

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Rayssa Lorraine dos Santos Leite

**ESTUDO SOBRE O CUSTO DE TRANSPORTE ATRIBUÍDO À LOGÍSTICA DE
ESCOAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO PRODUZIDO NO COMPLEXO
MINERAL DE SERRA AZUL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Belo Horizonte – MG

2023

RAYSSA LORRANNE DOS SANTOS LEITE

**ESTUDO SOBRE O CUSTO DE TRANSPORTE ATRIBUÍDO À LOGÍSTICA DE
ESCOAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO PRODUZIDO NO COMPLEXO
MINERAL DE SERRA AZUL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof^a. Dra. Anna Carolina Corrêa Pereira

*“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso!
Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu
Deus, estará com você por onde você andar”*

Josué 1:9

*“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes
coisas do homem foram conquistadas do que parecia
impossível.”*

Charles Chaplin

LEITE, Rayssa L. S. **ESTUDO SOBRE O CUSTO DE TRANSPORTE ATRIBUÍDO À LOGÍSTICA DE ESCOAMENTO DO MINÉRIO DE FERRO PRODUZIDO NO COMPLEXO MINERAL DE SERRA AZUL**. 2023. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2023.

RESUMO

Localizado na borda noroeste do Quadrilátero Ferrífero, o complexo mineral de Serra Azul contempla uma das principais reservas de minério de ferro do Estado de Minas Gerais, sendo uma área de grande interesse para as mineradoras. Entretanto, devido à falta de acesso direto à malha ferroviária para escoamento do produto, têm-se também grandes desafios logísticos para viabilização do transporte do minério de ferro até os portos para exportação. Ciente do grande potencial mineral e da localização pouco estratégica, o presente trabalho teve como objetivo apresentar os custos de transporte relacionados ao fluxo logístico adotado para o escoamento do minério de ferro produzido na região minerária de Serra Azul de forma a explicitar os custos de transportes atribuídos a cada modo de transporte utilizados desde as minas até o cliente final. Após considerado a produção anual de quatro mineradoras da região estudada, foi implementado o modelo quatro etapas que permitiu identificar o fluxo de escoamento e então definir a matriz de custos de transportes. Neste contexto, observou-se que o custo de transporte anual do minério produzido é de 9,6 bilhões de reais e, considerando o transporte da tonelada por quilômetro, o custo no modo ferroviário é 1,5 vezes menor que pelo modo rodoviário. Além disso, observou-se que o custo de transporte para os empreendimentos considerados representa 70% do preço do minério de ferro.

Palavras-chave: Mineração; Custos-de-transporte; Intermodalidade; Serra-Azul.

LEITE, Rayssa L. S. **STUDY OF THE TRANSPORT COST ATTRIBUTED TO THE LOGISTICS FOR THE DISPOSAL OF IRON ORE PRODUCED IN THE SERRA AZUL MINERAL COMPLEX**. 2023 87 f. Undergraduate Final Report. Transportation Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), 2023.

ABSTRACT

Located on the northwest edge of the Quadrilátero Ferrífero, the Serra Azul mining complex includes one of the main iron ore reserves in the State of Minas Gerais, being an area of great interest for mining companies. However, due to the lack of direct access to the rail network to transport the product, there are also major logistical challenges in making it possible to transport iron ore to ports for export. Aware of the great mining potential and the not very strategic location, the present work aimed to present the transport costs related to the logistical flow adopted for the disposal of the iron ore produced in the mining region of Serra Azul in order to explain the transport costs attributed to each mode of transport used from the mines to the end customer. After considering the annual production of four mining companies in the region studied, a four-step model was implemented that allowed identifying the outflow flow and then defining the transport cost matrix. In this context, it was observed that the annual transport cost of the ore produced is 9.6 billion reais and, considering the transport of the ton per kilometer, the cost by rail is 1.5 times lower than by road. In addition, it was observed that the transportation cost for the considered enterprises represents 70% of the iron ore price.

Keywords: Mining; Transportation costs; Intermodality; Serra-Azul.

LISTA DE SIGLAS

ANM	Agência Nacional de Mineração
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BNDS	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CODEBA	Companhia das Docas do Estado da Bahia
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COSMOS	<i>Cooperative Solutions for Managing Optimized Services</i>
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
DMT	<i>Dry Metric Ton</i> (tonelada métrica seca)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DNPMP	Departamento Nacional de Produção Mineral de Pernambuco
DWT	<i>Deadweight tonnage</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
FEPASA	Ferrovias Paulista S/A
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação

LP	Licença Prévia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MRS	Malha Regional Sudeste
MUT	Modelo de Uso do Solo e Transportes
ONTL	Observatório Nacional de Transporte e Logística
OTM	Operador de Transporte Multimodal
PBT	Peso Bruto Total
PIB	Produto Interno Bruto
PPC	Perda Por Calcinação
PTI	<i>Port Technology International</i>
QF	Quadrilátero Ferrífero
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S/A
RIMA	Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente
ROM	<i>Run Off Mine</i>
SEDE	Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico
SEINFRA	Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade
SEMAD Sustentável	Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
TCS	Terminal de Cargas de Sarzedo
TECAR	Terminal de Carvão

TEU	<i>Twenty Foot Equivalent Uni</i>
TKU	Tonelada por quilometro útil
TSA	Terminal Serra Azul
wmt	<i>wet metric ton</i> (tonelada métrica úmida)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Percentual de participação das substâncias metálicas e não metálicas na produção mineral comercializada em 2021	6
Figura 2 - Países destino das exportações de substâncias metálicas brasileiras em 2021.	7
Figura 3 - Mapa esquemático com a localização do Quadrilátero Ferrífero (A)	9
Figura 4 - Processos produtivos do minério de ferro	11
Figura 5 - Fluxograma de produção dos diferentes tipos de minério de Ferro considerando a granulometria.	12
Figura 6 - Percentual de custos logísticos em relação ao PIB brasileiro nos anos de 2004 a 2016	16
Figura 7 - Percentual em TKU sobre cada modo de transporte	19
Figura 8 - Densidade da malha rodoviária federal pavimentada por região do Brasil (valores em km/mil km ²)	21
Figura 9 - Mapa das concessões ferroviárias brasileiras	24
Figura 10 - Mapa de Portos no Brasil.....	27
Figura 11 - Representação simplificada de um terminal de transbordo em operação	30
Figura 12 - Metodologia para identificação dos custos de transportes.....	32
Figura 13 - <i>Baltic Exchange</i> – Definição da rota de transporte marítimo	35
Figura 14 - Modelo 4 etapas para o transporte de carga	36
Figura 15 - Características carreta bitrem	37
Figura 16 - Simulador tarifário MRS	39
Figura 17 - Serra Azul e Serra do Curral.....	40
Figura 18 - Localização do complexo minerário Serra Azul	41
Figura 19 - Empreendedores de minério de ferro na região de Serra Azul	42
Figura 20 - Infraestrutura logística para acesso à região minerária de Serra Azul....	46

Figura 21 - Traçado BR 040.....	47
Figura 22 - Traçado BR-381	47
Figura 23 - Traçado MG-431	48
Figura 24 – Malha Regional Sudeste	49
Figura 25 - Porto de Itaguaí - TECAR	50
Figura 26 - Porto Qingdao - China	51
Figura 27 - Trajeto entre a Mineração ArcelorMittal e os terminais de carga (TSA e TCS).....	52
Figura 28 - Trajeto entre a Mineração Minerita e os terminais de carga (TSA e TCS)	52
Figura 29 - Trajeto entre a Mineração Morro do Ipê e os terminais de carga (TSA e TCS).....	53
Figura 30 - Trajeto entre a Mineração Usiminas e os terminais de carga (TSA e TCS)	53
Figura 31 - Localização das minerações em relação aos terminais de carga	54
Figura 32 - Veículo tipo - Modo rodoviário	56
Figura 33 - Veículo tipo - Modo ferroviário	57
Figura 34 – Veículo tipo – Modo aquaviário	57
Figura 35 - Valor frete ferroviário.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Média recente dos custos da distribuição física, em percentuais de vendas e \$/cwt.....	15
Quadro 2 - Características gerais dos modos de transportes	17
Quadro 3 - Características dos serviços realizados por cada modos de transportes	18
Quadro 4 – Valor de pisos mínimos do frete para transporte rodoviário	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios componentes do Quadrilátero Ferrífero	10
Tabela 2 - Movimentação de carga por tipo de navegação em 2021	26
Tabela 3 - Integração Terminal - Ferrovia	34
Tabela 4 - Distâncias percorridas entre as mineradoras e os terminais de carga	54
Tabela 5 - Matriz transporte ferroviário	55
Tabela 6 - Produção dos empreendimentos deste estudo	55
Tabela 7 - Matriz de distribuição modal – Volume diário de veículos	58
Tabela 8 - Valor frete rodoviário	58
Tabela 9 – Custo para transporte em cada modo por tonelada	59
Tabela 10 - Custo para o transporte em cada modo por produção diária (em milhões de reais)	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação do tema e do problema	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Justificativa.....	3
1.4 Estrutura do trabalho.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 Mineração no Brasil.....	5
2.1.1 Comércio de minério de ferro	6
2.1.2 Mineração em Minas Gerais	8
2.1.3 Processo de produção do minério de ferro	10
2.1.4 Regulamentação, Meio ambiente e Impactos sociais	12
2.2 Logística, custos logísticos e custo de transporte	14
2.3 Matriz de transporte	16
2.3.1 Transporte de carga.....	18
2.3.2 Intermodalidade e multimodalidade.....	27
3. METODOLOGIA	32
3.1 Caracterização da região minerária de Serra Azul com a identificação das principais mineradoras da região.....	32
3.2 Identificação da matriz logística de transporte de minério da região de Serra Azul	33
3.3 Identificação dos fluxos de transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação	33
3.4 Apresentação dos cenários para o transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação.....	35
3.5 Avaliação dos custos de transportes considerando a matriz logística disponível para o transporte do minério produzido em Serra Azul até os portos...	38

3.5.1	Frete rodoviário	38
3.5.2	Frete ferroviário	39
3.5.3	Frete aquaviário	39
4.	RESULTADOS	40
4.1	Caracterização da região minerária de Serra Azul com a identificação das principais mineradoras da região	40
4.1.1	Mineradoras com atividade extrativista em Serra Azul.....	42
4.2	Identificação da matriz logística de transporte de minério da região de Serra Azul	45
4.2.1	Transporte rodoviário	46
4.2.2	Transporte ferroviário	48
4.2.3	Terminais intermodais	49
4.2.4	Transporte marítimo	50
4.3	Identificação dos fluxos de transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os Portos para exportação	51
4.4	Apresentação dos cenários para o transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação.....	55
4.5	Avaliação dos custos de transportes considerando a matriz logística disponível para o transporte do minério produzido em Serra Azul até os portos...	58
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	61
6.	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado o apanhado geral sobre o estudo realizado, sendo subdividido em: Contextualização dos assuntos abordados, problematização e apresentação dos objetivos gerais e específicos.

1.1 Apresentação do tema e do problema

Tonietto e Silva (2011) afirmam que o Brasil é o país com maior riqueza mineral do mundo, sendo que 67% do total do minério estão localizados no Estado de Minas Gerais. De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (2014), considerando apenas o minério de ferro, o País possui a segunda maior reserva mundial, sendo superado pela Austrália que atualmente é o principal concorrente do comércio de minério de ferro brasileiro.

Atualmente o Brasil é o segundo maior exportador de minério de ferro e tem a China como principal cliente, pois em 2015 esta importou aproximadamente 58% do minério de ferro brasileiro. (BRADESCO, 2017). Entretanto, devido à distância entre o ponto de oferta e demanda, a infraestrutura logística brasileira pode ser um grande desafio na relação de comércio entre o Brasil e China. Isso ocorre devido ao alto custo total para a aquisição do produto, influenciado, principalmente, pelo custo frete que contribui negativamente para a competitividade na exportação do minério de ferro em relação ao preço praticado pela Austrália. (XIAOWEN, 2020)

Segundo Ballou (2006), os custos logísticos representam, em média, 12% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial e, em 2016, os custos de transportes representaram 6,6% dos custos logísticos totais (ILOS, 2011). Como forma de minimização dos custos para o transporte de minério de ferro, Souza (2021) e Barat (2009) defendem que, considerando as características físicas do produto, o transporte ferroviário se tornou o principal modo de ligação entre minas, siderúrgicas e portos brasileiros. Sendo, portanto, o modo mais indicado para o transporte de cargas a granel como grãos e minérios.

Para otimização dos transportes, Porto Gente (2016) destaca a possibilidade de utilização da intermodalidade para reduções dos custos, melhoria na segurança rodoviária, diminuição da poluição, diminuição do consumo de energia, e redução do

tráfego rodoviário. Amaral, Almeida e Morabito (2012) afirmam a baixa adesão da intermodalidade no Brasil, porém ressalta a possibilidade de utilização especialmente para escoamento de produtos para exportação.

Por outro lado, de acordo com Furtado (2013), localizado em Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero (QF) é o principal polo minerador brasileiro, sendo composto por trinta e quatro cidades mineiras. De acordo com a Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade (SEINFRA), o Estado de Minas Gerais possui 18% de toda a malha ferroviária nacional, sendo que todos os municípios estão a uma distância máxima de 100 quilômetros da linha férrea. Galvão *et al.* (2006) também reforça a existência de diversos problemas que podem ser o principal desafio do setor ferroviário, principalmente, pela falta de capilaridade e pouca oferta de terminais de integração intermodal. Para o autor esses podem ser o motivo de inviabilização de uso mais intenso das ferrovias.

Neste contexto, considerando que o modo de transporte mais eficiente para escoamento de minério é o modo ferroviário e nem sempre as mineradoras têm Acesso: direto aos terminais férreos, este trabalho propôs responder a seguinte questão de pesquisa: Qual é o custo de transporte atribuído ao processo de escoamento de minério de ferro produzido em empreendimentos que não têm ligação direta com linhas férreas?

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar os custos de transporte relacionados ao fluxo logístico adotado para o escoamento do minério de ferro produzido na região minerária de Serra Azul.

Constituem objetivos específicos do trabalho:

- (i) Caracterizar a região minerária de Serra Azul e identificar as principais mineradoras da região;
- (ii) Identificar a matriz logística de transporte de minério de ferro da região de Serra Azul;
- (iii) Identificar os fluxos de transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação

- (iv) Apresentar os cenários para o transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação;
- (v) Avaliar os custos de transportes considerando a matriz logística disponível para o transporte do minério produzido em Serra Azul até os portos.

1.3 Justificativa

Com o objetivo de aumentar a competitividade e atratividade dos produtos fornecidos, diversas empresas estão buscando formas de redução dos custos atribuídos ao seu produto ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Segundo Ilos (2017), os custos logísticos correspondem a 12,3% do PIB brasileiro e cerca de 7,6% da receita líquida quando considerado os custos com transporte, estoque e armazenagem. Para o autor, destaca-se o custo de transporte com maior representatividade dentre os custos logísticos analisados, considerando os anos de 2004 a 2016.

Para o setor de mineração não é diferente. Barreto *et al.* (2001) afirma que:

A principal peculiaridade desse ramo de atividades é a de que ele tem forçosamente que se desenvolver dentro do espaço urbano: como se trata de materiais de valor agregado muito baixo, o transporte incide fortemente sobre o seu valor final e precisa ser minimizado. (BARRETO *et al.* pág. 100. 2021)

Devido à necessidade de escoamento em larga escala, a utilização do modo ferroviário para o envio até os portos responsáveis pela exportação da *commodities* proporciona menores custos de transporte. Entretanto, considerando a falta de investimentos para promoção de intermodalidade, existem diversas mineradoras que ainda não praticam o custo de transporte otimizado. Tal fato ocorre devido à baixa densidade das malhas ferroviárias nas proximidades da área de extração de minério, sendo necessário de utilização de outros modos de transporte para integrar o sistema. De acordo com a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) (2012), um dos principais problemas para o crescimento do complexo minerário de Serra Azul é o grande entrave na logística de escoamento de minério.

Portanto, este trabalho justifica-se na necessidade de maiores estudos sobre o processo de intermodalidade realizado pelas mineradoras para o escoamento de minério de forma a avaliar os custos gerados com a utilização do modo rodoferroviário para o escoamento.

1.4 Estrutura do trabalho

Este estudo foi dividido em cinco capítulos, além das referências bibliográficas.

- ✓ Capítulo 1 – Introdução, que expõe a importância do setor de mineração para o Brasil e o destaque do Estado de Minas Gerais, em especial, da área do Quadrilátero Ferrífero. São apresentados os objetivos, as justificativas e traça um breve prospecto sobre o que será abordado no trabalho;
- ✓ Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, que contextualiza e define todos os principais conceitos abordados durante o estudo. Serão enfatizados aspectos sobre a mineração, custos logísticos, intermodalidade e matriz de transporte brasileira.
- ✓ Capítulo 3 – Metodologia, que contém o tipo e fonte da pesquisa realizada, e qual foi o método de obtenção do resultado de acordo com os objetivos previamente estabelecidos no capítulo 1.
- ✓ Capítulo 4 – Resultados, apresentação dos estudos obtidos em relação à cada objetivo proposto.
- ✓ Capítulo 5 – Discussão dos resultados, nesta sessão será realizado a avaliação dos resultados obtidos de forma a comparar os custos identificados com indicadores e parâmetros relevantes.
- ✓ Capítulo 6 – Conclusão, considerações finais sobre os resultados alcançados e sugestão para estudos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura foi realizada baseada em temas relacionados ao setor de mineração, aos modos de transporte com ênfase no transporte de carga e as relações de eficiência e custos de transportes sobre os modos rodoviários, ferroviários e aquaviário.

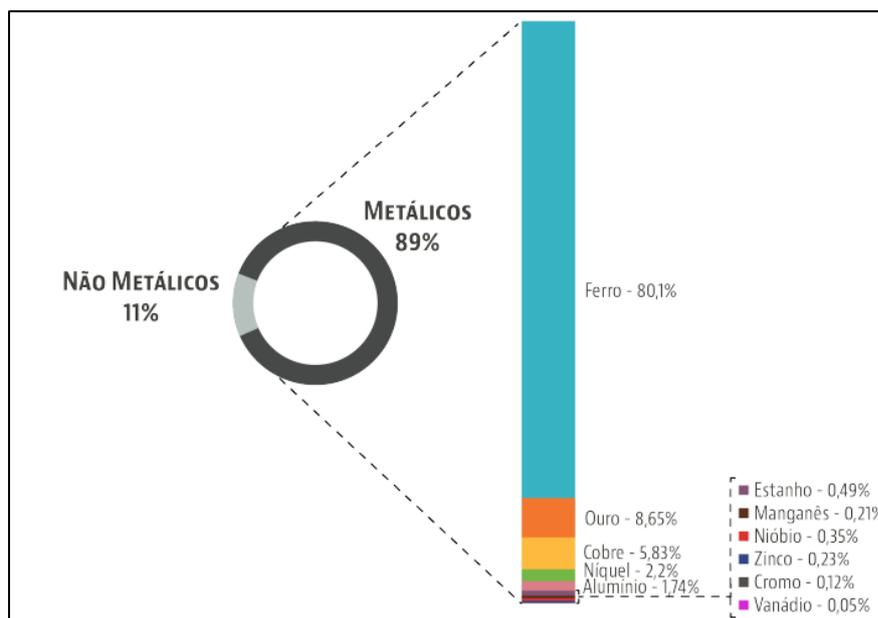
Nesta etapa foram acessados diversos endereços eletrônicos de congressos, revistas e estudos disponíveis de forma digital pelas diversas universidades brasileiras. As palavras-chave utilizadas para as pesquisas em periódicos, anais, teses e dissertações foram: “Mineração”, “Transporte-de-Minério”, “Transporte-de-Carga”, “Intermodalidade” e “Custos de Transporte”. Devido à necessidade de contextualizar o cenário histórico para justificar o cenário futuro, não houve restrição de prazo para os artigos aqui referenciados.

2.1 Mineração no Brasil

Para o Departamento Nacional de Produção Mineral de Pernambuco (DNPMP), define-se mineração como atividade de natureza econômica que realiza a extração dos minerais existentes em rochas e/ou solos. Em complemento, a Agência Nacional de Mineração (ANM) (2022), define a o setor como sendo responsável pela atividade econômica e industrial de pesquisa, exploração, lavra e beneficiamento de minérios presentes no subsolo.

O Brasil está entre os seis mais importantes países minerais do mundo devido ao destaque no setor de mineração por ser detentor de grandes reservas mundiais de minerais metálicos e não metálicos (Barreto *et al.*, 2001). Dentre eles, os autores destacam as reservas de nióbio, tantalita, caulim, grafita, alumínio, talco, vermiculita, estanho, magnesita, ferro e manganês. De acordo com a ANM (2023), dentre todas as substâncias mineradas no Brasil, a classe dos metálicos é responsável por 89% do valor total da produção brasileira e, dentre eles, a Figura 1 apresenta a grande relevância do minério de ferro para o grupo e, por isso este é considerado a principal substância mineraria para o país.

Figura 1 - Percentual de participação das substâncias metálicas e não metálicas na produção mineral comercializada em 2021



Fonte: DNPM (2023)

De acordo com Tonieto e Silva (2011) o Brasil possui aproximadamente 28,9 bilhões de toneladas de minerais, sendo dividido sem homogeneidade nos estados de Minas Gerais, Pará, Mato Grosso do Sul, Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Goiás, Pernambuco, Rio Grande do Norte e São Paulo. Sendo destaque os estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul que concentram 67%, 16% e 15% das reservas brasileiras, respectivamente. Em 2017 foram exportadas 350,8 milhões de toneladas de minério de ferro, sendo as origens de: Minas Gerais (46%), Pará (42%), Espírito Santo (6,6%), Rio de Janeiro (3,4%) e (1%) com origens nos estados de Mato Grosso do Sul, Amapá e São Paulo. (MDIC 2017 *apud* CAXITO, 2018).

