UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES

MICHELLE XAVIER DE PAULA

SIDERURGIA SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE AMPLIADA DOS DESAFIOS DO CARVÃO VEGETAL COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Belo Horizonte

2021

MICHELLE XAVIER DE PAULA

SIDERURGIA SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE AMPLIADA DOS DESAFIOS DO CARVÃO VEGETAL COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares

Área de Concentração: Engenharia Nuclear e da Energia

Orientadora: Profª. Drª. Sônia Seger Pereira Mercedes

Coorientadora: Profª. Drª. Auxiliadora Maria Moura Santi

Belo Horizonte

2021

Paula, Michelle Xavier de.
P324s Siderurgia sustentável [recurso eletrônico]: uma análise ampliada dos desafios do carvão vegetal como estratégia para mitigação de emissões de dióxido de carbono / Bernardo Santos Lobato. - 2021.
1 recurso online (112 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Sonia Seger Pereira Mercedes.
Coorientadora: Auxiliadora Maria Moura Santi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexo: f. 107-110.
Apêndice: f. 101-106.
Bibliografia: f. 90-100

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia nuclear - Teses. 2. Carvão Vegetal – Teses.
3. Mudanças Climáticas – Teses. 4. Siderurgia – Teses.
I. Mercedes, Sonia Seger Pereira. II. Santi, Auxiliadora Maria Moura.
III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.
IV. Título.

CDU: 621.039(043)

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Letícia Alves Vieira - CRB-6/2337
Biblioteca Prof. Mário Werneck - Escola de Engenharia da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES

PCTN

FOLHA DE APROVAÇÃO

SIDERURGIA SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE AMPLIADA DOS DESAFIOS DO CARVÃO VEGETAL COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO

MICHELLE XAVIER DE PAULA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES, área de concentração ENGENHARIA NUCLEAR E DA ENERGIA.

Aprovada em 28 de julho de 2021, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Sonia Seger Pereira Mercedes - Orientadora
Departamento de Engenharia Nuclear - UFMG

Profa. Auxiliadora Maria Moura Santi - Coorientadora
UFOP

Profa. Telma Cristina Ferreira Fonseca
Departamento de Engenharia Nuclear - UFMG

Prof. Armindo dos Santos de Sousa Teodosio
PUC-MG

Profa. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino
UFOP

Belo Horizonte, 28 de julho de 2021.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

À Deus, por não ter me deixado desistir perante todos os percalços com que me deparei ao longo de toda a trajetória para chegar até aqui.

À minha família por todo o apoio e amor incondicional.

Ao Guilherme, pela enorme paciência e por fazer meus dias mais leves.

À Profª Auxiliadora Santi, por todo suporte, apoio e motivação. Não existem palavras que possam expressar o quanto sou grata.

À Profª Sônia Seger, por compatilhar uma pequena parte de seu vasto conhecimento e por todo cuidado e companheirismo, mesmo diante dos obstáculos da vida cotidiana.

À Aline, secretária do PCTN, por toda paciência e suporte.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho, pelo incentivo e conselhos.

Muito obrigada!!

RESUMO

A indústria siderúrgica brasileira sempre foi destaque no âmbito econômico e possui grande notabilidade no ranking mundial dos produtores de aço. A siderurgia é responsável por importante parcela das emissões de gases de efeito estufa e, apesar das emissões do setor siderúrgico brasileiro serem inferiores à dos países desenvolvidos, o País aderiu voluntariamente aos esforços mundiais para combater as mudanças climáticas. Em dezembro de 2009, foi sancionada a Lei Federal nº 12.187 que instituiu no Brasil a Política Nacional sobre Mudança do Clima visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono. O Decreto Federal nº 9.578, de 22 de novembro de 2018, regulamentou a referida Lei e consolidou os atos normativos que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e a Política Nacional sobre Mudança do Clima e instituiu, em seu Art. 17, o Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia. A proposta deste trabalho foi avaliar qual é a contribuição da siderurgia a carvão vegetal na mitigação da emissão de dióxido de carbono, um dos principais vilões do aquecimento global. Para isso, foram elaborados balanços de CO_2 para as siderúrgicas a carvão vegetal, com base no coeficiente de fixação de CO_2 do ciclo de produção do ferro-gusa e a produção anual média do setor em Minas Gerais. A metodologia utilizada fundamentou-se no método proposto pelo IPCC para estimar emissões de CO_2 da produção de ferro-gusa, por meio do alto-forno (IPCC, 2019) e em estudo exploratório de natureza qualitativa delineado por pesquisa bibliográfica baseada em relatórios técnicos e dados de órgãos e agências governamentais, publicações técnicas, artigos científicos, teses e dissertações de especialistas na área da indústria siderúrgica e sustentabilidade na siderurgia. Os resultados deste trabalho confirmaram que a utilização do carvão vegetal como termorredutor pela indústria siderúrgica contribui para a mitigação da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, sendo uma importante estratégia de contribuição para uma economia de baixo carbono, desde que não gere mais prejuízos ambientais e sociais, que são, atualmente, alguns dos maiores desafios do setor.

Palavras-chave: Siderurgia, Carvão vegetal, Mudanças climáticas.

ABSTRACT

The Brazilian steel industry has always been prominent in the economic sphere and has great notability in the world ranking of steel producers. The steel industry is responsible for a significant portion of global emissions of greenhouse gases and, despite the emissions of the Brazilian steel sector being lower than those of developed countries, the Country voluntarily joined the global efforts to combat climate change. In December 2009, Federal Law No. 12,187 was enacted, which instituted the National Policy on Climate Change in Brazil, aimed at consolidating a low-carbon economy. Federal Decree No. 9,578, of November 22, 2018, regulated the aforementioned Law and consolidated the normative acts that provide for the National Fund on Climate Change and the National Policy on Climate Change and instituted, in its Article 17, the Sectorial Plan for the Reduction of Steel Industry Emissions. The purpose of this work was to evaluate the contribution of charcoal steel in the mitigation of carbon dioxide emissions, one of the main villains of global warming. For this purpose, CO_2 balances were drawn up for charcoal-fired steel mills, based on the CO2 fixation coefficient of the pig iron production cycle and the average annual production of the sector in Minas Gerais. The methodology used, based on the method proposed by the IPCC to estimate CO_2 emissions from pig iron production, through the blast furnace (IPCC, 2019) and on an exploratory study of a qualitative nature outlined by bibliographic research based on technical reports and data from government agencies, technical publications, scientific articles, theses and dissertations by specialists in the area of the steel industry and sustainability in the steel industry. The results of this work confirmed that the use of charcoal as a thermo-reducer by the steel industry contributes to the mitigation of the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. It is an important strategy for a low carbon economy, as long as it does not generate more environmental damage and which are currently some of the biggest challenges in the sector.

Keywords: Steel Industry, Charcoal, Climate change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática de uma usina integrada a coque de carvão mineral 32
Figura 2: Representação esquemática de uma usina semi-integrada a coque de carvão mineral 33
Figura 3: Representação esquemática de uma usina independente de ferro-gusa..... 34
Figura 4: Representação esquemática da interdependência da mineração de ferro e da siderurgia 36
Figura 7: Esquema dos componentes do balanço hídrico do solo em plantações de eucalipto e pinus (idade de 5 anos) e de parcela adjacente contendo cerrado 41
Figura 8: Favorabilidade climática simulada para plantios florestais..... 46
Figura 9: Mapas de densidade da localização das florestas plantadas em 2010 e 2022 (simulado) 47
Figura 10: Áreas de árvores plantadas no Brasil por estado e por gênero 48
Figura 11: Distribuição e evolução da área com plantios de eucalipto, por estado, entre 2012 e 2018..... 48
Figura 12: Imagens base do mapeamento via satélite..... 49
Figura 13: Forno Rabo Quente 53
Figura 14: Forno de Encosta..... 53
Figura 15: Forno de Superfície 54
Figura 17: Forno de Superfície com Câmara Externa..... 54
Figura 18: Formo retangular de alvenaria..... 55
Figura 19: Fornos metálicos cilíndricos verticais 56
Figura 20: Forno JG-SCC 56
Figura 21: Container processo DPC 57
Figura 22: Processo simplificado de redução dos óxidos de ferro no alto-forno 61
Figura 23:Corte esquemático de um alto-forno..... 62
Figura 24:Imagens ilustrativas de produtos do alto forno (ferro gusa) 64
Figura 25: Balanço de CO2 no ciclo de fabricação do ferro-gusa tendo como termorredutor o carvão vegetal oriundo de florestas plantadas..... 71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais Elementos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)..... 22
Quadro 2: Principais elementos da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao Acordo de Paris. 24
Quadro 3: Fatores de emissão de carbono segundo o IPCC. 66
Quadro 4: Tarefas realizadas pelo carvoeiro nas carvoarias artesanais. 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição regional da produção independente de ferro-gusa em toneladas no ano de 2020 35
Tabela 2: Série histórica da produção brasileira de ferro-gusa a coque e a carvão vegetal, em toneladas 39
Tabela 3: Necessidade de Água de Algumas Culturas, Estado de São Paulo 42
Tabela 4: Características físicas das chuvas nas diversas regiões do Brasil 45
Tabela 5: Desempenho dos fornos de carbonização no Brasil 57
Tabela 7: Emissões de CO_2 durante o processo de carbonização 68
Tabela 8: Produção total de ferro-gusa no estado de Minas Gerais de 2011 a 2020, em toneladas 72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCM - Associação Brasileira de Carvão Vegetal

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

Ai - Ações Indicativas

AMIF - Associação Mineira da Indústria Florestal

APP - Áreas de Preservação Permanente

AR - Relatório de Avaliação do IPCC

BEN - Balanço Energético Nacional

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

CCX - *Chicago Climate Exchange*

CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

CFC – Clofluorcarbono

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

COP - Conferência das Partes

CPM8 - Conference of Meeting of Parties

CSN - Companhia Siderúrgica Nacional

D - densidade específica da madeira

DPC - *Drying, Pyrolisis, Cooling*

DRI - *Direct Reduced Iron*

ECO - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FC - fração de carbono

FEB - Fator de Expansão da Biomassa, para conversão de volume comercial para biomassa acima do solo;

GEE - Gases de Efeito Estufa

ONU - Organização das Nações Unidas

HBI - *Hot Briquetted Iron*

IBA - Indústria Brasileiro de Árvores

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFRS - Instituto Federal do Rio Grande do Sul

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDL - Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NDC - Contribuições Nacionalmente Determinadas

OIT - Organização Internacional do Trabalho

OMM - Organização Meteorológica Mundial

ONF - Objetivos Nacionais Florestais

PCI - *Pulverized Coal Injection*

PMFS - Plano de Manejo Florestal Sustentável

PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

R - Razão parte aérea da árvore (peso seco da parte aérea) / parte radical (peso seco das raízes)

RD - Redução Direta

RFC - *Reasons for Concern*

REED - Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação

RL - Reservas Legais

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

SINDIFER - Sindicato da Indústria do ferro no Estado de Minas Gerais

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

V - Volume comercial de uma árvore

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A SIDERURGIA BRASILEIRA 14
3. A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA BRASILEIRA 29
4. ESTIMATIVA E COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO NA SIDERURGIA EM MINAS GERAIS 64
4.1. Fatores de emissão de carbono 66
4.2. Balanço de co_2 no ciclo de fabricação do ferro-gusa a carvão vegetal 66
4.3. Estimativa das emissões de co_2 na siderurgia a coque em minas gerais 71
4.4. Análise comparativa dos resultados 72
5. CONFLITOS E INJUSTIÇAS SOCIAIS NA HISTÓRIA DA CADEIA SIDERÚRGICA BRASILEIRA ... 73
5.1. Territorialidade, trabalho, segurança e saúde 73
5.2. O trabalho escravo nas carvoarias 78
5.2.1. Atividades e condições de vida nas carvoarias 78
5.2.2. A escravidão contemporânea na cadeia siderúrgica 80
5.3. Produção de carvão vegetal a partir das matas nativas 82
5.4. A ética da responsabilidade 85
6. DISCUSSÃO, LIMITAÇÕES E CONCLUSÃO 87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90
APÊNDICE I 101
ANEXO I 107

1. INTRODUÇÃO

A indústria de ferro no Brasil iniciou em 1587 por meio da instalação das Forjas Catalãs para a produção de aço, localizadas na serra de Cubatão, na antiga freguesia de Santo Amaro, próximo a São Paulo. A primeira corrida do ferro-gusa líquido, foi obtida em alto-forno, em 1813, no Morro do Pilar em Minas Gerais. A primeira usina siderúrgica integrada implantada na América do Sul foi a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, inaugurada em 1925 na cidade de Sabará. A primeira usina integrada a coque, por sua vez, só se viabilizou com a implantação da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, na cidade de Volta Redonda, RJ, em 1941, como projeto do Governo Getúlio Vargas. Após 1957, o setor apresentou considerável ascensão com a implantação da indústria automobilística no estado de São Paulo. (JACOMINO *et al*., 2002), bem como a concentração da sua capacidade instalada no Estado de Minas Gerais.

No Brasil, a indústria siderúrgica sempre ocupou papel de destaque no âmbito da economia e o país ocupa posição de notoriedade no ranking mundial dos produtores de aço. O setor usufrui de matérias-primas abundantes no território brasileiro e, com produção diversificada, o setor atende a segmentos importantes da economia, especialmente transporte, construção civil e bens de capital.

Não tão recentemente comprovou-se que o contínuo desenvolvimento da sociedade bem como o incremento no ritmo de consumo da população mundial tem desencadeado uma série de problemas e desequilíbrios ambientais. Em 1987, a Organização das Nações Unidas – ONU, por meio da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, apresentou o Relatório *Bruntland* "Nosso Futuro Comum". O referido estudo apontou problemas ambientais, como o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio, e propôs um comportamento de conciliação do desenvolvimento econômico com o meio ambiente, dentro da proposta de "Desenvolvimento Sustentável", e a renovação do compromisso mundial, para que, dentre outras metas, se atingisse a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível tal para impedir a interferência antrópica perigosa no sistema climático mundial (IPCC, 1992).

A indústria siderúrgica tem apresentado níveis crescentes de produção nos últimos 50 anos, como tendência geral, e é mundialmente responsável por parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. Segundo o mais recente Relatório

das Estimativas Anuais de Emissão de Gases de Efeito Estufa, último publicado pelo Ministério do Meio Ambiente, em 2015 a siderurgia apresentou, dentre os subsetores industriais, a maior contribuição para a emissão de CO_2 no setor de processos industriais, sendo responsável por 51,1 % das emissões (Brasil, 2017).

Apesar das emissões de gases de efeito estufa das atividades econômicas desenvolvidas no Brasil serem consideravelmente inferiores às dos países desenvolvidos, o país aderiu voluntariamente aos esforços mundiais para combater as mudanças do clima, atestando seu compromisso com o Desenvolvimento Sustentável.

Nesse contexto, insere-se uma análise crítica do modelo atual de produção industrial, que permite compreender o juízo de valor do uso intensivo de recursos energéticos de origem fóssil. Basta observar que o setor industrial é o maior consumidor de energia do Brasil e sua matriz energética é constituída essencialmente por combustíveis fósseis.

Tendo como pano de fundo o Acordo de Paris e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, este trabalho propõe, então, analisar a contribuição da indústria siderúrgica, atividade importante no cenário econômico brasileiro e, em particular do estado de Minas Gerais, para a mitigação de emissões de dióxido de carbono, considerando a possibilidade do crescimento do emprego de carvão vegetal como termorredutor no processo siderúrgico, nas plantas atuais e naquelas que possam vir a ser implantadas, visando uma possível expansão da capacidade produtiva. Nesse aspecto considera-se ampliar a utilização do carvão vegetal como recurso energético considerando, principalmente, seu caráter renovável.

A indústria siderúrgica sempre ocupou papel de destaque no âmbito da economia brasileira por ser alicerce de várias cadeias produtivas, tais como construção civil, indústria automotiva, dentre outras. A siderurgia brasileira iniciou, em 1918, com carvão vegetal e parte dela opera com esse recurso energético até os dias atuais. Desde esta época o carvão vegetal sempre foi visto como um recurso energético medíocre e de baixo custo, obtido por atividades secundárias de desmatamento de florestas naturais, embora o cenário atual evidencie a presença de grandes siderúrgicas a carvão vegetal, como a Valourec (Belo Horizonte), Aperam (Timóteo), Arcelor Mittal (João Monlevade) e Gerdau (Barão de Cocais), por exemplo.

A proposta deste trabalho foi avaliar qual é a contribuição da siderurgia a carvão vegetal na mitigação da emissão de dióxido de carbono, o principal vilão do aquecimento

global. Para isso, foram elaborados balanços de CO_2 para as siderúrgicas a carvão vegetal, com base no coeficiente de fixação de CO_2 do ciclo de produção do ferro-gusa e a produção anual média do setor em Minas Gerais.

