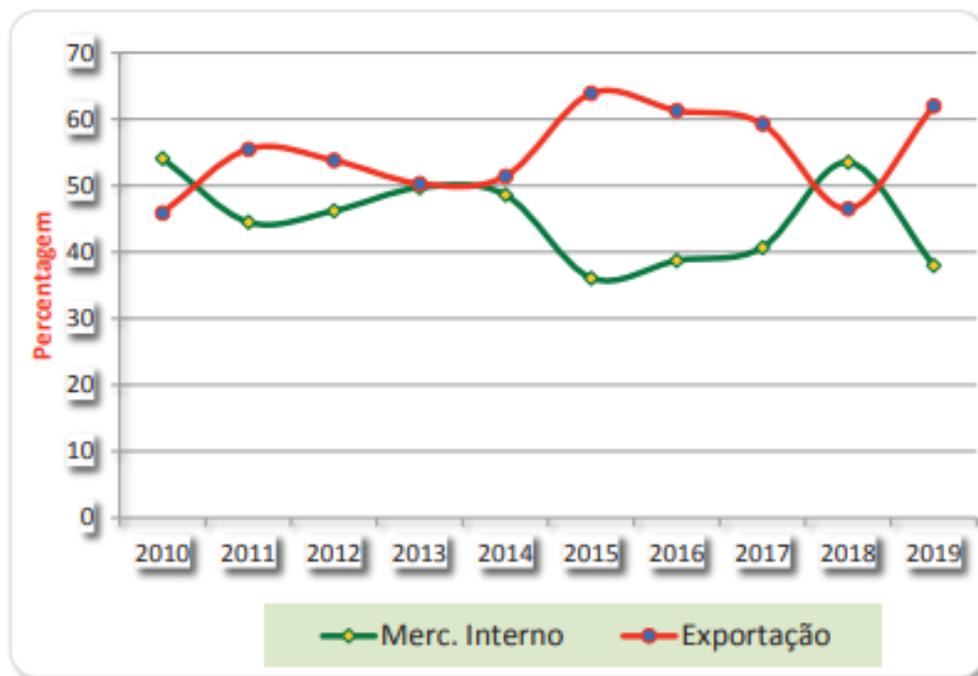
Tabela 3.6 – Evolução da parcela da produção brasileira que é exportada

MERCADO EXTERNO						
Ano	Minas Gerais	Maranhão e Pará	Espírito Santo	Mato Grosso do Sul	Outros	TOTAL
2010	690.267	1.516.624	93.620	8.427		2.308.937
2011	1.016.362	2.019.004	141.340	53.306		3.230.012
2012	788.015	2.108.101	105.960	12.120		3.014.196
2013	859.106	1.763.104	67.577	2.000		2.691.787
2014	972.316	1.462.516	153.456	-		2.588.297
2015	1.245.658	1.291.440	167.238	47.221		2.751.557
2016	1.115.349	858.885	166.049	37.435		2.177.718
2017	1.406.102	553.016	234.048	88.470		2.281.636
2018	1.228.901	403.431	240.472	36.000	3.499	1.912.303
2019	2.017.241	525.963	210.896	110.632	647	2.865.379

Fonte: SINDIFER, 2020.

Ainda de acordo com relatório anual da SINDIFER de 2020, após o ano de 2013, as exportações se mantiveram como maior mercado para os produtores independentes de ferro-gusa no Brasil, com ressalva para o ano de 2018. A Figura 3.6 ilustra essa evolução.

Figura 3.6 – Relação Exportações x Mercado Doméstico (2010-2019)



Fonte: SINDIFER, 2020.

O relatório anual do Instituto Aço Brasil aponta os Estados Unidos como maior comprador do ferro-gusa brasileiro, o que reflete uma realidade histórica. Seguem os EUA, respectivamente, Países Baixos, Taiwan e China. Como esperado para um produto que está inserido nas cadeias globais de valor, existem diversos fatores capazes de influenciar o preço e produção de ferro-gusa no Brasil (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

A China, apesar de seu crescimento acelerado, não é o maior mercado consumidor de ferro-gusa. Isso se deve principalmente ao país asiático ter se estabelecido como o maior produtor de aço do mundo. Dessa forma, seu imenso parque metalúrgico tem como preferência importar minério de ferro e carvão. O Brasil, por sua vez, se destaca como um dos maiores exportadores de ferro-gusa, ao lado de Rússia e Ucrânia (DE PAULA, 2014). Historicamente o Brasil ocupa a segunda colocação no ranking dos países exportadores, ao passo que os EUA e China ocupam as primeiras posições quando se fala em importações de ferro-gusa, como mostra a Tabela 3.7.

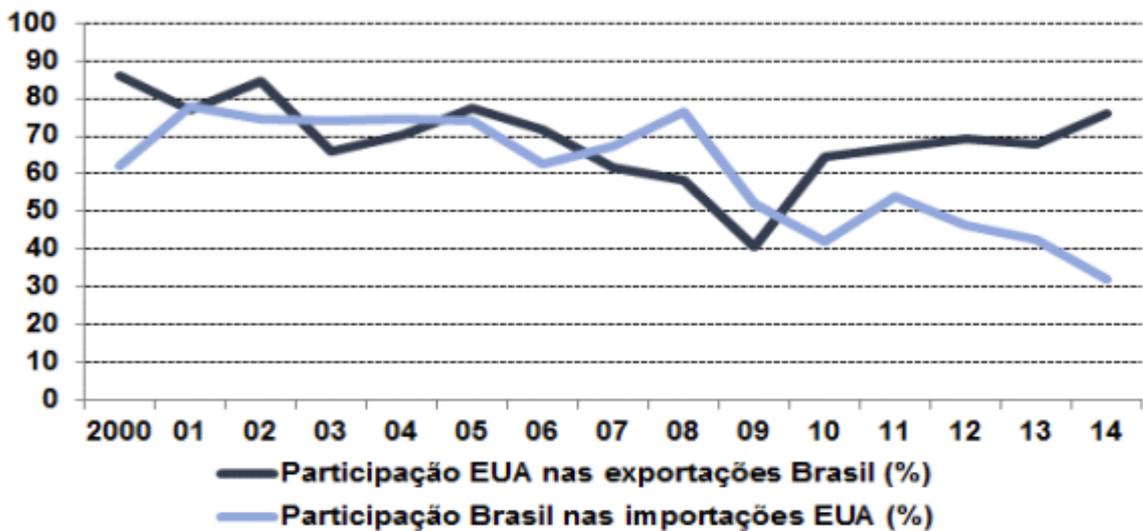
**Tabela 3.7 – Matriz das importações de ferro-gusa nos últimos anos**

<b>Top 10 Maiores Importadores</b>	<b>Importações 2017</b>	<b>Importações 2018</b>	<b>Importações 2019</b>	<b>Importações 2020</b>	<b>Importações 2021</b>
Estados Unidos da América	1867598	2494279	1831800	1566164	3418108
China	77232	49267	375570	2032570	929540
Itália	572119	651228	480543	353216	774758
Turquia	361045	508891	445701	369590	676064
China (Taipei)	176977	268625	160734	64307	238637
Alemanha	174323	218992	184939	89370	176657
Países Baixos	92592	142868	139104	83951	167499
Polônia	87773	113333	85488	73321	138979
Espanha	90869	120807	114897	61986	130305
Emirados Árabes Unidos	26869	64109	23955	71451	107460
<b>Top 10 Maiores Exportadores</b>	<b>Exportações 2017</b>	<b>Exportações 2018</b>	<b>Exportações 2019</b>	<b>Exportações 2020</b>	<b>Exportações 2021</b>
Rússia	1628860	2155988	1440744	1306840	1992741
Brasil	764872	750526	971106	1130666	1641645
Ucrânia	738085	1052588	801834	922193	1576713
Índia	209280	124022	94330	134685	471064
África do Sul	187929	242235	176096	126959	206695
Alemanha	94238	87165	81826	100703	121281
França	49850	86280	96828	68499	103650
Países Baixos	35795	80228	80557	61365	72578
Omã	27	3		5656	67775
Arabia Saudita	4723	43201	4902	33800	63395

Fonte: TradeMap, 2022.

Segundo Germano de Paula (2014), a importância do mercado estadunidense para a produção independente de ferro-gusa brasileiro é histórica; durante o período de 2000 a 2014, esse fluxo comercial seguiu as tendências para commodities já descritas e se recuperou de maneira esperada após a crise econômica de 2008. Vale destacar que a maioria dos países não adota barreiras tarifárias relevantes para importações de ferro-gusa, sendo que nos EUA o valor é nulo. A Figura 3.7 mostra como evoluiu o comércio de ferro-gusa entre Brasil e Estados Unidos.

**Figura 3.7 – Participações comerciais entre EUA e Brasil até 2014**



Fonte: DE PAULA, 2014.