2.1.1 Comércio de minério de ferro

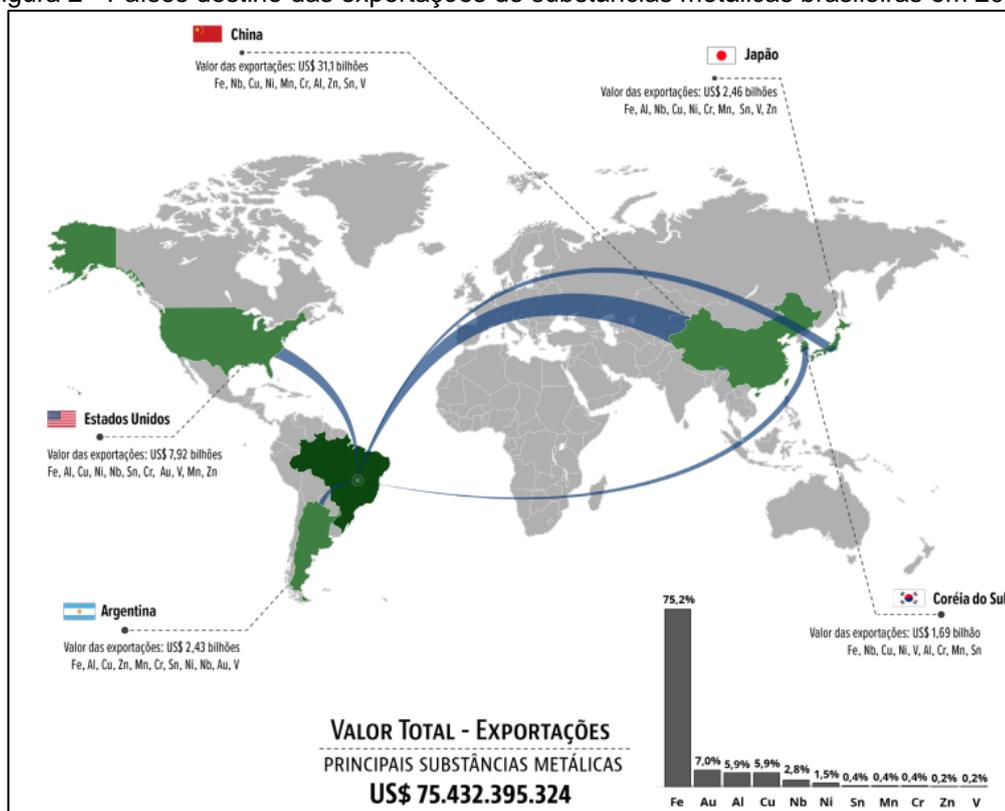
O minério de ferro é o principal insumo para a produção do aço (SANTIGO, 2017). Silva e Souza (2020) afirma que as siderúrgicas e metalúrgicas são os principais consumidores do minério de ferro devido à dependência da *commodities* para produção do aço. Além disso, têm-se que o comércio do minério de ferro é feito com base em parâmetros mínimos atribuído para o percentual de ferro do material e parâmetros máximos para o teor de contaminantes como sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_2), fósforo (P), perda por calcinação (PPC), entre outras impurezas.

Considerada como relações sino-brasileiras, Becard (2011) destaca que a parceria entre a China e o Brasil proporcionou diversos benefícios em ambos os países, sendo destaque os setores de energia, minérios e produtos agrícolas. A China é o principal consumidor de minério de ferro do mundo, devido a isso o país é também o principal importador da *commodities* para atendimento à demanda das siderúrgicas nacionais. Considerando o tamanho da reserva de minério de Ferro, a Austrália e o Brasil são os países com maior disponibilidade da *commodities* e, devido a isso, há uma concorrência entre os países para atendimento ao mercado externo. (XIAOWEN, 2020).

Para Franck (2015) a Austrália é a maior exportadora de minério de ferro do mundo devido falta de ampliação de produção das mineradoras brasileiras, destacando-se a Vale do Rio Doce por deter aproximadamente 50%da produção de minério de ferro do mundo.

A Figura 2 apresenta os principais países destinos das exportações brasileiras e a relação das principais substâncias comercializadas.

Figura 2 - Países destino das exportações de substâncias metálicas brasileiras em 2021.



Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) - Anuário Mineral Brasileiro publicado em 2023 com ano base de 2021.

De acordo os dados publicados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), as exportações brasileiras de minério de ferro possuem grande relação de dependência da China. Em 2021 cerca de 41% da produção brasileira de substâncias metálicas foi para o consumo chinês seguido por Estados Unidos (10,5%) e Japão (3,2%).

Gagaito (2010) destaca que há outros indicadores determinantes para a negociação entre a demanda e oferta de minério. Por se tratar de produto com baixo valor agregado e grandes volumes, têm-se a preocupação para a determinação do processo logísticos e custo de produção. A otimização destes custos possibilitará menores preços e conseqüentemente maior competitividade no mercado.

Miguel (2013) afirma que, considerando o cenário de crescimento para o setor de mineração, os investimentos em infraestrutura para minimizar os custos logísticos e otimização do transporte de carga podem representar um grande diferencial no preço do produto brasileiro e assim torná-lo ainda mais competitivo para a exportação e importação.

Gomes (2015) complementa que o baixo desempenho brasileiro atingido pela exportação de minério de ferro no ano de 2013 se dá principalmente pela falta de investimentos em infraestrutura que facilitassem o escoamento de matérias primas. Devido a isso e vários outros fatores apresentados pela autora, observa-se que há possibilidade de grupos exportadores de minério de ferro considerarem baixas margens de lucros, pois foi identificado que o preço da *commodities* está próximo do custo total calculado.

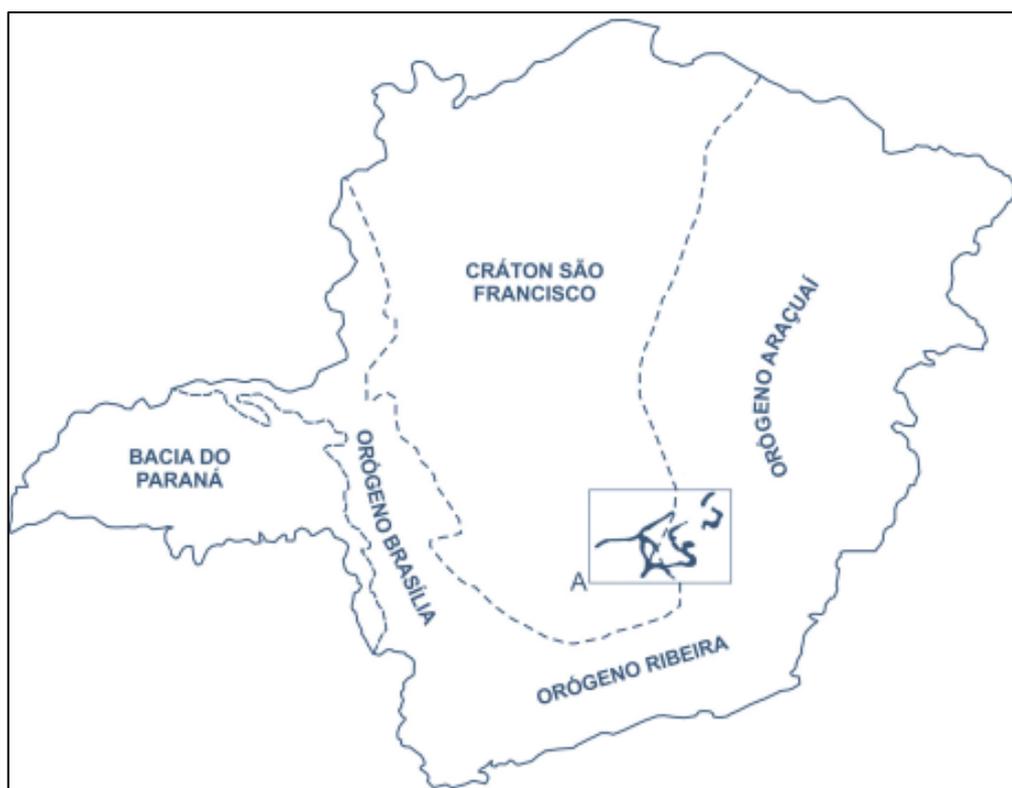
2.1.2 Mineração em Minas Gerais

Silva e Souza (2019) afirmam que existem três áreas principais para exploração do minério de ferro no Brasil: Quadrilátero Ferrífero, localizado na região central de Minas Gerais, Maciço Urucum, localizado em Mato Grosso e Carajás, localizado na região central do Estado do Pará. Minas Gerais é considerado como o mais importante estado minerador do Brasil, estima-se que o volume extraído ultrapassa 180 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (PEREIRA, 2018).

No relatório de diagnóstico do setor mineral de Minas Gerais, desenvolvido pela Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE) (2020), considerando o histórico político e econômico, destaca-se a grande influência que o setor de mineral possui na economia do estado de Minas Gerais. Para Roeser e Roeser (2010), Minas Gerais pode ser considerada como o paraíso mineralógico e esse título se dá, especialmente, devido a estrutura geológica apresentada no chamado QF.

A designação “Quadrilátero” foi atribuída em função da sua morfoestrutura. Essa nomeação ficou conhecida por definir a área onde estão concentradas as jazidas de minério de ferro do centro de Minas Gerais (AZEVEDO *et al*, 2012). Localizado ao sul da capital de Minas Gerais, o QF é composto por trinta e quatro municípios, formando uma área de 7.000km², conforme apresentado na Figura 3. (ENDO *et al.*, 2019).

Figura 3 - Mapa esquemático com a localização do Quadrilátero Ferrífero (A)



Fonte: CAXITO; DIAS (2018)

Tabela 1 apresenta os municípios que compõe a região, porém dentre eles, considerando a extração de minério de ferro, destaca-se: Mariana, Sarzedo, Itabira, Nova Lima, Ouro Preto, São Gonçalo do Rio Abaixo, Catas Altas, Itabirito, Santa

Bárbara, Brumadinho, Bela Vista de Minas, Guanhães, Caeté, Itatiaiuçu, Barão de Cocais e Congonhas. (SEDE, 2020).

Tabela 1 - Municípios componentes do Quadrilátero Ferrífero

Barão de Cocais	Ibirité	Mário Campos	Rio Piracicaba
Belo Horizonte	Igarapé	Mateus Leme	Sabará
Belo Vale	Itabira	Moeda	Santa Bárbara
Betim	Itabirito	Nova Lima	Santa Luzia
Brumadinho	Itatiaiuçu	Ouro Branco	São Gonçalo do Rio Abaixo
Caeté	Itaúna	Ouro Preto	São Joaquim de Bicas
Catas Altas	Jeceaba	Raposos	Sarzedo
Congonhas	João Monlevade	Rio Acima	
Conselheiro Lafaiete	Mariana	Rio Manso	

Fonte: ENDO *et al.* (2019)

Lamounier (2009) afirma que QF começou a ser explorado durante o ciclo do ouro e a descoberta do seu grande potencial mineralógico ocorreu em meados do século XVIII, pois com a decadência do ouro nas aluviões, foram iniciadas as explorações por minério de ferro. Atualmente, além de abrigar grandes minerações de ferro e ouro, há a presença de minerações de outros tipos de rochas, como bauxita e topázio e por isso essa região é considerada como uma das regiões mineradoras mais importantes do Brasil. Santiago (2017) afirma que devido ao crescimento da atividade extrativista na região, observa-se grande crescimento econômico, urbano e desenvolvimento de infraestrutura logística como: rodovias, ferrovias e minerodutos.

2.1.3 Processo de produção do minério de ferro

Produzir refere-se à realização de um conjunto de processos composto de operações que convertem um conjunto de matérias em um produto acabado ou semiacabado. (BERTIGALIA, 2020). Fernandes (2003) afirma que o processo de identificação da localização, teores, qualidade e quantidade de cada reservas de minério de ferro é feito por meio de evidências geológicas. Neste caso, considera-se como reserva mineral a concentração sólida, líquida ou gasosa de determinados matérias presentes na crosta e que podem ser explorados e comercializados.

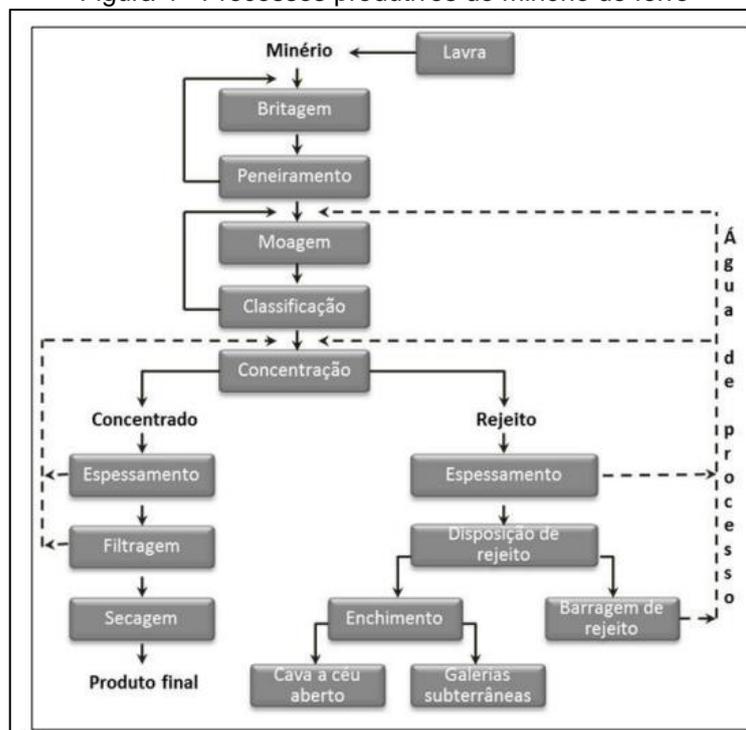
Silva, Daneu e Santos (2019) afirmam que a extração de minério representa o processo de remoção do minério do solo após determinação das jazidas. De acordo com Souza (1996, p. 619, apud SILVA; DANEU; SANTOS, 2019), existem dois tipos

de produção do minério de ferro: mina a céu aberto e mina subterrânea. De acordo com os autores, 85% da produção de minério de ferro ocorre por minas à céu aberto e 15% ocorre por mina subterrânea. Para Milanez e Santos (2013) a extração de minério de ferro é realizada costumeiramente em minas à céu aberto e contempla os processos de perfuração, explosão, carregamento e transporte.

Lamoso (2001) reporta que o método de lavra depende das características do produto. Na exploração de lavra a céu aberto, inicialmente é feito o desmonte das rochas minerárias com a utilização de explosivos. Logo após, o minério é coletado com retro escavadeiras e colocado em caminhões para transferência até os pátios. Do pátio, quando necessário, o minério é levado para a usina de beneficiamento que fará a classificação e seleção do produto e transformará em produto acabado.

Neto (2006) afirma que o sistema produtivo de uma mineração de ferro é classificado por uma série de processos realizado de forma cíclica que incluem: beneficiamento, transporte, aglomeração estocagem de produtos acabados e distribuição. A Figura 4 apresenta as etapas do processo aplicado ao minério bruto, denominado ROM (*run-off-mine*).

Figura 4 - Processos produtivos do minério de ferro

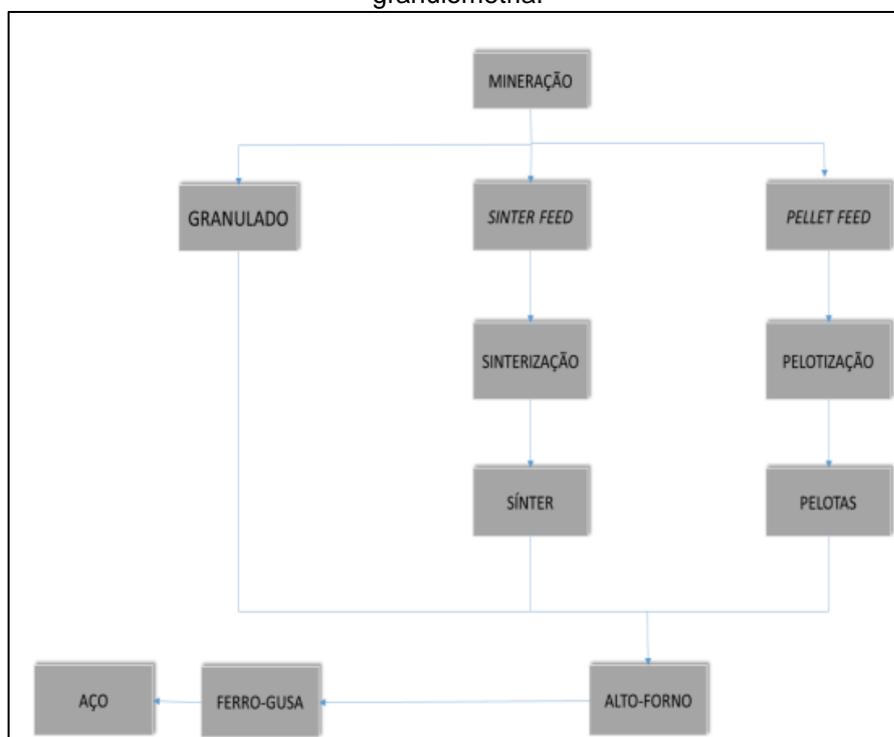


Fonte: Luz (2018)

Silva e Souza (2020) e Santiago (2017) afirmam que o minério de ferro pode ser caracterizado em diferentes tipos de acordo com a granulometria do material. A Figura 5 apresentar o resumo do processo de produção para cada tipo de minério de ferro considerando a granulometria, sendo estes:

- a) Granulado (*Lump Ore*): minério de ferro com partículas maiores que variam de 6,35mm à 50mm de diâmetro. Esse tipo de granulometria permite a utilização direta nos altos fornos;
- b) Finos de minério de ferro (*sinter feed*): minério de ferro com partículas que variam de 0,15mm e 6,35mm de diâmetro. Esse tipo de granulometria é utilizado para sinterização;
- c) Ultrafinos de minério de ferro (*pellet feed*): mistura de partículas de minério de ferro finos (0,15mm a 6,35mm) e ultrafinas (inferior à 0,10mm). Para utilização faz-se necessário a utilização do processo de aglomeração em pelotas;
- d) Pelotas: são aglomerados de partículas ultrafinas.

Figura 5 - Fluxograma de produção dos diferentes tipos de minério de Ferro considerando a granulometria.



Fonte: Santiago (2017)

2.1.4 Regulamentação, Meio ambiente e Impactos sociais

Regulamentada em 1990 pelo Decreto 99274, a Política Nacional de Meio Ambiente – Lei 6938/1981, objetiva-se “na preservação, melhoria e recuperação da qualidade

ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana”. (SILVA, 2013). Além disso, houve a instituição do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e a criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), permitindo que estes estabelecessem as normas e critérios necessários para o Licenciamento Ambiental, fixando a necessidade de obtenção das seguintes licenças: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO). (VIANA; BURSZTYN, 2010).

De acordo com a Resolução CONAMA 237/97, têm-se:

Art. 1º - Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

II - Licença Ambiental: ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental. (MMA, 1997)

Entretanto, para que essas licenças sejam obtidas, para as atividades consideradas efetivas ou potencial causadoras de grandes impactos ambientais, a Resolução CONAMA 237/97, dispõe também sobre a necessidade de elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (RIMA). (MMA, 1997)

Para Gonçalves (2016) as atividades minerárias:

[...] representam efeitos territoriais que cotidianamente se reproduzem nos lugares da existência coletiva de milhares de brasileiros, trabalhadores, camponeses, indígenas, ribeirinhos, quilombolas etc., para forjar o desenvolvimento desigual e combinado, esfacelando comunidades e as condições de saúde ambiental de populações em todas as regiões do País. Enquanto incrementa as cifras das exportações de matérias primas, com aumento do Produto Interno Bruto (PIB), degradação de biomas, expropriação violenta (inclusive com uso de força policial) e precarização do trabalho, são alguns dos exemplos que pronunciam a intensidade da

mineração e seus efeitos na natureza e na sociedade brasileira". (GONÇALVES, 2016).

Segundo Farias (2002), em geral, a mineração provoca inúmeras externalidades não desejadas. São algumas delas: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Paiva (2016) ressalta que proporcional à rentabilidade dos investimentos do setor, há a resistência da população quanto aos efeitos colaterais causados pela atividade extrativista ao meio ambiente e aos usos tradicionais do território.

Portella (2015) complementa que os impactos causados pelas atividades extrativistas causam grandes impactos ao meio ambiente, sendo este de difícil reparação. O autor ressalta o desencadeamento de diversos problemas relacionados à matriz hídrica, como: aumento da turbidez, alteração do pH, assoreamento de rios e poluição do ar. Destaca-se também o tráfego intenso de veículos pesados carregados de minério por causarem transtornos à comunidade, especialmente naquela situação mais próxima às áreas de mineração, como: poeira, emissão de ruídos, frequente deterioração do sistema viário da região.

Farias (2002) destaca que diversos são os impactos gerados com as atividades extrativistas, porém devido à crescente pressão dos órgãos competentes para garantia do cumprimento da legislação vigente, observa-se que as minerações brasileiras estão desenvolvendo processos ambientalmente sustentáveis com o objetivo de atender aos requisitos necessários e aplicar técnicas mais modernas e ambientalmente mais satisfatórias. (FARIAS, 2002).

2.2 Logística, custos logísticos e custo de transporte

Desenvolvida inicialmente pelos militares, a logística objetivava-se em propor melhores resoluções para o abastecimento e suprimento de tropas militares (BOWERSOX *et al.* 2013). Para o *Council of Supply Chain Management Professionals* - CSCMP (2019), o termo logística representa o processo de planejamento, implementação e controle de procedimentos para a eficiência e eficácia do transporte e armazenamento de mercadorias. Ademais, inclui-se os serviços e informações relacionadas do ponto de origem ao ponto de consumo com a finalidade de atender

aos requisitos do cliente. Para Miguel (2013) a logística é responsável pela integração do fornecedor primário até o consumidor final.