A metodologia utilizada fundamentou-se no método proposto pelo IPCC para estimar emissões da produção de gusa, por meio do alto-forno (IPCC, 2019) e em estudo exploratóriode natureza qualitativadelineado por pesquisa bibliográfica baseada em relatórios técnicos e dados de órgãos e agências governamentais, publicações técnicas, artigos científicos, teses e dissertações de especialistas na área da indústria siderúrgica e sustentabilidade na siderurgia.

O resultado permitiu quantificar a contribuição e ponderar as vantagens, desvantagens bem como as precauções a serem tomadas considerando a utilização do carvão vegetal como rota tecnológica sustentável a fim de cumprir do papel do setor siderúrgico no que tange à redução de emissão de gases de efeito estufa e o combate às mudanças climáticas, bem como o atendimento à legislação brasileira.

Este trabalho está organizado em cinco etapas de desenvolvimento: introdução; fundamentação teórica (abordando as mudanças climáticas; breve histórico da Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Setorial de Redução das Emissões na Siderurgia; análise das políticas e estratégias propostas pelo Brasil para a indústria siderúrgica; caracterização do setor siderúrgico brasileiro e os conflitos e injustiças sociais presentes na história da cadeia siderúrgica brasileira); metodologia utilizada; resultados e discussão e conclusão.

2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A SIDERURGIA BRASILEIRA

Na década de 1980, a Organização das Nações Unidas criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, com o objetivo de avaliar a situação ambiental mundial. O resultado do trabalho dessa comissão foi apresentado em um relatório formal intitulado *Nosso Futuro Comum* (ou Relatório *Brundtland*) no qual, além dos problemas ambientais mundiais identificados, foi proposto um novo modelo de desenvolvimento, conhecido como *Desenvolvimento Sustentável*.

No Relatório *Brundtland*, foram enfatizados problemas ambientais como o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio, que eram conceitos novos para a época, e expressou preocupação em relação ao fato da velocidade das mudanças no meio

ambiente estarem excedendo a capacidade do conhecimento e das habilidades humanas de avaliar e apresentar soluções para os problemas ambientais.

A preocupação com o aquecimento global, que tinha sido relatado pelos cientistas do clima, levou a Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações para o Meio Ambiente a criar, em 1988, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês, como é referenciado), com o objetivo de divulgar o conhecimento e as informações sobre as mudanças climáticas, indicando suas causas, efeitos e riscos para a humanidade e para o meio ambiente natural, além de sugerir meios para combatê-las.

Em 1992, foi realizada, na cidade do Rio de Janeiro, a *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*, a *Rio Earth Summit* (ECO-92), ocasião em que o conceito de Desenvolvimento Sustentável, proposto pela Comissão Brundtland, foi apresentado como proposta de modelo de desenvolvimento socioeconômico que se baseava na utilização racional dos recursos naturais. Dentre os importantes resultados da ECO-92, foram produzidas duas grandes convenções: a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e a Convenção sobre Diversidade Biológica.

O objetivo da Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, nos termos do Art. 2º é *"a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático".* Os países signatários comprometeram-se, assim, a elaborar uma estratégia global "para proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras". O Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, que somente começou a vigorar em 29 de maio de 1994, 90 dias depois de ter sido aprovada e ratificada pelo Congresso Nacional.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas publica, a cada quatro ou cinco anos, os resultados de suas investigações sobre as mudanças do clima nas diferentes regiões do Mundo, em Relatórios de Avaliação, e, desde 1990, quando o primeiro relatório foi disponibilizado, o comitê vem alertando à comunidade internacional sobre os riscos para os ecossistemas terrestres e mesmo para a humanidade, que o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre podem causar.

Porém, somente com a publicação do 5º Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), em 2014, em vista dos resultados ali apresentados, é que o mundo acordou para a gravidade da questão e para a urgência na adoção de medidas de mitigação dos impactos que as mudanças climáticas já estavam causando. Comprovou-se que a emissão de Gases de Efeito Estufa provenientes principalmente da larga utilização de recursos energéticos de origem fóssil (derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral) é uma das grandes responsáveis pelo fenômeno, em escala global.

> "O efeito estufa não é uma preocupação nova. Em 1827, o cientista francês Fourier sugeriu que a atmosfera terrestre aquece a superfície, deixando passar a radiação solar de alta energia e armazenando parte das longas ondas de radiação que voltam da superfície. Isto é causado por uma série de 'gases de efeito estufa', notavelmente dióxido de carbono e vapor d'agua. No final do século XIX, o cientista sueco Arrhemius postulou que o aumento do volume de dióxido de carbono, emitido pelas fábricas da Revolução Industrial estava mudando a composição da atmosfera, aumentando a proporção dos gases de efeito estufa, e que isso iria causar o aumento da temperatura da Terra"(AVZARADEL, 2010 *apud* BRACK *et al*., 1999).

Maior desafio da atualidade, as mudanças climáticas podem impactar a humanidade de maneira a causar insegurança alimentar, extinção de ecossistemas, escassez de água potável, elevação do nível dos oceanos, maior vulnerabilidade a extremos de ondas de calor, aumento na transmissão de doenças transmitidas por vetores e pela água, dentre outras diversas consequências. Há evidências de que os pontos de não retorno cruciais podem já ter sido alcançados ou ultrapassados, acarretando mudanças irreversíveis nos ecossistemas e no sistema climático planetário (IPCC, 2013; DIAS, 2018).

2.1. O painel intergovernamental de mudanças climáticas - IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) ou IPCC foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 1988. Seu principal objetivo é compartilhar e analisar informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes para a compreensão das mudanças climáticas de origem antropogênica, seus potenciais impactos e opções para sua mitigação e adaptação. O IPCC periodicamente publica relatórios de avaliação, desenvolve e aprimora diretrizes

de metodologia para elaboração de inventários nacionais de gases de efeito estufa, relatórios especiais e documentos técnicos (IPCC, 2020).

O IPCC é uma organização híbrida (política e científica), de caráter intergovernamental e envolve a contribuição voluntária de milhares de cientistas de centenas de países que, a cada relatório produzido, apresentam conclusões relevantes para que os tomadores de decisões se orientem, de acordo com suas vontades políticas, sobre o que fazer a partir disso. Sua característica híbrida ajusta-se ao objetivo de evitar a autonomia dos cientistas em situações chaves do desenvolvimento econômico: aquecimento global, emissões de gases de efeito estufa e o futuro de ramos centrais da economia (energia, agricultura e transportes) (LEITE, 2015).

Por meio de suas avaliações, expressas em seus relatórios, o IPCC indica o nível de conhecimento sobre mudanças climáticas de origem antropogênica, identifica lacunas nas áreas de pesquisa e apontam os tópicos onde há consenso na comunidade científica mundial. Os relatórios resultantes da avaliação do IPCC são neutros, relevantes para a política e não prescritivos. Assim, as avaliações constituem insumos fundamentais para as negociações internacionais e parafornecer aos formuladores de políticas avaliações científicas regulares sobre a mudança do clima, suas implicações e possíveis riscos futuros, bem como para propor opções de adaptação e mitigação (BRASIL, 2020).

Os Relatórios de Avaliação do IPCC são resultados dos esforços de cientistas de todo o mundo que avaliam regularmente uma vasta literatura científica, contribuindo para uma compreensão mais articulada de como o sistema climático funciona e como ele está mudando em resposta à atividade humana. Os cientistas estão divididos em três grupos de trabalho, cada um orientado para uma perspectiva diferente da ciência relacionada à mudança do clima. (IPCC, 2020; BRASIL, 2020)

O Grupo de Trabalho I é o grupo de Base da Ciência Física, cujos tópicos científicos avaliados incluem: gases de efeito estufa e aerossóis na atmosfera; mudanças de temperatura no ar, terra e oceano; o ciclo hidrológico e as mudanças nos padrões de precipitação (chuva e neve); clima extremo; geleiras e mantos de gelo; oceanos e nível do mar; biogeoquímica e o ciclo do carbono; e sensibilidade ao clima. Sua avaliação combina observações, paleoclima, estudos de processo, teoria e modelagem em uma imagem completa do sistema climático e como ele está mudando, incluindo a atribuição (ou causas) da mudança (IPCC, 2020).

O Grupo de Trabalho II é o grupo de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade, que avalia os impactos das mudanças climáticas, de uma visão global a uma visão regional dos ecossistemas e da biodiversidade, e dos humanos e suas diversas sociedades, culturas e assentamentos. Ele considera suas vulnerabilidades e as capacidades e limites desses sistemas naturais e humanos para se adaptarem às mudanças climáticas e, assim, reduzir os riscos associados ao clima, juntamente com opções para criar um futuro sustentável para todos por meio de uma abordagem equitativa e integrada aos esforços de mitigação e adaptação em todas escalas (IPCC, 2020).

O Grupo de Trabalho III é o grupo de Mitigação das Mudanças Climáticas, responsável por abordar todos os aspectos da mitigação, incluindo viabilidade técnica, custo e os ambientes propícios que permitiriam a adoção de medidas. Ambientes facilitadores abrangem instrumentos de política, opções de governança e aceitabilidade social. Para atender a essas necessidades, o Grupo de Trabalho III tem caráter altamente interdisciplinar (IPCC, 2020).

O Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC, publicado em 1990, lançou o alerta de que as emissões produzidas pelas atividades humanas aumentam substancialmente as concentrações atmosféricas dos gases que produzem o efeito estufa, como o dióxido de carbono, o metano, os clorofluorcarbono (CFC) e o óxido nitroso. Tais aumentos potencializam o efeito estufa e consequentemente, culminam no aquecimento da superfície da Terra. O Relatório elucidou, também, que a temperatura mundial aumentaria, em média, aproximadamente 0,3ºC a cada decênio, partindo do pressuposto do cenário de emissões daquela época, e tal incremento seria maior do que o registrado nos últimos dez mil anos. Como impactos, destacou queda do potencial agrário mundial, desaparecimento de ecossistemas devido à não capacidade de adaptação de algumas espécies, diminuição da diversidade biológica, escassez de água e, em algumas regiões, aumento das precipitações e umidade, deslizamentos de terra, inundações, secas extremas, ciclones e furacões (IPCC, 1992).

O Segundo Relatório de Avaliação do IPCCfoi publicado em 1995, não apenas atualizando as informações sobre os mesmos tópicos do Primeiro Relatório, mas incluindo uma nova área sobre as questões técnicas relacionadas aos aspectos econômicos da mudança climática. Com isso, o IPCC estabeleceu-se como referência de informações técnicas e científicas sobre mudança climática cujo objetivo subjacente é fornecer informações para alicerçar políticas de estabilização de emissões de gases de

efeito estufa em algum nível, que ainda necessita ser precisamente quantificado, mas que é definido como um que irá evitar interferência antropogênica perigosa ao sistema climático (IPCC, 1995).

O Terceiro Relatório de Avaliação do IPCCfoi publicado em 2001 e introduziu o conceito de "*Reasons for Concern* – RFCs", em português, "Motivos de Preocupação", que consiste no estabelecimento de cinco motivos de preocupação integrativos que fornecem uma estrutura para sumarizar os principais impactos e riscos entre os setores e regiões ilustrando, também, as implicações do aquecimento global para as pessoas, economias e ecossistemas. Os "Motivos de Preocupação" ou RFCs, da sigla em inglês, são:

- **"RFC1 – Sistemas Únicos e Ameaçados:** são sistemas ecológicos e humanos que possuem amplitudes geográficas restritas limitadas por condições relacionadas ao clima e possuem alto endemismo ou outras propriedades distintivas. São exemplos os recifes de coral, o Ártico e seu povo indígena, geleiras de montanha
  e *hotspots* de biodiversidade.
- **RFC2 – Eventos climáticos extremos:** riscos/impactos à saúde humana, meios de subsistência, bens e ecossistemas causados por eventos climáticos extremos, tais como ondas de calor, chuvas intensas, secas e incêndios florestais associados e inundações costeiras.
- **RFC3 –Distribuição de impactos:** riscos/ impactos que afetam desproporcionalmente grupos específicos devido à distribuição desigual dos perigos físicos da mudança do clima, exposição ou vulnerabilidade.
- **RFC4 – Impactos agregados globais:** danos monetários globais, degradação em escala global e perda de ecossistemas e biodiversidade.
- **RFC5 – Eventos singulares em larga escala:** são mudanças relativamente grandes, abruptas e por vezes irreversíveis nos sistemas causadas pelo aquecimento global. São exemplos a desintegração dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida." (IPCC, 2001)

O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, AR4, publicado em 2007, resume as mudanças observadas no clima, seus efeitos sobre os sistemas naturais e humanos, e, também, avalia as causas das alterações observadas. O estudo apresenta projeções de futuras mudanças climáticas e os impactos relacionados sob a ótica de diferentes cenários, discute opções de adaptação e mitigação para as próximas décadas e suas interações com o modelo de desenvolvimento sustentável, incluindo, também, as principais descobertas e incertezas restantes acerca do tema (IPCC, 2007).

O Quinto Relatório de Avaliação, AR5, publicado em 2014, definiu com precisão que a influência humana no sistema climático é clara, e as recentes emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa são as mais altas da história. O aquecimento do sistema climático é indubitável (cada uma das últimas três décadas foi sucessivamente mais quente na superfície da Terra do que qualquer década precedente desde 1850) e, tais mudanças no clima causaram impactos em sistemas naturais e humanos em todos os continentes e através dos oceanos, indicando a sensibilidade de sistemas para a mudança do clima.

A emissão continuada de gases de efeito estufa intensificará o aquecimento global e causará mudanças significativas e duradouras em todos os componentes do Sistema Climático, aumentando a probabilidade de impactos graves, generosos e irreversíveis para pessoas e ecossistemas. Assim, reprimir a mudança climática exige políticas e ações ambiciosas, em nível mundial, para reduções substanciais e sustentadas das emissões de gases de efeito estufa que, somados a adaptação e colaboração mútua, podem reduzir os perigos da mudança climática (IPCC, 2014).

O Sexto Relatório de Avaliação, AR6, está em processo de desenvolvimento e programado para ser publicado em 2022.

A ênfase em torno do aquecimento global antropogênico foi fortalecida gradativamente com o trabalho do IPCC desde sua criação. Isso implicou no aumento da visibilidade da climatologia, ampliação das pesquisas na área, aumento dos recursos disponíveis, do prestígio e reconhecimento dos cientistas envolvidos, fortalecendo e tornando o IPCC uma referência mundial sobre o assunto, trazendo para os holofotes da política e da mídia mundial a produção de uma comunidade científica, suas controvérsias e sua dinâmica interna (LEITE, 2015).

2.2. A Conferência das Partes

A Conferência das Partes (*Conference of the Parties*) – COP é o órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, legitimada em 1992. Trata-se de uma convenção universal de princípios que reconhece a existência da mudança climática de causa antropogênica e atribui maior peso à responsabilidade dos

países mais industrializados. A Conferência das Partes -COP é constituída por todos os Estados Partes presentes e votantes, isto é, os representantes dos países.

Ao adotar a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, os governos reconhecem sua importância para impulsionar estratégias mais contundentes para o futuro a partir da definição permanente revisões, discussões, troca de informações e adoção de compromissos ambiciosos em resposta a mudanças resultantes do aprimoramento do conhecimento científico e das disposições políticas.

O Art. 7 da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima estabelece que a Conferência das Partes:

- examine regularmente as obrigações das Partes e os mecanismos institucionais estabelecidos;
- promova e facilite o intercâmbio de informações sobre medidas adotadas pelos países membros para enfrentar a mudança do clima e seus efeitos;
- promova o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de metodologias para elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa;
- avalie a eficácia de medidas para limitar as emissões e aumentar a remoção desses gases.

Ao final de cada Conferência das Partes, um conjunto de decisões e estratégias é adotado para conduzir as atividades das Partes durante o período posterior. As COP são nominadas pelas cidades que sediam o evento. O Apêndice I apresenta um compilado de todas as Conferências das Partes que aconteceram até 2020 e algumas de suas peculiaridades e deliberações.

2.3. Breve histórico da Política Nacional sobre Mudança do Clima

A Política Nacional Sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, foi criada em meio à intensificação da discussão internacional acerca das mudanças climáticas. Esse marco regulatório foi resultado dos compromissos assumidos pelo Brasil, junto a outros países, para atingir os objetivos da Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima das Nações Unidas. Suas principais características e componentes, assim como arranjo institucional, estão resumidos no Quadro 1.