Ao se analisar mais profundamente as exportações brasileira de ferro-gusa, percebe-se que o boom das commodities é um fenômeno amplamente verificado no mercado nacional. Em valores monetários, as exportações saltaram de 432 milhões de dólares, em 2000, para 3,1 bilhões, pouco antes da crise de 2008 (DE PAULA, 2014).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do presente trabalho, utilizou-se, em primeiro momento, o método de pesquisa bibliográfica, analisando os indicadores macroeconômicos referentes ao mercado de commodities, mais especificamente no ramo minerário, ao longo dos últimos anos. Também foram utilizados como base os dados referentes à produção independente de ferro-gusa no Brasil, fator que relaciona a empresa estudada com toda a cadeia produtiva integrada do aço.

Este trabalho utiliza de métodos quantitativos, com o objetivo de estabelecer relações entre os indicadores macroeconômicos mundiais e os fatores que influenciaram os preços praticados pelo mercado independente de ferro-gusa nacional. Como objeto de pesquisa, foram utilizados dados fornecidos pela Siderúrgica Itabirito, empresa fortemente conectada com a cadeia produtiva do ferro-gusa em âmbito global.

Nesta pesquisa, estuda-se o impacto da pandemia do novo Coronavírus no mercado de commodities brasileiro – mais especificamente, daquelas que estão inseridas no mercado de ferro e aço. Verificou-se como se deu a relação entre as restrições por conta da crise sanitária e a oferta e demanda por matérias-primas metálicas no período estudado.

A coleta de dados fez uso de indicadores macroeconômicos de origem pública, bem como relatórios produzidos pelas entidades de base atuantes nos mercados que abrangem o setor estudado. Também contribuíram para o acervo do trabalho publicações científicas que analisaram como o preço das commodities afetou o mercado minero-metalúrgico em anos passados, a fim de obter uma tendência que pudesse representar o recente boom das matérias-primas nos meses após o início da pandemia da COVID-19.

Para interpretação e consecutiva análise dos dados obtidos, fez-se uso de artifícios matemáticos de comparação gráfica e regressão linear, apoiados em uma sólida seleção de dados, com o objetivo de se obter uma relação entre os ciclos econômicos das matérias primas (boom das commodities) e a produção independente de ferro-gusa em uma pequena siderúrgica localizada no interior de Minas Gerais. Em consonância, é possível compreender como ocorre a inserção desse tipo de usina no mercado mundial, assim como localizá-la no contexto das cadeias globais de valor.

Ao utilizar de artifícios como comparação gráfica, pode-se obter uma tendência entre os diferentes superciclos de commodities e o momento atualmente imposto pela realidade da pandemia, sendo observadas diversas características diferentes dentro do mercado de matérias-primas.

De posse desse tipo de tendência, verifica-se a possibilidade de correlacionar a situação macroeconômica dos principais mercados mundiais e a realidade de uma pequena siderúrgica produtora de ferro-gusa, que, apesar do tamanho, fornece um produto de alto valor agregado, com padrões de qualidade exigentes e que atende em sua maioria o mercado externo. A natureza exportadora da companhia em questão sugere grandes interferências por parte do mercado mundial dentro da rotina diária da empresa.

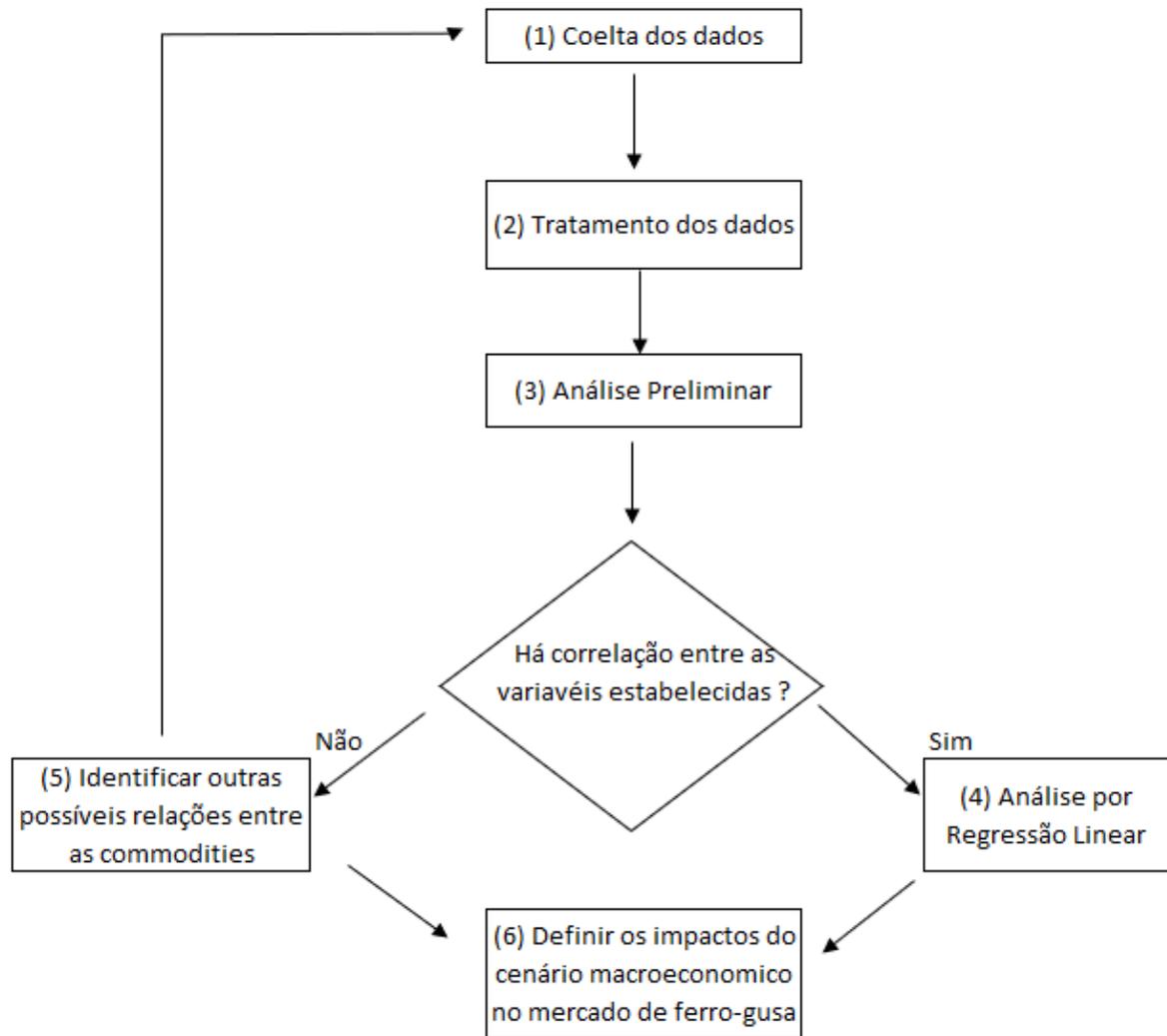
Para obter, de forma estatisticamente significativa, uma tendência que possa representar a correlação entre os indicadores macroeconômicos mundiais, o preço das *commodities* no mercado, sejam insumos ou produtos, e a realidade de uma produtora independente de ferro-gusa no interior de Minas Gerais, utiliza-se a método da regressão linear simples.

O método leva em conta os dados obtidos pelos órgãos macroeconômicos, como o IBGE, FMI, World Bank e demais instituições do gênero, comparando-os com os dados obtidos por organizações de base, como o Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais. De posse dessas informações, é possível correlacioná-los com os dados disponibilizados pela empresa, assim estabelecendo uma tendência por meio da regressão linear simples.

Após análise, esse método pode-se tornar preditivo e servir como parâmetro para futuros estudos que venham a tangenciar o mercado nacional de *commodities* minero-metalúrgicas e a influência exercida. Em consonância, deve se levar em consideração o pioneirismo de um trabalho que relacione o mercado nacional de matérias-primas com a pandemia ocasionada pelo coronavírus.

Com o objetivo de direcionar o trabalho proposto e apresentar as diversas etapas em que consiste o estudo, foi adotado um fluxograma, conforme apresentado na Figura 4.1. Essa ferramenta é essencial para aplicação correta da sistemática de pesquisa, sendo a base de todos os resultados obtidos por este trabalho. Foram estabelecidas etapas de execução palpáveis.

Figura 4.1 – Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.1 COLETA DOS DADOS

É uma das fases mais relevantes dentro da pesquisa, principalmente em tratando de um estudo que trata de correlações entre variáveis de diferentes áreas do conhecimento de maneira quantitativa. Foi realizada a devida coleta das informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa; incluindo informações sobre a produtividade no período estudado, custo-base dos insumos requeridos para produção, e preço de venda do ferro-gusa, não havendo distinção entre o tipo de material produzido.

Como o trabalho em questão estabelece relações entre diferentes conjuntos de variáveis, foi necessário realizar também uma extensa pesquisa bibliográfica, principalmente

no que tange aos dados e indicadores macroeconômicos globais. Com as devidas informações, o desenvolvimento da pesquisa passa para as demais etapas.