Demaria (2004) ressalta que a logística empresarial tem como objetivo a promoção de melhores rentabilidades no processo de distribuição dos produtos para clientes e consumidores finais. Já na economia mundial, a logística tem grande importância devido às possibilidades geradas por sistemas logísticos inteligentes. Ballou (2009) complementa que se trata de um processo e, este contempla todas as atividades imprescindíveis para que o material e/ou serviço seja disponibilizado ao consumidor final quando e onde estes quiserem adquiri-los. O Quadro 1 apresenta a distribuição dos custos para cada processo logístico de empresas individuais, sendo que dentre todos os custos logísticos atribuídos ao processo de movimentação de carga, o custo de transportes é o que apresenta maior influência, sendo de representado por 2,02% custos logísticos totais.

Quadro 1 - Média recente dos custos da distribuição física, em percentuais de vendas e \$/cwt

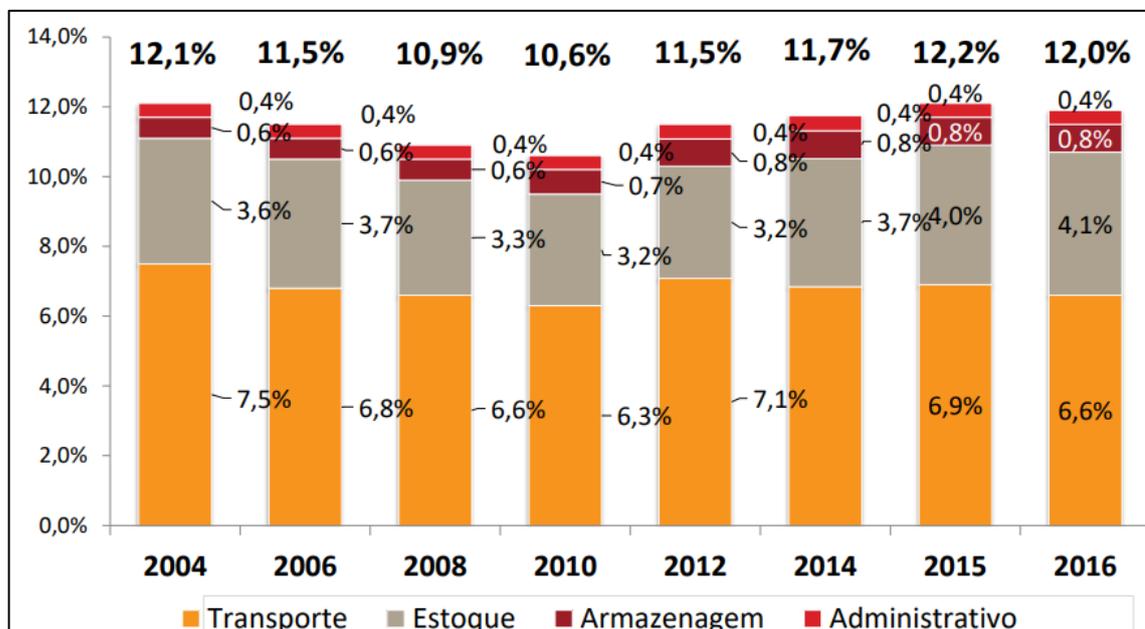
Categoria	Percentagem de vendas	\$/cwt*
Transporte	3,34%	\$26,52
Armazenagem	2,02	18,06
Serviço ao cliente/processamento de pedidos	0,24	4,58
Administração	0,41	2,79
Custo da manutenção de estoque a 18% ao ano	1,72	22,25
Custo total da distribuição	7,65%	\$67,71

Fonte: Ballou (2006)

* a unidade de massa que corresponde a 100 libras-peso (ou 45,3 kg)

Bertaglia (2020) afirma que o posicionamento geográfico dos pontos de interesse ao longo da cadeia de abastecimento possui grande influência nos custos e no fluxo logístico da cadeia. A Figura 6 apresenta o percentual geral dos custos logísticos em relação ao PIB brasileiro nos anos de 2004 a 2016, sendo considerado os custos de transportes, estoque, armazenagem e administrativo. Destes, destaca-se os custos de transportes, segundo o autor Ilos (2017).

Figura 6 - Percentual de custos logísticos em relação ao PIB brasileiro nos anos de 2004 a 2016



Fonte: Ilos (2017).

L'Huiller (1962) define que o transporte tem como objetivo transportar um bem de um ponto de oferta ao ponto da demanda. Portanto, têm-se que este pode ser considerado como uma força de atrito que gera atrasos e desajustes do fluxo de bens em relação ao ciclo econômico; ou como uma taxa de investimento que permite o transporte entre os principais interessados. Para Schmidt (2011), os custos relacionados ao transporte afetam de maneira direta os preços das mercadorias simplesmente pela necessidade de fazê-lo. O autor destaca também, que a baixa densidade de malha de transporte no território brasileiro pode influenciar de forma desigual no custo de transportes e assim causar divergências favoráveis ou não para determinada localização. Júlio (2018) acrescenta que o custo de transporte para as *commodity* possui grande representatividade se considerado os custos totais de produção. Portanto, considerando a grande deficiência na infraestrutura existente, é importante que as empresas concessionárias invistam em estratégias corporativas.

2.3 Matriz de transporte

De acordo com Kawamoto (2015) o sistema de transporte pode ser definido como o conjunto de partes (veículos, vias, terminais) que se entregam de modo a promover o

descolamento espacial de pessoas e mercadorias. Para Schmidt (2011), “o sistema de transporte se caracteriza como um serviço horizontalizado que viabiliza os demais setores, afetando diretamente a segurança a qualidade de vida e o desenvolvimento do país”. (SCHMIDT, 2011, pag. 23).

Para mensurar a importância do sistema de transportes, de acordo com a Revista Transportes, (2008 *apud* SCHMIDT, 2011) é necessário avaliar o resultado proporcionado e a sua eficácia. Destaca-se que sem a realização de transporte qualquer nação ficaria paralisada, pois sem ele os produtos produzidos não chegariam aos consumidores. Por isso, somando a sua essencialidade e considerando dimensão territorial brasileira, o problema de transporte é ainda mais grave.

Segundo Ballou (2006, p. 151), a matriz de transportes de carga é composta basicamente por cinco modos de transportes, sendo: hidroviário, ferroviário, rodoviário, aeroviário e dutoviário. Cada um destes modos de transporte apresenta características gerais e operacionais diferentes e estas estão apresentadas nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

Quadro 2 - Características gerais dos modos de transportes

Características gerais									
Características	Modo de transporte								
	Rodoviário	Ferroviário		Aéreo		Aquaviário		Dutoviário	
Opção de produto	Muito ampla	Ampla		Estreita		Ampla		Muito estreita	
Tráfego predominante	Todos os tipos	Valor	Densidade	Valor	Densidade	Valor	Densidade	Valor	Densidade
		Baixo – Moderado	Moderada – Alta	Alto	Baixa-Moderada	Baixa	Alta	Baixa	Alta
Cobertura de mercado	Ponto a ponto	Terminal a terminal							
Duração média de percurso	Curto a longo	Médio a longo							
Capacidade	Baixa	Moderada		Baixa		Muito alta		Muito alta	

Fonte: Farahani; Rezapour; Kardar (2011 *apud* PEIXOTO, 2013)

Quadro 3 - Características dos serviços realizados por cada modos de transportes

Características dos serviços					
Características	Modo de transporte				
	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquaviário	Dutoviário
Custo	Moderado	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Velocidade (tempo em trânsito)	Moderado	Lento	Rápido	Muito baixo	Muito baixo
Disponibilidade	Alta	Moderada	Moderada	Baixa	Baixa
Consistência do tempo de entrega	Alta	Moderada	Alta	Baixa - Moderada	Alta
Perdas e danos	Baixa	Moderada - Alta	Baixa	Baixa - Moderada	Baixa
Flexibilidade	Alta	Moderada	Baixa - Moderada	Baixa	Baixa
Capacidade intermodal	Muito alta	Muito alta	Moderada	Muito alta	Muito baixa

Fonte: Farahani; Rezapour; Kardar (2011 *apud* PEIXOTO, 2013)

Bertaglia (2020) afirma que a definição do modo de transporte de um material depende das vantagens e desvantagens relacionadas à infraestrutura do transporte, volume a ser transportado, desenvolvimentos logísticos, custo de transporte e confiabilidade. Fleury (2002) define as principais características do transporte como:

- a) Velocidade, que considera o tempo entre a coleta e a entrega da carga;
- b) Consistência, que considera a o histórico de ocorrências e cumprimento das demandas;
- c) Capacitação, que leva em conta a capacidade de atender grandes demandas;
- d) Disponibilidade, que se refere a disponibilidade e acessibilidade ao modo de transporte;
- e) Frequência, que está vinculada ao número de vezes que o modo pode ser utilizado em um dado período.

2.3.1 Transporte de carga

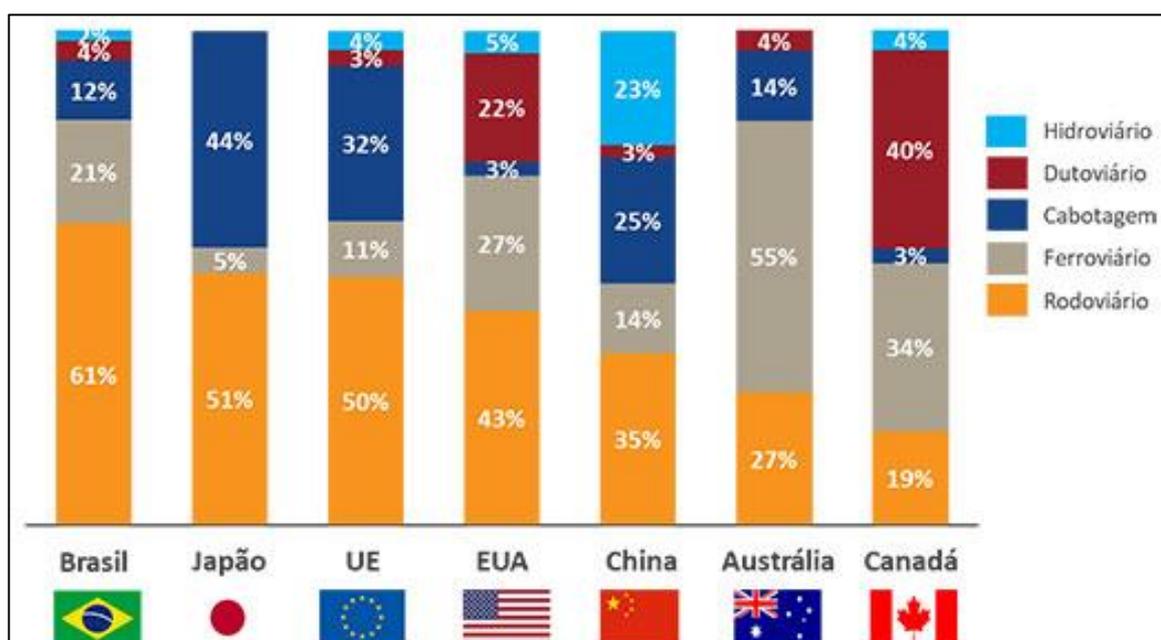
O transporte de carga consiste em a realização de um conjunto de atividades que movimentam bens ou serviços entre regiões por meio dos modos de transportes. (FLORENTINO, 2010). De acordo com Galvão et al. (2006) a distribuição interna de produtos de carga é realizada com cerca de 66% da carga movimentada pelo modo rodoviário, 21% pelo modo ferroviário e 13% via cabotagem. Ilos (2017) apresenta o

percentual de toneladas úteis por quilometro (TKU) transportado em 2016 por cada modo de transportes, sendo: 63% pelo modo rodoviário, 21% pelo modo ferroviário, 13% pelo modo aquaviário, 4% pelo modo dutoviário e 0,1% pelo modo aéreo.

Portanto, pode-se dizer que, considerando a ordem decrescente de representatividade no transporte de carga, têm-se os modos: Rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo que, para Schmidt (2011) é um quadro inadequado de transporte de carga. O autor afirma que a maior eficiência logística está relacionada ao desenvolvimento do projeto logístico que tenha como objetivo os ganhos de competitividade visando à ampliação do mercado interno e aumento das exportações e, para isso, destaca-se a possibilidade de realizar combinações dos modos de transporte de forma a obter melhor qualidade e menores custos.

Para Fleury (2002) cada um dos cinco modos de transporte possuem uma estrutura de custos e características operacionais específicas que os tornam mais adequados de acordo com os tipos de produtos e de operações. Demaria (2004) destaca que a escolha do modo de transporte a ser utilizado é essencial, pois contribui para a criação e desenvolvimento da logística adequada. Analisando o cenário internacional, de acordo com Ilos (2011) a Figura 7 apresenta o percentual em TKU sobre cada modo de transporte considerando a matriz de transporte de carga de diferentes países.

Figura 7 - Percentual em TKU sobre cada modo de transporte



Fonte: Ilos (2020)

2.3.1.1 *Modo rodoviário*

Com a falta de investimentos no setor de transportes causado pela ascensão da segunda guerra mundial, o modo rodoviário passou a ser o principal modo do transporte brasileiro. Schmidt (2011) afirma que o baixo custo de implementação por quilometro foi um dos principais fatores determinantes para a sua consolidação como o meio de transporte preferencial.

Barat (1978) afirma o sistema de transportes teve o seu desenvolvimento comprometido devido à falta de integração e equilíbrio entre os modos de transportes existentes. O autor acrescenta que em 1970 o modo rodoviário foi responsável por 73% das toneladas-quilometro realizadas e, devido às características operacionais dos outros modos de transportes, no Brasil, a substituição para as rodovias ocorreu de forma mais acelerada e modo rodoviário, portanto, absorveu as demandas das ferrovias.

CNT (2021) complementa que a falta de infraestrutura e conservação das rodovias impacta diretamente nos custos de operação. Andrezza (1981 *apud* SCHMIDT, 2011) reforça que o transporte rodoviário encarece a produção quando transportado grandes quantidades de mercadorias de baixo valor agregado em longas distâncias, quando comparado com os modos ferroviários e aquaviário devido a possibilidade economia de escala e Pego e Neto (2010) acrescentam que a matriz de transportes brasileira apresenta larga vantagem para o modo de transportes, entretanto não garante que os custos relacionados sejam menores que o dos outros modos.

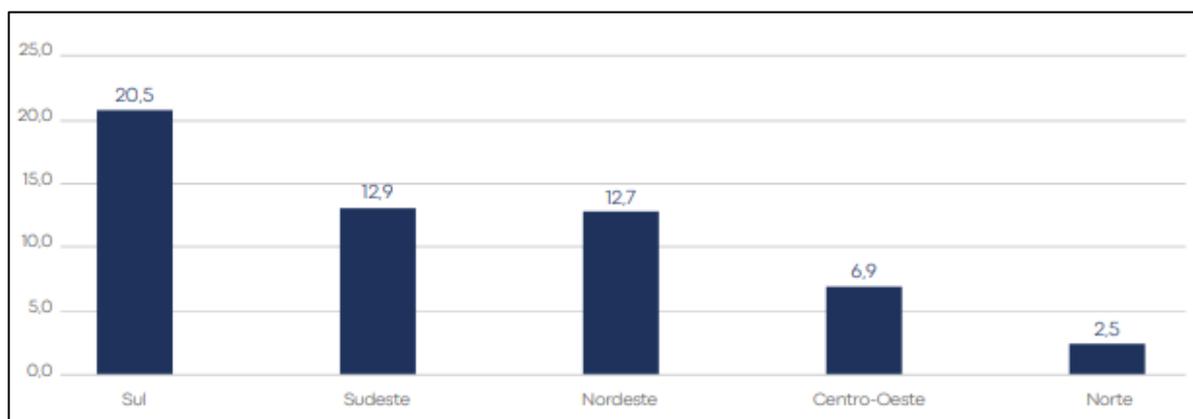
Neste cenário, devido ao grande problema apresentado na infraestrutura rodoviária, de acordo com a ANTT (2019), em 1993 iniciou o programa de Concessões de Rodovias Federais. A primeira rodovia foi concedida em 1994, e desde então foram criados lotes de rodovias para definição das licitações e consequente promoção do aumento do desenvolvimento e qualidade do setor. Ainda de acordo com a ANTT, atualmente existem 10.935 quilômetros de rodovias federais brasileiras concedidas distribuídos entre 23 contratos de concessões vigentes.

Atualmente, de acordo com a pesquisa realizada pela CNT (2021), a malha rodoviária brasileira é de aproximadamente 1,72 milhões de quilômetros quando considerado

rodovias pavimentadas e não pavimentadas. Considerando as rodovias pavimentadas, cerca de 11% (23.632 quilômetros) estão sob regime de concessão.

Nesta mesma pesquisa, a CNT (2021) apresentou o indicador de densidade das rodovias pavimentadas no território brasileiro, onde foi identificado que o Brasil possui apenas 21,5 quilômetros de rodovias pavimentadas a cada área de 1000km. De acordo com os autores, o baixo valor encontrado para o índice evidencia a falta de investimentos no setor ao longo dos anos e a insuficiência na infraestrutura para acompanhar o aumento das demandas internas por transportes. A Figura 8 apresenta, em os dados de densidade da malha rodoviária referente a cada região.

Figura 8 - Densidade da malha rodoviária federal pavimentada por região do Brasil (valores em km/mil km²)



Fonte: CNT (2021)

Schmidt (2011) destaca que o crescimento desbalanceado da malha rodoviária gerou diversas desvantagens e dentre elas pode-se destacar: diminuição da segurança viária, altos custos e diversos problemas com conservação e dimensionamento da infraestrutura viária.

Demaria (2004) destaca os veículos utilizados para realização do transporte rodoviário de cargas, sendo: caminhões, carretas, trailers e plataformas. Para execução do transporte, é necessário que os veículos estejam dentro das diretrizes estabelecidas na Lei nº 14.229 de 21 de outubro de 2021 de acordo com a classificação do veículo e tabela de silhueta fornecida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) onde estima-se o peso bruto total (PBT) autorizado por eixo do veículo. (DNIT, 2012).

2.3.1.2 *Modo ferroviário*

Para Martins e Filho (1998) a ascensão das ferrovias ocorreu no século XIX quando, devido a deficiência do transporte hidroviário para movimentação de cargas pesadas em longas distâncias e baixa capilaridade territorial, foi utilizado modo ferroviário em substituição ao transporte hidroviário ou em complemento a ele. Neste período as ferrovias proporcionaram grande desenvolvimento econômico.

Barat (1978 *apud* SCHMIDT, 2011) destaca que o transporte ferroviário foi desenvolvido unicamente para o escoamento de produtos primários e isso fez com que o modo se tornasse desarticulado e restrito ao transporte até os portos. Após o século XIX com o advento de diversas transformações na economia brasileira e, houve o aumento da demanda do mercado interno por transporte. Devido as características atribuídas ao setor ferroviário, Schmidt (2011) também afirma que a falta de flexibilidade e eficiência do sistema ferroviário somado ao alto valor de implantação e grandes prazos de maturação do investimento, fez com que desenvolvimento das ferrovias se tornassem inadequadas. Neste momento iniciou a priorização pelo modo rodoviário.

Para Martins e Filho (1998), o modo ferroviário possuía grandes extensões, passava por forte pressão para a regulação estatal e as tarifas eram baseadas no valor da mercadoria transportada. Já o modo rodoviário proporcionava o transporte em baixa escala, pouca intervenção governamental e baixo custo de fretes. Os autores afirmam que estas comparações entre os modos foram decisivas para a perda da importância das ferrovias.

Devido à ausência de investimentos no setor a malha ferroviária existente se manteve deficitária. Com o intuito de promover o retorno da competitividade para o sistema ferroviário, em 1990 foi criada a Lei nº 8.031/90 que instituiu o Programa Nacional de Desestatização. Com a extensão aproximadamente 25.599 quilômetros, em 1992 iniciou o processo de concessão da Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA). (Cerbino *et al.*, 2019).

A Lei nº 9.491 altera os procedimentos relativos ao Programa Nacional de Desestatização, revoga a Lei nº 8.031, de 12 de abril de 1990, e dá outras providências. Seus objetivos fundamentais são:

I -reordenar a posição estratégica do Estado na economia, transferindo à iniciativa privada atividades indevidamente exploradas pelo setor público;
II - contribuir para a reestruturação econômica do setor público, especialmente através da melhoria do perfil e da redução da dívida pública líquida;
III - permitir a retomada de investimentos nas empresas e atividades que vierem a ser transferidas à iniciativa privada;
IV - contribuir para a reestruturação econômica do setor privado, especialmente para a modernização da infraestrutura e do parque industrial do País, ampliando sua competitividade e reforçando a capacidade empresarial nos diversos setores da economia, inclusive através da concessão de crédito;
V - permitir que a Administração Pública concentre seus esforços nas atividades em que a presença do Estado seja fundamental para a consecução das prioridades nacionais;
VI - contribuir para o fortalecimento do mercado de capitais, através do acréscimo da oferta de valores mobiliários e da democratização da propriedade do capital das empresas que integrem o Programa. (BRASIL, 1990)

Cerbino *et al.* (2019) complementa que o modelo de concessão não exigia nenhum investimento pré-definido, entretanto as concessionárias deveriam atender duas metas de desempenho previamente estipuladas. As metas foram definidas de acordo com as características operacionais e desempenho de cada malha e definiam que cada concessionária deveria aumentar o volume transportado e reduzir os acidentes. Sendo assim, a malha ferroviária da RFFSA foi dividida em seis lotes, sendo: Nordeste, Oeste, Centro-leste, Sudeste, Teresa Cristina e Sul. As concessões foram definidas entre os anos de 1996 e 1998. Em 1998 a Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA) foi incorporada RFFSA, e no mesmo ano foi finalizado o seu processo de concessão.