MARCO LEGAL	LEI Nº 12.187/2009
OBJETIVOS	Promover o desenvolvimento sustentável com a proteção do sistema climático; reduzir emissões de gases do efeito estufa de diferentes fontes, bem como fortalecer as remoções desses gases por sumidouros; implementar medidas de adaptação à mudança do clima; preservar, conservar e recuperar os recursos naturais; consolidar e expandir áreas legalmente protegidas e; estimular o desenvolvimento de um Mercado Brasileiro de Redução de Emissões. Os objetivos da Política Nacional sobre Mudança do Clima deverão estar em consonância com o desenvolvimento sustentável a fim de buscar o crescimento econômico, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades sociais.
COMPROMISSO NACIONAL VOLUNTÁRIO	Redução esperada entre 36,1% a 38,9% das emissões de gases de efeito estufa projetadas para 2020 (BAU – Business As Usual).
INSTRUMENTOS	Entre os instrumentos previstos na PNMC figuram o Plano Nacional sobre Mudança do Clima; o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima; os Planos de ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento – Amazônia, Cerrado; Planos para Mitigação e Adaptação para a Agricultura, Energia e Carvão Vegetal, assim como a Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC. Também constam como instrumentos da política, entre outros, as resoluções do Comitê Interministerial do Clima (CIM), o uso de medidas fiscais e tributárias, linhas de crédito e financiamento, linhas de pesquisa por agências de fomento, e, medidas financeiras e econômicas referentes à mitigação e à adaptação à mudança do clima.
REGULAMENTAÇÃO	Decreto no 7.390/2010, que apresenta a projeção das emissões para 2020, e o Compromisso Nacional Voluntário Setorial – revogado pelo Decreto nº 9.578, de 2018.
GESTÃO E ARRANJOS INSTITUCIONAIS	Os instrumentos institucionais, no âmbito governamental, são o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) e a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia (CMCH). A governança atual do CIM está estabelecida no Decreto nº 10.145, de 28 de novembro de 2019, que institui, entre outros, suas competências e a composição. O CIM tem caráter permanente e tem a finalidade de estabelecer diretrizes, articular e coordenar a implementação das ações e políticas públicas do País relativas à mudança do clima. O CIM possui um órgão deliberativo, o Conselho de Ministros, que é composto por 9 Ministros de Estado: I - Chefe da Casa Civil da Presidência da República, que o presidirá; II - das Relações Exteriores; III - da Economia; IV - da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; V - do Desenvolvimento Regional; VI - de Minas e Energia; VII - da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; VIII - do Meio Ambiente; e IX - da Infraestrutura. No âmbito da sociedade civil, o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) e a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA) também são instrumentos institucionais que auxiliam na implementação da Convenção.

Quadro 1: Principais Elementos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) Fonte: Brasil (2020)

A trajetória que culminou na instituição da Política Nacional sobre mudança do Clima iniciou em 1995, quando foi realizada a primeira revisão da adequação dos compromissos dos países desenvolvidos na primeira sessão da Conferência das Partes (COP-1), em Berlim. Na sessão concluiu-se que o compromisso dos países desenvolvidos de voltar suas emissões para os níveis de 1990 era inadequado para o objetivo a longo prazo da Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima. Assim, foi constituído um grupo cujo objetivo foi elaborar um esboço de um acordo a ser apresentado na COP-3 para negociação final, a ser realizada em Quioto, no Japão, e culminou na decisão de adotar um Protocolo segundo o qual, durante o primeiro período do compromisso, os países industrializados reduziriam suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período

entre 2008 e 2012. No segundo período do compromisso, entre 2013 e 2020, as Partes se comprometeram em reduzir emissões em pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990 no período entre 2013 e 2020. Cada país negociou suas próprias metas de redução das emissões segundo a capacidade de atingi-la no período considerado. O Brasil ratificou o Protocolo de Quioto, em 23 de agosto de 2002, tendo sua aprovação interna se dado por meio do Decreto Legislativo nº 144 de 2002 (BRASIL, 2002).

Em 2009, foi realizada, em Copenhague, Dinamarca, a COP15 e teve como objetivo estabelecer as metas de redução de gases de efeito estufa para o período entre 2013 e 2020. O evento resultou no Acordo de Copenhague que, diante de vários impasses nas negociações, culminou na decisão de que o texto deveria funcionar como um "adendo" à Conferência das Partes -COP, sem caráter decisório nem juridicamente vinculante como era esperado. Tal decisão pôs em xeque que suas implicações práticas fossem questionadas, uma vez que o acordo não foi formalmente adotado como resultado das negociações. No Acordo de Copenhague os países desenvolvidos assumiram o compromisso de contribuir com US$ 10 bilhões ao ano, entre 2010 e 2012, e com US$ 100 bilhões por ano a partir de 2020, destinados às ações visando a mitigação e a adaptação dos países mais pobres e, portanto, mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas (ONU, 2009).

A 21ª sessão da Conferência das Partes – COP 21, ocorreu no final de 2015, na cidade de Paris, na França, e seu objetivo foi enfatizar a urgência da necessidade de promover esforços mais ambiciosos para limitar o aumento da temperatura da atmosfera terrestre em até 1,5º C acima dos níveis pré-industriais e acelerar a implementação do Protocolo de Quioto. Dos esforços, foi proposto o Acordo de Paris a fim de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança climática e reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças (BRASIL, 2016).

O Brasil, que teve papel fundamental na COP21, ratificou o Acordo de Paris em setembro de 2016, quando comprometeu-se a adotar medidas para redução das emissões de GEE por meio de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, no acrônimo em inglês), conforme Quadro 2. Além disso, em dezembro de 2017, o Brasil ratificou a Emenda de Doha ao Protocolo de Quioto (BRASIL, 2016)

NDC	INFORMAÇÕES
Contribuição	Reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025
Contribuição indicativa subsequente	Reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025
Contribuição indicativa subsequente	Reduzir as emissões de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.
Tipo	Meta absoluta com relação a um ano-base
Abrangência	Todo o território nacional, para o conjunto da economia, incluindo CO2, CH4, N2O, perfluorocarbonos, hidrofluorcarbonos e SF_6
Ponto de referência	2005
Horizonte temporal	Meta para o ano de 2025; valores indicativos de 2030 apenas para referência
Métrica	Potencial de Aquecimento Global em 100 anos (GWP-100) usando valores do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2014)
Abordagens metodológicas, inclusive para estimativa e contabilização de emissões antrópicas de gases de efeito de estufa e, conforme apropriado, remoções	Abordagem baseada em inventário para estimativa e Contabilização das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. O compromisso considera o papel das unidades de conservação e das terras indígenas como áreas de vegetação protegida, em conformidade com as diretrizes aplicáveis do IPCC para estimar remoções de gases de efeito estufa
Utilização de mecanismos de mercado	O Brasil se reserva o direito de utilizar quaisquer mecanismos de mercado que venham a ser estabelecidos sob o Acordo de Paris. O governo brasileiro enfatiza que quaisquer transferências de unidades provenientes de resultados de mitigação alcançados no território brasileiro serão sujeitas ao consentimento prévio e formal do governo federal. O Brasil não reconhecerá o uso por outras Partes de quaisquer unidades provenientes de resultados de mitigação alcançados no território brasileiro que forem adquiridas por meio de qualquer mecanismo, instrumento ou arranjo que não tenha sido estabelecido sob a Convenção, seu Protocolo de Quioto ou seu Acordo de Paris

Quadro 2: Principais elementos da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao Acordo de Paris. Fonte: BRASIL (2020)

Em 2019, dez anos após sua criação, a Política Nacional sobre Mudança do Clima foi escolhida para ser avaliada pela Comissão de Meio Ambiente do Senado Federal. A escolha ocorreu devido ao aumento da percepção de urgência de ações mais contundentes para conter a emergência climática e à deterioração da política climática brasileira, com extinção de áreas de referência nas pastas de meio ambiente e relações exteriores, paralisia de toda a estrutura de governança, descontinuidade na implementação dos instrumentos da Política, incluindo importantes mecanismos

financeiros (como o Fundo Clima e o Fundo Amazônia) e a recusa do País a sediar a 25ª Conferência das Partes (COP-25) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) (BRASIL, 2019).

A análise feita pela Comissão do Meio Ambiente do Senado Federal foi executada sob o recorte de dois períodos distintos: o intervalo entre 2009 e 2018 e o ano de 2019 isoladamente. O primeiro período caracteriza-se pela expressiva evolução do quadro institucional e legal sobre mudança do clima no Brasil, tornando o tema parte de sua agenda de desenvolvimento, envolvendo setores-chave, sociedade civil e todas as esferas governamentais. O segundo período foi marcado por fortes ataques às estruturas de governança da política climática, descontinuidade de seus planos e programas, extinção das competências e das unidades da administração pública relacionadas à mudança do clima, principalmente no Ministério do Meio Ambiente (MMA), palidez da presença do Brasil no cenário das negociações internacionais sobre o tema, expressivo aumento das taxas de desmatamento na Amazônia, inviabilizando alcançar a meta de redução da taxa de desmatamento em 80% até 2020, prevista na Política Nacional sobre Mudança do Clima, o que até então, parecia facilmente alcançável (BRASIL, 2019).

As dificuldades de implementação da PNMC já eram previsíveis e a complexidade da avaliação da Política Nacional sobre Mudança do Clima está alicerçada em dois pilares principais: a ausência de monitoramento, uma vez que o governo brasileiro não adotou metodologias e mecanismos apropriados para mensurar os impactos da implementação dos instrumentos da PNMC sobre os seus objetivos e a ausência de cooperação do Governo Federal, responsável pela condução da Política (BRASIL, 2019).

2.4. Plano Setorial de Redução das emissões na Siderurgia – breve análise das políticas e estratégias propostas pelo Brasil para a Indústria Siderúrgica

Em dezembro de 2009, foi sancionada pelo Presidente da República a Lei Federal nº 12.187, que instituiu no Brasil a Política Nacional sobre Mudança do Clima e que determinou que o Poder Executivo estabelecesse, em consonância com esta Lei, os Planos Setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono.

Após a instituição da PNMC, o desenvolvimento dos planos de ação para prevenção e controle do desmatamento nos biomas e dos planos setoriais de mitigação e adaptação à

mudança do clima permitiram a internalização do tema em áreas onde ele não era assunto relevante nem prioritário.

Dos setores industriais, a Siderurgia se posiciona como o maior emissor de gases de efeito estufa no Brasil. O Plano Setorial de Redução das Emissões na Siderurgia surgiu em 2010 e traçou um cenário de baixas emissões para a produção de ferro-gusa com carvão vegetal renovável, com metas para 2020, visando não apenas a promover a redução de emissões assumida voluntariamente no âmbito do Acordo de Copenhague, mas, principalmente, à modernização do processo de produção do carvão vegetal necessária para consolidar a sustentabilidade da produção do ferro-gusa a carvão vegetal, visto que a maior parte do insumo ainda é obtido a partir de processos artesanais em fornos de alvenaria, envolvendo trabalho semi-escravizado (quando não em condições de escravização) e muitas vezes, utilizando madeira de matas nativas.

O plano de ação foi alicerçado por dois pilares fundamentais:

(I) expansão do estoque de florestas plantadas;

(II) melhoria da eficiência e da qualidade ambiental do processo de carbonização (BRASIL, 2010).

Para atingir os objetivos propostos, as ações para indução da melhoria da eficiência e qualidade ambiental do processo de carbonização consistiram na criação da Comissão de Estudo Especial da Produção de Carvão Vegetal, em 2010, cujo objetivo previu elaboração de normas técnicas para o setor estabelecendo critérios de qualidade para o processo, produto e pessoal empregado na atividade.

O Plano Setorial de Redução das Emissões na Siderurgia começou a ser esboçado, porém, não foi concluído e está disponibilizado no formato de um resumo executivo que não contempla ferramentas metodológicas para as intervenções propostas, partindo diretamente para os objetivos, projeções de cenários de emissão e ações previstas, isto é, não há adequação do conteúdo mínimo esperado para sua plena execução.

Um de seus objetivos previa a expansão do estoque de florestas plantadas com uma parcela adicional de 2 milhões de hectares até 2020. Segundo dados do IBGE, em 2018 o Brasil possuía aproximadamente 7,54 milhões de hectares de florestas de eucalipto. Em 2013 esse número era de aproximadamente 6,31 milhões. Logo, objetivo de expansão do estoque com parcela adicional de 2 milhões de hectares não foi alcançado.

Essa área não deve ser toda para a fabricação de carvão vegetal, pois grande parte das plantações de eucalipto se destinam à fabricação de celulose (Aracruz, no ES; CENIBRA, em MG, por exemplo).

Em 2018 o Governo Federal publicou o Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas que visa atender aos setores que utilizam essa matéria prima em seu processo de produção (siderurgia e papel e celulose, por exemplo) e que apresenta um diagnóstico do setor, destacando os principais aspectos ambientais, sociais e econômicos associados ao manejo das florestas plantadas e sua indústria; as possíveis relações entre as diferentes políticas públicas relacionadas ao tema e analisa gargalos e oportunidades para o setor, propondo, ao final, uma lista de Objetivos Nacionais Florestais (ONF) e Ações indicativas (Ai) para o alcance de tais objetivos. Em tal plano, mais uma vez, a meta é ampliar a área de florestas plantadas em 2 milhões de hectares, adiando a meta para o ano de 2030 (BRASIL, 2018).

Outro objetivo do Plano Setorial de Redução das Emissões na Siderurgia é o estímulo à modernização da cadeia produtiva de carvão vegetal para melhoria da eficiência e qualidade ambiental dos processos de carbonização da madeira. Para isso, o plano de ação sugerido propôs a elaboração de três Normas Técnicas para o setor, estabelecendo critérios de qualidade para o processo, produto e pessoal empregado na atividade de carvoejamento.

Nesse contexto foi criada uma Comissão de Estudo Especial de Produção Sustentável de Ferro Gusa a Carvão Vegetal (ABNT/CEE-201) e em setembro de 2015 foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas a NBR 16409:2015 - Ferro-gusa a carvão vegetal - Orientações para a produção sustentável, a qual fornece diretrizes para a produção sustentável de ferro-gusa a carvão vegetal, contemplando a produção de ferro-gusa propriamente dita e a relação com os fornecedores de carvão vegetal (ABNT, 2015). Nenhuma outra norma técnica pertinente ao objetivo proposto foi elaborada até o momento.

Em 2015, o Governo Federal, por meio do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), publicou um estudo técnico denominado “Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil – subsídios para a revisão do Plano Siderurgia” cujo objetivo era atualizar o Plano de Redução das Emissões na Siderurgia, que ironicamente não saiu

do Sumário Executivo, em atendimento ao Decreto no 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que determina a revisão dos planos setoriais a cada dois anos.

O relatório desse estudo é resultado de um compilado de relatórios e notas técnicas elaborados por diversos consultores, faz uma caracterização geral do setor e estabelece diretrizes e recomendações para:

(a) implantação de ferramentas de controle do processo de carbonização da madeira para aumento de eficiência;

(b) criação de linhas de financiamento de baixo custo para implantação de balanças nas unidades de produção de carvão vegetal para cálculo do rendimento gravimétrico;

(c) implantação de planos para treinamento de equipe de produção de carvão vegetal visando à melhoria de eficiência;

(d) criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento atual de queimadores de fumaças da carbonização, mapeamento de estoque de florestas plantadas como possibilidade de uso para carvão vegetal – estudo de incentivo para o setor;

(e) formação de cooperativas ou associações regionais;

(f) criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento de secadores de madeira;

(g) criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para implantação de unidades industriais de tecnologias modernas de carbonização.

Apesar de tais subsídios fornecidos para atualização do Plano Setorial de Redução das Emissões na Siderurgia serem mais contundentes e completos do que do próprio plano inicialmente apresentado no que se refere ao estímulo à sustentabilidade e à eficiência da produção de carvão vegetal ainda não há indícios de que o acompanhamento das políticas e planos de ação estejam acontecendo de forma sistemática e permanente e também não há indícios de sistema consolidado de avaliação e controle do desempenho e seus resultados.

Frente à indiscutível inadequação do conteúdo mínimo esperado para o Plano Setorial de Redução das Emissões na Siderurgia, ao descompasso na sua revisão (fundamentada pelo Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010) e da falta de monitoramento e de

sistemas consolidados de avaliação da implementação das estratégias de mitigação que, em teoria, seriam acompanhadas pelo Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, a participação do carvão mineral na matriz energética da indústria siderúrgica passou de 38,2% em 2009 para 44,6 % em 2017 enquanto a participação do carvão vegetal caiu de 20,9% em 2009 para 15,9 % em 2017, segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2019).

Segundo o Instituto Aço Brasil, as emissões específicas de CO_2, que representa a quantidade, em toneladas de CO_2, emitida por tonelada de aço produzida, passou de 1,7 t CO_2/ t aço bruto em 2009 para 1,9 t CO_2/ t aço bruto em 2017. De acordo com o mesmo órgão, quanto às florestas plantadas, a procedência do carvão vegetal utilizado nas siderúrgicas afiliadas em 2009 era 90% originária de reflorestamentos próprios e de terceiros enquanto em 2017 esse número saltou para 99%. Tais dados contemplam uma produção nacional de aço de aproximadamente 27 milhões de toneladas em 2009 e 34,8 milhões de toneladas em 2017 (AÇO BRASIL, 2019; AÇO BRASIL, 2010).

Segundo os dados apresentados na Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC, no ano de 2016 as emissões de CO_2 oriundas da produção de ferro e aço corresponderam a 91% das emissões do setor metalúrgico, sendo a maior parte oriunda da produção de ferro-gusa no alto-forno. Além disso, entre os anos de 2010 e 2016, as emissões da Indústria Metalúrgica aumentaram 4,2% (BRASIL, 2020).