#### 4.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Nessa etapa, os dados são devidamente armazenados, preparados e disponibilizados para consumo e posterior comparação entre commodities e indicadores macroeconômicos. O corte temporal da pesquisa é feito também durante essa etapa, com o objetivo de conciliar as informações disponibilizadas pela empresa com o que existe na literatura a respeito das variáveis econômicas que influenciam o mercado independente de ferro-gusa, em Minas Gerais e no Brasil como um todo.

A confecção das tabelas e plotagem dos gráficos para posterior análise também foi feita nessa etapa da pesquisa, seguindo os procedimentos estatísticos necessários para manter a confiabilidade dos dados. Essas ferramentas são a melhor forma de visualizar as informações de maneira ampla, viabilizando a análise preliminar requerida para a continuidade do estudo desenvolvido.

#### 4.3 ANÁLISE PRELIMINAR E PESQUISA

Essa é uma etapa-chave dentro do procedimento de pesquisa estabelecido pelo fluxograma; seu objetivo principal responder à questão: “existe correlação entre as variáveis estabelecidas?”. Como são diversas as variáveis que interferem e auxiliam dentro das cadeias produtivas integradas, como é o caso do minério de ferro e do aço, é necessário estabelecer parâmetros para que a correlação seja viável.

A análise preliminar é realizada com auxílio das tabelas e gráficos produzidos anteriormente; o uso dessas ferramentas deve viabilizar a avaliação das hipóteses propostas pelos objetivos do estudo. A investigação deve levar em conta os dados macroeconômicos brasileiros e os principais indicadores referentes às economias consumidoras do ferro-gusa nacional, comparando-os com os dados fornecidos pela siderúrgica estudada.

Por meio da análise preliminar, é possível identificar tendências que indicam correlações entre os dados investigado, além de ser importante para a determinação do contexto econômico global que afeta a situação vivida pelo empreendimento estudado. Nessa etapa do estudo ocorre a certificação da viabilidade estatística dos dados selecionados, uma vez que eles devem passar pelas premissas básicas para serem analisados por regressão linear,

posteriormente seguindo para uma interpretação aprofundada dos resultados obtidos, realizada na etapa seguinte do estudo de caso.

#### 4.4 ANÁLISE POR REGRESSÃO LINEAR

A regressão linear é um método concreto para comparação e predição entre variáveis estabelecidas, sendo largamente utilizada nas mais diversas áreas do conhecimento, muito por conta de seu alto grau de confiabilidade. Segundo Maia (2017), a regressão linear simples, explorada nesse trabalho, tem por objetivo explicitar a relação entre uma variável independente e outras variáveis dependentes, chamadas também de variáveis de resposta.

O Modelo de Regressão Linear Simples, utiliza de equações para descrever o fenômeno por ele avaliado, fornecendo o comportamento das variáveis entre si, buscando avaliar a influência de uma variável pré-estabelecida em relação a outra determinada variável. Por se tratar de um procedimento estatístico, os dados a serem analisados devem ser de ordem quantitativa, com objetivo definir o nível de dependência entre uma variável  $X_i$  e outra  $Y_i$ . No entanto, há de se levar em conta que nem sempre esse tipo de relação é determinístico, exato, e, portanto, inclui flutuações aleatórias (MAIA, 2017).

Ao considerarmos os dados de produção e custo fornecidos pela siderúrgica e os indicadores econômicos selecionados, é possível verificar que eles cumprem os critérios e requisitos estabelecidos para a realização de análise por regressão linear simples. Segundo Maia (2017), matematicamente pode-se definir o Modelo de Regressão Linear Simples da seguinte maneira:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad (1)$$

Onde:

$Y_i$  representa o valor variável que é dependente, no  $i$ -ésimo nível;

$\beta_0$  é o denominado termo constante, ou constante de regressão;

$\beta_1$  é o coeficiente angular, ou coeficiente de regressão;

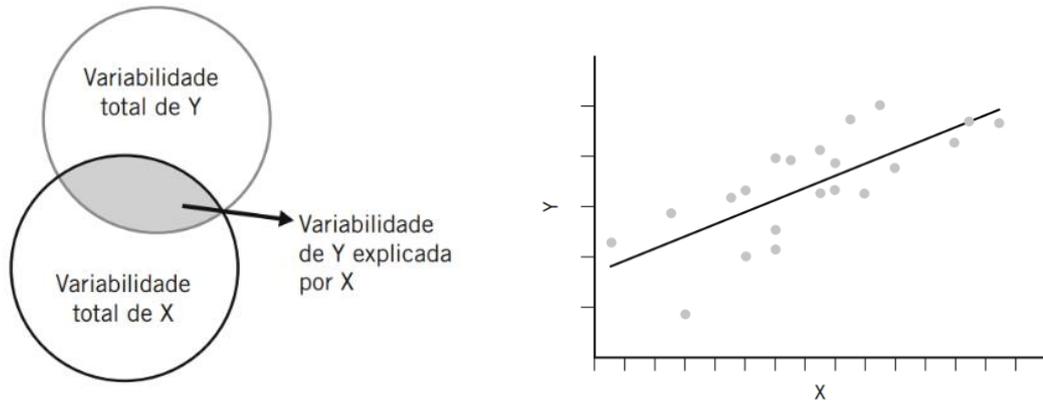
$X_i$  é a variável independente no seu  $i$ -ésimo nível;

$e_i$  é o erro não previsto associado ao modelo.

Ainda segundo Maia (2017), a ampla gama de valores que  $Y$  pode assumir gera no modelo uma variabilidade alta. Parte dessas discrepâncias pode ser explicada pela variabilidade de  $Y$  ocasionada por  $X$ ; outra parte não pode ser explicitada dessa maneira. A

Figura 4.2 apresenta essa variabilidade e exemplifica a regressão linear para Y em função de X.

**Figura 4.2 – Variabilidade de Y explicada por X e regressão linear pra Y em função de X**



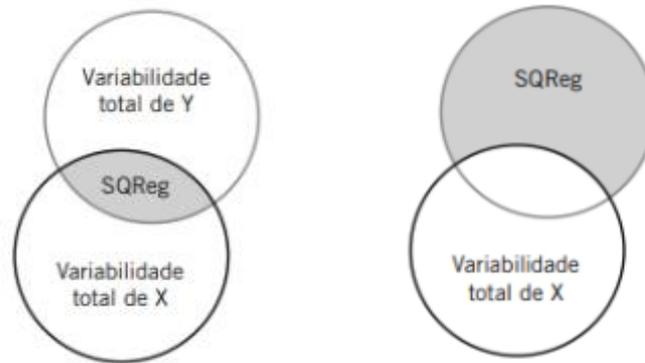
Fonte: MAIA, 2017.

A Soma Total dos Quadrados (STQ) representa a completa variabilidade de Y, sendo determinada pela distância quadrática total dos valores Y em relação à média aritmética simples de Y, podendo ser representada pela seguinte relação:

$$STQ = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2)$$

Considerando valores determinados do coeficiente de regressão e da constante de regressão, é possível minimizar o erro através da soma dos quadrados. Ao medir a variabilidade entre os componentes X e Y, pode-se determinar que a Soma dos Quadrados da Regressão (SQReg) é representada pela Figura 4.3 e apresentada algebricamente pela equação 3.

**Figura 4.3 – Soma dos Quadrados da Regressão Linear**



Fonte: MAIA, 2017.

$$SQReg = \sum_{i=1}^n \hat{y}_i^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (3)$$

O coeficiente de determinação é um importante mecanismo para obter-se um valor quantitativo para a relação linear entre duas variáveis. Esse coeficiente de correlação é chamado de  $R^2$ . Normalmente, quando não há relação verdadeira entre as grandezas, esse coeficiente fica próximo de nulo; a recíproca, porém, nem sempre é verdadeira. Pode-se definir  $R^2$  como sendo:

$$R^2 = \frac{SQReg}{STQ} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

Por meio do software Microsoft Excel, foram obtidas tanto ferramentas gráficas e tabelas, como as regressões lineares entre as variáveis investigadas. Com os valores de  $R^2$ , foi possível estabelecer como os indicadores macroeconômicos globais influenciaram o mercado que envolve a siderurgia independente. Também foi determinando com o auxílio da análise por regressão linear, qual o nível de impacto das condições macroeconômicas na fabricação de ferro-gusa pela empresa estudada.

#### 4.5 IDENTIFICAÇÃO DE OUTRAS POSSÍVEIS RELAÇÕES ENTRE AS COMMODITIES

Considerando a complexidade do estudo proposto e os indicadores estabelecidos para se construir a análise por regressão linear, é possível identificar outras variáveis cuja

influência é significativa para o mercado de ferro-gusa. Há ainda que se levar em conta que o mercado consumidor final do ferro-gusa produzido pela empresa estudada é, em sua maioria, externo ao Brasil; logo, existem situações e cenários específicos inerentes a cada uma das regiões envolvidas.