De acordo com o boletim de logística, publicado pelo Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL) (2022), o processo de desestatização resultou em diversos investimentos para a recuperação da operacionalização da malha ferroviária e após feito, estagnou. Segundo o relatório apresentado, para solucionar o problema na infraestrutura, em 2001 foi criada a Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT) e a empresa pública Valec S/A. Desde então, foram realizados diversos programas políticos e econômicos de incentivo ao investimento no setor.

Marques (1996 *apud* SCHIMDT, 2011) realizou o estudo sobre a privatização do sistema ferroviário brasileiro e, segundo o autor, o setor é responsável pela movimentação de cinco grandes grupos de produtos, sendo: minério de ferro, graneis agrícola para a exportação, combustíveis, produtos siderúrgicos e cimento. O autor

2.3.1.3 *Modo aquaviário*

Assis (2007) afirma que “hidrovia, aquavia, via navegável, caminho marítimo ou caminho fluvial são designações sinonímicas, enquanto que hidrovia interior ou via navegável interior são denominações comuns a rios, lagos ou lagoas navegáveis.” Demaria (2004) afirma que a nomenclatura de transporte aquaviário abrange o transporte marítimo, fluvial e lacustre.

De acordo com a Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997, define-se como transporte aquaviário navegações realizadas em águas marinhas consideradas desabrigadas e hidrovias interiores (rios, lagos, canais, lagoas, baías, angras, enseadas e áreas marítimas consideradas abrigadas). (BRASIL, 1997).

Segundo os autores Ribeiro e Ferreira (2002) e Florentino (2010) o transporte hidroviário é dividido em três formas de navegação. Sendo elas:

- a) Cabotagem: transporte realizado por vias marítimas e/ou vias navegáveis interiores entre portos de um mesmo país.
- b) Navegação de longo curso: realizada entre portos de dois continentes.
- c) Navegação interior: realizada entre vias interiores ou lagos em percursos nacionais ou internacionais;

Acrescenta-se a estes, de acordo com o Art. 3º do decreto Nº 2.596, de 18 de maio de 1998:

- d) Apoio marítimo: Consiste na operação de apoio logístico para embarcações e instalações em águas territoriais nacionais e na Zona Econômica Exclusiva, que atuam nas atividades de pesquisa e lavra de minerais e hidrocarbonetos;
- e) Apoio portuário: Navegação realizada exclusivamente nos portos e terminais aquaviários para atendimento de embarcações e instalações portuárias.

A Tabela 2 apresenta os valores de toneladas brasileiras movimentadas por tipo de navegação no ano de 2021, de acordo com a CNT (2022).

Tabela 2 - Movimentação de carga por tipo de navegação em 2021

Tipo de Navegação	t	%
Longo Curso	855.952.580	70,48%
Cabotagem	288.792.701	23,78%
Interior	66.072.532	5,44%
Apoio Portuário	2.523.034	0,21%
Apoio Marítimo	1.077.410	0,09%
Total	1.214.418.256	

Fonte: CNT (2022)

Os navios utilizados para o transporte aquaviário podem variar de acordo com o tipo de carga, adequando-se às configurações necessárias para efetivação do transporte. (FLORENTINO, 2010). O autor destaca como principais tipos:

- a) Cargueiro: Transportes de cargas gerais. O carregamento é feito em porções divididos possibilitando o carregamento de diferentes tipos de carga;
- b) Graneleiro: Transporte de granéis sólidos.
- c) Tanque: Transporte de granéis líquidos;
- d) *Full Container Ship* ou Porta container: Transporte de container
- e) *Roll-on/Roll-off*: Transporte de veículos;
- f) *Lash* ou porta-barcaças: Transporte de barcaças de até 400 toneladas ou 600m³.
- g) *Sea-bea*: Transporte de barcaças e possibilidade de conversão em Graneleiros ou Porta-Container.

De acordo com o Ministério da Infraestrutura, o Brasil possui 8,5 mil quilômetros de costas navegáveis e o setor portuário é responsável por 90% das importações do país. Soares (2019) destaca que o transporte aquaviário depende de infraestruturas cada vez mais tecnológicas para o processo de transbordo das cargas. Essas áreas são denominadas portos e terminais e envolvem elevados custos para desenvolvimento. Miguel (2013) destaca que os portos desempenham importante papel no processo de intermodalidade com outros modos de transporte.

De acordo com a Companhia das Docas do Estado da Bahia, têm-se (Figura 10):

O sistema portuário brasileiro é composto por 37 portos públicos, entre marítimos e fluviais. Desse total, 18 são delegados, concedidos ou tem sua operação autorizada à administração por parte dos governos estaduais e municipais. Existem ainda 42 terminais de uso privativo e três complexos portuários que operam sob concessão à iniciativa privada. (CODEBA, S/D)

Figura 10 - Mapa de Portos no Brasil



Fonte: Codeba, S/D

2.3.2 Intermodalidade e multimodalidade

Barat (2011) afirma que a “utilização de dois ou mais modais no transporte de mercadorias de modo complementar, diminui custos e perdas” (BARAT, 2007 *apud* SCHMIDT, 2011).

Para Ribeiro e Boente (2014) a intermodalidade pode ser caracterizada pelo transporte realizado por diversos modos, porém com emissões individuais de documentos para cada modo, conseqüentemente a divisão de responsabilidades entre as transportadoras responsáveis pelos modos de transporte utilizados.

Bowerson (2006 *apud* SANTOS, 2008), acrescenta que transporte intermodal combina dois ou mais modos de transportes de forma a combinar as melhores vantagens econômicas de cada modo e assim proporcionar um serviço de menor custo.

Demaria (2004) afirma que o transporte multimodal é aquele que faz utilização de mais de um modo de transporte com apenas um documento fiscal. O autor complementa que a diferença entre o transporte intermodal e o transporte multimodal está no contrato de negociação e comercialização do transporte da carga, visto que a multimodalidade atribui a responsabilidade e documentação do transporte apenas a um único operador/instituição, sendo este nomeado de Operador de Transporte Multimodal (OTM).

De acordo com a Lei Nº 9.611/98:

O Operador de Transporte Multimodal é a pessoa jurídica contratada como principal para a realização do Transporte Multimodal de Cargas da origem até o destino, por meios próprios ou por intermédio de terceiros. O Operador de Transporte Multimodal poderá ser transportador ou não transportador. (BRASIL, 1998, Lei 9.611/98)

Segundo Ballou (2006) existem pelo menos dez combinações de serviços intermodais possíveis, nem todos são aplicados e outros ainda não possuem utilização no mercado. São elas: (1) Trem-caminhão; (2) Trem-navio; (3) Trem-duto; (4) Trem-avião; (5) Caminhão-navio; (6) Caminhão-duto; (7) Caminhão-avião; (8) Navio-duto; (9) Navio-avião; (10) Avião-duto.

Amaral, Almeida e Morabito (2012) destacam que a eficiência na utilização da intermodalidade se dá não apenas com a disponibilidade dos modos de transporte a serem utilizados, mas sim da existência de infraestrutura que possibilite a interação destes meios. Uma das formas de integração dos modos é dada pelos terminais intermodais. Assis (2007) destaca que o principal objetivo do transporte intermodal e multimodal é a dinamização do processo de transporte entre a origem e destino da carga.

2.3.2.1 Terminais intermodais

De acordo com a CNT (2021), os terminais de carga são locais que ligam duas rotas e ofertam serviços relacionados ao transporte de cargas, sendo: Carga e descarga de

veículos, transbordo de carga, serviços aduaneiros, entre outros. Esses terminais de carga podem ser de ligação entre um mesmo modo de transportes ou para ligação de modos de transportes diferentes. Quando este último ocorre, têm-se o terminal intermodal de cargas. Asiss (2007) afirma que os terminais podem ser considerados os pontos de origem e destino de um frete onde pode-se ser necessário o serviço de consolidação e distribuição da carga.

Segunda a perspectiva de Maas (2001), o surgimento dos terminais intermodais se deu devido a necessidade de reunir instalações com funções específicas para o atendimento das necessidades geradas pelo transbordo das cargas entre os modos de transporte. Especificamente os terminais intermodais rodoferroviários, podem ser considerados como “um serviço no qual os modos rodoviário e ferroviário são combinados para transportar produtos de um local a outro”. (NIÉRAT 1997 *apud* MAAS, 2001),

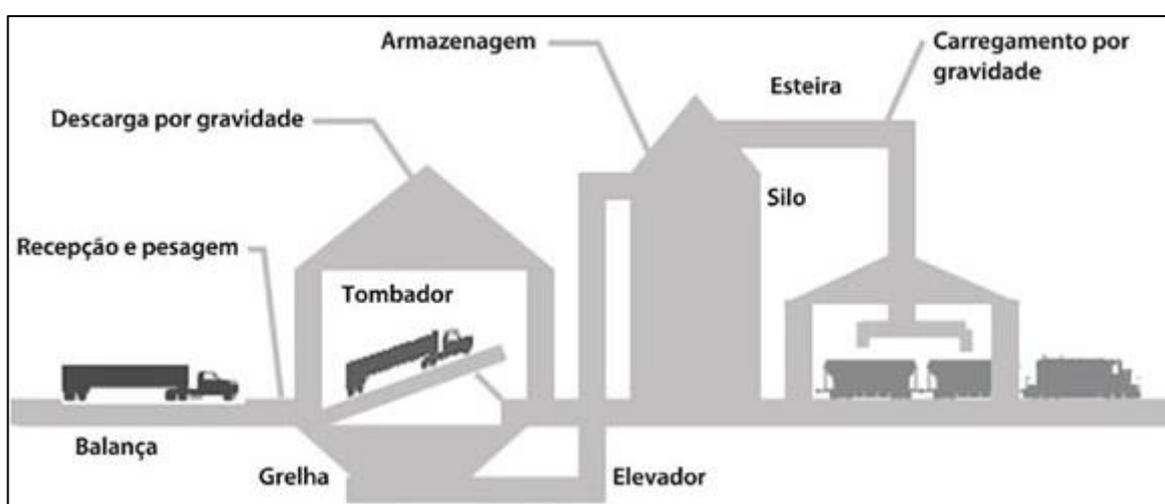
Para *Cooperative Solutions for Managing Optimized Services* (COSMOS) (2012), as funções básicas de um terminal intermodal são:

- a) Realizar o transbordo da carga entre os modos de transporte;
- b) Verificação de documentos, segurança e avarias de unidades de carga e movimentação de mercadorias perigosas e respectivos documentos;
- c) Acomodação dos trens e dos caminhões para carga e descarga, distribuição dos veículos e movimentos internos e um sistema de gerenciamento de terminais;
- d) Verificar a entrada e saída dos trens; e
- e) Realizar o armazenamento intermediário da carga;

Para Martins *et al.* (2014) o terminal de carga proporciona maior acessibilidade quando é vantajoso a utilização de diferentes modos de transportes e um destes não possui a capilaridade necessária para atendimento a toda demanda. O autor complementa que estes podem se posicionar estrategicamente em localidades intermediárias de forma a receber toda a demanda pulverizada, armazenar as cargas e então expedi-las.

Ballou (2006) destaca que a principal e mais utilizada combinação intermodal é dada pela junção trem-caminhão. Martins *et al.* (2014) afirmam que devido à grande capilaridade ofertada, o modo rodoviário atua como o principal integrador modo rodoviário. Sendo assim, de acordo com Calabrezi (2005 *apud* MARTINS *et al.*, 2014) a Figura 11 apresenta o esquema do terminal intermodal de carga para o descarregamento, transbordo, armazenagem e expedição de grão entre os modos rodoviário e ferroviário.

Figura 11 - Representação simplificada de um terminal de transbordo em operação



Fonte: Calabrezi (2005 *apud* MARTINS *et al.*, 2014)

Para Morgado (2005) o terminal pode ser categorizado das seguintes formas:

- a) Função econômica: Diferenciados em concentradores, reguladores e beneficiadores;
- b) Administração: Privados ou público;
- c) Modalidade: unimodal ou intermodal;
- d) Atividades desenvolvidas: Parcelamento, consolidações e atividades alfandegárias;
- e) Tipo de carga: Cargas soltas, graneis e unitizadas;
- f) Localização: Urbano, regionais ou rurais; e
- g) Número de usuários: apenas empresas ou coletivo.

Em pesquisa realizada pela CNT (2021) foi evidenciada a existência de 532 instalações de terminais ferroviários. Peixoto (2013) ressalta a importância da

localização estratégica dos terminais intermodais para a otimização dos processos de movimentação de carga. Além disso, a autora ressalta a necessidade de avaliar aspectos relevantes ao processo, como o tráfego potencial, para que os investimentos na infraestrutura do terminal possam ser efetivos.

Ademais, é necessário considerar a acessibilidade das transportadoras até os terminais, visto que este é um fator essencial para a precificação do serviço. Portanto o projeto deve considerar os critérios de custos, tempo de entrega, tempo de trânsito e suas variações. (BALLOU 1993, *apud* MORGADO; PORTUGAL; JÚNIOR, 2005)

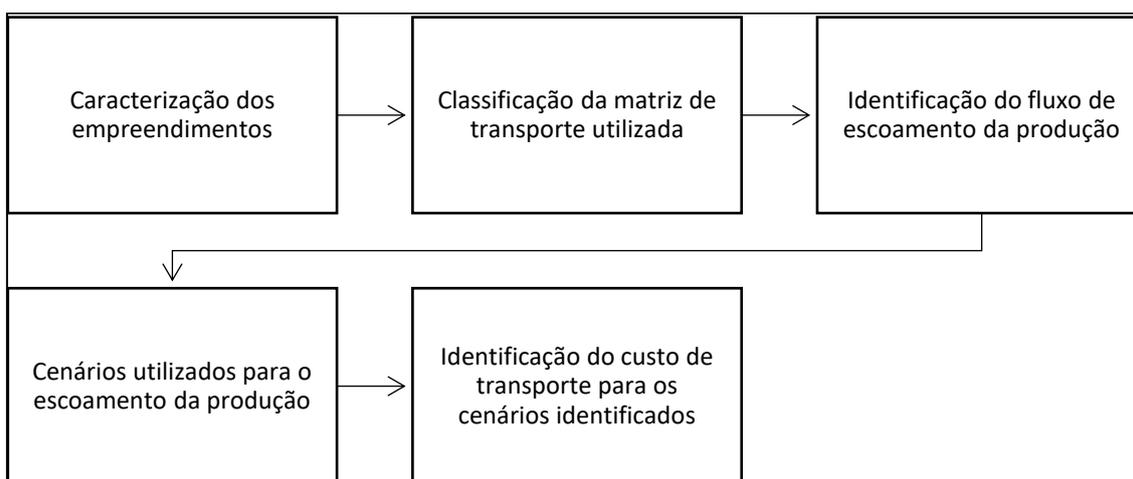
3. METODOLOGIA

Para viabilização deste estudo foram realizadas pesquisas bibliográficas, previamente apresentada, identificação dos dados e análises com enfoques quantitativos. Sendo assim, essa seção tem como objetivo apresentar os métodos realizados para identificação das mineradoras de minério de ferro localizadas em Serra Azul, o fluxo de transporte utilizado para o escoamento da produção e qual é a infraestrutura disponível. Em posse dessas informações, tem-se então a identificação do fluxo logístico utilizado e o custo de transporte atribuído ao processo de escoamento do minério de ferro produzido.

Destaca-se que este estudo se restringe à identificação dos custos de transportes e, portanto, não há considerações sobre os demais custos atribuídos pela cadeia de logística de escoamento. Além disso, desconsidera-se também informações sobre a capacidade de armazenamento dos terminais intermodais de carga.

Sendo assim, a Figura 12 apresenta o fluxograma da metodologia adotada para identificação dos custos de transportes dos empreendimentos avaliados. Essas etapas estão sistematizadas em cinco fases que ocorreram de formas sequenciais para que fosse possível encontrar o resultado final.

Figura 12 - Metodologia para identificação dos custos de transportes



Fonte: Autora (2023)

3.1 Caracterização da região minerária de Serra Azul com a identificação das principais mineradoras da região

A caracterização da região minerária teve como base o estudo elaborado pela FEAM sobre a mineração de ferro na Serra de Itatiaiuçu em julho do ano de 2012. Nesta

etapa foi realizada a pesquisa exploratória para identificação de todas as mineradoras instaladas na região, localização e produção total anual. Os dados avaliados são do tipo quantitativos obtidos por meio de fontes secundárias, sendo estas: sites atualizados das mineradoras e/ou em relatórios de licenciamento emitidos pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). Para fins de cálculo da demanda, considera-se que toda a produção licenciada será produzida e destinada para exportação até os portos para posterior envio ao consumidor final.

3.2 Identificação da matriz logística de transporte de minério da região de Serra Azul

A identificação da matriz logística na região da Serra Azul foi feita com base em pesquisa exploratória, pois proporcionará maior familiaridade com o problema de forma a torná-lo mais explícito possibilitando o levantamento de hipótese e novos estudos sobre o assunto. (GIL, 1994). Os tipos de dados obtidos foram quantitativos e de fontes secundárias.

3.3 Identificação dos fluxos de transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação

Tendo como base a pesquisa exploratória apresentada no tópico 3.1, nesta etapa foi feito apenas o resumo sobre a matriz de escoamento adotada pelos empreendimentos analisados para o escoamento do minério de ferro. Para isso, foram consideradas as seguintes premissas:

3.3.1 Distância entre a mineração, terminais e portos

3.3.1.1 *Distância entre a mineração e os terminais de carga:*

Para identificação da distância percorrida entre a mineração e os terminais de carga identificados como participantes da matriz logística, utilizou-se o *software* de geoprocessamento *QGis*, com os complementos *GeoCoding*, *Routing Mapper* e *LF Tools*. Sendo que a função destes é:

GeoCoding: Mapear os pontos de interesse;

Routing Mapper: Estabelecer as rotas com definição de ponto de início e fim. As rotas estabelecidas são calculadas considerando o caminho mais curto;

LF Tools: Medir a distância em km do traçado.

Para determinação do terminal utilizado pelas mineradoras, foi considerado o que está mais próximo do respectivo empreendimento.

3.3.1.2 *Distância entre terminais de carga e porto:*

Inicialmente, foi verificado que a malha ferroviária integrada aos Terminais de Cargas utilizados neste estudo é a Malha Regional Sudeste (MRS). Portanto, tem-se o escopo apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Integração Terminal - Ferrovia

Terminal Intermodal	Ferrovia Integrada
Terminais de Carga de Sarzedo	MRS
Terminal de Serra Azul	MRS

Fonte: Autora (2023)

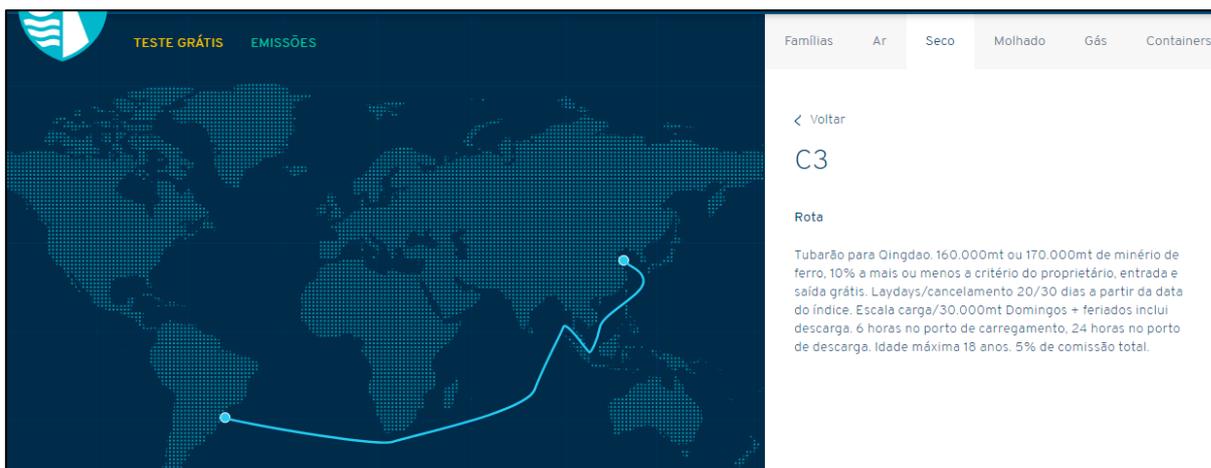
Por definição será considerado o Porto de Itaguaí para a exportação do minério até o cliente final devido à área e infraestrutura portuária disponível. Este porto está localizado no município de Itaguaí, no Estado do Rio de Janeiro, cerca de 631,3km de distância de Belo Horizonte, conforme pesquisa realizada pela CNT (2015).

3.3.1.3 *Distância entre o porto e o cliente final:*

Como apresentado no Capítulo 3, Xiaowen (2020) destaca que a China é o principal consumidor do minério de ferro do mundo, por isso, para fins de simplificação do método, foi adotado que toda a produção escoada será destinada para o Porto de Qingdao, localizado na província de Shandong, leste da China.

Para definição do frete marítimo foram utilizados índices estabelecidos pela *Baltic Exchange*, associação responsável pelo fornecimento de informações de fretes marítimos. Neste cenário, define-se que para a exportação do minério foi utilizada a rota BCI-C3 (Tubarão-Qingdao), conforme apresentado nos índices *Baltic Exchange* (Figura 13).