Os números apresentados sugerem que, desde a criação da Política Nacional sobre Mudança do Clima não houve avanços significativos que permitam inferir impacto positivo do Plano Siderurgia. Muito pelo contrário, a carência de atualização recorrente de dados com indicadores e resultados da política não contribui para o engajamento do Poder Público na implementação da política e a ausência de análise de impacto desfavorece a possibilidade de corrigir desvios e alterar as rotas de ação (SPERANZA, *et. al.,*2017).

3. A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA BRASILEIRA

A indústria de ferro no Brasil iniciou em 1587 por meio da instalação das Forjas Catalãs para a produção de aço, localizadas na serra de Cubatão, na antiga freguesia de Santo Amaro, próximo a São Paulo. A primeira corrida do ferro-gusa líquido, foi obtida em alto-forno, em 1813, no Morro do Pilar em Minas Gerais. A primeira usina siderúrgica

integrada implantada na América do Sul foi a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, inaugurada em 1925 na cidade de Sabará (JACOMINO *et al*.,2002).

A primeira usina integrada a coque, por sua vez, só se viabilizou com a implantação da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, na cidade de Volta Redonda, RJ, em 1941, como projeto do Governo Getúlio Vargas. Após 1957, o setor apresentou considerável ascensão com a implantação da indústria automobilística no estado de São Paulo (JACOMINO et al.,2002).

No Brasil, a indústria siderúrgica sempre ocupou papel de destaque no âmbito da economia e o país ocupa posição de notoriedade no ranking mundial dos produtores de aço. O setor usufrui de matérias-primas abundantes no território brasileiro e, com produção diversificada, o setor atende a segmentos importantes da economia, especialmente transporte, construção civil e bens de capital.

3.1. Caracterização do setor

A competitividade do aço brasileiro depende, entre outros fatores, da produção em escala e dos baixos custos do ferro-gusa. No Brasil a produção de ferro-gusa ocorre em dois tipos de instalações: em indústrias que produzem exclusivamente ferro-gusa, conhecidas como “guseiras” e em siderúrgicas integradas ou semi-integradas, onde além do ferro-gusa são produzidos aço e subprodutos. O ferro-gusa é uma liga de ferro-carbono utilizada como um insumo na produção de aço. Em usinas integradas, por meio dos altos-fornos, utiliza-se o coque de carvão mineral como combustível e redutor para a sua produção. Outra forma de produção é por intermédio de fornos que utilizam o carvão vegetal como substituto funcional do coque de carvão mineral (UHLIG *et al*., 2008; VITAL; PINTO, 2011).

A opção pelo uso de carvão vegetal ou coque para a redução do minério de ferro é de caráter econômico e não modifica os fundamentos do processo de redução do minério de ferro nos altos-fornos. O coque é 19% e 29,7% mais barato em relação ao carvão vegetal proveniente do manejo florestal de mata nativa e de projetos de reflorestamento, respectivamente. Além disso, o preço do carvão vegetal proveniente de desmatamento e extração ilegal de florestas nativas é entre 10% a 12% mais baixo em relação ao carvão vegetal oriundo de florestas plantadas (MANZONI; BARROS, 2020).

No Brasil existem dois importantes polos “guseiros”, um composto pelo Maranhão e pelo Pará, conhecido como Pólo de Carajás, e outro em Minas Gerais na região Sudeste. Em 2019, os dois pólos produziram 525 mil e 3,5 milhões de ferro-gusa, respectivamente, que representou 87,6% da produção nacional (SINDIFER, 2019).

Segundo o Instituto Aço Brasil, o Brasil é o maior produtor de aço bruto da América Latina, seguido do México e da Argentina, e o nono maior produtor do mundo, atrás da China, Índia, Japão, Estados Unidos, Rússia, Coreia do Sul, Alemanha e Turquia (Instituto Aço Brasil, 2020).

3.2. Processo produtivo e rotas tecnológicas

O ferro pode ser encontrado na natureza na forma de óxidos, carbonatos e sulfetos. Destes, os óxidos são os minérios que possuem maior percentual de ferro em massa, sendo encontrados, principalmente, na forma de hematita (Fe_2O_3) ou de magnetita (Fe_3O_4). O ferro metálico é obtido a partir da redução do minério de ferro, ou seja, o oxigênio deve ser removido, em geral, combinando-se com o carbono (CAMIOTO; REBELATTO, 2014 *apud* ROMEIRO, 1997).

O parque siderúrgico brasileiro é bastante diversificado, no que tange às configurações produtivas, possuindo os seguintes tipos de usinas: integrada a coque, semi-integrada, integrada à redução direta, integrada a carvão vegetal e produtor independente de ferro-gusa à base de alto-forno a carvão vegetal (CGEE, 2010). Nos processos produtivos, podem ser produzidos aço ou ferro-gusa, sendo diferenciados pelo teor de carbono, que no aço é de até 2% e no ferro-gusa está em torno de 4% em massa (JACOMINO *et al*., 2002).

Para produção do ferro-gusa em alto-forno são necessárias duas matérias-primas básicas: o minério de ferro e o carvão (coque ou carvão vegetal). Além dessas matérias primas, são utilizados fundentes (quartzo, calcário, dolomita) e sucata.

Nas usinas integradas a coque, conforme ilustra a Figura 1, as áreas de transformações do minério de ferro e do aço encontram-se presentes em uma única unidade industrial. Assim, partindo-se do minério de ferro (ou de seus produtos, sínter e pelota), coque e fundentes, chega-se ao ferro-gusa que, posteriormente, é convertido em aço. Após transformação mecânica (laminação), o aço é comercializado no mercado sob a forma

de produtos planos (chapas e bobinas) e longos (vergalhões, barras e perfis). Assim, uma usina integrada a coque é, tipicamente, composta de três etapas (CGEE, 2010):

1. Redução (cujo objetivo é a fabricação do ferro-gusa);
2. Refino (produção e resfriamento do aço);
3. Transformação mecânica (produtos siderúrgicos destinados à comercialização).

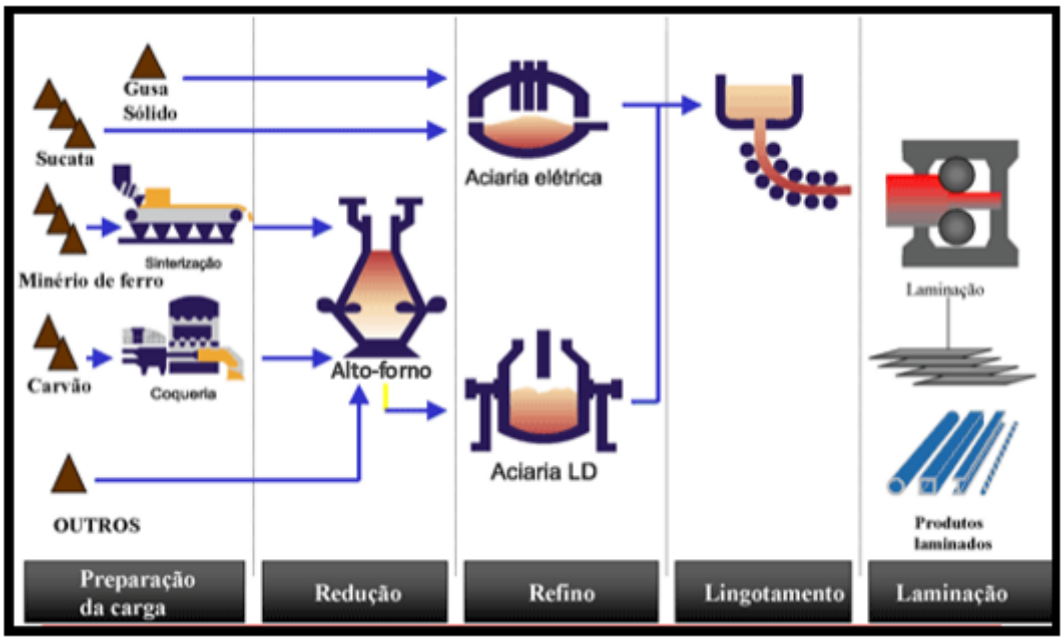

Figura 1: Representação esquemática de uma usina integrada a coque de carvão mineral. Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2005 *apud* Brasil, 2009.

As usinas semi-integradas não possuem a etapa de redução e, portanto, trata-se de um processo mais compacto. As aciarias são alimentadas principalmente com sucata ferrosa e, em menor intensidade, por ferro-gusa e pré-reduzidos (ferro diretamente reduzido, *Direct Reduced Iron*, DRI; e ferro briquetado a quente, *Hot Briquetted Iron*, HBI). Resumidamente, a usina semi-integrada consiste das áreas de refino e de transformação mecânica, como ilustra a Figura 2.

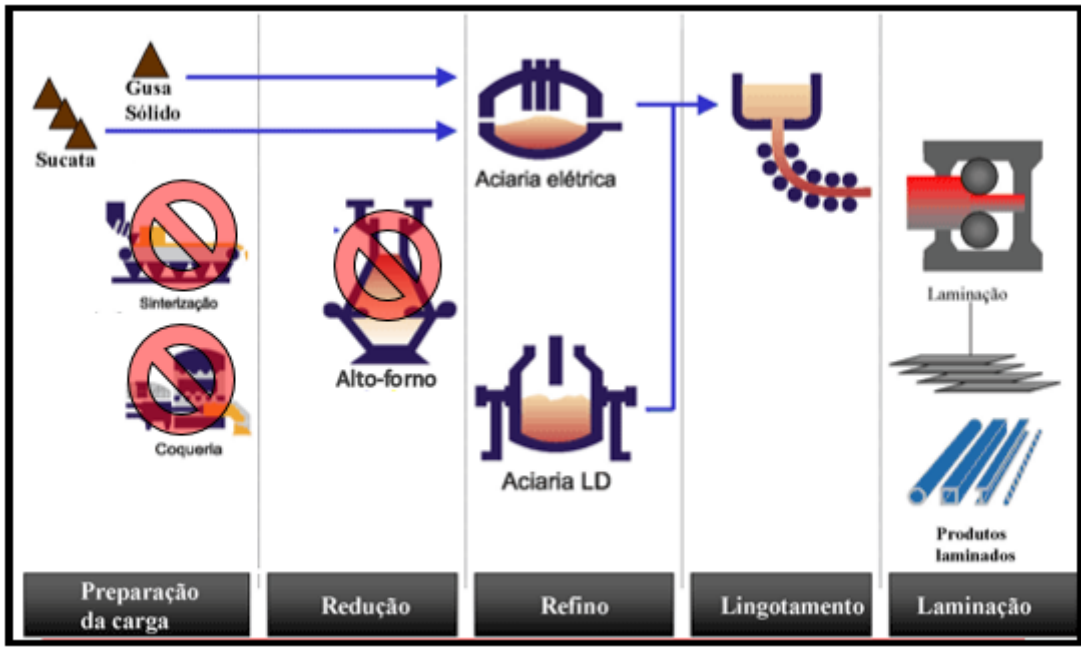

Figura 2: Representação esquemática de uma usina semi-integrada a coque de carvão mineral. Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2005 *apud* Brasil, 2009.

A usina integrada à redução direta (RD), cuja difusão é mais reduzida em termos mundiais, possui as três áreas produtivas: redução, refino e transformação mecânica. Ela apresenta duas importantes diferenças em relação às usinas integradas a coque. Primeiro, na etapa de redução, ao invés de sinterização, coqueria e alto-forno, ela utiliza módulos de redução direta. Segundo, na fase de refino, em vez de aciaria básica a oxigênio, ela faz uso de aciaria elétrica (CGEE, 2010).

As indústrias que produzem exclusivamente ferro-gusa (produtores independentes de ferro-gusa), conhecidas como “guseiras”, não fabricam aço, mas apenas o ferro-gusa, em grande parte direcionado ao mercado externo. Cabe salientar que o uso do carvão vegetal como redutor (ao invés do carvão mineral), é uma peculiaridade da siderurgia brasileira. Durante o processo de redução, no caso do carvão vegetal, os materiais carregados no alto-forno – minério de ferro, carvão vegetal e fundentes (quartzo, calcário, dolomita etc.) – transformam-se nos produtos: ferro-gusa (ou ferro de primeira fusão), escória, gás de alto-forno e poeira. A redução dos óxidos de ferro se processa à medida que a carga desce no interior do forno e os gases, resultantes da queima do carvão vegetal, sobem pela coluna de carga. Há um preaquecimento dos materiais e uma alteração na composição da carga. O oxigênio, que estava combinado com o ferro do minério, passa, sob a forma de óxidos de carbono, a fazer parte dos gases, deixando,

assim, o ferro livre. Outras reações químicas e a fusão da ganga e dos fundentes acompanham o processo e formam a escória (CGEE, 2010; CAMIOTO; REBELATTO, 2014 *apud* INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012). A Figura 3 ilustra a configuração esquemática do produtor independente de ferro-gusa.

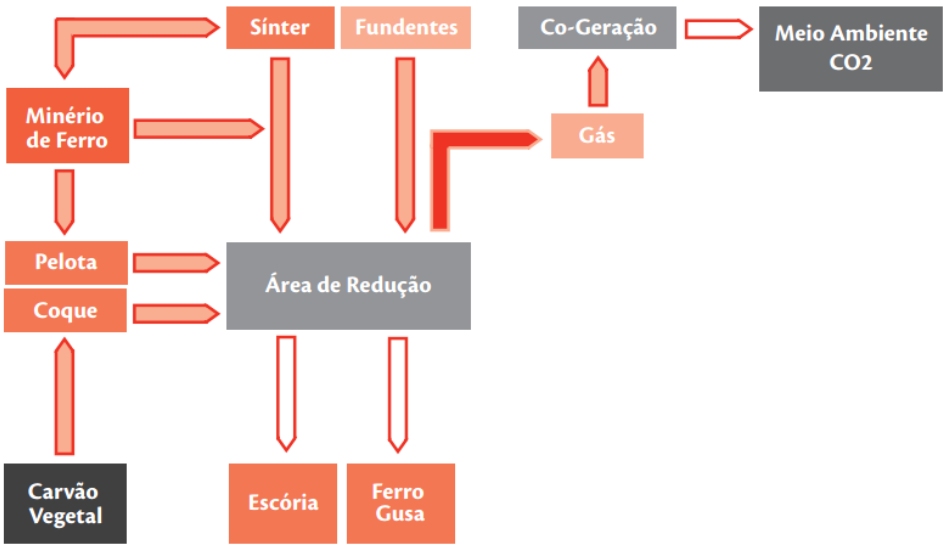

Figura 3: Representação esquemática de uma usina independente de ferro-gusa. Fonte: CGEE, 2010.

Vale ressaltar, ainda, que, segundo Jacomino *et al.* (2002), o Estado de Minas Gerais é o maior centro brasileiro de ferro-gusa em unidades independentes de produção, como é possível observar pela Tabela 1.

A produção se baseia, essencialmente, no minério de ferro explorado no Quadrilátero Ferrífero. A extensa produção de ferro-gusa é uma das principais causas das agressões à atmosfera em nível local e, nesse sentido, a alteração do mix de combustíveis, ou seja, a substituição dos combustíveis mais intensivos em carbono por outros com menor intensidade, enquadra-se como uma das alternativas para a adaptação do setor industrial a uma economia de baixo carbono. A substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis pode ser caracterizada como um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que trata do comércio de créditos de carbono baseado em projetos de sequestro de carbono ou mitigação das emissões de CO_2, e pode proporcionar benefícios nas três dimensões da sustentabilidade: ambiental, econômica e social (CAMIOTO; REBELATTO, 2014).

Estado	Produção (t)	%
Minas Gerais	3.906.655	77,7
Pará e Maranhão (Carajás)	508.149	10,1
Espírito Santo	249.613	5,0
Mato Grosso do Sul	362.810	7,2
TOTAL	5.027.227	100

Tabela 1: Distribuição regional da produção independente de ferro-gusa em toneladas no ano de 2020. Fonte: SINDIFER, 2021

3.3. O minério de ferro

O Brasil possui a quinta maior reserva de minério de ferro do globo, em termos de ferro contido e, quando se consideram os contaminantes, as reservas brasileiras se destacam, configurando-se como as mais puras, mundialmente. Em termos da siderurgia brasileira, baseando-se na demanda de minério de ferro atual e projetada, assim como nas reservas do país, pode-se afirmar que as empresas desse setor estarão seguras quanto ao suprimento, em quantidade e qualidade, com benefícios para a sua competitividade. (CGEE, 2010)

O minério de ferro é a matéria-prima básica da siderurgia, respondendo pelas unidades metálicas (Fe) de alimentação dos reatores de redução, como o alto-forno e o módulo de redução direta. Processado nessas instalações, o minério dá origem ao ferro primário – ferro-gusa, DRI (*Direct Reduced Iron*) e HBI (*Hot Briquetted Iron*) – que, tratado nas aciarias, converte-se em aço. Mais de 97% do minério de ferro é utilizado na indústria siderúrgica. Pequenas parcelas do montante de produção são destinadas às indústrias de cimento, química e outras. A utilização da sucata ferrosa, por meio de sua utilização direta nos fornos elétricos a arco representa cerca de 30% do suprimento de unidades de ferro à siderurgia mundial. A Figura 4 apresenta a interdependência da mineração de ferro e da siderurgia em mais detalhes.