Um dos objetivos do presente estudo é identificar outras variáveis que possam influenciar a produção de ferro-gusa independente brasileira, especificamente com relação ao empreendimento pesquisado. Consideraram-se nessa etapa os impactos causados pela pandemia de COVID-19, uma vez que o mercado foi atingido de diversas formas, principalmente no que se refere às condições comerciais impostas pelos fechamentos e pela redução na atividade econômica durante o período pandêmico.

Reconhece-se ainda que o ferro-gusa é um produto cuja fabricação requer uma quantidade considerável de insumos para sua fabricação, sendo vários deles sujeitos a condições comerciais locais específicas. Tanto a localização geográfica do empreendimento quanto o posicionamento estratégico da companhia no mercado foram considerados para a escolha do minério de ferro como principal matéria-prima a ser relacionada com o ferro-gusa. Contudo, o carvão vegetal, a energia elétrica e outros insumos podem exercer influência em uma siderúrgica independente.

#### 4.6 DEFINIÇÃO DOS IMPACTOS DO CENÁRIO MACROECONÔMICO NO MERCADO DE FERRO-GUSA

A última etapa da pesquisa foi configurada pela definição de quais são os impactos mais severos e extensos causados pela conjuntura econômica mundial no mercado siderúrgico independente, mais precisamente dentro da companhia estudada. Buscou-se ainda estabelecer um paralelo sobre como as demais commodities envolvidas na cadeia produtiva do ferro-gusa foram impactadas pelas situações de grande volatilidade no período estudado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme estabelecido anteriormente por Qiang *et al.* (2021), o surgimento da epidemia da COVID-19 e seu rápido espalhamento por todo o globo afetaram diretamente as cadeias globais de valor. Além disso, houve uma crescente interrupção nos padrões de consumo pela população do planeta, com as restrições de movimento e *lockdowns* afetando de maneira significativa toda a demanda por bens de consumo e por serviços; conseqüentemente, o mercado minero-metalúrgico foi impactado de maneira relevante. O crescimento econômico das potências industriais mundiais está fortemente relacionado ao consumo de matérias-primas naturais; logo, esses mesmos insumos estão sujeitos às flutuações das performances econômicas desses países.

O ferro-gusa é uma commodity metálica que está inserida dentro da cadeia produtiva mundial, sendo, portanto, afetado pelas altas históricas nos preços das matérias-primas ao longo das últimas duas décadas. Warell (2017) se debruçou em investigar o comportamento dos insumos naturais, em especial do minério de ferro, durante os chamados *booms* das commodities. Foi observado nessas pesquisas uma relação relevante entre o crescimento econômico das potências consumidoras de aço, em especial China e EUA, e o preço das commodities metálicas, entre as quais está incluído o ferro-gusa.

Warell (2017) ainda ressaltou a importância do desempenho dos setores de urbanização e industriais para o mercado de commodities global, influenciando diretamente a demanda por essas matérias-primas. A alta de preços prolongada observada nas últimas décadas é congruente com o desempenho econômico surpreendente da China, sendo que a demanda se manteve elevada até meados de 2017, quando foi estabelecido o fim do último boom das matérias-primas. A indústria estudada tem forte relação com as cadeias globais de valor que envolvem o mercado de minério de ferro e aço. A análise para esse mercado foi estabelecida considerando o recorte temporal entre outubro de 2019 e outubro de 2021, levando em conta não só os aspectos operacionais e comerciais à época, como também a influência da pandemia da COVID-19, que eclodiu em dezembro de 2019.

Para se estabelecer as relações necessárias entre as principais commodities envolvidas no processo produtivo de ferro-gusa e a situação macroeconômica global, é preciso definir os indicadores macroeconômicos utilizados na comparação. Considerando a velocidade com que a pandemia atingiu o globo e os principais mercados consumidores da indústria siderúrgica

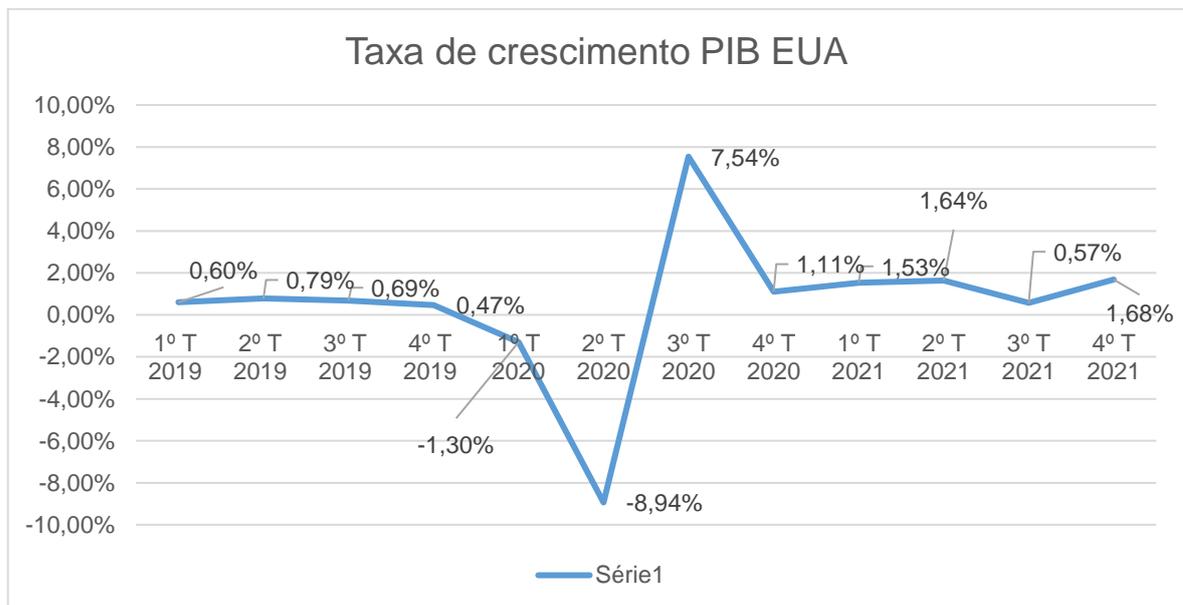
objeto deste estudo, o produto interno bruto (PIB) é uma das principais variáveis que podem ser relacionadas, conforme mostrado na análise preliminar dos dados.

A coleta e tratamento dos dados levaram em conta esse período, com o objetivo de capturar as principais alterações que foram ocasionadas pela pandemia da COVID-19 em seus momentos mais críticos. Além disso, as drásticas mudanças provocadas pelas restrições de movimentos afetaram não apenas o PIB mundial, como também os preços de diversas commodities – incluindo entre elas o próprio ferro-gusa, o minério de ferro, os combustíveis sólidos, entre outros.

Para avaliar de maneira assertiva quais foram os países a ter os indicadores coletados, se consideraram os principais mercados atendidos pela siderúrgica estudada. De acordo com dados fornecidos pela empresa, os EUA e a Ásia são os maiores consumidores; logo, foram coletadas as taxas de crescimento trimestral do PIB estadunidense e chinês. A Figura 5.1 e a Figura 5.2 mostram como se deu a performance econômica das potências estudadas e sua subsequente recuperação. Os dados foram obtidos através do portal de informações da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

O PIB é um indicador relevante da performance econômica mundial, uma vez que se refere a toda riqueza gerada por um país. Os setores consumidores de aço são parte importante desse indicador na maioria das potências industriais, como é o caso da China e dos Estados Unidos da América. Os dados se referem às variações na taxa de crescimento do PIB em relação ao trimestre anterior.

**Figura 5.1 – Taxa de crescimento do PIB estadunidense**



Fonte: Elaborada pelo autor com base em dados da OCDE, 2022.