Figura 13 - *Baltic Exchange* – Definição da rota de transporte marítimo



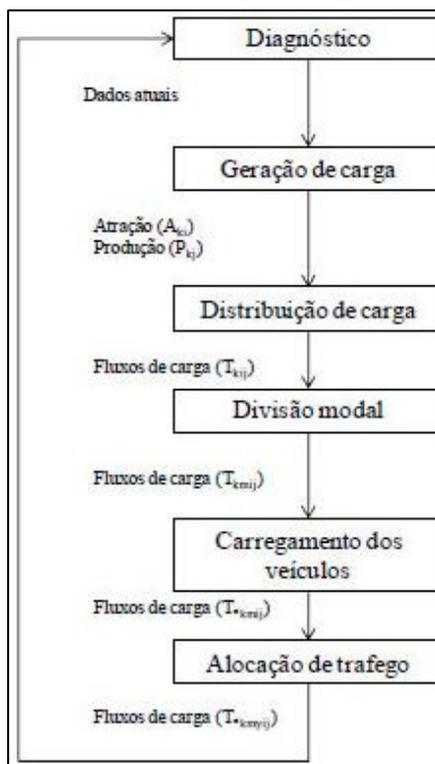
Fonte: *Baltic Exchange* (2023)

3.4 Apresentação dos cenários para o transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação

Para alocação da demanda de transporte gerada para escoamento de minério de ferro produzido em Serra Azul foi desenvolvido o modelo de quatro etapas. Para Sousa e D'Agosto (2012) e Tedesco (2008) o “Modelo 4 etapas” é tradicionalmente utilizado para análise e previsão de demanda para o setor de transportes.

O “Modelo 4 etapas”, conhecido também como “Modelo de 4 etapas”, Modelo de Uso do Solo e Transportes (MUT) ou *Four Steps Planning*, consiste em desenvolver um procedimento, dividido em quatro etapas, vinculadas e aplicadas sequencialmente. Seu objetivo, é basicamente quantificar, caracterizar e analisar as viagens de uma dada região (TEDESCO, 2008). A seguir, apresentam-se as quatro etapas, considerando o transporte de carga, de acordo com Sousa e D'Agosto (2012). A Figura 14 apresenta o esquema proposto pelos autores para desenvolvimento do modelo para o transporte de carga.

Figura 14 - Modelo 4 etapas para o transporte de carga

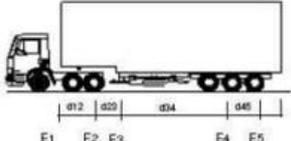


Fonte: Sousa e D'Agosto (2012)

- i. Geração de viagens: Utilizar o resultado encontrado pela metodologia aplicada no tópico 3.1, onde estima-se a produção minerária dos empreendimentos localizados em Serra azul.
- ii. Distribuição e divisão modal: Definir os modos de transportes utilizados para o escoamento de minério de acordo com o identificado no tópico 3.1.
- iii. Carregamento de veículos: Define-se o modelo do veículo que será utilizado para alocação do transporte. Têm-se:
 - a) Veículo tipo para transporte rodoviário

Simão (2017) cita que o transporte comercial de minério nas rodovias é feito preferencialmente por caminhões de alta capacidade. Sendo assim, define-se como veículo tipo a classe 3S3, apresentada na Figura 15, onde, de acordo com o DNIT (2012), têm-se:

Figura 15 - Características carreta bitrem

SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	3 / 6	45 / (47,25) Res. Contran 210/06. Caso tenha comprimento total inferior a 16m	CAMINHAO TRATOR TRUCADO+ SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56 < 2,40 m	3S3	78

Fonte: DNIT (2012)

b) Veículo tipo para transporte ferroviário

Considerando o estudo feito pela ANTT (2020) têm-se que o trem tipo para o transporte de minério de ferro é composto por três locomotivas, 163 vagões e possui capacidade útil de 18.093 toneladas. Rosa (2016) destaca que os vagões mais utilizados para carga a granel sólida são do tipo gôndola para virador (GD), gôndola com abertura lateral (GF) e *hopper* aberto com tremonha na parte inferior (HA).

c) Veículo tipo para transporte aquaviário

De acordo com Ferreira (2019), as embarcações mais utilizadas para o transporte marítimo do minério de ferro são graneleiros convencionais ou mineraleiros de grande porte, sendo que deste último destaca-se o Valemax que possui aproximadamente 400.000 *dwt*. Coelho (2010) em notícia vinculada pelo portal Logística Descomplicada, informa que existem diversos tipos de nomenclaturas para modelos de navios com distintas capacidades de transporte. Dentre eles, têm-se o modelo Capesize como o mais costumeiro para o transporte de minério de ferro. Estima-se que o navio transporta até 220 mil toneladas de carga. De acordo com a *Baltic Exchange* (2023), os navios Capesizes são graneleiros de cargas secas que variam entre 130.000 a 210.000 toneladas de porte bruto (*dwt*) e as cargas são limitadas ao transporte de minério de ferro, carvão e bauxita.

- iv. Alocação da demanda de produção: A distribuição da demanda será apresentada nas redes de fluxo de acordo com os modos de transporte apresentados no plano de escoamento do minério de ferro.

3.5 Avaliação dos custos de transportes considerando a matriz logística disponível para o transporte do minério produzido em Serra Azul até os portos

Devido às especificidades de capacidade, distância e relação de custos fixos e variáveis pertinentes à cada modo de transportes, houve a distinção de métodos de cálculo dos custos de transportes para cada modal. Sendo:

3.5.1 Frete rodoviário

Para o cálculo do valor de frete rodoviário utilizou-se como base a tabela de frete que estabelece os pisos mínimos do frete do transporte rodoviário de carga. Portanto, o Quadro 4 apresenta o preço do transporte quando associado à distância e tipo de veículo utilizado.

Quadro 4 – Valor de pisos mínimos do frete para transporte rodoviário

Tipo de Carga	Coeficiente de custo	unidade	Números de eixos carregados do veículo combinado						
			2	3	4	5	6	7	9
Granel Sólido	Deslocamento (CCD)	R\$/km	2,8326	5,5801	4,0887	4,6493	5,2645	5,7116	6,5041
	Carga e descarga (CC)	R\$	139,60	154,50	156,39	165,98	177,40	206,63	214,57

Fonte: ANTT (2023).

Sendo assim, o Quadro 4 apresenta a valores utilizados para cálculo do frete base e, estes são utilizados para composição da formulação apresentada na Equação 1 de acordo com a característica do veículo utilizado.

$$\text{Valor do frete} = \text{CCD} * \text{KM} + \text{CC} \quad (1)$$

Onde,

CCD: Coeficiente de custo de deslocamento;

CC: Coeficiente de custo de carga e descarga

Para o presente estudo adotou-se os parâmetros para veículos com seis eixos carregados. Portanto, realizando a substituição dos coeficientes apresentados no Quadro 4, têm-se a Equação 2.

$$\text{Valor do frete} = 5,2645 * \text{KM} + 177,40 \quad (2)$$

3.5.2 Frete ferroviário

Para cálculo do valor do frete ferroviário foi utilizado o simulador tarifário disponibilizado pela MRS, de acordo com a ANTT, conforme Figura 16. Neste simulador foi informado a distância ferroviária entre os terminais de carga e o porto a ser utilizado para a exportação.

Figura 16 - Simulador tarifário MRS

TABELA 1 - TARIFAS DE REFERÊNCIAS	
ESCOLHA O PRODUTO:	
Minério de Ferro	
VIGÊNCIA:	DELIBERAÇÃO ANTT
01/08/2022	82/2022
CONCESSIONÁRIA: MRS Logística	
TABELA TARIFÁRIA PARA Minério de Ferro	
BASES DAS TARIFAS (NÃO INCLUIDO O ICMS)	
FAIXAS QUILOMÉTRICAS VARIÁVEIS	R\$/T KM
FAIXA ÚNICA	0,1494
PARCELA FIXA	6,96
Distância Ferroviária (km):	Tarifa em R\$/t
	6,96 <- Valor máximo homologado para a distância selecionada.
Inserir a distância desejada no campo em fundo azul	

Fonte: Simulador tarifário MRS (2023)

3.5.3 Frete aquaviário

Gomes (2015) apresentou os custos de transportes que compõem o preço do minério de uma mina que não possui o sistema integrado para escoamento da produção até a China, sendo considerado a exportação feita por navio *Capesize* em frete marítimo Brasil/China. Devido à similaridade entre os parâmetros de composição de custo de frete marítimo utilizado por Gomes (2015) e o presente trabalho, optou-se por adotar o valor de frete internacional utilizado pela autora. Portanto, têm-se:

- a) Frete (Brasil/China) = US\$11,41/*dmt* (R\$284,11/*dmt* considerando *P-tax* R\$4,9990, calculado na data de 26/05/2023)

Para conversão das medidas, ainda de acordo com Gomes (2015), têm-se, a Equação 3 que apresenta a expressão de equivalência utilizada para a conversão de *wmt* para *dmt*.

$$1 \text{ dmt} = 0,92 \text{ wmt}$$

(3)

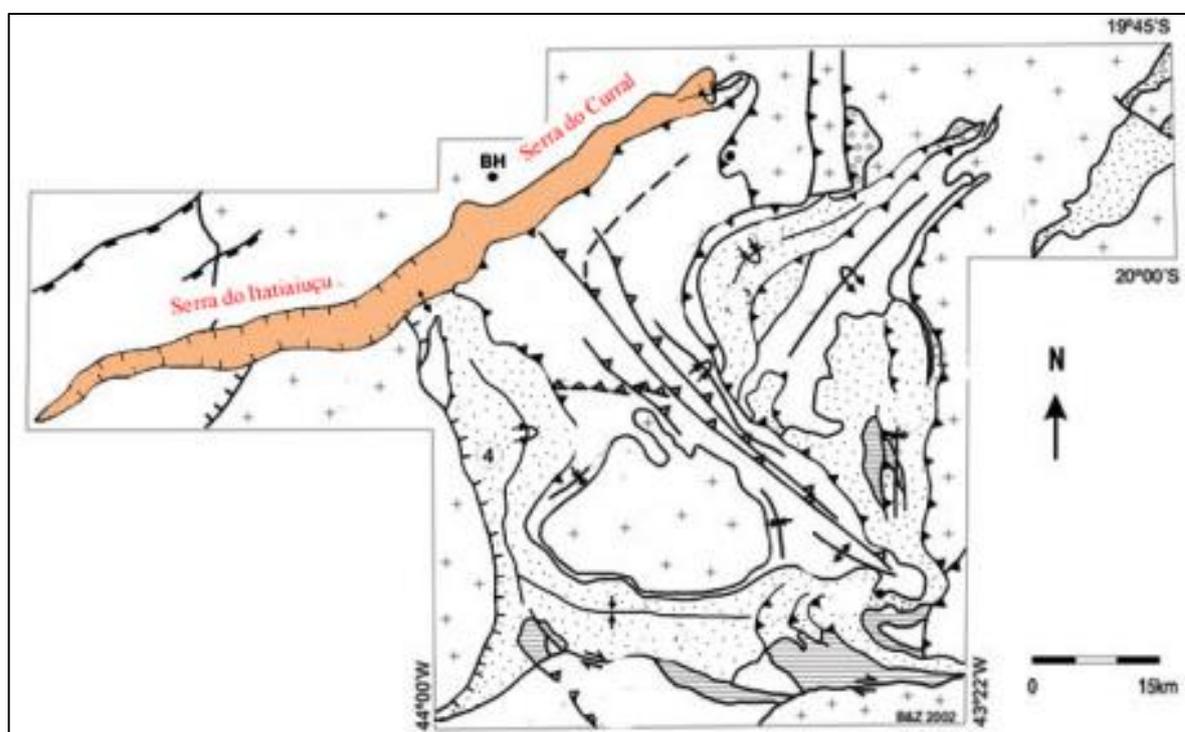
4. RESULTADOS

O custo de transporte é um importante atributo para ser considerado em qualquer tipo de planejamento. Sendo assim, a partir dos critérios estabelecidos no capítulo anterior, essa seção tem por objetivo apresentar os resultados obtidos por meio da metodologia definida sobre o custo total de transporte do minério de ferro nos empreendimentos que possuem licença de operação e estão situados na região de Serra Azul.

4.1 Caracterização da região minerária de Serra Azul com a identificação das principais mineradoras da região

A região minerária de Serra Azul, também conhecida como Serra de Itatiaiuçu ou Serra de Igarapé, está localizada no Domínio Morfológico do Quadrilátero Ferrífero. Esta região contempla uma das mais importantes jazidas de minério de ferro do Estado de Minas Gerais e corresponde a um prolongamento da Serra do Curral. (FEAM, 2012) (Figura 17).

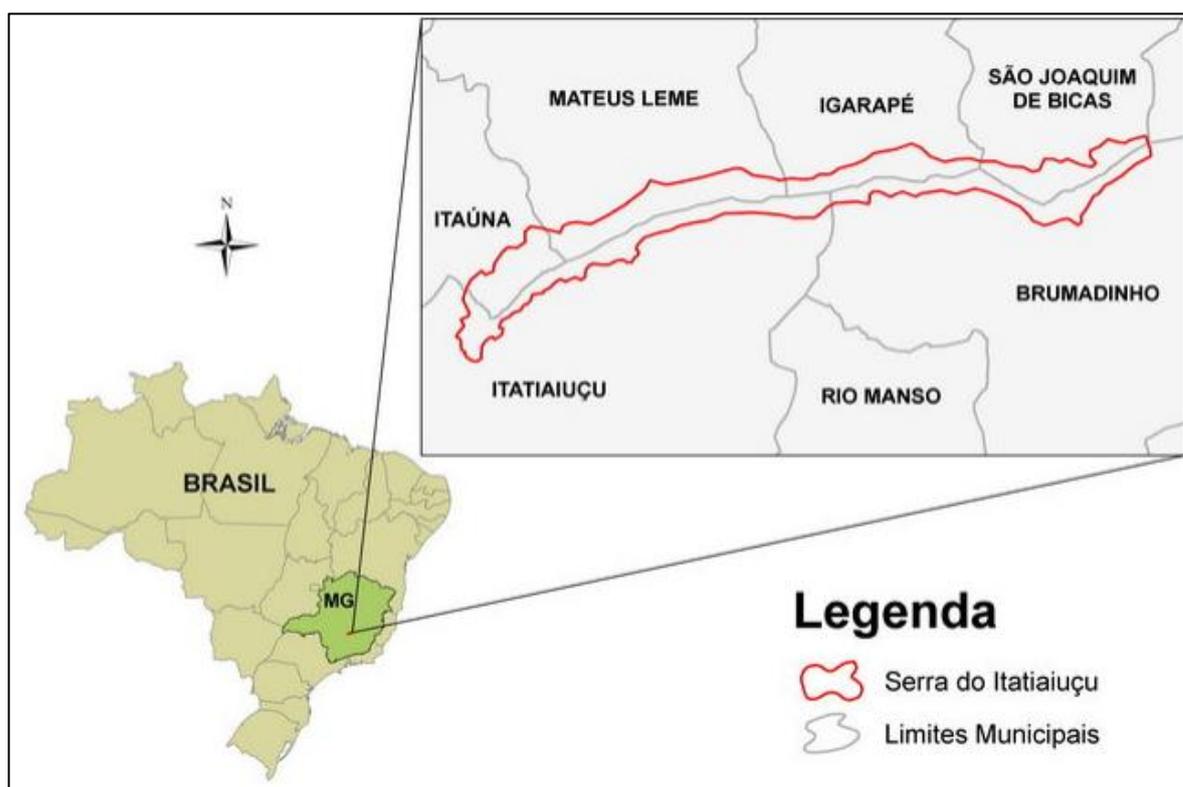
Figura 17 - Serra Azul e Serra do Curral



Fonte: YKS (2012 apud. FEAM, 2012)

De acordo com Vasconcelos, Brandão e Lemos (2012), o complexo Serra Azul está localizado na borda noroeste do QF ficando na divisa dos municípios de Brumadinho, Igarapé, Itatiaiuçu, Itaúna, Mateus Leme, e São Joaquim das Bicas, conforme Figura 18. A Serra Azul possui grande importância mineral, pois trata-se de uma região rica em minério de ferro e é um importante divisor de águas, separando a Bacia de Rio Manso e Serra Azul (CETEM, 2012).

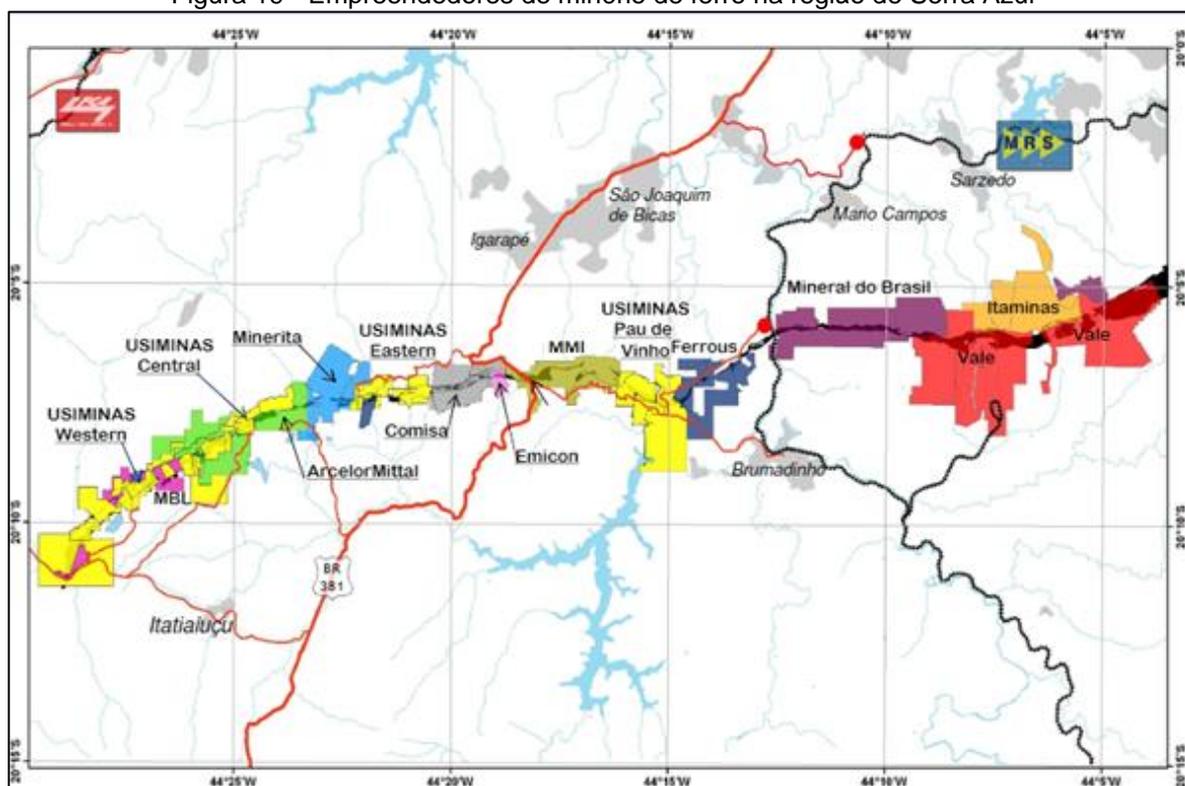
Figura 18 - Localização do complexo minerário Serra Azul



Fonte: YKS (2012 apud. FEAM, 2012)

Viveiros (2009) apresenta os empreendedores de minério de ferro na região de Serra Azul e Serra do Curral, conforme Figura 19. Destes, destaca-se como empreendimento da região de Serra Azul: ArcelorMittal, Comisa, Ferrous, MBL, Minerita, MMX e Usiminas (FEAM, 2012).

Figura 19 - Empreendedores de minério de ferro na região de Serra Azul



Fonte: Viveiros (2009)

4.1.1 Mineradoras com atividade extrativista em Serra Azul

4.1.1.1 Arcelormittal Mineração Serra Azul S.A

Contexto histórico

Situada na cidade de Itatiaiuçu, a operação a mina da ArcelorMittal Brasil S/A, designada como Mina do Córrego Fundo, opera a lavra e o beneficiamento de minério de ferro desde dezembro de 1978, onde a atividade minerária já havia sido iniciada pelas empresas antecessoras, Minas Itatiaiuçu Ltda e London Mining S.A. (RIMA, S/D).

Produção

O processo produtivo de minério de ferro da Mina Córrego Fundo é realizado em lavra a céu aberto, compreendendo as etapas de lavra, beneficiamento e comercialização dos produtos. Considerando a capacidade produtiva licenciada têm-se a produção de 4,5 milhões de toneladas por ano. (SEMAD, 2021)

4.1.1.2 *Companhia de Mineração Serra Azul – COMISA*

Contexto histórico

O início das atividades da COMISA foi na década de 1960, na Fazenda Quéias, sendo executada pela Mineradora Anselmo Santalena. Em 1991, a lavra passou para a responsabilidade da Mineração Fernão Dias que mudou para o nome de Consórcio Brasileiro de Mineração (CBM) e depois se tornou Companhia de Mineração de Serra Azul (COMISA).

Produção

Em 2000 a COMISA registou a cessão de direitos da Portaria de Lavra, sendo uma mina de minério de ferro a céu aberto, com capacidade produtiva de 240.000 t/ano de ROM (FEAM, 2012). Atualmente não há nenhuma licença deferida para lavra de minério no sistema de consulta de decisões de processos de licenciamento ambiental.

4.1.1.3 *Ferrous Resources Limited*

Contexto histórico

A FERROUS iniciou suas atividades de lavra por volta de 1978, tendo como titular a empresa EMISA, sendo licenciada corretivamente em 1992. Em 2009 a Empresa de Mineração Santanense Ltda (EMISA) foi comprada pelo grupo FERROUS Resources do Brasil S.A. (FEAM, 2012).

Produção

Localizada na cidade de Brumadinho, a produção estimada e licenciada em 2013 foi de 500.000 toneladas por ano, de acordo com o Parecer Técnico de Licença Ambiental Simplificada (RAS) (SEMAD, 2013). Atualmente não há nenhuma licença deferida para lavra de minério no sistema de consulta de decisões de processos de licenciamento ambiental.