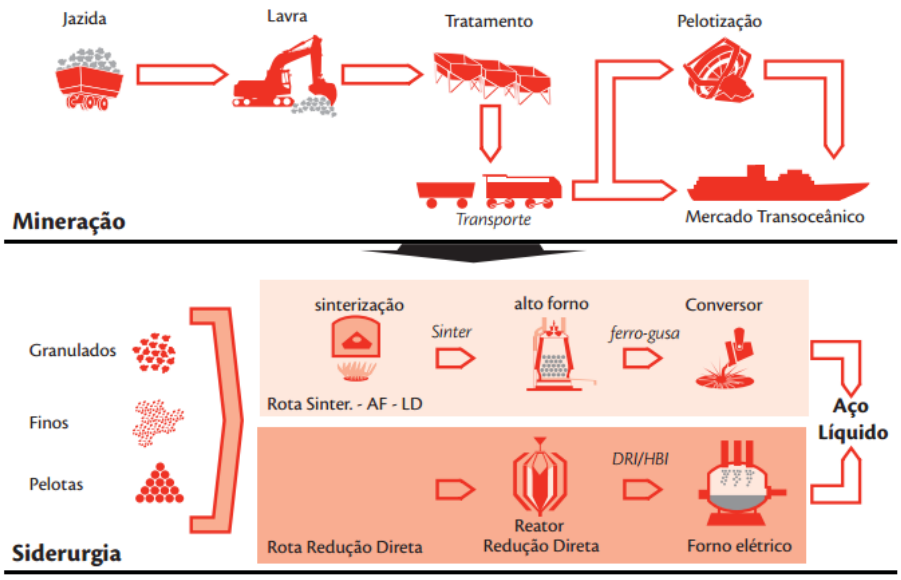

Figura 4: Representação esquemática da interdependência da mineração de ferro e da siderurgia. Fonte: CGEE, 2010 *apud* Vale.

Um aspecto muito importante para caracterizar os produtos minerais que saem da usina de tratamento é a sua distribuição granulométrica. Durante o desmonte, a lavra, a fragmentação e o manuseio, muitos finos são gerados, os quais são inadequados ao uso direto nos reatores de redução (alto-forno e módulo de redução direta), sendo aglomerados previamente, em plantas de sinterização ou pelotização. De um modo geral, os produtos de minerais de ferro, em função da granulometria, podem ser classificados em granulado (ou *lump*), fino para sinterização (*sínter feed*) e fino para pelotização (*pellet feed*). A produção de *sinter feed* e *pellet feed* nas minas implica a necessidade de suas prévias aglomerações em finos concentrados, obtendo-se o *sínter* e as pelotas que serão alimentados nos altos-fornos. As cargas metálicas típicas dos altos-fornos consistem em: granulado, sínter (4 a 50 mm) e pelota (8 a 18 mm). Por sua vez, a carga dos módulos de redução direta contempla granulado e pelota (CGEE, 2010).

3.4. O carvão mineral

Carvão é o nome dado a diversas rochas sedimentares passíveis de uso como combustível, constituídas de um material heterogêneo originado de restos vegetais depositados em águas rasas, ao longo de milhões de anos, protegidos da ação do oxigênio do ar. Com o passar do tempo, esse material (tecido lenhoso, celulose, esporos, géis, algas entre outros) sofre parcial decomposição e ação de bactérias, seguindo-se a

influência da pressão exercida pelo peso do material que vai sendo depositado (pressão litostática) e do calor. Do ponto de vista químico, os carvões caracterizam-se pelo alto teor de carbono, normalmente 55% a 95%. De acordo com esse teor, têm-se, em ordem crescente de teor de carbono: turfa, linhito, hulha (ou carvão betuminoso) e antracito. Um grau de pureza ainda maior que o do antracito seria o da grafita, que não é um combustível (BRASIL, 2014).

A hulha, também conhecida como carvão metalúrgico, possui de 80% a 90% de teor de carbono e seu poder calorífico, propriedade fundamental na perspectiva energética, varia entre 29307,6 kJ/kg e 36215,82 kJ/kg.O carvão para uso siderúrgico é o segundo maior mercado mundial deste produto, com um consumo anual superior a 600 milhões de toneladas. Nesta indústria, a maior aplicação do carvão é para produção de coque, a ser empregado no alto-forno. Entretanto, somente 15% das reservas mundiais de carvão possuem as propriedades requeridas para a coqueificação, ocasionando um alto valor deste tipo de carvão no mercado internacional. Os carvões que formam coque são denominados carvões coqueificantes (BRASIL, 2014; CGEE, 2010).

A segunda aplicação na siderurgia se refere à injeção de carvão pulverizado (*pulverized coal injection*, PCI) nas ventaneiras do alto-forno, de forma a substituir uma parte do coque necessário para a produção de ferro-gusa. O preço deste carvão energético, que não possui características aglutinantes, é menor. A terceira aplicação relaciona-se ao uso de carvões não-coqueificáveis, mais baratos, como fonte de energia e de gás redutor, nos processos de redução direta e de fusão-redutora (*bath smelting*) (CGEE, 2010).

A produção brasileira de carvão é equivalente a 0,1% do total mundial, porém, todo o carvão para uso siderúrgico no Brasil é oriundo do exterior. Há uma grande incerteza quanto às reservas efetivas de carvão mineral no Brasil, devido à carência de dados geológicos que demonstrem a verdadeira extensão das reservas brasileiras, entretanto, os carvões das reservas brasileiras possuem baixo grau de carbonização, elevado teor de cinzas e teor de enxofre variável, características que representam dificuldade para o beneficiamento e baixo rendimento. Na década de 1990, em função da alteração de políticas governamentais (que culminou com o fim da obrigatoriedade da compra de carvão nacional), houve a interrupção no uso do carvão brasileiro coqueificável (CGEE, 2010).

Atualmente, o cenário de dependência total de carvões importados por parte da siderurgia brasileira pode ser alterado. Em termos da demanda de carvões, tem-se observado o incremento da taxa de injeção de finos de carvão minerais não-coqueificáveis nos altos-fornos. No que tange à oferta doméstica de carvões, estudos relativos ao carvão mineral da Região Sul têm mostrado sua viabilidade para o processo de injeção pelas ventaneiras (CGEE, 2010).

3.5. O carvão vegetal

A indústria siderúrgica iniciou-se no Brasil no século 19 e até quase meados do século 20, o carvão vegetal foi a exclusiva fonte termorredutora de seus altos-fornos. Somente com o advento da operação das usinas siderúrgicas de grande porte, como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), 1946, Cosipa e Usiminas (anos 1960), Açominas e Tubarão (anos 1980), passou-se a utilizar o coque, produzido, principalmente, a partir do carvão mineral importado, tendo em vista as exigências tecnológicas, em função da escala dos novos altos-fornos (CGEE, 2015).

Assim, a siderurgia a carvão vegetal é uma peculiaridade da indústria siderúrgica brasileira, razão pela qual fica prejudicada a intenção de discutir esta temática à luz da experiência internacional, e configura-se uma oportunidade, por oferecer vantagem competitiva no que concerne às menores emissões de CO_2 e à possibilidade de crédito de carbono no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os altos-fornos a carvão vegetal representam apenas 1% da produção de ferro-gusa no mundo e 25% a 35% da produção no Brasil, atendendo em parte às indústrias integradas e praticamente à totalidade das produtoras independentes (Tabela 2). Embora existam usinas integradas a carvão vegetal no país, a maior parcela do ferro-gusa brasileiro, fabricado a partir de carvão vegetal, é proveniente dos produtores independentes (“guseiros”). Cerca de 70% da produção brasileira total a carvão vegetal, e a escolha por este modelo de negócio decorre de alguns fatores (CGEE, 2010):

1. Custo de capital ao alcance de empreendedores de pequeno e médio porte;
2. Tecnologia de redução simples e dominada, com engenharia e detalhes de domínio público;

3. Processo capaz de utilizar parte das fontes de ferro e carbono não necessariamente adequadas aos grandes altos-fornos (hematitinha e carvão vegetal);
4. Disponibilidade de material lenhoso oriundo de abertura de fronteiras agrícolas, resíduos de florestas de celulose e de plantios.

ANO	SIDERURGIA A COQUE	SIDERURGIA A CARVÃO VEGETAL			TOTAL
		USINAS INTEGRADAS	USINAS INDEPENDENTES	TOTAL A CARVÃO VEGETAL	
2007	23.962.642	1.980.150	9.628.058	11.608.208	35.570.850
2008	24.380.975	2.148.466	8.552.385	10.700.851	35.081.826
2009	18.995.360	1.867.000	4.689.000	6.556.000	25.551.360
2010	23.702.000	2.135.360	5.027.387	7.162.747	30.864.747
2011	25.334.200	2.256.500	5.824.004	8.080.504	33.414.704
2012	24.580.910	2.318.790	5.598.006	7.916.796	32.497.706
2013	23.916.956	2.283.244	5.352.074	7.635.318	31.552.274
2014	24.599.200	2.313.692	5.035.952	7.349.644	31.948.844
2015	25.592.840	2.210.560	4.306.998	6.517.558	32.110.398
2016	23.880.308	2.155.592	3.551.290	5.706.882	29.587.190
2017	25.891.186	2.440.214	3.819.653	6.259.867	32.151.053
2018	25.959.740	2.453.260	4.109.480	6.562.740	32.522.480
2019	23.948.080	2.332.220	4.621.210	6.953.430	30.901.510
2020	22.268.957	2.248.043	5.027.027	6.953.430	30.901.510
TOTAL	337.013.354	31.143.091	75.142.524	105.963.975	444.656.452

Tabela 2: Série histórica da produção brasileira de ferro-gusa a coque e a carvão vegetal, em toneladas. Fonte**:** SINDIFER, 2021

3.6. O eucalipto

Segundo o CGEE (2010), a existência de críticas e pressões com relação às florestas plantadas de eucalipto, também denominadas desertos verdes, tem se configurado, muitas vezes, como um obstáculo ao incremento da competitividade da siderurgia a carvão vegetal. De modo geral, criticam-se os efeitos sobre o solo (empobrecimento e erosão), sobre a água (impacto sobre a umidade do solo, os aquíferos e lençóis freáticos) e sobre a baixa biodiversidade observada em monoculturas.

Eucalipto (do grego, eu + καλύπτω = "verdadeira cobertura") é a designação vulgar das várias espécies vegetais do gênero *Eucalyptus*, pertencente à família das mirtáceas, que compreende outros 130 gêneros. Atualmente, existem mais de 700 espécies de eucalipto

catalogadas, sendo *Eucalyptus saligna*, *E. grandis* e *E. urophila* (e seu híbrido, o *E. urograndis*) as mais cultivadas no país (VITAL, 2007). Embora de origem exógena, é a espécie designada para as florestas plantadas para a siderurgia pois possui boa adaptação às condições climáticas e de solo encontradas em algumas regiões brasileiras, possui rápido crescimento (seu corte ocorre a cada sete anos) e possui maior densidade que a madeira pinus, sendo esta última característica de extrema relevância para garantir propriedades mecânicas exigidas no processo de redução que ocorre no alto forno (MALARD, 2009 *apud* BACHA; BARROS, 2004).

Primeiramente, há que se esclarecer sobre a questão relacionada ao consumo de água do eucalipto, que supõe-se consumir mais água para seu desenvolvimento do que outras plantas, chegando ao ponto de secar nascentes. Para melhor entender é preciso compreender o ciclo da água em uma floresta qualquer de eucalipto, que será descrito a seguir. Com as chuvas, certa quantidade de água cai diretamente no solo, enquanto outra parte é interceptada pela copa das árvores, onde uma fração evapora (transpiração florestal) e, após ser utilizada pela planta, retorna para a atmosfera; a outra parte da precipitação atinge o solo após escorrer. Da parcela que chega ao solo, uma fração escorre por sua superfície, causando a erosão, enquanto outra se infiltra no mesmo. Da parcela que se infiltra, uma fração permanece a alguns metros da superfície e outra alcança o lençol freático e existe, ainda, uma parcela que é evaporada pelas folhas, no processo de transpiração florestal, após ser utilizada pela planta, retornando à atmosfera. (REZENDE *et at.*, 2011)

A título de comparação, do total de chuvas sobre a Mata Atlântica, cerca de 24% são interceptados pelas folhas e evaporam de volta para a atmosfera; outra característica é que o solo nessa mata é mais úmido, uma vez que suas raízes possuem aproximadamente 5 metros, fazendo com que elas busquem águas mais profundas no subsolo. Já nas florestas de eucalipto, cerca de 11% do total de chuvas é interceptado pelas folhas e evaporam para a atmosfera. Percebe-se, também, que a umidade do solo é menor uma vez que suas raízes de aproximadamente 2,5 metros buscam água mais superficialmente. Uma quantidade maior de água atinge a terra, alimentando os lençóis freáticos e, por outro lado, mais água da chuva escorrerá sobre o solo, aumentando a erosão. Assim, quando se analisa o balanço hídrico em uma floresta, deve-se levar em consideração a interceptação, evaporação, transpiração e escoamento superficial da água (REZENDE *et al*., 2011).

Ainda sobre o balanço hídrico, a Figura 7 compila os resultados do estudo sobre o balanço hídrico do solo comparativo entre o Cerrado, plantação de *Pinus caribaea* e plantação de *Eucalyptus grandis*, com idade de 5 anos, realizado no Vale do Jequitinhonha, MG. Os números mostrados representam média de dois anos consecutivos de medições e a profundidade estudada do perfil do solo foi de 2 metros. Para o Eucalipto, a precipitação que efetivamente chegou à superfície do solo foi de 986,5 mm por ano, que é o resultado da perda, devido ao processo de interceptação pelo dossel, de parte da chuva incidente, que em termos médios anuais foi de 1.121 mm. O valor de 784 mm foi o resultado de absorção média anual de água do solo pela transpiração do eucalipto, que permitiu o acúmulo de 366 m^3 de madeira por hectare. Comparativamente, para o caso do Pinus essa relação foi de 617 mm de água transpirada para 210 m^3 de madeira, enquanto a estimativa para o Cerrado indica uma relação muito menor, de 569 mm de transpiração para cerca de 36 m^3 por hectare (LIMA, 2010 *apud* LIMA et al., 1990).

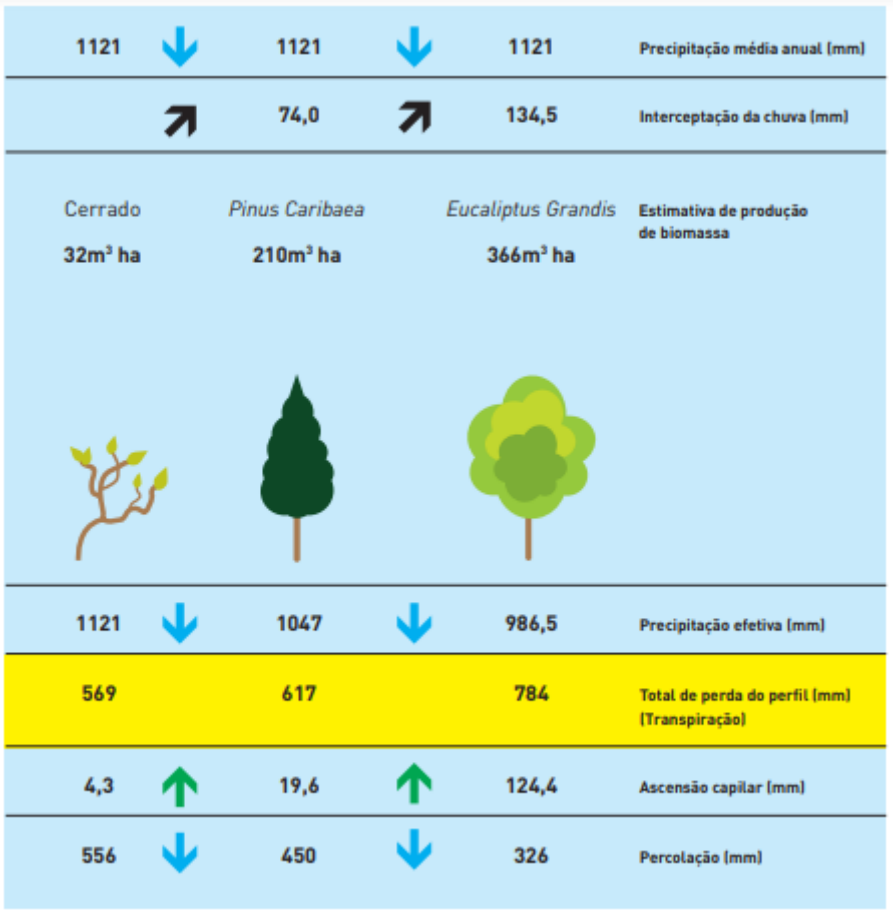

Figura 5: Esquema dos componentes do balanço hídrico do solo em plantações de eucalipto e pinus (idade de 5 anos) e de parcela adjacente contendo cerrado. Fonte: LIMA, 2010 *apud* LIMA et al., 1990

Mora e Garcia (2000) demonstraram em seu estudo que o consumo total de água por plantações de eucaliptos não difere de maneira severa ao das árvores nativas. Durante a fase de crescimento mais agudo, tanto o eucalipto como qualquer outro vegetal de rápido crescimento pode apresentar um balanço negativo entre a água infiltrada (chuva e irrigação) e a água retirada pelas raízes. Os autores garantem, ainda, que algumas espécies (*E. regnans, E. marginata e E. Obliqua*, por exemplo) realmente apresentam alto consumo de água, "pois os estômatos[1] permanecem abertos e, consequentemente, apresentam alta taxa de transpiração […]". Outras espécies já são mais eficientes no consumo de água do que inúmeras culturas agrícolas e, por isso, os planos de manejo florestais são essenciais na operação e gestão de áreas de silvicultura.