**Figura 5.2 – Taxa de crescimento do PIB chinês**



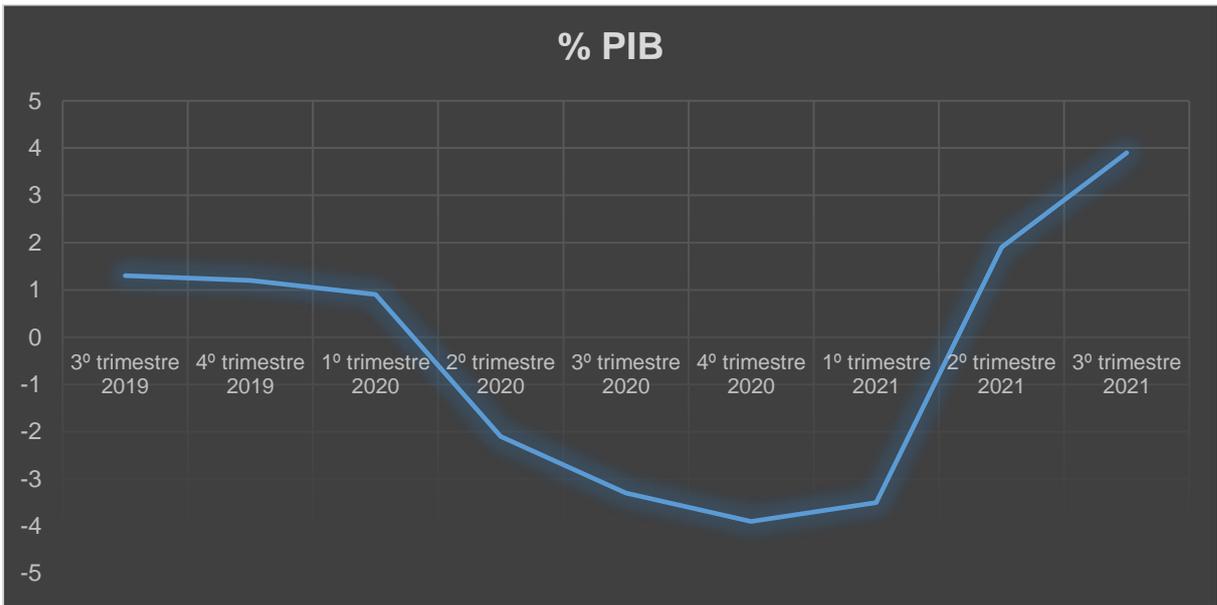
Fonte: Elaborada pelo autor com base em dados da OCDE, 2022.

As condições epidemiológicas dos EUA e da China diferem quanto ao começo da pandemia e às medidas subsequentes para conter o avanço da doença. Com isso, verifica-se que a retração no PIB estadunidense ocorreu em período mais avançado no ano de 2020, sendo mais exacerbada no 2º trimestre daquele ano, ao passo que na China, primeiro epicentro da pandemia, sofreu impactos maiores já no 1º trimestre de 2020.

O Brasil, por sua vez, é um dos maiores exportadores mundiais de commodities, principalmente do setor agrário e minero-metalúrgico. Portanto, uma menor atividade nesses setores impacta significativamente o desempenho econômico nacional. Em razão de sua natureza exportadora, o Brasil também fica sujeito à volatilidade do mercado internacional, e a companhia estudada, por atender majoritariamente ao exterior, está incluída neste contexto.

De acordo com o IBGE, a taxa de crescimento do PIB acumulada em 4 trimestres, entre o começo de 2019 e o fim de 2021, apresenta um panorama amplo de como se deu o desempenho econômico brasileiro durante os momentos mais críticos da crise sanitária ocasionada pelo novo coronavírus (Figura 5.3).

**Figura 5.3 – Taxa de crescimento do PIB brasileiro – comparação ano a ano**



Fonte: Elaborada pelo autor com dados de IBGE, 2022.

A Figura 5.3 apresenta como os indicadores macroeconômicos brasileiros foram afetados pela eclosão do coronavírus. Em se tratando de uma economia majoritariamente exportadora, as interrupções nas cadeias produtivas globais foram danosas para a performance brasileira no mercado, que começou a apresentar sinais de desaceleração já no 1º trimestre de 2020, como mostra a Tabela 5.1.

**Tabela 5.1 – Taxa de Crescimento do PIB dos países estudados**

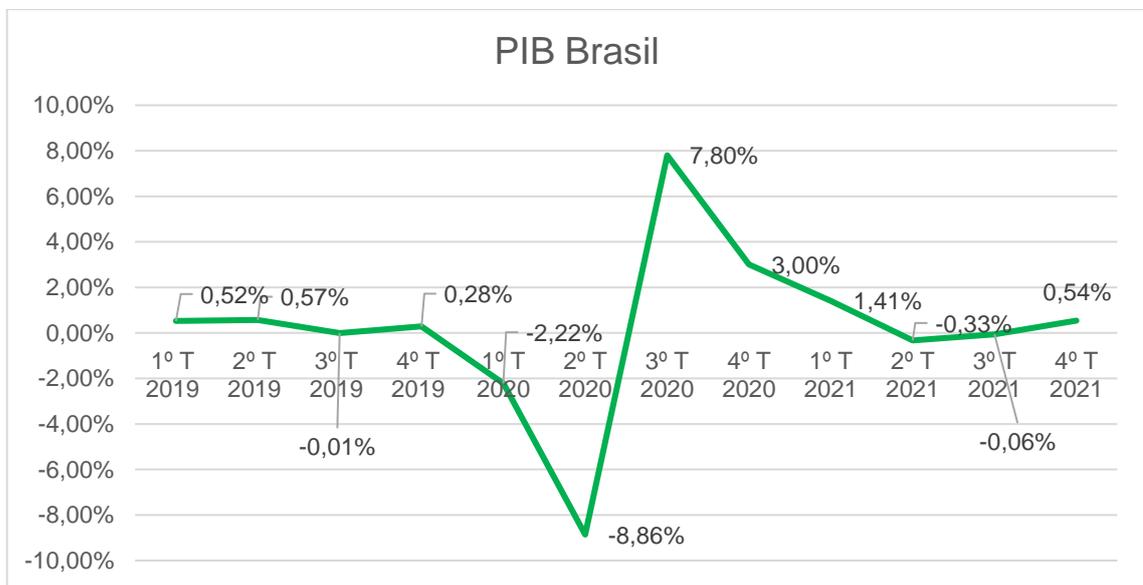
EUA		China		Brasil	
1º T 2019	0,60%	1º T 2019	1,70%	1º T 2019	0,52%
2º T 2019	0,79%	2º T 2019	1,20%	2º T 2019	0,57%
3º T 2019	0,69%	3º T 2019	1,40%	3º T 2019	-0,01%
4º T 2019	0,47%	4º T 2019	1,20%	4º T 2019	0,28%
1º T 2020	-1,30%	1º T 2020	-10,30%	1º T 2020	-2,22%
2º T 2020	-8,94%	2º T 2020	11,60%	2º T 2020	-8,86%
3º T 2020	7,54%	3º T 2020	3,40%	3º T 2020	7,80%
4º T 2020	1,11%	4º T 2020	2,50%	4º T 2020	3,00%
1º T 2021	1,53%	1º T 2021	0,50%	1º T 2021	1,41%
2º T 2021	1,64%	2º T 2021	1,20%	2º T 2021	-0,33%
3º T 2021	0,57%	3º T 2021	0,70%	3º T 2021	-0,06%
4º T 2021	1,68%	4º T 2021	1,50%	4º T 2021	0,54%

Fonte: Elaborada pelo autor com dados de OCDE, 2022.

Ao observar os dados fornecidos pela OCDE, que se diferenciam dos do IBGE, já que estes são comparados em relação ao trimestre anterior, vê-se que a queda na performance econômica brasileira foi tão drástica quando a estadunidense e a chinesa. Contudo, a recuperação ocorreu de forma menos intensa nos trimestres que se sucederam ao surgimento do coronavírus – situação exemplificada pelos dados dispostos na Figura 5.4.

A Figura 5.4 apresenta os dados conforme comparação trimestre a trimestre. Esse tipo de disposição e tratamento de dados permite uma comparação sólida com os índices disponíveis para os Estados Unidos e China.

**Figura 5.4 – Taxa de crescimento trimestral do PIB brasileiro**



Fonte: Elaborada pelo autor conforme dados da OCDE, 2022.

Ainda é possível destacar que, apesar da rápida recuperação econômica observada nas economias mais maduras, como China e EUA, no Brasil não ocorreu o mesmo. Apesar da recuperação em V no 3º trimestre de 2020, o desempenho brasileiro nos trimestres consecutivos não foi constante durante o restante do período estudado, chegando a apresentar momentos de diminuição da atividade econômica ao longo de 2021.

O desempenho econômico brasileiro sofreu com as consequências da pandemia e do menor fluxo comercial global de commodities. Qiang *et al.* (2021) apontam que usualmente recursos naturais são os itens mais comercializados pelo globo, e, portanto, graças a essa enorme influência na economia, o preço das commodities naturais também é parte relevante do equilíbrio econômico de diversos países.

A análise preliminar deixa evidente que, embora a China tenha sido o primeiro local em que o vírus foi identificado, correspondendo ao epicentro da pandemia durante os

primeiros meses, a economia chinesa recuperou uma tendência de crescimento positiva em relativamente pouco tempo. As taxas de crescimento do PIB após o 3º trimestre de 2020 já indicam uma retomada econômica forte, que, conseqüentemente, movimentou o mercado global de matérias-primas.

A China e os Estados Unidos da América são as principais economias do mundo, portanto, é de se esperar que seu desempenho, em termos de crescimento, geração de riquezas e de renda, seja fundamental para o pleno funcionamento da máquina industrial mundial. A globalização e as cadeias produtivas cada vez mais difusas corroboram para que acontecimentos disruptivos como a pandemia sejam catastróficos para a economia global.