4.1.1.4 *MBL - Materiais Básicos LTDA*

Contexto histórico

Localizada na cidade de Itatiaiuçu, a MBL – Materiais Básicos LTDA – iniciou às explorações de minério de ferro em 1964. (MBL, S/D). De acordo com o Instituto

Brasileiro de Mineração (IBRAM) (2011) a Usiminas informou o arrendamento da reserva de minério da MBL, estimada em 145 milhões de toneladas com tempo de até 30 anos ou até quando durar a reserva

Produção

Atualmente não há nenhuma licença deferida para lavra de minério no sistema de consulta de decisões de processos de licenciamento ambiental.

4.1.1.5 Minerita Minérios Itaúna Ltda

Contexto histórico

Localizada no município de Itatiaiuçu, a Minerita - Minérios Itaúna Ltda é uma mineradora de minério de ferro de capital privado que segue em operação desde 1971. (Minerita, S/D). Essa planta destina-se a produção de pellet feed (SEMAD, 2019).

Produção

De acordo com os dados apresentados no certificado de Licença Ambiental, estima-se uma produção bruta de 3,6 milhões de toneladas ao ano, porém o ROM mensal gira em torno de 250.000t, há uma produção de 75.000t de granulado e 75.000t de sínter. (SEMAD, 2019).

4.1.1.6 Mineração Morro do Ipê

Contexto histórico

Em 2008 a MMX Mineração adquiriu os títulos minerários da MINERMINAS e, posteriormente, em 2009, adquiriu os títulos minerários da AVG Mineração (FEAM, 2012). Em notícia vinculada por Castillo (2016) através do site LexLatin, em 2014 o grupo MMX Mineração entrou em recuperação judicial e, devido a isso, os títulos minerários foram vendidos e agora controlados pelo fundo de investimentos em participações (FIP), pertencentes à Trafigura e Mubadala e apresentada com o nome de Mineração Morro do Ipê (MMI). De acordo com SEMAD (2020), em 2015 a Trafigura apresentou a proposta da compra do empreendimento e em 2017 houve a retomada das atividades iniciou-se a operação dentro das áreas licenciadas.

Produção

De acordo com o relatório de Parecer Único nº 0063607/2020 emitido pela SEMAD, a capacidade total instalada para produção da Mina Ipê é de 4Mt/ano com o rendimento da lavra de 95%. Com a expansão e início de operação da Mina Tico-Tico, a projeção feita é para a ampliação da produção em 9,2Mta de ROM, somando uma produção líquida média de 6 Mta.

Considerando a relação de Estéreo/Minério de 0,71/1,00, proposta pelo empreendedor, têm-se que a produção líquida total da Mineração Morro do Ipê é de 9,4Mta.

4.1.1.7 Mineração Usiminas

Contexto histórico

A Mineração Usiminas possui quatro minas em operação na Região de Serra Azul, sendo estas: Mina Oeste, Mina Central, Mina Leste/Camargos e Mina Pau de Vinho. Duas Minas estão localizadas na cidade de Itatiaiuçu (Mina Oeste e Mina Central), a Mina Leste/Camargo está na cidade de Mateus Leme e a Mina Pau de Vinho está entre as cidades de Brumadinho e São Joaquim de Bicas.

Produção

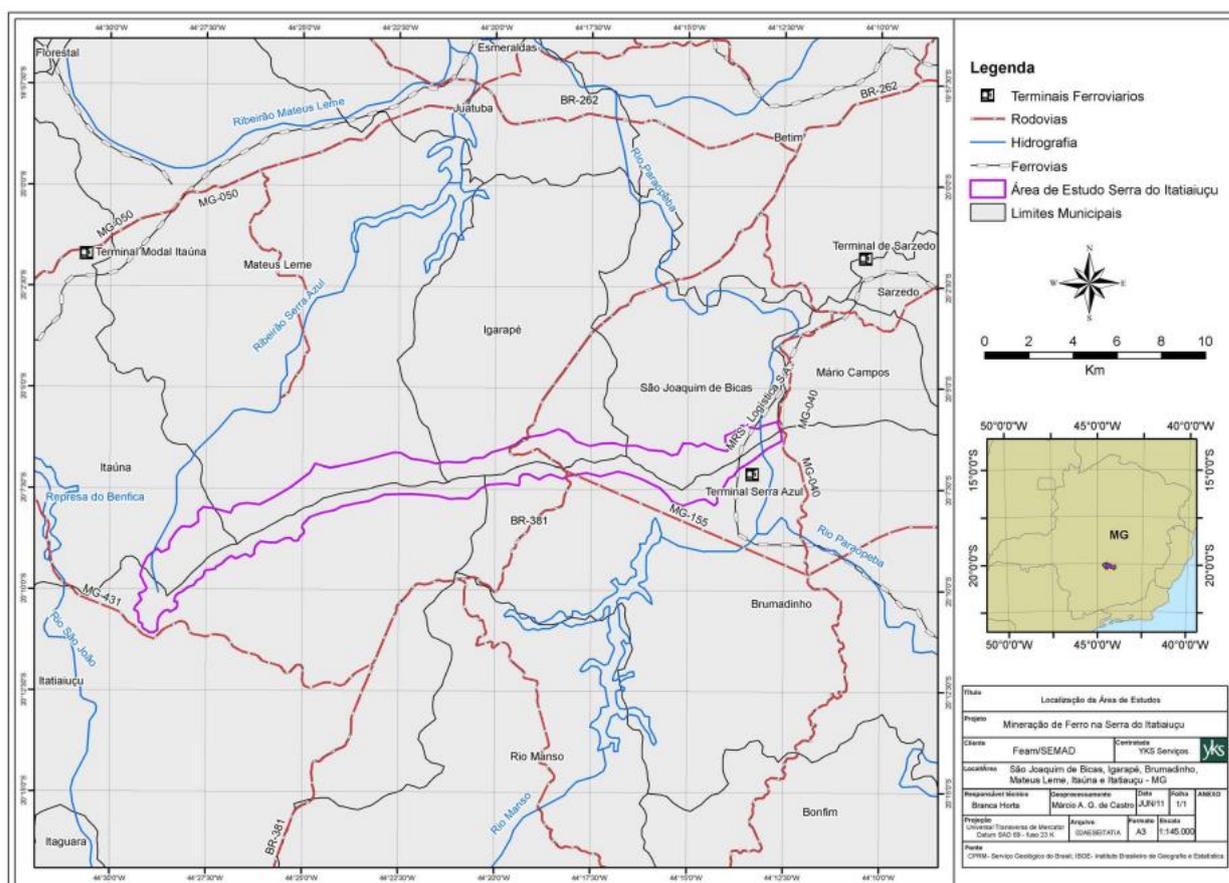
Considerando a produção de 2021, têm-se que a produção de todas as minas do grupo é estimada em 9,1 milhões de toneladas por ano. (USIMINAS, S/D).

4.2 Identificação da matriz logística de transporte de minério da região de Serra Azul

“A região do Quadrilátero Ferrífero é servida por uma extensa malha composta por rodovias estaduais e federais” (AZEVEDO *et. al*, 2011). Entretanto, apesar de ter grandes reservas minerais, o complexo de Serra Azul é um grande desafio para os mineradores, pois será necessário o desenvolvimento de soluções logísticas otimizadas que viabilizem economicamente o processo de escoamento do minério de ferro produzido. (FEAM,2012). Viveiros (2009) complementa que para que seja viável a extração de minério em Serra Azul, faz-se necessário o desenvolvimento de soluções logísticas viáveis que sejam compatíveis com o mercado.

Sendo assim, A Figura 20 apresenta a região minerária de Serra Azul e os principais pontos de acesso aos empreendimentos, sendo destacados as rodovias, ferrovias e terminais ferroviários.

Figura 20 - Infraestrutura logística para acesso à região minerária de Serra Azul



Fonte: IBGE (apud. FEAM 2012)

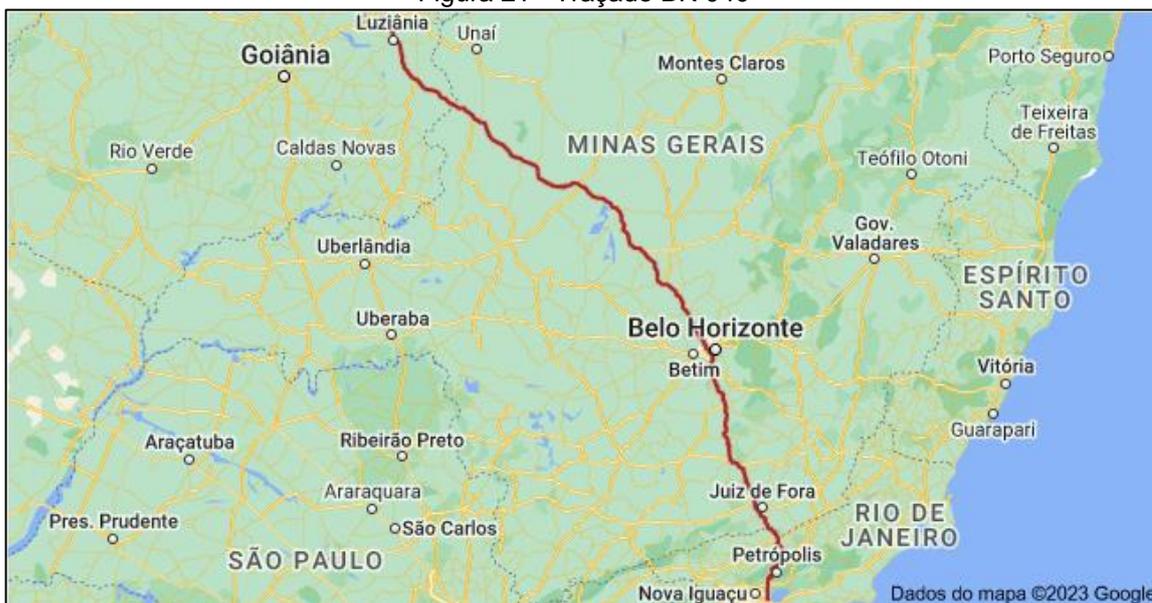
4.2.1 Transporte rodoviário

Dentre as rodovias apresentadas na Figura 20, têm-se que as principais são:

4.2.1.1 BR-040

Dividida em dois importantes trechos, seguindo pela Região Noroeste, a BR-040 é responsável pela ligação entre a capital mineira, Belo Horizonte, à capital federal, Brasília (DF), com extensão total de 716 quilômetros. Já para o outro sentido, com a extensão de 431 quilômetros, a rodovia é responsável pelo Acesso: da cidade de Belo Horizonte ao Estado do Rio de Janeiro (GOV, S/D). A Figura 21 apresenta o traçado da rodovia interligando as cidades de Luziânia (DF) à Nova Iguaçu (RJ).

Figura 21 - Traçado BR 040



Fonte: Google Maps (2023)

4.2.1.2 BR-381

Conhecida também como rodovia Fernão Dias, a BR-381 (Figura 22) foi concedida em 2008 para operação da concessionária Arteris Fernão Dias. O trecho concedido corresponde a 562,1 quilômetros e se tornou o principal eixo de ligação entre os estados de São Paulo e Minas Gerais. Estima-se que o tráfego da rodovia é composto 37,1% por veículos comerciais e 62,9% por veículos de passeio (Arteris, S/D).

Figura 22 - Traçado BR-381



Fonte: Google Maps (2023)

4.2.1.3 MG-431

A Figura 23 apresenta o traçado da MG-431, onde observa-se a função de ligação de duas rodovias federais, BR-381 e BR-262. Localizada na região centro oeste do estado de Minas Gerais, a rodovia atende diretamente aos municípios de Itaúna, Itatiauçu e Divinópolis e por isso destaca-se a importância dessa rodovia para a região devido grande utilização para o escoamento de minério de ferro e pecuária. (GRNEWS, 2020).

Figura 23 - Traçado MG-431



Fonte: Google Maps (2023)

4.2.2 Transporte ferroviário

4.2.2.1 Malha Regional Sudeste (MRS)

A Malha Regional Sudeste, atualmente concedida para a operadora logística MRS S/A, possui 1.643 km de extensão e está presente nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (Figura 24). A MRS é uma das principais ferrovias brasileiras, pois conecta importantes regiões produtoras de *commodity* minerais e agrícolas bem como alguns dos principais parques industriais do País aos maiores portos da Região Sudeste, transportando contêineres, siderúrgicos, cimento, bauxita, agrícolas, coque, carvão e minério de ferro. (MRS, S/D).

Figura 24 – Malha Regional Sudeste



Fonte: MRS (S/D)

4.2.3 Terminais intermodais

4.2.3.1 Terminal de Cargas de Sarzedo

O Terminal de Cargas de Sarzedo (TCS) está localizado na zona rural do Município de Sarzedo, na Região Metropolitana de Belo Horizonte. O TCS possui a capacidade para operação de 150.000 toneladas ao mês e localização estratégica ao longo da ferrovia MRS, permitindo assim a realização de operações de pátios de estocagem, bem como embarque e desembarque de minérios, ferro gusa e contêineres. (SEMAD, 2013).

4.2.3.2 Terminal Serra Azul

Localizado no distrito de Souza Noschese, zona rural do Município de Brumadinho, o Terminal Serra Azul (TSA) possui como atividade principal o manuseio, armazenagem e transporte de cargas, sendo o minério de ferro o principal produto movimentado. O TSA está localizado nas margens da MRS e possui a área útil total de 10 hectares e, considerando as ampliações estimadas, têm-se que a produção de carregamento estimada é de 134 vagões por dia, sendo em média 13.130 toneladas escoadas pela ferrovia MRS diariamente. (SEMAD, 2011).

4.2.4 Transporte marítimo

4.2.4.1 Porto de Itaguaí

Administrado pela CSN Mineração S.A, o Terminal De Carvão (TECAR), está localizado no Porto de Itaguaí, no Estado do Rio de Janeiro. O TECAR possui interligação com a ferrovia MRS e, por isso tem grande participação na logística de minério, tendo a capacidade de exportação anual superior a 42 milhões de toneladas e 3,5 milhões toneladas para importação. A Figura 25 apresenta o Porto de Itaguaí e a localização dos berços utilizados para exportação (102) e para importação (101 e 202). (CSN, S/D).

Figura 25 - Porto de Itaguaí - TECAR



Fonte: CSN, S/D

4.2.4.2 Porto Qingdao

Considerado pelo *Port Technology International* (PTI) com um dos cinco portos mais importantes para a China, o Porto Qingdao (Figura 26) movimentou cerca de 25.670.000 TEU em 2022 e possui uma série de iniciativas tecnológicas direcionadas para o desenvolvimento do comércio e transparência sobre as relações comerciais. A

produtividade média do PTI é de 36,2 container por navio por hora, superando com eficiência maior que 50% da produção dos demais portos. (PTI, 2022).

Figura 26 - Porto Qingdao - China



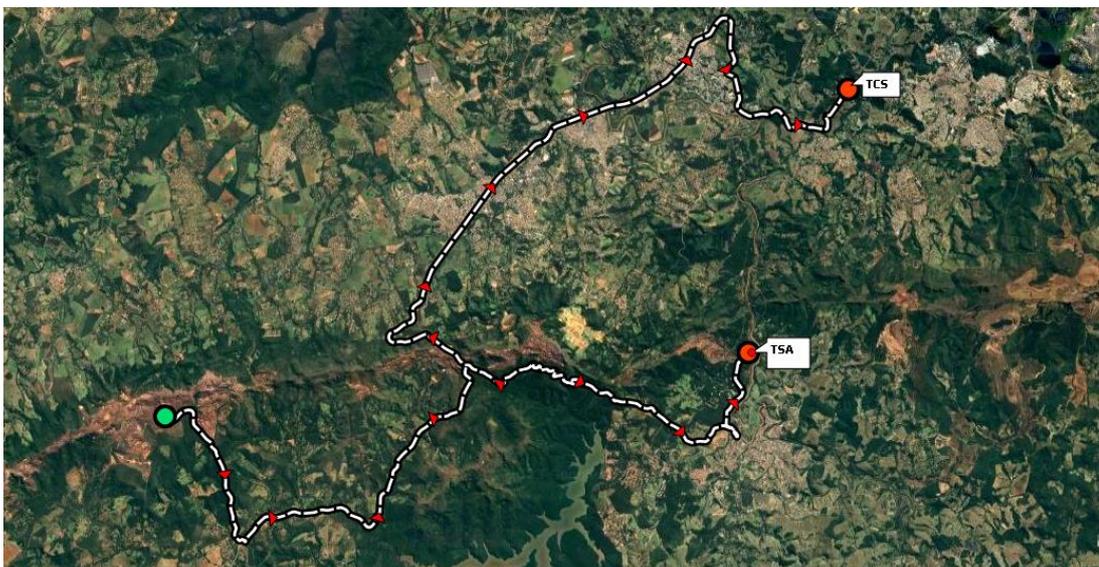
Fonte: (PTI, 2020).

4.3 Identificação dos fluxos de transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os Portos para exportação

Tendo como base a localização dos empreendimentos apresentados no tópico anterior e considerando apenas minerações que estão com o processo produtivo autorizado, foi calculado a distância entre as minas e os terminais de carga considerados neste estudo, sendo TSA e TCS.

A Figura 27 apresenta o trajeto realizado para escoamento do minério de ferro produzido na Mineração ArcelorMittal até os terminais de carga TSA e TCS. A distância calculada entre a mina e o TSA é de 34,3 km e até o TCS é de 47 km.

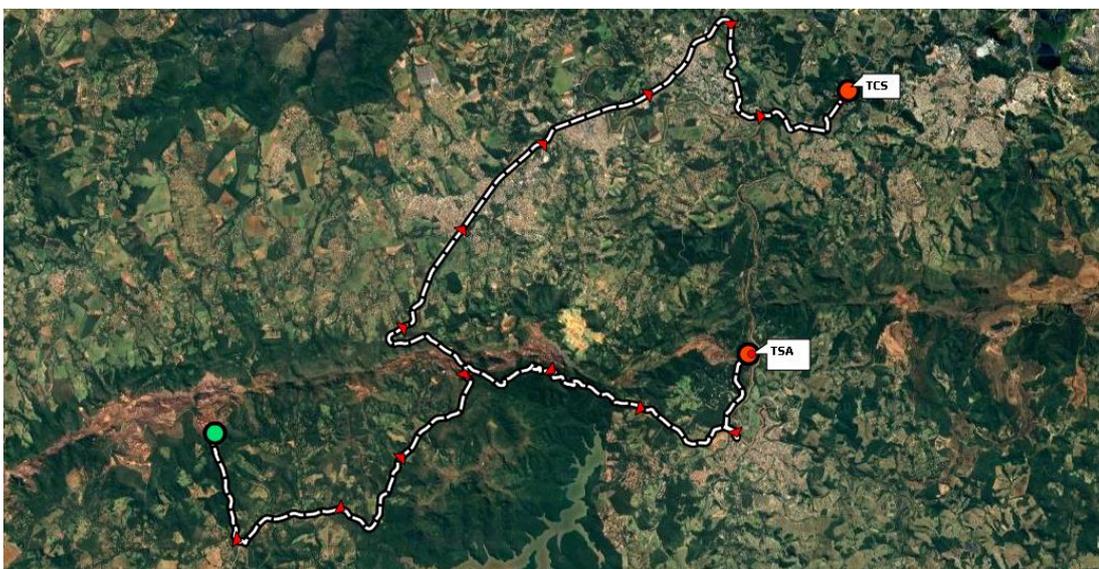
Figura 27 - Trajeto entre a Mineração ArcelorMittal e os terminais de carga (TSA e TCS)



Fonte: Autora (2023)

A Figura 28 apresenta o trajeto realizado para escoamento do minério de ferro produzido na Mineração Minerita até os terminais de carga TSA e TCS. A distância calculada entre a mina e o TSA é de 32 km e até o TCS é de 44,751 km.

Figura 28 - Trajeto entre a Mineração Minerita e os terminais de carga (TSA e TCS)



Fonte: Autora (2023)

A Figura 29 apresenta o trajeto realizado para escoamento do minério de ferro produzido na Mineração Morro do Ipê até os terminais de carga TSA e TCS. A distância calculada entre a mina e o TSA é de 15,96 km e até o TCS é de 44,7 km.

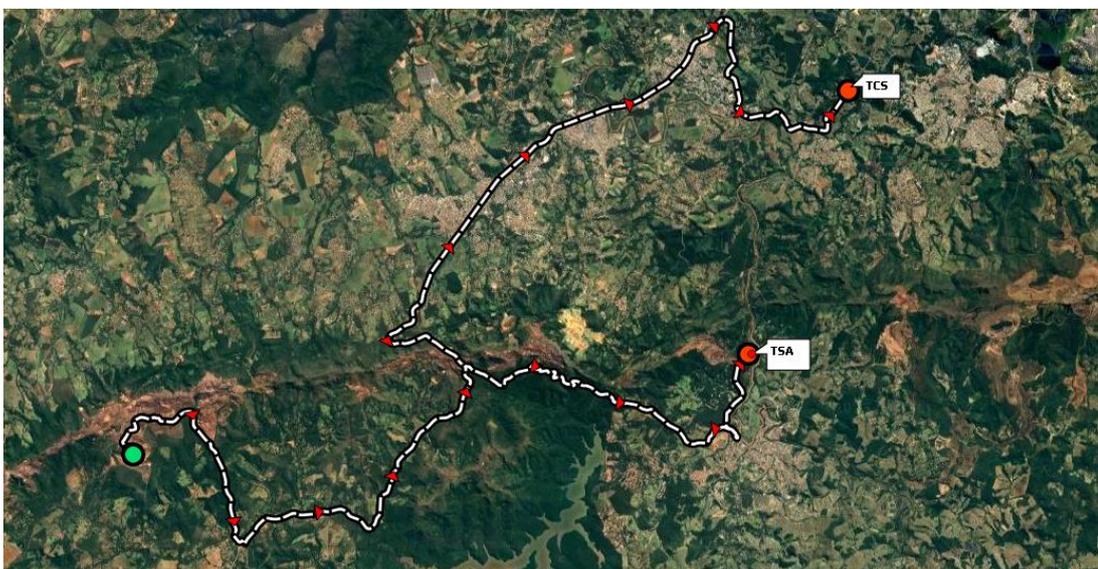
Figura 29 - Trajeto entre a Mineração Morro do Ipê e os terminais de carga (TSA e TCS)



Fonte: Autora (2023)

A Figura 30 apresenta o trajeto realizado para escoamento do minério de ferro produzido na Mineração Usiminas até os terminais de carga TSA e TCS. A distância calculada entre a mina e o TSA é de 36,7 km e até o TCS é de 49,5 km.