A Tabela 3 apresenta algumas culturas agrícolas praticadas no Estado de São Paulo e suas respectivas necessidades hídricas.

CULTURA	NECESSIDADE DE ÁGUA (m^3/t)	PRODUTIVIDADE MÉDIA (t/ha)	NECESSIDADE HÍDRICA (m^3/ha/ano)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (m^3/ha)	ÁGUA EXCEDENTE (m^3)	"EXCESSO" DE ÁGUA EXCEDENTE (mais de 4.030m^3)
Trigo	1.277	3,2	4.086,4	13.000	8.914	4.884
Arroz	1.146	2,5	2.865,0	13.000	10.135	6.105
Milho	1.213	4,6	5.579,8	13.000	7.420	3.390
Batata	191	29,7	5.672,7	13.000	7.327	3.297
Mandioca	550	26,5	14.575,0	13.000	1.575	5.605
Cana	139	73,0	10.147,0	13.000	2.853	1.177
Soja	2.037	2,2	4.481,4	13.000	8.519	4.489
Amendoim	2.469	2,4	5.925,6	13.000	7.074	3.044
Laranja	401	31,9	12.791,9	13.000	208	3.822
Eucalipto	350	14,0	4.900,0	13.000	8.100	4.070
Folhagens	207	25,0	5.175,0	13.000	7.825	3.795

Tabela 3: Necessidade de Água de Algumas Culturas, Estado de São Paulo. Fonte: FILHO et al., 2015

Os planos de manejo florestais devem ser especificamente desenvolvidos com base nas características geoambientais das áreas a serem exploradas possibilitando o

1Os estômatos são responsáveis pelo fluxo de entrada e saída de água e CO_2 das plantas. (MACHADO *et al*., 2010)

estabelecimento de práticas operacionais adequadas para a realização de ações sustentáveis. (MOLEDO *et al*.,2016 *apud* COSTA; OLIVEIRA, 2019)

De acordo com Vital (2007), a silvicultura, bem como qualquer outra atividade econômica, pode causar impacto ambiental, positivo ou negativo, dependendo de uma série de circunstâncias que devem ser avaliadas, tais como:

I. As condições prévias de plantio

O plantio em áreas degradadas, onde a erosão se faz presente ou em áreas de pastagens, a silvicultura gera impactos positivos, como aumento da fertilidade do solo, redução do processo erosivo e aumento da biodiversidade.

II. O regime hídrico da região

Em regiões com regime de chuva característico abaixo de 400 mm/ano, a silvicultura de eucalipto pode acarretar ressecamento do solo causando impactos negativos sobre lençóis freáticos, cursos de água e bacias hidrográficas, portanto, a distância entre as plantações e a bacia hidrográfica e a profundidade do lençol freático devem ser cuidadosamente avaliadas.

III. O bioma de inserção da silvicultura

Ao ser implantada em áreas de florestas nativas, como mata atlântica, a atividade silvicultural acarreta redução da biodiversidade. Entretanto, quando implantada em uma região de savana, ou em uma região que foi anteriormente coberta por mata atlântica e posteriormente foi desmatada, a silvicultura aumenta a biodiversidade da fauna e flora locais.

IV. As técnicas de manejo empregadas

As técnicas de manejo podem causar impactos distintos. Se no momento da colheita os galhos, folhas e cascas forem deixados no local, parte dos nutrientes retirados pela árvore é devolvida do solo, causando redução do processo erosivo. O corredor florestal, técnica de manejo caracterizada pela intercalação de faixas florestais nativas com as plantações, permitem a interligação entre o *habitat* natural e a floresta plantada, permitindo a passagem de animais e ampliando o *habitat* disponível à fauna local.

V. A integração da população local

A atividade silvicultural de eucalipto não exclui o consórcio, no local da plantação, com outros tipos de produção. Com maior espaçamento entre as árvores, é possível o cultivo de diferentes grãos (como milho e girassol) nos primeiros anos de plantio e a criação de gado em meio às plantações, quando as árvores já estão mais crescidas. Isso implica no aumento do espectro de alcance econômico das plantações, aumentando o número de produtos obteníveis a partir da floresta (como maior geração de emprego) e possibilita aproveitamento mais eficiente do solo.

Segundo Costa e Oliveira (2019), frente ao vigoroso debate científico quanto ao grau de nocividade ou não da cultura de eucalipto, destacam-se algumas vantagens dessa cultura:

- Os avanços genéticos e o aperfeiçoamento da espécie são capazes de permitir menor impacto ambiental e gerar maior proveito econômico das florestas plantadas, quando considerados os cuidados específicos, como a escolha adequada da região;
- Preservação das florestas nativas por consequência da substituição do suprimento desta demanda pelas florestas plantadas, culminando na licitude e no controle do corte de madeiras neste segmento;
- A instituição, controle e permanente monitoramento de políticas públicas adequadas de plantio do eucalipto podem diminuir substancialmente os efeitos nocivos dessa cultura convertendo, assim, o setor de florestas plantadas em um importante meio de desenvolvimento sustentável ao mesmo tempo em que supre as demandas por madeira e fontes energéticas, especialmente a da biomassa;
- O manejo bem estruturado para o plantio de eucalipto permite mitigar todos os impactos negativos vinculados ao plantio dessa cultura.

As principais plantações de eucalipto no Brasil situam-se em áreas de volume pluviométrico acima de 1.000 mm/ano, como Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Espírito Santo e no Pampa Gaúcho, o que permite inferir que o impacto ambiental no volume de água dos estados acima pode ser menor, conforme mostra a Tabela 4. (REZENDE et al., 2011)

REGIÃO	PLUVIOSIDADE MÉDIA ANUAL (mm)	DURAÇÃO DO PERÍODO CHUVOSO (meses)	INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/mês)	
			MÍNIMA	MÁXIMA
Norte	1400 a 3400	7 a 12	116,6	485,7
Nordeste	300 a 2000	1 a 3	100	2000
Sudeste	900 a 3600	6 a 12	75	600
Sul	1200 a 2000	9 a 12	100	222,2
Centro-Oeste	1000 a 3000	7 a 11	90,9	428,5

Tabela 4: Características físicas das chuvas nas diversas regiões do Brasil. Fonte**:** Crepani et al., 2001 *apud* REZENDE et al., 2011.

Segundo Whitehead e Beadle (2004), considerando os aspectos fisiológicos do consumo de água pelo eucalipto em termos de taxa de transpiração, dinâmica dos estômatos, índice de área foliar, eficiência do uso da água, perdas por interceptação e balanço hídrico, o eucalipto é uma espécie florestal absolutamente normal, que não consome mais água por unidade de biomassa produzida do que qualquer outra espécie florestal (WHITEHEAD; BEADLE, 2004).

De acordo com CGEE (2010), o Brasil ainda não explora todo o potencial de florestas plantadas, a despeito de:

a) A grande disponibilidade de terras degradadas e de baixo valor para agricultura, que poderiam ser utilizadas para o plantio de florestas energéticas;

b) A existência de regiões consideradas privilegiadas sob o ponto de vista de insolação e de intensidade de fotossíntese;

c) O conhecimento biológico, genético e agronômico acerca de espécies vegetais bem adaptadas ao país, como o eucalipto.

O estudo de Campos (2013) estimou o nível de produção da silvicultura no Brasil para 2022 a partir de planos publicados pelo governo e das tendências de produção dos principais produtos madeireiros das florestas plantadas. Segundo as estimativas da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF apresentadas na ocasião, historicamente no Brasil cerca de 36% do volume total de madeira produzido na silvicultura é utilizado para a produção de papel e celulose, 15% para a produção de serrados, 10% para carvão vegetal, 7% para painéis de madeira

industrializada, 3% para produção de compensados e aproximadamente 26% destinado à produção de lenha e uma pequena parcela de outros produtos florestais (ABRAF, 2012 *apud* CAMPOS, 2013).

O autor identificou, ainda, áreas ocupadas com pastagens potencialmente conversíveis e que demostraram viabilidade para expansão das florestas plantadas no Brasil de forma a minimizar potenciais conflitos e efeitos marginais da mudança do uso da terra. O estudo elucidou, também, as regiões que apresentam favorabilidade climática modelada para florestas plantadas. A Figura 8 ilustra as regiões com características climáticas promissoras para florestas plantadas.

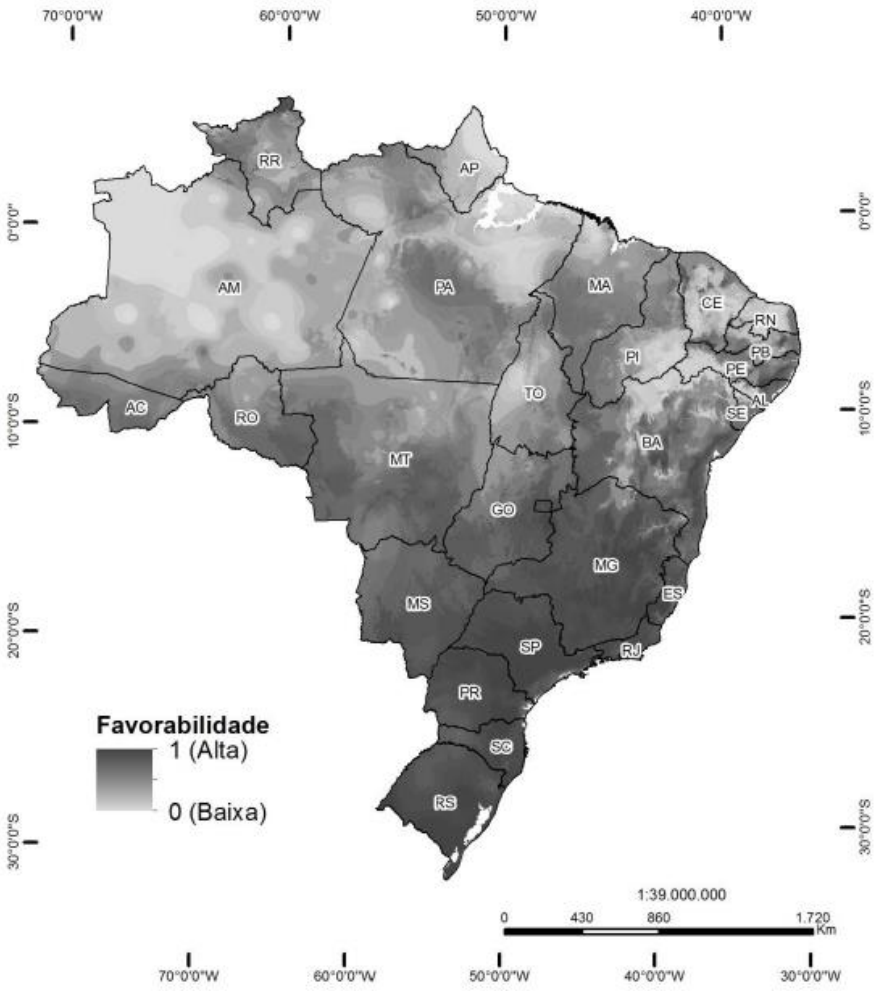

Figura 6: Favorabilidade climática simulada para plantios florestais. Fonte: Campos (2013).

Assim, Campos (2013) simulou e apresentou estimativas de densidade dos plantios florestais no Brasil em 2010 e para 2022, respectivamente, conforme Figura 9.

Considerando o produto de interesse neste tópico, a saber, o carvão vegetal, os resultados da produção de madeira para essa finalidade e destinada à indústria siderúrgica, com base nas tendências de evolução do mercado, indicaram a necessidade de cerca de 50 milhões m^3 em 2022 para atender a produção de ferro gusa, aço e ferroligas baseada nesse insumo, 107% superior a 2012. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBA), instituição responsável pela representação institucional da cadeia produtiva de árvores plantadas, no ano de 2020 as empresas produtoras de aço dispuseram de 939,6 mil hectares de árvores plantadas para uso econômico (IBA, 2021).

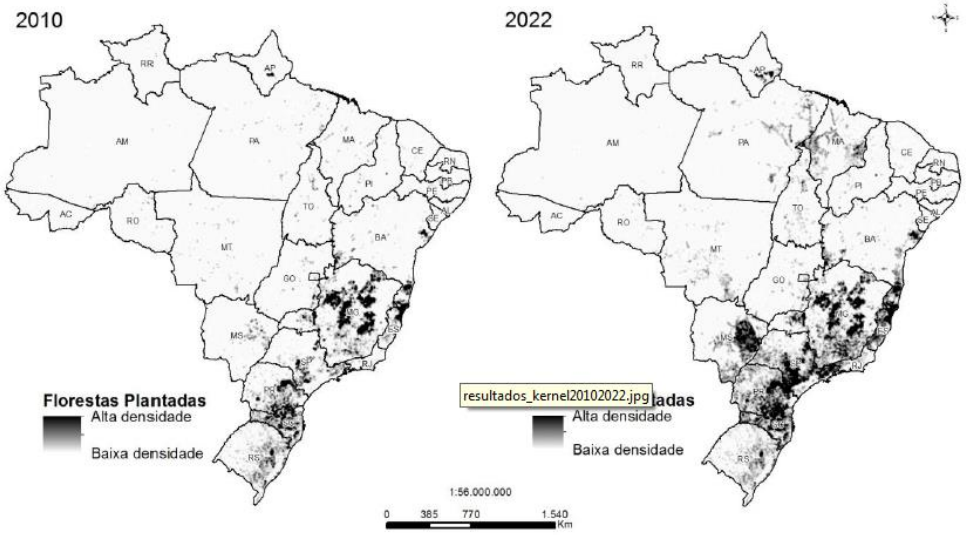

Figura 7: Mapas de densidade da localização das florestas plantadas em 2010 e 2022 (simulado). Fonte: CAMPOS (2013).

Em 2018, a área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 7,83 milhões de hectares, mantendo-se praticamente estável em relação ao ano de 2017. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares desse total, enquanto as áreas com pinus somam 1,6 milhão de hectares, e outras espécies, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá, representam cerca de 590 mil hectares. As áreas de árvores plantadas no Brasil por estado e por gênero estão representadas na Figura 10 (IBA, 2019).

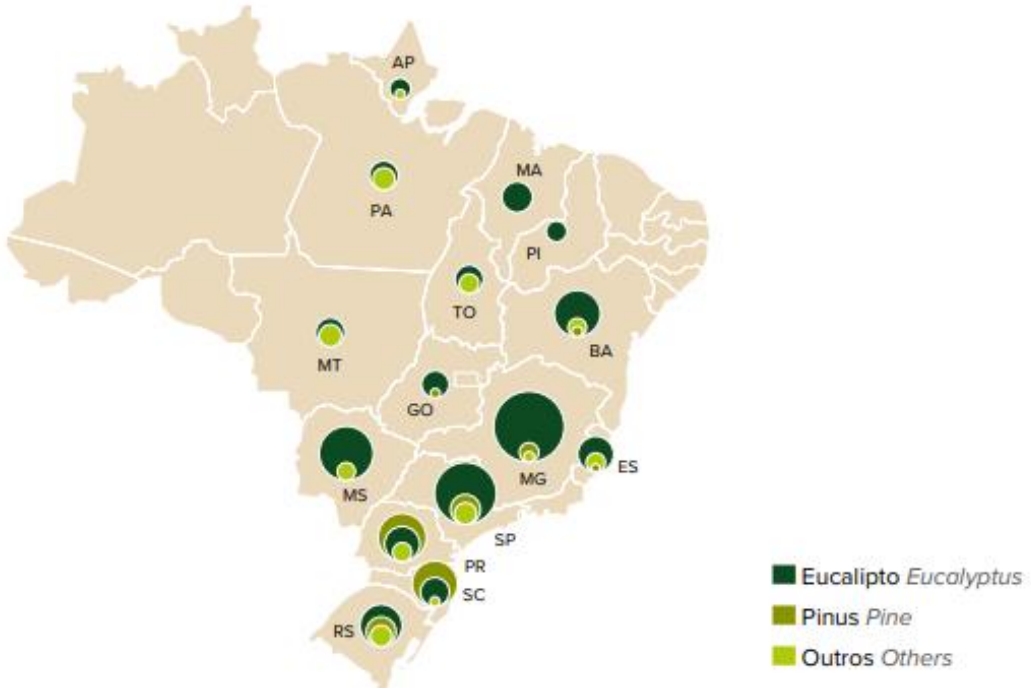

Figura 8: Áreas de árvores plantadas no Brasil por estado e por gênero**.** Fonte**:** IBA (2019).