Durante os superciclos anteriores das commodities, já era possível estabelecer que as crises econômicas globais tiveram relações diretas ou indiretas com o mercado de recursos naturais, incluindo os metálicos (REDETZKI, 2006). As grandes potências econômicas modernas são hoje o grande mercado consumidor de materiais metálicos, e o fluxo comercial neste sentido é percebido também quando se trata de ferro-gusa, conforme aponta o estudo de De Paula (2014).

Historicamente, os EUA e a Ásia são os maiores consumidores do ferro-gusa brasileiro, sendo que a participação asiática nesse mercado tem sido crescente, conforme mostrado na Tabela 3.4. Dados fornecidos pela companhia estudada corroboram esse padrão: seus maiores clientes são os países do continente asiático e os norte-americanos; logo, a maior parte do material produzido no Brasil tinha como destino derradeiro a indústria dessas potências.

A oferta brasileira de metálicos é, portanto, ligada à demanda que é oriunda dos EUA e China, como mostram a Tabela 3.4 e a Figura 3.3. O equilíbrio na oferta e demanda dentro do mercado de materiais metálicos é de significativa importância para a balança comercial brasileira – em especial para Minas Gerais, maior produtor independente de ferro-gusa nacional. Mankiw (2014) estabeleceu como funciona a lei da oferta e demanda, que é aplicável às commodities estudadas. Ao considerar como os preços e condições macroeconômicas se comportaram durante os superciclos de matérias-primas anteriores, há indicativos de que a situação vivida nos anos de 2020 e 2021 esteja sujeita a fenômenos similares aos vistos por Warell (2017) e Redetzki (2006).

Durante a pandemia, toda a demanda por matérias-primas naturais foi interrompida drasticamente, em virtude dos *lockdowns* e da decorrente desaceleração econômica chinesa. O minério de ferro e o ferro-gusa, por estarem fortemente inseridos nessa cadeia global de valor,

sofreram impactos em sequência. A demanda por metálicos é, portanto, influenciada pelas recessões entre as potências e pelas oscilações inerentes do mercado de commodities naturais, conforme estabelecido por Prates (2007).

Para realizar uma análise primária entre os efeitos das menores taxas de crescimento do PIB das potências (EUA e China) e as commodities metálicas, foram utilizados os dados históricos relativos aos preços do minério de ferro. Tais dados, provenientes da Thompson Reuters e do World Bank, foram acessados no site IndexMundi,. O tratamento dessas informações foi feito definindo um recorte temporal mensal, entre janeiro de 2019 e dezembro de 2021, de forma a se tornarem comparáveis aos fornecidos pela companhia estudada.

O minério de ferro negociado internacionalmente segue algumas características pré-estabelecidas pelo mercado. Neste caso, os dados aqui coletados se referem ao minério com aproximadamente 62% de teor de ferro, em negociações baseadas no porto de Tianjin (China), em dólares americanos por tonelada métrica seca (DMT, na sigla em inglês).

**Figura 5.5 – Preço do minério de ferro 62% de Fe (USD/ton)**



Fonte: Elaborada pelo autor com base em dados de IndexMundi, 2022.

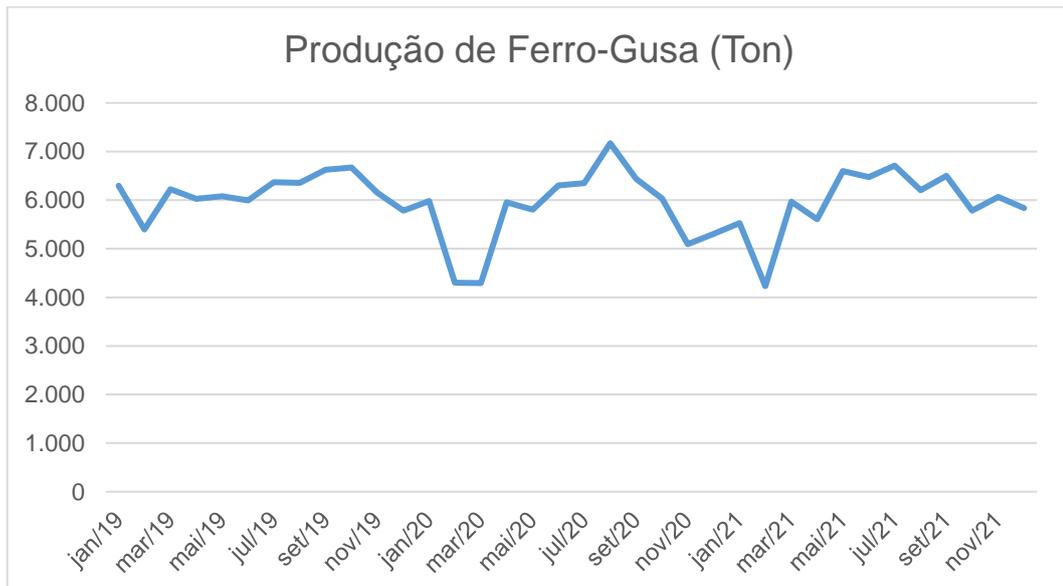
A análise gráfica preliminar permite constatar de maneira empírica que, apesar das restrições de movimento, o preço do minério de ferro no mercado internacional não foi impactado negativamente quando eclodiu a pandemia. De forma contraditória, após os dois primeiros trimestres de 2020, o que se viu foi um crescimento paulatino no valor da commodity no mercado internacional.

De acordo com as premissas estabelecidas pela Lei da Oferta e Demanda, é de se esperar, portanto, que esse aumento de preço seja ocasionado por uma crescente demanda por minério de ferro no mercado internacional, sem que houvesse o devido aumento na oferta da matéria-prima. Conforme já apresentado, uma maior demanda por recursos naturais metálicos é historicamente motivada por um melhor desempenho econômico por parte das potências mundiais, em especial China e EUA, que são os maiores demandantes de ferro-gusa, aço e minério de ferro.

Ao analisar de forma preliminar os dados relacionados ao minério de ferro e compará-los com os dados da OCDE e IBGE sobre o PIB dos países estudados, pode-se inferir que a retomada econômica, principalmente da China, foi um dos fatores que impulsionaram a demanda e, conseqüentemente, o preço do material metálico no mercado internacional. Para estabelecer uma relação entre a conjuntura do mercado mundial de commodities naturais e a situação vivida por uma usina siderúrgica independente, cujo produto de interesse é o ferro-gusa, é preciso dispor as variáveis de interesse devidamente tratadas e representadas graficamente.

Os dados para produção de ferro-gusa pela empresa foram coletados em toneladas, tornando possível a utilização dessas informações para análises de cunho comercial, uma vez que a commodity é negociada no mercado internacional em dólares americanos por tonelada (USD/ton). A Figura 5.6 apresenta os dados de produção fornecidos pela companhia estudada.

**Figura 5.6 – Produção de ferro-gusa em toneladas**



Fonte: Elaborada pelo autor com dados fornecidos pela companhia.

A comercialização do ferro-gusa produzido pela companhia se dá através da venda dos briquetes ou “pães de gusa”, como é popularmente chamado o ferro-gusa em estado sólido e preparado para transporte. Por ser um produto necessário para a fabricação de aço em aciarias elétricas por todo o globo, o ferro-gusa produzido pela empresa em questão é negociado, em sua maioria, no mercado internacional.

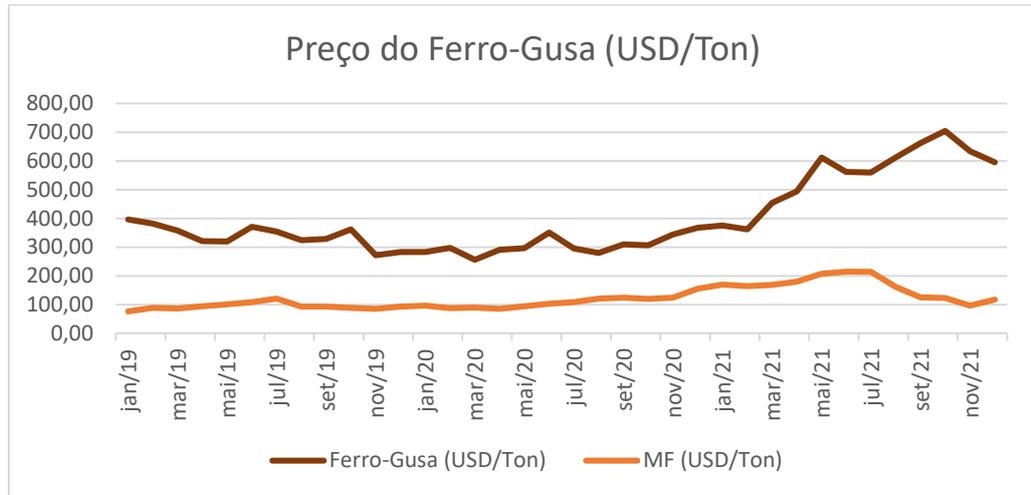
O preço médio mensal do material produzido foi fornecido pela companhia durante a coleta das informações. Na etapa de tratamento de dados, porém, foi verificada a necessidade de realizar a conversão da moeda, uma vez que as informações coletadas se referiam ao preço do ferro-gusa vendido em R\$/toneladas. Para viabilizar o tratamento correto dos dados, foram coletadas informações sobre a equivalência entre a moeda estadunidense e brasileira mensalmente, de acordo com dados acessados no portal do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). A Tabela 5.2 apresenta como foi realizada a conversão monetária.