Figura 30 - Trajeto entre a Mineração Usiminas e os terminais de carga (TSA e TCS)



Fonte: Autora (2023)

Em resumo, a Figura 31 apresenta de forma resumida a localização das minerações em relação aos terminais intermodais de carga e Tabela 4 apresenta as distâncias calculadas entre os empreendimentos e os terminais de carga. Neste cálculo foi

verificado o terminal de carga mais próximo das mineradoras consideradas é o TSA e a Mineração Morro do Ipê é a que percorre o menor percurso pelo modo rodoviário.

Figura 31 - Localização das minerações em relação aos terminais de carga



Fonte: Autora (2023)

Tabela 4 - Distâncias percorridas entre as mineradoras e os terminais de carga

Empreendimento	TSA	TCS
Arcelormittal	34,343	47,107
Minerita	31,987	44,751
Morro do Ipê	15,965	28,252
Usiminas	36,779	49,543

Fonte: Autora (2023)

Considerando que a produção das quatro minerações analisadas será destinada para o TSA, a Tabela 5 apresenta a matriz de transporte até a disponibilidade no Porto de Itaguaí. Destaca-se que a distância ferroviária é de 631,3 km, conforme dados disponibilizados pela CNT (2015). Ademais, destaca-se que para fins de simplificação dos conceitos e cálculos, define-se o Porto de Itaguaí como parte intermediária e responsável pela exportação do minério.

Tabela 5 - Matriz transporte ferroviário

Mineração	Distância Transporte Rodoviário (Km)	Terminal Utilizado	Ferrovias	Distância Transporte Ferroviário (Km)	Porto
Arcelormittal	34,343	TSA	MRS	631,3	Porto de Itaguaí
Minerita	31,987	TSA	MRS	631,3	Porto de Itaguaí
Morro do Ipê	15,965	TSA	MRS	631,3	Porto de Itaguaí
Usiminas	36,779	TSA	MRS	631,3	Porto de Itaguaí

Fonte: Autora (2023)

4.4 Apresentação dos cenários para o transporte do minério de ferro produzido em Serra Azul até os portos para exportação

4.4.1 Geração de viagens:

Para identificação da demanda de viagens necessárias para o escoamento da produção anual das mineradoras consideradas neste estudo foram utilizados os dados de produção anual estimada obtidos no tópico 4.1, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Produção dos empreendimentos deste estudo

Mineração	Produção Anual (Ton)	Produção diária (365 dias) (Ton)
Arcelormittal	4.500.000,00	12.328,77
Minerita	3.600.000,00	9.863,01
Morro do Ipê	9.400.000,00	25.753,42
Usiminas	9.100.000,00	24.931,51

Fonte: Autora (2023)

4.4.2 Distribuição e divisão modal

Para realização do escoamento de produção, considera-se que toda a demanda gerada será direcionada para os portos para exportação. Por esse motivo, têm-se que esse sistema será intermodal, sendo transportada toda a demanda pelos modos de transporte rodoviário, ferroviário e aquaviário.

4.4.3 Carregamento dos veículos

Para o transporte rodoviário de minério utilizam-se carretas do tipo graneleiras basculantes, classificadas como 3S3, de acordo com o Manual do Dnit (2012). A Figura 32 apresenta a representação das carretas consideradas. Para atendimento as restrições de capacidade, os cálculos foram realizados considerando o carregamento de 28 toneladas por veículos.

Figura 32 - Veículo tipo - Modo rodoviário



(a)



(b)

Fonte: Autora (2023)

Para o transporte ferroviário, utiliza-se uma composição de 03 locomotivas e 163 vagões do tipo Gôndola para virador (GD), conforme Figura 33. Para os cálculos foi

definido o carregamento de 18.093 toneladas de minério de ferro (*wmt*) por composição ferroviária.

Figura 33 - Veículo tipo - Modo ferroviário



Fonte: Trens do Brasil (2023)

Para o transporte marítimo foi definido a utilização de navios tipo Capesizes que comportam, de acordo com a *Baltic Exchange* (2023), 210.000 toneladas de minério de ferro de porte bruto (*dmt*). A Figura 34 apresenta um navio *Capesizes*.

Figura 34 – Veículo tipo – Modo aquaviário



Fonte: MarineTraffic (2020)

4.4.4 Alocação da demanda de produção

A Tabela 7 apresenta a quantidade de veículos necessária em cada modo de transporte para atendimento à demanda diária das minerações avaliadas. Foi verificado que no total faz-se necessário a execução diária de 2,6 mil caminhões, 4 trens e 0,305 navio.

Tabela 7 - Matriz de distribuição modal – Volume diário de veículos

Mineração	Produção diária (wmt)	Produção diária (dmt)	Rodoviário (28 Ton)	Ferroviário (18.093 Ton)	Aquaviário (220.000 Ton)
Arcelormittal	12.328,77	11.342,47	440,313	0,681	0,052
Minerita	9.863,01	9.073,97	352,250	0,545	0,041
Morro do Ipê	25.753,42	23.693,15	919,765	1,423	0,108
Usiminas	24.931,51	22.936,99	890,411	1,378	0,104

Fonte: Autora (2023)

4.5 Avaliação dos custos de transportes considerando a matriz logística disponível para o transporte do minério produzido em Serra Azul até os portos

A Tabela 8 apresenta o valor do frete rodoviário utilizando a Equação 2 apresentada no capítulo 3.5, onde têm-se o valor mínimo de frete considerando a tabela de piso de frete divulgada pela ANTT. Considerando que a capacidade dos caminhões é de 28 toneladas foi verificado neste cálculo que custo médio para transporte de uma tonelada no modo rodoviário é de R\$11,92 sendo, portanto, o custo de R\$0,40 para transporte de uma tonelada por km rodado.

Tabela 8 - Valor frete rodoviário

Mineração	Transporte rodoviário	Valor do frete	Valor Por Tonelada
Arcelormittal	34,343	R\$ 358,20	R\$ 12,79
Minerita	31,987	R\$ 345,80	R\$ 12,35
Morro do Ipê	15,965	R\$ 261,45	R\$ 9,34
Usiminas	36,779	R\$ 371,02	R\$ 13,25

Fonte: Autora (2023)

Para determinação do valor do frete ferroviário, foi utilizado o simulador tarifário disponibilizado pela MRS. Com o cálculo, têm-se que o custo para transporte é de R\$101,28 por tonelada, conforme Figura 33. Para o modo ferroviário foi verificado, portanto, que o custo para transportar uma tonelada por um km é de R\$0,16.

Figura 35 - Valor frete ferroviário

TABELA 1 - TARIFAS DE REFERÊNCIAS	
ESCOLHA O PRODUTO:	
Minério de Ferro	
VIGÊNCIA:	DELIBERAÇÃO ANTT
01/08/2022	82/2022
CONCESSIONÁRIA: MRS Logística	
TABELA TARIFÁRIA PARA Minério de Ferro	
BASES DAS TARIFAS (NÃO INCLUÍDO O ICMS)	
FAIXAS QUILOMÉTRICAS VARIÁVEIS	
	R\$/T KM
FAIXA ÚNICA	0,1494
PARCELA FIXA	R\$/t 6,96
Distância Ferroviária (km):	631,3
	Tarifa em R\$/t
	101,28 <- Valor máximo homologado para a distância selecionada.

Fonte: Simulador tarifário MRS (2023)

Para determinação do custo de transporte marítimo será adotado o valor identificado por Gomes (2015), sendo R\$284,11 *dmt*. Para identificação da demanda fez-se necessário a conversão da produção de *wmt* para *dmt*., conforme Equação 3.

Portanto, a Tabela 9 apresenta os preços totais de transportes por tonelada atribuídos ao processo de escoamento de minério de ferro. Foi identificado que o empreendimento com menor custo total é a Mineração Morro do Ipê devido ao menor custo de transporte rodoviário por estar localizada mais próximo ao terminal de cargas. Para os demais modos de transportes, o valor para o transporte da tonelada permanece fixo.

Tabela 9 – Custo para transporte em cada modo por tonelada

Mineração	Rodoviário	Ferrovário	Aquaviário	Total
Arcelormittal	R\$ 12,79	R\$ 101,28	R\$ 284,11	R\$ 398,18
Minerita	R\$ 12,35	R\$ 101,28	R\$ 284,11	R\$ 397,74
Morro do Ipê	R\$ 9,34	R\$ 101,28	R\$ 284,11	R\$ 394,73
Usiminas	R\$ 13,25	R\$ 101,28	R\$ 284,11	R\$ 398,64

Fonte: Autora (2023)

A Tabela 10 apresenta os custos de transporte totais para o escoamento da produção diária dos empreendimentos analisados. Os custos estão apresentados na ordem de milhões de reais, somando no total 27,280 milhões de reais diários e 9,957 bilhões de reais anuais. Destaca-se que para o cálculo do valor de frete marítimo fez-se necessário a conversão da unidade de medida da produção diária de acordo com a Equação 3.

Tabela 10 - Custo para o transporte em cada modo por produção diária (em milhões de reais)

Mineração	Produção diária (wmt)	Produção diária (dmt)	Custo (Milhões R\$)			Total
			Rodoviário	Ferroviário	Aquaviário	
Arcelormittal	12.328,77	11.342,47	0,158	1,249	3,223	4,629
Minerita	9.863,01	9.073,97	0,122	0,999	2,578	3,699
Morro do Ipê	25.753,42	23.693,15	0,240	2,608	6,731	9,580
Usiminas	24.931,51	22.936,99	0,330	2,525	6,517	9,372
		Total	0,850	7,381	19,049	27,280

Fonte: Autora (2023)

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse contexto, considerando as quatro mineradoras deste estudo, foi identificado que o custo médio total para transporte de uma tonelada de minério de ferro até o porto de Qingdao é de R\$397,32, sendo: R\$11,93 (rodoviário) R\$101,28 (ferroviário) e R\$284,11 (aquaviário). Comparando o custo por km percorrido no modo ferroviário e rodoviário, têm-se que o custo médio para transportar uma tonelada de minério de ferro pela rodovia é de R\$0,40 e pela ferrovia é R\$0,16, confirmando a maior otimização dos custos de transportes quando utilizado o modo ferroviário para transporte desse tipo de produto.

Em 2020 o PIB do Estado de Minas Gerais foi de R\$682,786 bilhões (IBGE, 2022). Quando avaliado o custo total anual do transporte para as minerações estudadas têm-se que este representa 1,46% do PIB de 2020 e, quando comparado ao faturamento de minério de ferro no terceiro trimestre de 2022 que, de acordo com o IBRAM (2022) foi de R\$ 75,8 bilhões, têm-se que os custos de transportes representam 13,14% deste valor.

De acordo com a CNT em 2020 foram investidos R\$ 6,74 bilhões de reais em infraestrutura de transportes. Considerando apenas os empreendimentos avaliados, observa-se que o custo de transporte para um ano é 147,73% desse valor. Tal fato reforça a afirmação de Xiaowen (2020) pois, segundo o autor, a falta de investimentos e melhoria da logística de exportação brasileira torna-se um dos principais entraves para que o Brasil seja o principal exportador de minério de ferro

Considerando o preço final da *commodities*, de acordo com a bolsa de valores de Singapura (SGX), o preço médio da tonelada (*dmt*) do minério de ferro é de USD 114,00 (R\$ 569,886 considerando P-tax calculado na data de 26/05/2023). Comparando o preço com o custo identificado neste estudo, têm-se que o custo médio de transporte representa 70% do preço final do minério de ferro.

6. CONCLUSÃO

Quando o assunto é minério de ferro o Quadrilátero Ferrífero, localizado no Estado de Minas Gerais, torna-se destaque mundial devido à grande representatividade nas exportações brasileiras da *commodities* e qualidade do minério de ferro extraído na região. Tendo isso como base, e considerando que o custo de transporte é um dos principais custos atribuídos à cadeia logística, o presente estudo teve como objetivo apresentar os custos de transportes relacionados ao fluxo logístico adotado para o escoamento do minério de ferro produzido na região minerária de Serra Azul.

Para identificação do fluxo logístico foi considerado como objeto de estudo as mineradoras presentes no complexo minerário de Serra Azul (ArcelorMittal, Minerita, Morro do Ipê e Usiminas). Após o desenvolvimento desta pesquisa, foi identificado que devido à baixa eficiência logística da região faz-se necessário a utilização de três modos de transporte (rodoviário, ferroviário e aquaviário) para execução total do escoamento até a China e, devido à distância, esse processo conseqüentemente gera altos custos de fretes.

Desenvolvendo o modelo quatro etapa, proposto na metodologia deste estudo, foi identificado que, para as capacidades dos veículos tipos de cada modo de transportes, serão necessários 646,18 caminhões e 12,16 composições ferroviárias para abastecimento de 01 navio do tipo *Capesize*. Esse fato evidencia a baixa capacidade de escoamento pelo modo rodoviário e alerta para a necessidade de busca de novas alternativas de transportes que possibilitem maximizar a eficiência desse processo.

Portanto, considerando o grande potencial mineralógico da região estudada e a previsão de grandes investimentos nos empreendimentos presentes, demonstra-se com esse estudo que os custos de transporte atribuído ao escoamento do minério de ferro são altamente expressivos e, conseqüentemente poderá afetar a competitividade no momento da venda da *commodities* e a lucratividade das mineradoras. Considerando o modo de transporte rodoviário, observa-se que pode ser viável a fomentação de ideias para ampliação da malha ferroviária até uma área mais próxima dos empreendimentos, uma vez que o caminho percorrido por estes é o mesmo.

Destaca-se que em atendimento à proposta e pergunta inicial da questão, esse estudo limitou-se à identificação dos custos atribuídos ao processo de transportes, porém

tem-se diversos estudos complementares que podem ser desenvolvidos em complemento à essa pesquisa. Por isso, ressalta-se a possibilidade de análises futuras sobre o impacto desses custos no preço e comércio da *commodities* e/ou uma análise mais detalhada com todos os custos dos processos logísticos relacionados. Não obstante, devido ao evidente impacto em outras áreas, tem-se também a possibilidade de aprofundamento em estudos sobre o tráfego de veículos pesadas na região, análises de segurança viária e diversos outros temas que podem ser impactados com a demanda aqui apresentada.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Mônica do; ALMEIDA, Marina Soares; MORABITO, Reinaldo. **Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação**. *Gestão & Produção*, v. 19, p. 717-732, 2012.

ANDREAZZA, Mário. **Os transportes no Brasil: Planejamento e Execução**. Rio de Janeiro: Cia Brasileira, 1981. 63 p.

ARAUJO, Paulo Enéas Silva de. **Terminais Interiores de Contêineres**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 1983.

Arcelor-Mittal Brail S.A. **Relatório anual de demonstrações financeiras**. 2022. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/sala-imprensa/publicacoes-relatorios/brasil/demonstracoes-financeiras-2022>. Acesso: 15 maio 2023.

ARTERIS, Site Arteris. **Homepage concessionária Arteris**. 2023. Disponível em: <https://www.arteris.com.br/nossas-rodovias/fernao-dias/apresentacao/>. Acesso: 30 mai 2023

Associação Brasileira da Indústria Ferroviária. ABIFER. **Logística: Trem versus Caminhão**. 26 jun. 2018. Disponível em: < <https://abifer.org.br/logistica-trem-versus-caminhao/#:~:text=1%23%20%E2%80%93%20Numa%20dist%C3%A2ncia%20de%201,tanto%20quanto%20400%20carretas%20rodovi%C3%A1rias>>. Acesso: 16 junho 2022.

AZEVEDO, Úrsula Ruchkys de *et al.* **Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta**.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. BNDES.. **Minério de ferro. BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 39, p. 197-234, mar. 2014. Disponível em: < https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4802/1/BS%2039%20min%c3%a9rio%20de%20ferro_P.pdf >. Acesso: 223 mar. 2023.

BARAT, Josef. **A evolução dos transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE/IPEA, 1978.

BARAT, J. (2009). **Transporte de carga no Brasil. Desafios do desenvolvimento**, v. 55, n. 7, p 25. Disponível em: http://ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1066:catid=28&Itemid=23. Acesso: 16 jun. 2022.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / Logística Empresarial**. – 5.ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006. Disponível em: <https://redeprocurso.com.br/docs/T%C3%89CNICO%20EM%20LOG%C3%8DSTICA/Logistica%20Ballou.pdf>. . Acesso: 17 jun. 2022

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial**. Bookman editora, 2009. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=QAHrq0r6E7cC&oi=fnd&pg=PA1&dq=lgistica+empresatial+e+gerenciamento+da+cadeia+de+suprimentos&ots=keUY1336wg&sig=BpidiNCEDAqhXm9wY7I8OJM5ueo#v=onepage&q=lgistica%20empresatial%20e%20gerenciamento%20da%20cadeia%20de%20suprimentos&f=false>. Acesso: 29 abr. 2023.

BARRETO, Maria Laura et al. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. 2001. Disponível em: http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/922/1/mineracao_desenvolvimento_sustentavel.pdf. Acesso: em 23 jun. 2022.

BECARD, Danielly Silva Ramos. **O que esperar das relações Brasil-China?**. *Revista de Sociologia e Política*, v. 19, p. 31-44, 2011.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. Saraiva Educação SA, 2017.

BOENTE, Alfredo Nazareno Pereira et al. **A IMPORTÂNCIA DA INTERMODALIDADE / MULTIMODALIDADE NO TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL: USO DA LÓGICA FUZZY COMO FERRAMENTA DE AFERIÇÃO**. In: XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III INOVARSE—Responsabilidade Social Aplicada. 2016.

BOWERSOX, Donald J. et al. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. AMGH Editora, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=uy6VJHCz3CMC&oi=fnd&pg=PA11&dq=lgistica+empresatial+e+gerenciamento+da+cadeia+de+suprimentos&ots=xgceGFmes2&sig=hQmQmg54k0A3YXdR-CepHnFJiZY#v=onepage&q=lgistica%20empresatial%20e%20gerenciamento%20da%20cadeia%20e%20suprimentos&f=false>. Acesso: 29 abr. 2023

BRANSKI, Regina Meyer; FRANCO, Raul Arellano Caldeira; LIMA JUNIOR, Orlando Fontes. **Metodologia de estudo de casos aplicada à logística**. In: XXIV ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte. 2010. p. 2023-10. Disponível em: <http://www.lalt.fec.unicamp.br/scrifa/files/escrita%20portugues/ANPET%20-%20METODOLOGIA%20DE%20ESTUDO%20DE%20CASO%20-%20COM%20AUTORIA%20-%20VF%2023-10.pdf>. Acesso: 21 jun. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. ANM. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas**. Versão preliminar. [online]. Brasília: ANM. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. ANM. **Exploração mineral**. (s.d). Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral>. Acesso: em 22 jun. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Transporte Terrestre. ANTT. **Informações gerais sobre as rodovias**. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/informacoes-gerais>. Acesso: 22 jun. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Transporte Terrestre. ANTT. **Concessões ferroviárias**. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/concessoes-ferroviarias>. Acesso: 22 jun. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Transporte Terrestre. ANTT. **PORTARIA Nº 5, DE 17 DE FEVEREIRO DE 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-5-de-17-de-fevereiro-de-2023-465405537> . Acesso: 02 jun. 2023

BRASIL. Agência Nacional de Transporte Terrestre. ANTT. **Publicado Edital da BR-040/GO/MG**. 2013. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/168504 . Acesso: 22 jun. 2022

BRASIL. Agência Nacional de Transporte Terrestre. ANTT. **Caderno de estudos operacionais e de capacidade**. 2020. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/documents/359178/2363b4b0-9b6e-cc34-9151-ce1420f3f4e0>. Acesso: 22 jun. 2022

BRASIL. [Constituição (1988a)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, [2021]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9611.htm. Acesso: 21 jun. 2022

BRASIL. [Constituição (1988b)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, [2021]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9491.htm#art35. Acesso: 21 jun. 2022

BRASIL. Confederação Nacional do Transporte. **Anuário CNT do transporte, estatísticas consolidadas** 2021. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022> Acesso: 09 Mai. 2023.

BRASIL. Confederação Nacional do Transporte .CNT. 2021. **Pesquisa CNT das rodovias**. Disponível em: https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf. Acesso: 22 jun. 2022.

BRASIL. Confederação Nacional de transportes. CNT. 2015. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2015**. Disponível em: <https://cnt.org.br/pesquisa-cnt-ferrovias>. Acesso: 10 jun 2023.

BRASIL. Confederação Nacional do Transporte. CNT. Investimento realizado em infraestrutura de transporte no Brasil vem caindo, mostra levantamento da CNT. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/investimento-transporte-vem-caindo>.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT. 2012. **Quadro de fabricantes de veículos**. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/pesagem/QFV2012ABRIL.pdf>. Acesso: 5 abr 2023

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. DNPM. **Geologia e Mineração**. Disponível em: <https://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>. Acesso: 21 jun. 2022

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Produto Interno Bruto – PIB. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso: 23 abr 2023.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, SECEX - Secretaria de Comércio Exterior. 2018. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Mineração. Anuário mineral Brasileiro. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb-2021-ano-base-2020.pdf>. Acesso: 23 jun. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. DNPM. **Anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas**. 2023. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>. Acesso: 22 jun 2022

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. MMA. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2080>. Acesso: 08/06/2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. 2014. Transporte aquaviário. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/sistema-de-transportes/transporte-aquaviario..> Acesso: 1 abr. 2023.