Os plantios de eucalipto estão localizados principalmente nos Estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%). Nos últimos sete anos, o crescimento médio da área de eucalipto foi de 1,1% ao ano, com o Mato Grosso do Sul liderando esta expansão (com uma taxa média de crescimento de 7,4% ao ano). A Figura 11 mostra a distribuição e evolução da área com plantios de eucalipto, por estado, observada entre os anos de 2012 e 2018.

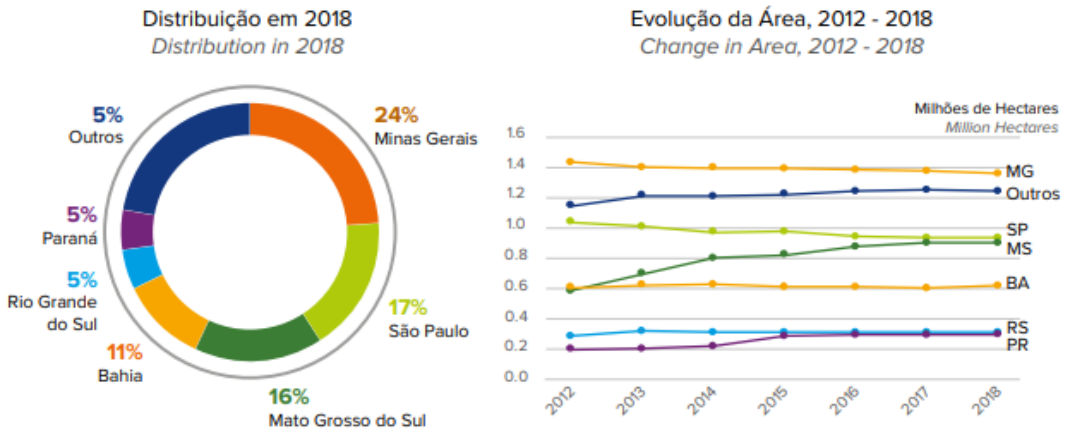

Figura 9: Distribuição e evolução da área com plantios de eucalipto, por estado, entre 2012 e 2018. Fonte: IBA (2019).

O maior levantamento já realizado com imagens de satélite em Minas Gerais foi concluído recentemente, com precisão superior a 97% no mapeamento e caracterização das florestas cultivadas no estado. Os dados consolidam as florestas cultivadas como a maior cultura agrícola mineira, presente em 803 municípios (94%). Esse é o mais detalhado estudo já realizado no setor: são 2,3 milhões de hectares de área de produção de florestas e mais de 1,3 milhão de hectares de áreas nativas conservadas em 2020. A cada 1 hectare de floresta cultivada, 0,6 hectare de floresta nativa é conservada, seja em Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reservas Legais (RLs), Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPNs) ou programas de restauração de áreas degradadas. A Figura 12 mostra as imagens base do mapeamento via satélite e os números indicam a porcentagem de floresta cultivada em cada bioma (Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica) que abrange o Estado em toda a sua extensão (SINDIFER, 2021).

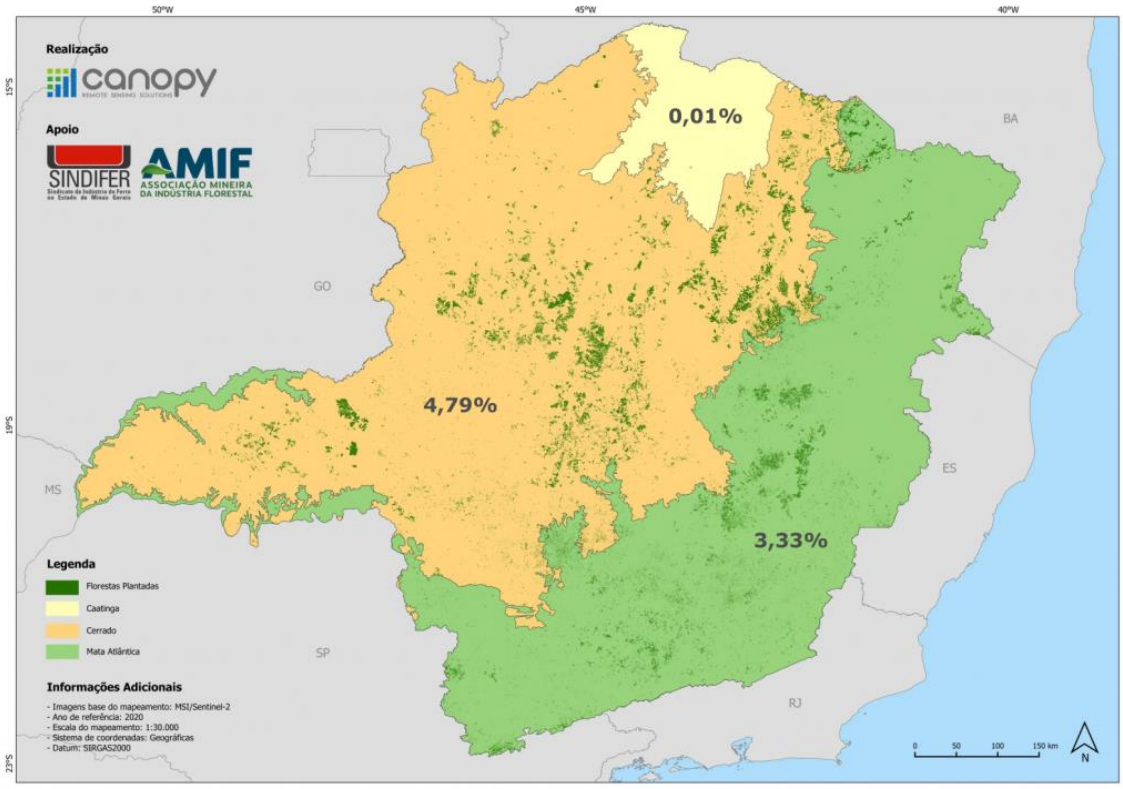

Figura 10: Imagens base do mapeamento via satélite. Fonte: SINDIFER, 2021

O levantamento utilizou mais de 3.500 imagens de satélite coletadas sobre o território mineiro na última década. O cultivo do gênero eucalipto é o principal nos plantios com 96,8% do total de hectares. A região Norte de Minas Gerais concentra 25% da base florestal no estado, seguida pelo Vale do Jequitinhonha (13%) e a região Central (12%).

As demais regiões representam a outra metade da área total plantada (SINDIFER, 2021).

No Brasil existe um órgão que auxilia e estimula o manejo florestal adequado e é referência em inovação tecnológica focada na geração de conhecimento e tecnologia para a agricultura e pecuária brasileira é a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). A Embrapa Florestas tem como missão viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade florestal em benefício da sociedade brasileira e busca ser um centro de excelência na geração de conhecimento, tecnologia e inovação para a produção florestal sustentável e conservação e uso da biodiversidade brasileira. Assim, a instituição foi a principal responsável pelos avanços genéticos e pelo aperfeiçoamento das espécies florestais, permitindo menor impacto ambiental (EMBRAPA, 2021).

Já a Associação Mineira da Indústria Florestal – AMIF - representa a indústria de base florestal plantada no estado de Minas Gerais e atua pelos interesses da indústria e dos produtores florestais. A proposta da organização é promover uma atividade ambientalmente sustentável por meio de comissões técnicas internas, que tratam de assuntos técnicos e demandas específicas para estimular e fomentar o crescimento e a competitividade das atividades relacionadas à indústria de base florestal plantada de Minas Gerais (AMIF, 2021).

Esses são órgãos que, em teoria, serviriam para dar amparo e serem atores em um sistema de elementos inter-relacionados cujo objetivo é executar adequadamente os programas florestais. O sistema em questão é a política florestal, responsável por conservar, proteger, administrar e manejar a utilização das florestas.

No Brasil, a Lei nº 4.771 de 14 de setembro de 1965 instituiu o Novo Código Florestal Brasileiro e estabeleceu em seu artigo primeiro que

> "as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem." (BRASIL, 1965).

O Decreto federal nº. 2.788, de 28 de novembro de 1998, definiu o Manejo de Recursos Florestais como

> "(...) a administração da floresta para obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema e considerando-se a utilização de múltiplas espécies madeireiras, produtos e subprodutos não madeireiros, bem como de outros bens e serviços de natureza florestal" (BRASIL, 1998).

A Lei nº 11.284, de 02 de março de 2006, dispôs sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; e estabeleceu, em seu artigo 3º as seguintes definições:

a. florestas públicas: florestas, naturais ou plantadas, localizadas nos diversos biomas brasileiros, em bens sob o domínio da União, dos Estados, dos Municípios, do Distrito Federal ou das entidades da administração indireta;
b. recursos florestais, como os elementos ou características de determinada floresta, potencial ou efetivamente geradores de produtos ou serviços florestais;
c. produtos florestais, os produtos madeireiros e não madeireiros gerados pelo manejo florestal sustentável;
d. serviços florestais, que incluem turismo e outras ações ou benefícios decorrentes do manejo e conservação da floresta, não caracterizados como produtos florestais;
e. manejo florestal sustentável, como a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal;
f. unidade de manejo: perímetro definido a partir de critérios técnicos, socioculturais, econômicos e ambientais, localizado em florestas públicas, objeto de um Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS, podendo conter áreas degradadas para fins de recuperação por meio de plantios florestais;
g. auditoria florestal: ato de avaliação independente e qualificada de atividades florestais e obrigações econômicas, sociais e ambientais assumidas de acordo com o PMFS e o contrato de concessão florestal, executada por entidade reconhecida pelo órgão gestor, mediante procedimento administrativo específico;

h. inventário amostral: levantamento de informações qualitativas e quantitativas sobre determinada floresta, utilizando-se processo de amostragem;

3.7. Fornos de carbonização

Toda a produção brasileira de carvão vegetal é obtida por meio da carbonização da madeira em fornos de alvenaria de superfície. O controle da carbonização é difícil e parte da madeira é queimada durante esse processo e, como consequência, o produto final possui propriedades variáveis. Para obter uma otimização do uso do redutor no alto forno e, consequentemente, aumento da qualidade do produto obtido, é necessário um controle mais apurado de qualidade da matéria-prima (CETEC, 1982).

A carbonização consiste na transformação da madeira em carvão pela ação do calor e em presença de quantidades controladas de oxigênio. Sob a ação do calor, a água contida na madeira se desprende em forma de vapor; o mesmo ocorre com líquidos orgânicos e gases não-condensáveis, ficando como resíduo o carvão (CETEC, 1982).

A carbonização da madeira é feita nos fornos de carvoejamento, que são fornos de alvenaria apropriados no interior dos quais é empilhada a madeira a ser carbonizada. São vários os tipos de fornos existentes, sendo os mais comuns os fornos de superfície convencionais e os de superfície com câmara de combustão. Os fornos mais comuns são: (a) Forno Rabo Quente; (b) Forno de Encosta; (c) Forno de Superfície; (d) Forno de Superfície com Câmara (CETEC, 1982).

O Forno Rabo quente é o mais barato, de construção mais simples e o mais difundido dos fornos de carbonização (representa mais de 70% de todo o carvão produzido no Brasil). Sua característica peculiar é a ausência de chaminés, portanto, a entrada de ar para a carbonização da lenha e saída da fumaça se faz através de orifícios de 10 a 5 cm chamados de “tatus”, “filas” e “baianas, conforme ilustra a Figura 13 (CETEC, 1982).

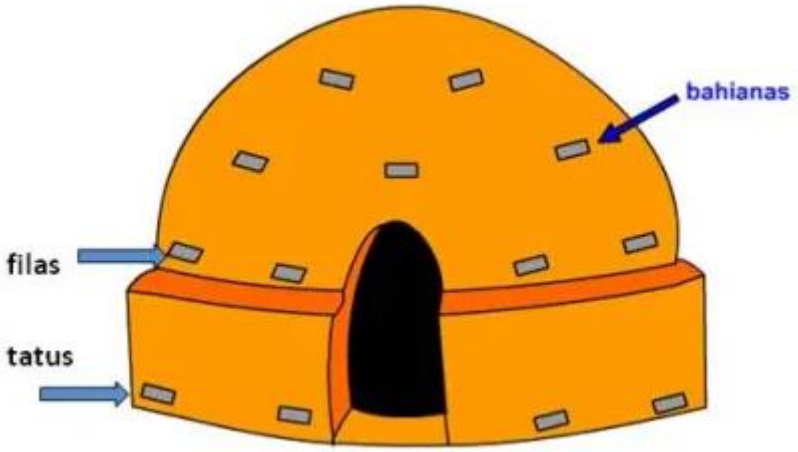

Figura 11: Forno Rabo Quente. Fonte: Adaptado de UFV (snd) *apud* SANTI; GONÇALVES, 2019.

O Forno de Encosta aproveita o desnível natural de terrenos acidentados. Para construí-lo corta-se o barranco com a forma circular, apoiando-se a copa sobre a borda do terreno, que funciona como se fosse a parede do forno, como ilustra a Figura 14. Assim como o Forno Rabo Quente, o Forno de encosta é dos mais difundidos, principalmente pelo baixo custo de construção (CETEC, 1982).

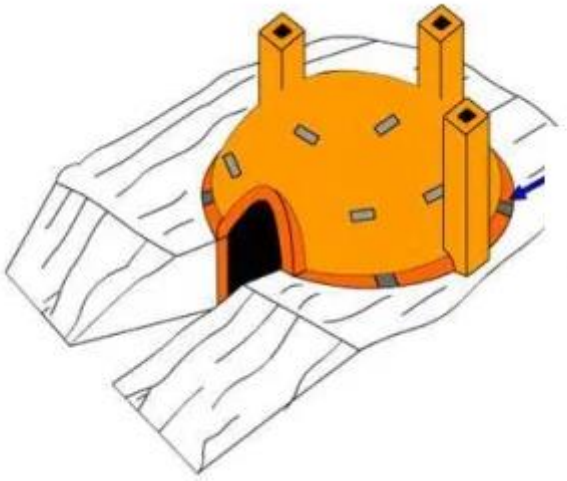

Figura 12: Forno de Encosta. Fonte: Adaptado de UFV (snd) *apud* SANTI; GONÇALVES, 2019.

O Forno de Superfície possui duas portas, sendo uma para o carregamento da lenha e outra para a descarga do carvão. É o tipo de forno mais utilizado por empresas que têm

reflorestamento próprio e em baterias de grande porte. Seu aspecto pode ser observado na Figura 15 a seguir (CETEC, 1982).

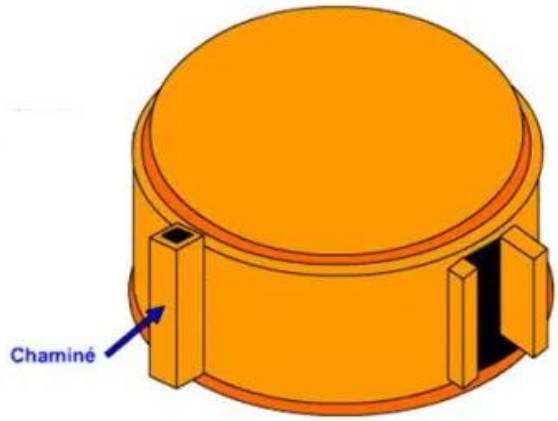

Figura 13: Forno de Superfície. **Fonte:** Adaptado de UFV (snd) *apud* SANTI; GONÇALVES, 2019.

O Forno de Superfície com Câmara Externa é o forno de alvenaria cilíndrico, com copa em forma de abóbada, uma chaminé lateral de tiragem central e uma câmara de combustão externa. Diferente dos outros fornos citados, neste, o calor para a carbonização da lenha é fornecido pela queima, na câmara, de lenha ou qualquer outro tipo de material, havendo assim um melhor aproveitamento do seu espaço interno, pois, toda a lenha enfornada pode ser transformada em carvão. Além disso, não há necessidade de controlar a entrada de ar no forno, o que simplifica sua operação. A Figura 17 ilustra o Forno de Superfície com Câmara Externa (CETEC, 1982).

Figura 14: Forno de Superfície com Câmara Externa Fonte**:** Adaptado de UFV (snd) *apud* SANTI; GONÇALVES, 2019.

O grande problema desses fornos é a alta dependência de mão de obra para operações manuais de carga de madeira e descarga do carvão. Com ciclo total de carbonização variando entre sete a doze dias e baixos rendimentos de conversão de madeira em carvão (de 24% a 29% de rendimento gravimétrico), esses fornos têm capacidade individual de produção que varia de 50 a 350 toneladas de carvão vegetal por ano (CGEE, 2015).