**Tabela 5.2 – Preço do Gusa convertido de Reais para Dólares Americanos**

Mês	Preço Gusa R\$	USD/BRL	Preço Gusa USD	Mês	Preço Gus	USD/BRL	Preço Gusa USD	Mês	Preço Gusa R\$	USD/BRL	Preço Gusa USD
jan/19	1.484	3,74	396,78	jan/20	1.176	4,15	283,38	jan/21	2.010	5,36	375,40
fev/19	1.423	3,72	382,18	fev/20	1.292	4,34	297,66	fev/21	1.962	5,42	362,30
mar/19	1.373	3,85	357,13	mar/20	1.249	4,88	255,80	mar/21	2.564	5,65	454,14
abr/19	1.248	3,90	320,48	abr/20	1.551	5,33	291,18	abr/21	2.747	5,56	493,86
mai/19	1.280	4,00	319,86	mai/20	1.671	5,64	296,06	mai/21	3.234	5,29	611,27
jun/19	1.432	3,86	371,14	jun/20	1.823	5,20	350,75	jun/21	2.825	5,03	561,41
jul/19	1.338	3,78	353,99	jul/20	1.557	5,28	294,99	jul/21	2.884	5,16	559,40
ago/19	1.301	4,02	323,64	ago/20	1.526	5,46	279,41	ago/21	3.214	5,25	611,97
set/19	1.353	4,12	328,29	set/20	1.670	5,40	309,25	set/21	3.492	5,28	661,48
out/19	1.476	4,09	361,27	out/20	1.722	5,63	306,04	out/21	3.903	5,54	704,53
nov/19	1.128	4,15	271,51	nov/20	1.861	5,42	343,45	nov/21	3.523	5,56	634,05
dez/19	1.162	4,11	282,72	dez/20	1.889	5,14	367,07	dez/21	3.365	5,65	595,57

Fonte: Elaborada pelo autor com dados fornecidos pela companhia.

Uma vez realizado o tratamento dos dados, torna-se possível a devida comparação entre commodities internacionalmente negociadas, como ferro-gusa e minério de ferro, precificadas em dólares por tonelada. A Figura 5.7 apresenta os preços praticados pela siderúrgica estudada em função do tempo, juntamente com os preços de minério de ferro previamente apresentados.

**Figura 5.7 – Preço do ferro-gusa e minério de ferro em USD/ton**

Fonte: Elaborada pelo autor com dados fornecidos pela companhia.

As informações e dados apresentados anteriormente foram selecionados conforme a metodologia proposta, sendo as variáveis a serem utilizadas na análise por regressão linear aquelas que apresentarem maior relevância para os objetivos desse estudo. A análise preliminar acerca das diversas variáveis expostas aponta para uma relação entre a performance econômica das principais potências e a demanda por materiais metálicos, sejam eles minério *in natura* ou ferro-gusa.

A Figura 5.7 retrata a variação de preço no mercado mundial de algumas commodities mais relevantes para a cadeia produtiva do aço, e nota-se que o aumento no preço do minério de ferro visto após julho de 2020 se mantém até meados de 2021, quando a matéria-prima atinge seu patamar mais alto dentro do período estabelecido. O ferro-gusa, por sua vez, tem comportamento semelhante; seu valor de mercado cresceu paulatinamente a partir de agosto de 2020, até atingir seu pico em outubro de 2021.

Com base nas premissas lançadas anteriormente, decidiu-se por selecionar como variáveis para a análise por regressão linear os preços de minério de ferro e ferro-gusa, sendo respectivamente a primeira variável dependente, X, e a segunda variável, a independente, Y. A interpretação dos dados para esse tipo de análise leva em conta que uma variável, no caso o ferro-gusa, tenha seu preço e comportamento explicado pelos valores do minério de ferro negociados internacionalmente. A análise por regressão linear simples levou em consideração o período entre janeiro de 2019 e dezembro de 2021 para comparação dos dados.

Dessa forma, o objetivo dessa regressão é estabelecer o poder de explicação do preço do ferro-gusa produzido de maneira independente com relação ao minério de ferro 62% de

teor negociado em Tanjin, na China, com cotação em dólares americanos (MF USD). Contudo, é relevante ressaltar que o ferro-gusa é um produto cujo custo é influenciado por outras commodities com preço extremamente volátil, como é o caso do combustível sólido utilizado, o carvão vegetal. Portanto, o preço do ferro-gusa depende de outros aspectos, não apenas do minério de ferro. Deve-se salientar ainda que as condições comerciais e operacionais de uma usina siderúrgica independente variam de acordo com sua localização geográfica e acesso à matéria-prima ferrosa de qualidade.

Para realização da análise por regressão linear, foram utilizadas as ferramentas para análise de dados disponíveis no software Microsoft Excel. Esse recurso permite a obtenção não só do valor  $R^2$  (coeficiente de determinação), mas também do valor-P da regressão, que se trata de um parâmetro responsável por verificar quão significativa é a correlação entre as variáveis estabelecidas.

O valor-P, quando menor que 0,05, indica que a relação entre as variáveis é significativa. Quando é maior que 0,05, tem-se que a relação não é suficientemente significativa para a análise por regressão linear simples. Para o coeficiente de determinação  $R^2$ , a mensuração de sua validade se dá entre 0 e 1, podendo ser expresso em porcentagem: quanto mais próximo de 1, mais forte é a influência da variável dependente X (no caso, o ferro-gusa) no comportamento da variável independente Y (o minério de ferro). Os dados da Tabela 5.3 apresentam os resultados de valor-P obtidos na análise por regressão linear simples.

**Tabela 5.3 – Valor-P encontrado na Regressão Linear**

<i>valor-P</i>	
Interseção	0,00465
MF USD	0,00074

Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando os dados disponibilizados e a análise de regressão, pode-se determinar que a correlação entre o preço do ferro-gusa vendido pela usina siderúrgica independente estudada e o preço do minério de ferro teor 62% de Fe negociado em mercado internacional é significativa.

Os resultados alcançados mostraram que o valor-P para a variável preço do minério de ferro em dólares (MF USD) foi de 0,00074, ou seja, encontra-se dentro dos parâmetros pré-estabelecidos (menor que 0,05). Logo, a correlação existente entre as duas commodities é significativa, suportando a hipótese levantada pela análise preliminar. A Tabela 5.4 por sua

vez nos mostra os resultados para os coeficientes de determinação,  $R^2$ , obtidos através da análise por regressão linear simples.

**Tabela 5.4 – Estatísticas obtidas na Regressão Linear**

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,5364
R-Quadrado	0,2878
R-quadrado ajustado	0,2668
Erro padrão	110,8304
Observações	36

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme os dados expostos indicam, o  $R^2$  para a regressão linear realizada é de 0,2878 – ou seja, cerca de 28,7% do comportamento do preço do ferro-gusa vendido pela companhia estudada pode ser explicado pela variável independente, o preço do minério de ferro. Da análise preliminar anterior, constata-se que existe uma conexão entre as duas commodities, conforme visto na Figura 5.7, que exprime em um mesmo gráfico os preços do ferro-gusa e do minério de ferro. A análise por regressão linear define de forma quantitativa qual o nível de influência do preço do minério de ferro na composição dos preços do ferro-gusa vendido pela companhia estudada.

O mercado no qual as matérias-primas base para produção do aço estão inseridas é amplo e de elevado grau de complexidade, uma cadeia global de valor muito importante para o desenvolvimento econômico mundial. Portanto, é de se esperar que diversas commodities interfiram nos custos envolvidos na produção do ferro-gusa – ainda mais em se tratando de uma produção independente, em mini altos-fornos usando carvão vegetal como combustível sólido.

As peculiaridades técnicas e comerciais que cercam o carvão produzido através de eucaliptos são extensas e remetem a condições únicas ao Brasil, já que esse é o único país que produz ferro-primário em escala industrial a partir deste redutor. Por essas questões, o papel e influência do carvão vegetal na produção independente de ferro-gusa merecem um estudo próprio. Essa matéria prima é tida como de elevado custo dentro do processo produtivo, e entende-se que parte significativa do comportamento dos preços do ferro-gusa no mercado pode ser explicado por ela.

É importante levar em consideração que é possível identificar uma alta de preços significativa após o começo da pandemia causada pela COVID-19, conforme explicitado na

Figura 5.7, nos dados após fevereiro de 2020. Esse tipo de volatilidade no mercado afeta diretamente os modelos de regressão linear simples, uma vez que a oferta diminuta de ferro-gusa no mercado, devido às restrições de movimento, impulsionou os preços das commodities para valores acima dos observados durante o período estudado.