BRASIL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. SEMAD. 2020. **Relatório de Visita Mineração Morro do Ipê**. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/9pMfhg37bmimM69pJfSxojPO37KkSbf1.pdf>. Acesso: 22 mai 2023

BRASIL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. SEMAD. 2019. **Certificado de Licença Operacional Minerita**. Disponível em: http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/SFQpTFK7IS_cXhLUhKbpfPK01ksn0aXp.pdf. Acesso: 22 mai 2023.

BRASIL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. SEMAD. 2020. **Parecer único Usiminas**. Disponível em: http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/11u1_Q2W16LLFV25FiMvH5hgmVLCwmEn.pdf. Acesso: 22 mai 2023.

BRASIL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. SEMAD. 2020. **Parecer Técnico de Licença Ambiental Simplificada (RAS)**. Disponível em: - https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/ZvDQp3kBYPSmtjahulBhmFRrF0Vmykk_.pdf. Acesso: 22 mai 2023.

BRTrem MRS - composição de vagões Caramuru reformados. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Vh5VjJCGmBU>>. Acesso: 17 abr. 2023.

CALABREZI, S. R. da S. **Multimodalidade para o transporte de cargas: identificação de problemas em terminais visando à integração dos modais aéreo e rodoviário**. Campinas: UEC, 2005.

CASTILLO. LexLatin. **Mineração Morro do Ipê adquire activos de MMX Sudeste**. Disponível em: <https://br.lexlatin.com/noticias/mineracao-morro-do-ipe-adquire-activos-de-mmx-sudeste>. Acesso: 17 mai. 2023.

CAXITO, F.; DIAS, T. G. Ferro. In: Pedrosa-Soares, A. C. et al. (Coords.). **Recursos Minerais de Minas Gerais On Line: síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, e meio ambiente e mineração de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), 2018. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Ferro.pdf>. Acesso: 23 jun. 2022.

CERBINO, Fábio Santos et al. **Diagnóstico do setor ferroviário brasileiro frente às expectativas com a renovação antecipada das concessões**. In: Anais do 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. 2019. p. 2146-2157.

CONCEIÇÃO, G. L. **A intermodalidade e multimodalidade logística no agronegócio nacional: uma síntese da literatura**. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2021/parte4/77-67-1-RV.pdf> . Acesso: em jun. 2022.

Council of Supply Chain Management Professionals. CSCMP. ACADEMIA: CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary Disponível em : https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_%20of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921. Acesso: Acesso: 22 jun. 2022.

COOPERATIVE SOLUTIONS FOR MANAGING OPTIMIZED SERVICES. **Intermodal Terminals**.2012. Disponível em: http://www.intermodal-cosmos.eu/content/intermodaltransport-in-south-east-europe/intermodal-basics/intermodalterminals/index_eng.html . Acesso: 22 jun. 2022.

CSN. Site CSN. Homepage Companhia Siderúrgica Nacional. 2023. Disponível em: <https://www.csn.com.br/quem-somos/grupo-csn/csn-mineracao/>. Acesso: 30 mai 2023

CODEBA - Companhia das Docas do Estado da Bahia. Disponível em: <<https://www.codeba.gov.br/eficiente/sites/portalcodoba/pt-br/site.php?secao=sistemaportuariobrasileiro>>. Acesso: 17 jun. 2023.

DA SILVA, Lucas Mendes; DE SOUZA DANEU, Rafael Carvalho; DE ALMEIDA SANTOS, Fernando. **O desempenho da exportação de minério de ferro em relação a produção para consumo interno no Brasil**. Revista Linceu On-Line, v. 9, n. 1, p. 46-59, 2019.

DE ASSIS, N. E. I. **Modelo de sistema de informação em ambiente livre para o transporte multimodal de carga**. 2007. Tese de Doutorado. Instituto Militar de Engenharia.

DE CARVALHO, José Mexia Crespo; CARDOSO, Eduardo Gomes. Logística. Sílabo, 2002.

DE MEDEIROS, Marciano Dantas. **O quadrilátero ferrífero: maior produtor de minerais metálicos do Brasil**. Disponível em: <https://professormarcianodantas.blogspot.com/2020/02/o-quadrilatero-ferrifero-maior-produtor.html>. Acesso: 26 mar. 2023.

DE MELO, Sylvio Carlos Bandeira et al. **Teorias de localização e de desenvolvimento regional**. Geografia, p. 1-23, 1976.

DEMARIA, M. **O Operador de Transporte Multimodal como Fator de Otimização de Logística**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Florianópolis: UFSC, 2004. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/87842>. Acesso: 21 jun. 2022

Derivatives - Singapore Exchange (SGX). Disponível em: <<https://www.sgx.com/derivatives>>. Acesso: 17 jun. 2023.

Diferentes tipos e tamanhos de navios (denominações e capacidades) – Logística Descomplicada. Disponível em: <<https://www.logisticadescomplicada.com/diferentes-tipos-e-tamanhos-de-navios-denominacoes-e-capacidades/>>. Acesso: 17 jun. 2023.

DONATO, Marina et al. Diagnóstico do setor ferroviário brasileiro frente às expectativas com a renovação antecipada das concessões. *Conjecturas*, v. 22, n. 1, p. 510-525, 2022

ENDO I.; et al. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil, Escala 1:150.000. Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero, Departamento de Geologia, Escola da Minas - UFOP, Ouro Preto. 2019.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório CGEE. 40 p., 2002. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/mineracao_e_meio_ambiente_no_brasil_1022.pdf/e86e431e-1a03-48d0-9a6e-98655ea257b6?version=1.0. Acesso: 07 de maio de 2022.

FERNANDES, Eunirio Zanetti. **Aplicação da caracterização tipológica ao planejamento de lavra de minério de ferro**. 2003.

FERREIRA, Rodrigo Fina. **Modelos para previsão do limite de umidade para transporte marítimo de finos de minério de ferro-TML**. 2019.

FIESP, Departamento da Indústria da Construção. **Pavimento de vias no Brasil : infraestrutura de transportes terrestres rodoviários e cadeias produtivas da pavimentação / FIESP**. – São Paulo : FIESP, 2017. 70 p. : il. Disponível em: <https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/observatoriodaconstrucao/2016/05/Deconcic-Pavimento-de-Vias-no-Brasil-2017.pdf> . Acesso: 21 jun. 2022

FILHO, Glauber Fernando Soares. **Transportes de carga no Maranhão: estudo sobre uso e eficiência dos modais de transporte de cargas**. 2019.

FLEURY, Paulo Fernando. *Gestão Estratégica do Transporte*. Revista Tecnológica, 2002

FLORENTINO, Mauro Silva et al. **Gestão de custo no transporte marítimo de cargas no Brasil**. 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. FEAM. **Projeto A Mineração de Ferro na Serra do Itatiaiuçu**. PJ.017.2010.MI.RF.02.07.2012.R0. Minas Gerais. 2012. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/serra_itatiaiuçu_part1.pdf. Acesso: 16. Mai. 2023.

FURTADO, João. **Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira**. São Paulo: Ed. dos Autores/IBRAM, 2013.

GALVÃO NOVAES, A.; SANTOS GONÇALVES, B.; COSTA, M. B.; DOS SANTOS, S. **Rodoviário, ferroviário ou marítimo de cabotagem? O uso da técnica de preferência declarada para avaliar a intermodalidade no Brasil**. TRANSPORTES, [S. l.], v. 14, n. 2, 2006. DOI: 10.14295/transportes.v14i2.64. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/64>. Acesso: 20 jun. 2022.

GIL, A. C. (1994) Como elaborar projetos de pesquisas. São Paulo: Editora Atlas. Disponível em: https://sgcd.fc.unesp.br/Home/helber-freitas/tcci/gil_como_elaborar_projetos_de_pesquisa_-anto.pdf. Acesso: em 21 jun. 2022.

GOMES, Daniella Maia. **Avaliação das Opções Reais de Conversão e Abandono para Uma Mineradora de Minério de Ferro Sob Cenário de Stress**. 2015. Tese de Doutorado.

GONÇALVES, R. J. de A. F. **No horizonte, a exaustão: disputas pelo subsolo e efeitos socioespaciais dos grandes projetos de extrativismo mineral em Goiás**. 2016. 504 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

GRNEWS. DER-MG conclui recuperação da rodovia MG-431 entre Pará de Minas e Itaúna. Disponível em: <<https://grnews.com.br/27122020/para-de-minas/der-mg-conclui-recuperacao-da-rodovia-mg-431-entre-para-de-minas-e-itauna>>. Acesso: 17 jun. 2023.

Instituto Brasileiro de Mineração. IBRAM. **Faturamento do setor mineral sobe 33% no 3o tri em relação ao 2o tri, mas decai 30% em relação ao 3o tri de 2021**. Disponível em: <<https://ibram.org.br/release/faturamento-do-setor-mineral-sobe-33-no-3o-tri-em-relacao-ao-2o-tri-mas-decai-30-em-relacao-ao-3o-tri-de-2021/>>. Acesso: 17 abr. 2023.

Instituto Brasileiro de Mineração. IBRAM. **Panorama da Mineração em Minas Gerais**. Brasília: 2016

Instituto Brasileiro de Mineração. IBRAM. **Setor Mineral 1º Trimestre. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)**, 2021. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/PDF_DADOS_1oTRIM20_16ABR20_FINAL-1.pdf. Acesso: 26 mar. 2023.

Instituto Brasileiro de Mineração. IBRAM. 2011. **Usiminas arrenda direitos da MBL e reforça presença em mineração**. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/usiminas-arrenda-direitos-da-mbl-e-reforca-presenca-em-mineracao/>. Acesso: 01 mai 2023

ILOS. Instituto de Logística e Supply Chain. **Custos Logísticos no Brasil - 2017**. ILOS, 2017. Disponível em: https://www.ilos.com.br/DOWNLOADS/PANORAMAS/Nova_Brochura%20_CustosLog2017.pdf. Acesso: 17 junho 2022.

Interactive Map. Disponível em: <<https://www.balticexchange.com/en/data-services/routes.html>>.

JULIO, Alessandra dos Santos et al. **O sistema de transporte ferroviário de carga no Brasil: das concessões aos novos projetos de expansão**. 2018.

KAWAMOTO, E. (2004). **Análise de sistemas de transporte**. 2. ed. São Carlos: Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/handle/RIEESC/6110>. Acesso: 18 jun. 2022

KRIPKA, Rosana; SCHELLER, Morgana; BONOTTO, Danusa Lara. **Pesquisa Documental: considerações sobre conceitos e características na Pesquisa Qualitativa**. CIAIQ2015, v. 2, 2015.

LAMOUNIER, W. M. **Patrimônio natural da Serra do Gandarela e seu entorno: análise ambiental como subsídio para a criação de unidades de conservação no Quadrilátero Ferrífero** – Minas Gerais. Dissertação (UFMG), 148 p. 2009

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. **Introdução ao tratamento de minérios**. 2018.

LOPES, Marcio. **O Minério de Ferro no Brasil : História, Maiores empresas e Mercado**. 2016. Disponível em: <https://tecnicoemineracao.com.br/minerio-de-ferro-no-brasil/>. Acesso: em 06 mai. 2022.

MAAS, Cesar Augusto. **Projeto de Terminais Intermodais de Carga Utilizando os Conceitos CADD e Simulação**. 2001. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas–SP.

MARTINS, R.; CAIXETA FILHO, J. O **desenvolvimento dos sistemas de transporte: auge, abandono e reativação recente das ferrovias**. Revista Teoria e Evidência Econômica, v. 6, n. 11, 11. Disponível em: <https://doi.org/10.5335/rtee.v6i11.4786>. Acesso: 21 jun. 2022.

MARTINS, Ricardo Silveira et al. **Fatores relevantes na contratação de serviços em terminais intermodais para granéis agrícolas**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 52, p. 347-364, 2014.

MBL. Site MBL, 2023. Homepage Mineração MBL. Disponível em: <https://grupombl.com.br/grupo-mbl/>. Acesso: 01 mai 2023

MIGUEL, Audrey Laize Peres Costa. **A infraestrutura brasileira e os desafios logísticos para o escoamento do minério de ferro para exportação**. 2013.

MILANEZ, Bruno; SANTOS, RSP. **A Rede Global de Produção (RPG) do minério de ferro: empresas, Estado e agentes de contestação**. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Sociologia. 2013.

MINERITA. Site Minerita, 2023. Homepage Mineração Minerita. Disponível em: <http://www.minerita.com.br/site/processos.php>. Acesso: 01 mai 2023

MORGADO, Andréa Vaz; PORTUGAL, L. S.; LIMA JÚNIOR, O. F. **Procedimento para Localização de Terminais Rodoviários Regionais Coletivos de Carga**. III Rio de Transportes, 2005.

MORGADO, Andréa Vaz. **Contribuição Metodológica ao Estudo de Localização de Terminais Rodoviários Regionais Coletivos de Carga**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 330. 2005.

MRS. Site MRS. Homepage Ferrovia MRS. 2023. Disponível em: <https://www.mrs.com.br/empresa/quem-somos/>. Acesso: 25 mai 2023

NETO, Castro et al. **Modelagem e simulação da cadeia produtiva do minério de ferro**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Nièrat, P. (1997) Market Area of Rail-Truck Terminals: Pertinence of Spatial Theory. Transportation Research 31(2):109-127

Observatório Nacional de Transporte e Logística. ONTL. **Panorama Transporte**. Março 2022, Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/publicacoes/panorama-transportes/>. Acesso: 22 jun. 2022.

PAIVA, Carlos. **Modelagem em Tráfego e Transporte**. Documento para Discussão. São Paulo, 2003

PAULA, Guilherme Vitor de. **O Transporte de cargas no Brasil: um comparativo entre os modais e as suas estruturas de custos**. 2016. 53 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Produção Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/155360>. Acesso: 20 jun. 2022

PÊGO, B.; CAMPOS NETO, C. A. S. **Infraestrutura econômica no Brasil: diagnósticos e perspectivas para 2025**. IPEA. Brasília, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3210>. Acesso: em 21 jun. 2022.

PEIXOTO, Maria Gabriela Mendonça. **Avaliação da eficiência operacional de terminais intermodais da região sudeste na cadeia logística de grãos por análise envoltória de dados**. 2013.

PEREIRA, M. A., ROSA, F. S. da, & LUNKES, R. J. (2015). **Análise da eficiência ferroviária no Brasil nos anos entre 2009 a 2013**. TRANSPORTES, 23(3), 56–63. <https://doi.org/10.14295/transportes.v23i3.909>. Acesso: 16 jun. 2022

PEREIRA, Ryan Brwner Lima; LOURES, Jacqueline. **LICENCIAMENTO AMBIENTAL DA EXTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS**. Revista do Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais, v. 36, n. 1, 2018.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Pró-Reitoria de Graduação. Sistema Integrado de Bibliotecas. **Orientações para elaboração de trabalhos científicos: projeto de pesquisa, teses, dissertações, monografias, relatório entre outros trabalhos acadêmicos, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**. 3. ed. rev. atual. Belo Horizonte: PUC Minas, 2019. Disponível em: www.pucminas.br/biblioteca. Acesso: 21 jun. 2022.

Port Technology International. PTI. 2022. Disponível em: <https://www.porttechnology.org/news/qingdao-port-becomes-the-worlds-first-hydrogen-powered-and-5g-intelligent-port/>. Acesso: em 30 mai 2023.

Port Technology International. PTI. Qingdao continues with smart port transformation after berths approved. 2020. Disponível em: <https://www.porttechnology.org/news/qingdao-continues-with-smart-port-transformation-after-berths-approved/>. Acesso: em 30 mai 2023.

PORTELLA, Márcio Oliveira. **Efeitos colaterais da mineração no meio ambiente**. Revista Brasileira de Políticas Públicas, Brasília, v. 5, nº 2, 2015 p.263-276. Disponível em: https://www.publicacoes.uniceub.br/RBPP/article/download/3410/pdf_1 Acesso: 07 de maio de 2022.

PORTO GENTE (ed.). **Vantagens da intermodalidade**. 1 jan. 2016. Disponível em: <https://portogente.com.br/portopedia/73023-vantagens-da-intermodalidade>. Acesso: Acesso: 16 jun. 2022

RIBEIRO, L.O.M. e BOENTE, A.N.P. (2014). **A Intermodalidade e o Transporte de Carga no Brasil: Uma Visão de Aplicabilidade na Lógica Fuzzy**. In: XVII SIMPOI, Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. Fortaleza, 2014, vol. 1, p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/11220549-Anais-a-intermodalidade-e-o-transporte-de-carga-no-brasil-uma-visao-de-aplicabilidade-na-logica-fuzzy.html>. Acesso: em 21 jun. 2022.

RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral; FERREIRA, Karine Araújo. **Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 23, 2002. Disponível em: <http://tecspace.com.br/paginas/aula/mdt/artigo01-MDL.pdf>. Acesso: em 21 de jun. 2022.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. **O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados**. Geonomos, v. 18, p. 34-37, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11598>. Acesso: 07 maio de 2022.

SANIELE, Bruna. **Produção do setor mineral cresce 7% em 2021 e faturamento aumenta 62%**. 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-02/producao-do-setor-mineral-cresce-7-em-2021-e-faturamento-aumenta-62> Acesso: 06 mai. 2022.

SANTOS, A.E. **Análise da utilização da intermodalidade no transporte das cargas da Usina CSN para o Nordeste**. 2008. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas) Instituto Militar de Engenharia – IME. Rio de Janeiro, 2008

SCHMIDT, E.L. **O sistema de transporte de cargas no Brasil e sua influência sobre a Economia**. 2011. 88f. Trabalho de Graduação (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/121082/298942.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso: 20 jun. 2022

SILVA, Danielle Karine. **Regularização ambiental de atividades minerárias em Minas Gerais**. 2013.

SILVA, Vitor Borges da. **Distribuição modal rodo-ferroviária em uma rede de exportação de açúcar a granel para o porto de Santos**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVEIRA JÚNIOR, A. (2016). **Metodologia multicritério para avaliar as condições de operação do transporte de carga por cabotagem no Brasil, sob a ótica dos armadores**. 2016. xvii, 234 f., il. Tese (Doutorado em Transportes) Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SOUZA, Leandro de Aguiar. **Do Quadrilátero Ferrífero ao Quadrilátero Aquífero: territorialidades conflitantes na produção de um espaço social extensivo à Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG**. GEOUSP. 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/188865>. doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2021.188865>. Acesso: em 07/06/2022.

SOUZA, C. D. R e D'Agosto, M. A. (2013) **Modelo de quatro etapas aplicado ao planejamento de transporte de carga**. Journal of Transport Literature, vol 7, n. 2.

SOUZA, W. T. **Considerações sobre a ocorrência e produção de minério de ferro**. Ouro Preto: MG: Editora UFOP, 1996.

TAHAROA DESTINY Ship Photos | AIS MarineTraffic. Disponível em: https://www.marinetraffic.com/en/photos/of/ships/shipid:665566/shipname:TAHAROA%20DESTINY?order=date_uploaded. Acesso: 17 jun. 2023.

TEDESCO, G. M. I. (2008) **Metodologia para elaboração do diagnóstico de um sistema de transporte**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília

TONIETTO, A.; SILVA, J. J. M. C. **Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil**. Revista brasileira de criminalística, v.1, n.1, pp. 31-38. 2011. Disponível em: https://revista.rbc.org.br/index.php/rbc/article/view/15/pdf_5. Acesso: 07 maio de 2022.

UNICEUB. Programa de Iniciação Científica — UniCEUB: Orientações para a elaboração de projetos de pesquisa. Brasília: Centro Universitário de Brasília, 2019. p. 01-11

USIMINAS. Site Usiminas. Homepage Mineração Usiminas. Disponível em: <https://www.usiminas.com/empresas/mineracao-usiminas/>. Acesso: 02 jun 2023

VASCONCELOS, João Antônio; BRANDÃO, Paulo Roberto G.; LEMOS, Lucas Nogueira. **Estudos de caracterização e concentração de itabirito compacto do Complexo Serra Azul, MG**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 9, n. 2, p. 89-94, 2013.

VENTURA, Magda Maria. **O estudo de caso como modalidade de pesquisa**. Revista SoCERJ, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

VIA040, Site Via040. Homepage concessionária Via040. 2023. Disponível em: <http://via040.com.br/pages/quem-somos>. Acesso: 25 mai 2023

VIANA, Maurício Boratto; BURSZTYN, Maria Augusta Almeida. **Regularização ambiental de minerações em Minas Gerais**. REM: Revista Escola de Minas, v. 63, p. 363-369, 2010.

VILLELA, J.; LOPES, J. T. **Os efeitos ambientais causados por acidentes no transporte ferroviário de produtos perigosos: Estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso em Especialização em Análise Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora. Universidade Federal de Juiz de Fora/MG, 2006. Acesso: 20 jun. 2022.

VIVEIROS, J. F. M. Serra do Itatiaiuçu– **O Futuro do Minério no Quadrilátero Ferrífero– Panorama e desafios após aquisições**. XIII Congresso Brasileiro de Mineração, Belo Horizonte, MG, set. 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/9189992-Serra-do-itatiaiuçu-o-futuro-do-minerio-no-quadrilatero-ferrifero-panorama-e-desafios-apos-aquisicoes.html>. Acesso: 01 mai 2023.

XIAOWEN, Wang. **Uma análise do comércio de minério de ferro entre a China e o Brasil: contexto, fatores de influência e perspectivas**. 2020.