O desempenho econômico mundial, apesar de ter sido extremamente afetado pelo impacto primário causado pela pandemia, não atuou de forma perene no preço e produção da usina estudada. O que se observou foi uma manutenção da produtividade durante o período mais crítico nas economias estadunidense e chinesa, entre março e julho de 2020, seguido por um aumento expressivo da demanda, impulsionado pela recuperação econômica de ambos os países.

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo se propôs a analisar, de forma quantitativa e qualitativa, como se relacionam os aspectos macroeconômicos mundiais e a realidade produtiva de uma usina siderúrgica não integrada e sua produção de ferro-gusa, sendo este majoritariamente negociado em mercado internacional. É inegável a influência de commodities como minério de ferro, carvão e o próprio aço dentro dos parâmetros comerciais que envolvem essa realidade produtiva.

O desempenho econômico das principais potências globais, embora tenham afetado momentaneamente a demanda por commodities metálicas, não foi determinante para a performance da companhia. O que se observou de fato foi uma elevação abrupta nos preços do ferro-gusa e minério de ferro nos meses posteriores, que coincidiu com a recuperação de crescimento do produto interno bruto tanto dos EUA quanto da China. A vertiginosa recuperação chinesa, mais rápida e em maior grau que a estadunidense, deu fôlego aos mercados que envolvem a cadeia produtiva do aço, uma vez que o gigante asiático é o maior consumidor da commodity.

Há de se levar em conta que o apetite chinês por aço é motivado por políticas desenvolvimentistas que vêm sendo mantidas há anos, sendo que após a eclosão do vírus causador da COVID-19 o país se fechou totalmente, adotando uma medida mundialmente conhecida como “COVID zero”. Essas condições tornaram possível que a China mantivesse atividades de forma muito mais perene do que o restante do mundo, sem ter de enfrentar as restrições de movimento que afetaram o desempenho econômico dos outros estados.

Conclui-se que essa conjuntura macroeconômica, mesmo que desafiadora em diversos pontos, não foi excessivamente danosa para a companhia estudada, ao se considerar os parâmetros aqui estabelecidos. A recuperação chinesa e sua consequente necessidade por aço movimentou a cadeia produtiva do ferro-gusa, causando alterações na oferta e demanda das commodities naturais no mercado. Esse tipo de influência atuou de forma direta na precificação das matérias-primas envolvidas, como observado nos preços de minério de ferro e ferro-gusa apresentados neste trabalho.

Conforme apresentado pela empresa e pelos dados dispostos, os principais mercados consumidores de ferro-gusa são EUA e Ásia. Em ambos, a recuperação econômica deu suporte ao aumento de demanda por aço em um curto espaço de tempo – algo que não aconteceu no Brasil, que manteve um maior período de decréscimo do PIB. Contudo, a

companhia estudada manteve o desempenho e a produtividade, mesmo quando o cenário nacional não era o mais favorável, do que se conclui que os principais fatores econômicos que influenciam o mercado independente de ferro-gusa estão relacionados à performance econômica internacional.

Deve-se considerar que o comércio exterior não representa as únicas relações inerentes à produção independente de ferro-gusa. A necessidade de um suprimento local de sucata, fundentes, carvão vegetal, entre outros, é uma realidade desse tipo de empreendimento. Portanto, diversos fatores referentes ao mercado brasileiro e seu desempenho econômico afetam os custos de produção independente do ferro-gusa, sendo o carvão vegetal um dos mais críticos e peculiares.

Todas essas circunstâncias justificam o resultado obtido na regressão linear, que, apesar de significativa, aponta que apenas 28% do preço do ferro-gusa pode ser explicado pelo comportamento do minério de ferro e seu preço negociado internacionalmente. Todavia, espera-se que o presente trabalho seja apenas um dos primeiros a explorar as diferentes condições econômicas, técnicas e operacionais, e relacioná-las com o mercado internacional de commodities metálicas.

A cadeia produtiva do aço é interligada e difundida por todo o globo. Diversas commodities são comercializadas entre empresas de diversos países que vivem situações econômicas, sociais e geopolíticas distintas. O ferro-gusa é parte importante desse mercado, sendo o maior produto oriundo do minério de ferro e o mais utilizado como matéria-prima para o aço. A oferta e demanda de matérias-primas metálicas são, portanto, parte relevante do crescimento do produto interno bruto mundial, capitaneado por Estados Unidos e China.

O ferro-gusa produzido de maneira independente no Brasil, utilizando em sua maioria recursos naturais nacionais que passam pelas condições econômicas brasileiras, tem relevância dentro do mercado internacional, suprindo diversas economias representativas, como a chinesa e estadunidense. Dessa forma, a companhia estudada conseguiu manter níveis elevados de produtividade, ofertando ferro-gusa ao mercado de aço e fundição, mesmo em condições adversas. Os dados colhidos na literatura, juntamente com os dados fornecidos pela empresa estudada e apresentados aqui, representam como os aspectos macroeconômicos são significativos para a performance das siderúrgicas produtoras de ferro-gusa independente.

## REFERÊNCIAS

- BIANCHETTI, Mara. Preço do minério de ferro sofre a maior queda semanal nos últimos 17 meses. **Jornal do Comércio**, 24 jul. 2021. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/preco-do-minerio-de-ferro-sofre-a-maior-queda-semanal-nos-ultimos-17-meses>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- BLACK, Clarissa. Eventos relacionados ao superciclo de preços das *commodities* no século XXI. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 40, n. 2, p. 67-78, 2013.
- BRESSER PEREIRA, Luiz Carlos; MARCONI, Nelson. **Existe doença holandesa no Brasil?** In: IV Fórum de Economia da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2008.
- DE PAULA, Germano Mendes. **Produção Independente de Ferro-Gusa (“Guseiros”)**. Relatório Final. Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono. Ribeirão Preto, 2014.
- IIMA – INTERNATIONAL IRON METALLICS ASSOCIATION. **IIMA Fact Sheet #5**. 2017. Disponível em: [https://www.metallics.org/assets/files/Public-Area/Fact-Sheets/\\_5\\_Basic\\_Pig\\_Iron\\_in\\_EAF\\_Fact\\_Sheet\\_rev3.pdf](https://www.metallics.org/assets/files/Public-Area/Fact-Sheets/_5_Basic_Pig_Iron_in_EAF_Fact_Sheet_rev3.pdf). Acesso em: 8 jun. 2022.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário Estatístico 2020**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2020.
- MANKIW, N. Gregory.; **Princípios de Macroeconomia**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- MAIA, G. Alexandre.; **Econometria Conceitos e Aplicações**. São Paulo: SaintPaul, 2017.
- MORTATTI, M. Carlos.; MIRANDA, G. H. Sílvia.; BACCHI P. R. Mirian.; Determinantes do Comércio Brasil-China de *Commodities* e Produtos Industriais: Aplicação VECM. *Economia Aplicada* v. 15, n. 2, p. 311-335, 2001.
- NEVES, Osias Ribeiro; CAMISASCA, Marina Mesquita. **Aço Brasil: uma viagem pela indústria do aço**. Belo Horizonte: Escritório de Histórias, 2013. 192 p.
- NOGUEIRA, Fernando. **O colapso da concentração de empreendimentos de produção do ferro gusa em Marabá: discussão sobre o papel da crise mundial de 2008**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá, 2019.
- PRATES, Daniela Magalhães. A alta recente dos preços das *commodities*. **Revista de Economia Política**, v. 27, n. 3, p. 323-344, 2007.
- OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Dados**. Disponível em: <https://www.oecd.org/latin-america/data/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

QIANG, Ma *et al.* Natural resources commodity prices volatility and economic performance: Evidence from China pre and post COVID-19. **Resources Policy**, n. 74, 2021. doi: 10.1016/j.resourpol.2021.102338

REDETZKI, Marian. The anatomy of three commodity *booms*. **Resources Policy**, n. 31, p. 56-64, 2006.

RIZZO, E. M. S.; **Processo de Fabricação de Ferro-Gusa em Alto-Forno**. São Paulo: ABM, 2009. 52 p.

SANTOS, Ulisses Pereira dos. **Ambiente institucional e inovação na siderurgia de Minas Gerais**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012. (Série BNB Teses e Dissertações, n. 39).

SINDIFER - SINDICADO DA INDÚSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Anuário Estatístico 2017**. Belo Horizonte: SINDIFER, 2017.

SINDIFER - SINDICADO DA INDÚSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Anuário Estatístico 2020 – Ano base: 2019**. Belo Horizonte: SINDIFER, 2020.

TRADEMAP. **Trade statistics for international business development**. Disponível em: <https://www.trademap.org/Index.aspx#>. Acesso em: 13 jun. 2022.

WARELL, Linda. An analysis of iron ore prices during the latest commodity *boom*. **Mineral Economics**, n. 31, p. 203-216, 2018.