A partir da década de 1980, grandes empresas integradas de produção de ferro-gusa, Vallourec, ArcelorMittal, Aperam e Gerdau iniciaram um processo de construção de grandes fornos retangulares de alvenaria, conforme ilustra a Figura 18, com o objetivo de mecanizar ao máximo suas operações, desde a colheita, o enchimento dos fornos (feitos com grua) até a descarga do carvão (feito com pá carregadeira) (CGEE, 2015).

Figura 15: Formo retangular de alvenaria. Fonte: FIGUEIRA JÚNIOR, 2010.

Na tentativa de melhorar os métodos tradicionais de produção do carvão vegetal, os fornos metálicos vêm sendo aperfeiçoados visando o alcance de resultados em termos de redução do tempo de carbonização, aumento nos rendimentos volumétricos em estéreo de madeira/metro de carvão (st/MDC), aproveitamento dos subprodutos do processo, diminuição dos custos logísticos e das emissões de poluentes (SANTOS, 2007).

O forno metálico pode ser fixo ou móvel e esta escolha depende da localização da área de extração da matéria-prima, do custo de transporte e da mão-de-obra. A Figura 19 mostra exemplos de fornos metálicos cilíndricos verticais. (PINHEIRO *et. al*., 2006 *apud* SANTOS, 2007).

Figura 16: Fornos metálicos cilíndricos verticais. Fonte: COLOMBO, 2006 *apud* FIGUEIRA JÚNIOR, 2010.

O forno JG-SCC, um aperfeiçoamento do forno metálico de batelada, apresenta-se como uma alternativa para aumento do volume de produção em função da possibilidade de uso de vários cilindros (enquanto um esfria, outro é carregado com lenha), o que lhe confere característica de semi-contínuo. A Figura 20 apresenta um Forno JG-SCC. Apenas um forno metálico contínuo (retorta) operou no Brasil, especificamente na ACESITA, entre 1986 e março de 1993 (LATORRE; CUNHA, 2006 *apud* SANTOS, 2007).

Figura 17: Forno JG-SCC. Fonte: SANTOS, 2007 *apud* PIMENTA, 2007.

O processo DPC (*Drying, Pyrolisis, Cooling)* consiste em uma torre vertical formada por três partes: zona de secagem (*Drying*), situada na parte superior da torre, onde a madeira passa por um processo de secagem, posteriormente para a zona de carbonização

(*Pyrolisis*), situada na parte intermediária onde a madeira é carbonizada, finalizando na zona inferior onde o carvão vegetal é resfriado (*Cooling*), daí a denominação. A Figura 21 apresenta o processo DPC. Os gases coletados na parte intermediária são queimados numa câmara de combustão e o calor é conduzido para a parte superior para a zona de secagem (LÚCIO, 2006 *apud* SANTOS, 2007).

Figura 18: Container processo DPC. Fonte: SANTOS, 2007 *apud* PIMENTA, 2007.

A evolução dos fornos para carbonização da matéria lenhosa no Brasil, depois dos fornos de terra, segue a sequência mostrada na Tabela 5.

TIPO DE CONSTRUÇÃO	CICLO DE OPERAÇÃO (HORAS)	CAPACIDADE		RENDIMENTO VOLUMÉTRICO (st/MDC)
		LENHA (st)	CARVÃO (MDC)	
ALVENARIA COM FONTE INTERNA DE CALOR				
Encosta ou barranco	240	20	8,7	2,3
"Rabo quente"	144-168	20	8	2,5
Retangular V&M	264-312	180-240	95-130	1,8
Retangular Acesita	264	110	65	1,8
METÁLICOS COM FONTE INTERNA DE CALOR				
JG Semicontínuo	ND	ND	ND	ND
METÁLICOS COM FONTE EXTERNA DE CALOR				
DPC Semicontínuo	72	80	53,3	1,5

Tabela 5: Desempenho dos fornos de carbonização no Brasil. Fonte: PINHEIRO et al. ,2006; LÚCIO, 2006 *apud* SANTOS, 2007.

Segundo um estudo técnico do CETEC (1982), as propriedades do carvão vegetal estão intimamente ligadas aos parâmetros do processo de produção e da matéria-prima que

lhe deu origem. Cada minério a ser reduzido, devido às suas características, poderá necessitar de um redutor com determinadas propriedades sendo, portanto, de grande importância o conhecimento de como se pode atuar durante a fabricação, nas propriedades do carvão vegetal. Algumas propriedades importantes a serem controladas durante a produção do carvão vegetal são:

- friabilidade – é a resistência à abrasão e à queda, que pode gerar grande quantidade de finos;
- resistência à compressão – um carvão que possui maior resistência à compressão apresentará menor degradação durante a sua utilização em um reator;
- densidade e porosidade – quanto maior a densidade do carvão melhor, pois ela determina, dentre outros fatores, o volume ocupado pelo termorredutor nos aparelhos de redução. Para cálculos de densidade a porosidade do carvão tem papel crucial, pois trata-se de um termorredutor muito poroso (70% a 80% de porosidade) e a densidade que se mede varia conforme a técnica de medida;
- composição química do carvão – a quantidade de carbono presente no carvão é refletida, principalmente, na utilização do forno por unidade de volume. Para o mesmo volume, maior é a utilização do forno à medida que o carbono fixo aumenta. Quanto ao teor de cinzas, que é sempre baixo para o carvão vegetal, seu efeito sobre a composição final da escória e o volume da mesma não é tão importante quanto seu efeito catalisador[2] na reação $C\text{-}CO^2$. Com relação às matérias voláteis, o maior efeito da sua eliminação está na modificação estrutural do carvão, cujas alterações das características físicas (porosidade, densidade, diâmetro médio...) podem alterar seu comportamento nos aparelhos de redução. A respeito da umidade, quanto maior o seu teor maior será a quantidade de carvão a ser utilizada, ocupando um volume maior no forno que deveria ser ocupado pela carga metálica, implicando na redução da produtividade.
- poder calorífico – trata-se do número de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa de combustível, sendo expresso em kJ/kg para combustíveis sólidos. Tal propriedade é de grande importância,

2O catalisador acelera a reação mas não altera a composição química dos reagentes e produtos envolvidos e não é consumido durante a reação.

principalmente quando se pensa na utilização do carvão vegetal como fonte de energia em substituição aos combustíveis fósseis.

O carvão vegetal praticamente dobra o conteúdo de energia em termos mássicos da madeira seca (900 kJ/kg), produzindo carvão vegetal com 75% de carbono fixo, carbonizando a temperaturas máximas de 400º C e poder calorífico de 1690 kJ/kg. A carbonização pode virar coqueificação se o objetivo é zerar os produtos voláteis e, para isso, a carbonização deve acontecer em temperaturas da ordem de 1000º C, produzindo um carvão coqueificado com carbono fixo da ordem de 95% e 2000 kJ/kg (SAMPAIO, 2008).

A umidade inicial da madeira é de suma importância uma vez que cada 1% de umidade chega a reduzir o rendimento gravimétrico em até 0,37%. Por isso, é necessário o desenvolvimento de processos de secagem da madeira da forma mais simples e eficaz possível, preferencialmente com energia solar, para melhorar a eficiência de utilização da biomassa produzida para fins econômicos na indústria (SAMPAIO, 2008).

Segundo relatório do CGEE (2015), uma das formas mais efetivas para a redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) no parque industrial de produção de carvão vegetal no Brasil seria através da melhoria da eficiência da carbonização, entendida por rendimento gravimétrico do processo. Assim, é imprescindível a atualização de todo o processo de carbonização e para este propósito é sugerido:

- a modernização dos queimadores de fumaças de carbonização da madeira;
- o desenvolvimento de secadores de madeira;
- a implantação de ferramentas eficientes de controle do processo de carbonização com custo-benefício aceitável;
- a implantação de balanças nas unidades de produção de carvão vegetal para cálculo do rendimento gravimétrico;
- implantação de planos para treinamento de equipe de produção de carvão vegetal visando à melhoria de eficiência;
- mapeamento do estoque de florestas plantadas como possibilidade para o carvão vegetal;
- estímulo para a criação de cooperativas e associações regionais;

- a implantação de unidades industriais de tecnologias modernas de carbonização.

Atualmente, vários são os programas e as linhas de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) direcionados à atividade florestal, como: Programa para a Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura – Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC); Apoio a Investimentos em Meio Ambiente (BNDES Meio Ambiente); Apoio ao Reflorestamento, Recuperação e Uso Sustentável das Florestas (BNDES Florestal); Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf Investimento); e Programa Fundo Clima – Carvão Vegetal (Fundo Clima) (CGEE, 2015).

Além dos programas do BNDES, também estão disponíveis os programas de financiamento dos fundos constitucionais, voltados à promoção do desenvolvimento econômico-social e à redução das desigualdades regionais, direcionados à atividade florestal: Programa de Financiamento à Conservação e Controle do Meio Ambiente – do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE Verde); Programa de Preservação da Natureza – do Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO Pronatureza); Apoio a Empreendimentos Sustentáveis e à Recuperação de Áreas Degradadas (FNO Biodiversidade) e o Apoio ao Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (FNO Amazônia Sustentável), ambos Fundo Constitucional de Financiamento do Norte. De todos os programas disponíveis, o Fundo Clima é considerado o mais específico para os projetos de modernização da produção do carvão vegetal. (CGEE, 2015)

3.8. O alto-forno

Alto-forno é o equipamento no qual ocorre o processo de redução química, cuja função é provocar a separação do ferro, Fe, do seu minério, Fe_2O_3. O processo de redução química nada mais é do que a separação de um metal de seu óxido e se processa com a ajuda de um agente redutor. O redutor é o material que deve apresentar maior atração pelo oxigênio, nas condições de operação, do que o metal que vai ser reduzido. O agente redutor utilizado na siderurgia é o coque de carvão mineral ou o carvão vegetal (peculiaridade da siderurgia brasileira) (ABCM, 2021). A Figura 22 apresenta o processo simplificado de redução dos óxidos de ferro no interior do alto-forno.

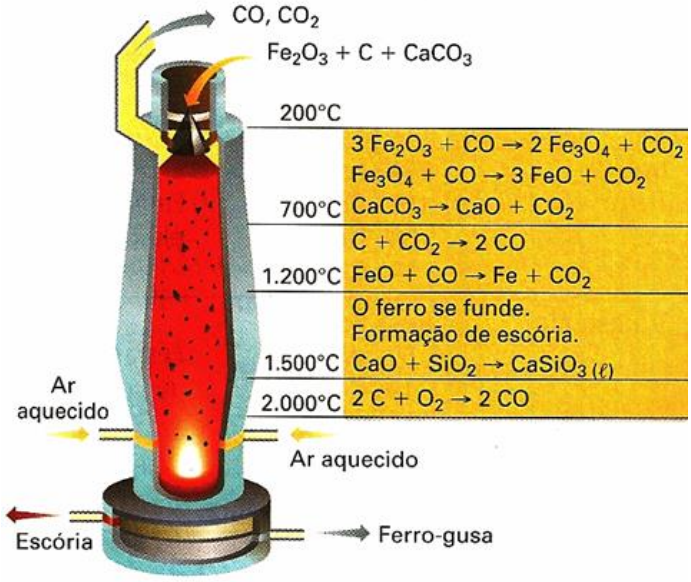

Figura 19: Processo simplificado de redução dos óxidos de ferro no alto-forno. Fonte: IFRS (2021)

O produto metálico dos três primeiros processos é o gusa líquido, constituído de ferro (aproximadamente 94%), carbono (aproximadamente 4%) e outros elementos como silício, manganês, fósforo e enxofre. Nesses processos, obtém-se ainda um outro produto líquido conhecido como escória, formada principalmente pela ganga do minério (SiO_2, Al_3O_3), pelos fundentes (CaO, MgO) e pelas cinzas do coque ou do carvão vegetal (JACOMINO *et. al*., 2002).

Segundo relatório do CGEE (2010), os altos-fornos a coque eram responsáveis por cerca de 93% a 94% do total da produção mundial de ferro primário, sendo seguido pelos módulos de redução direta (5% a 6%) e altos-fornos a carvão vegetal (1%). O estado da arte da tecnologia de uso dos redutores fósseis sempre foi considerado muito satisfatório, não havendo muito espaço para ganhos adicionais de eficiência.

As usinas integradas a coque no país sempre representaram boa parte da produção siderúrgica brasileira. (CGEE, 2010).

Durante o processo de redução, os materiais carregados – minério de ferro, carvão vegetal e fundentes (quartzo, calcário, dolomita, entre outros) – transformam-se nos produtos: gusa líquido, escória, gás de alto-forno e poeira. A redução dos óxidos de ferro se processa à medida em que a carga desce no interior do forno e os gases,

resultantes da queima do carvão vegetal, sobem pela coluna de carga. Há um pré-aquecimento dos materiais e uma alteração na composição da carga. O oxigênio que estava combinado com o ferro do minério, passa, sob a forma de óxidos de carbono, a fazer parte dos gases. Outras reações químicas e a fusão da ganga e dos fundentes acompanham o processo e formam a escória. No caso do Setor Independente de Produção de Gusa, o produto para venda (ferro-gusa) pode ser solidificado, em lingotes, ou mesmo ser comercializado como gusa líquido, transportado por carretas, condicionado em panelas e usado por empresas situadas em regiões próximas do alto-forno (entre 10 e 20 km) (JACOMINO *et. al.,* 2002).

A Figura 23 e a Figura 24 mostram um corte esquemático de um alto-forno e imagens ilustrativas de produtos do alto forno (ferro-gusa), respectivamente.

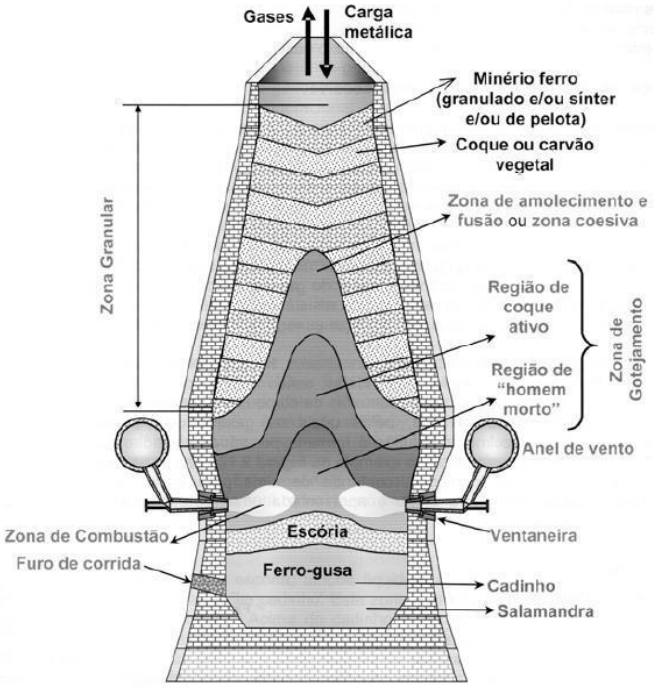

Figura 20:Corte esquemático de um alto-forno Fonte: SILVA (2016)

Silva (2016) apresentou e descreveu a estrutura do alto-forno:

a) Zona granular: nesta zona, o minério e o coque mantêm a sua configuração em camadas, tais como foram carregados, ou seja, em camadas alternadas de coque e de minérios. Nesta região a redução do minério ocorre apenas no estado sólido;

b) Zona coesiva ou de amolecimento e fusão: é constituída de camadas de coque e camadas coesivas alternadas. As camadas coesivas consistem de minério de ferro semifundido, praticamente impermeáveis ao fluxo gasoso, que passará pelas chamadas janelas de coque;
c) Zona de gotejamento: esta região contém coque na forma sólida, em cujos interstícios gotejam o gusa e a escória. Esta zona é dividida em duas subzonas: a região de coque ativo, que compreende a porção de coque que rola em direção às ventaneiras para ser queimado, e a região de coque inativo ou estagnado (conhecida também como homem-morto), cujo coque é consumido basicamente pela incorporação de carbono ao gusa, durante a descida das gotas de gusa para o cadinho;
d) Zona de combustão: é uma região parcialmente vazia em frente às ventaneiras, devido à elevada energia cinética do sopro de ar quente. À medida que as partículas de coque circulam, vão sendo queimadas gerando gás redutor e energia. O carvão pulverizado é injetado diretamente na zona de combustão junto com o sopro de ar quente;
e) Cadinho: é preenchido com coque granulado por cujos interstícios se depositam o gusa e a escória, que se separam em duas camadas por diferença de densidade. No cadinho ainda ocorrem importantes reações entre as fases metálica e escorificada, tal como a dessulfuração do gusa.
f) Furo de corrida: local onde ocorre a drenagem do gusa e escória produzidos dentro do forno.
g) Ventaneira: semi-cone metálico que direciona o ar quente para o interior do forno.
h) Salamandra: região mais inferior do forno por onde deve-se ocorrer a drenagem completa do cadinho em caso de necessidade (normalmente nas paradas para reforma do alto-forno).

Figura 21:Imagens ilustrativas de produtos do alto forno (ferro gusa)

Cabe ressaltar que o alto-forno a carvão vegetal é uma configuração produtiva tipicamente nacional, sendo que os seus desenvolvimentos têm sido lentos em relação àqueles alcançados pelo alto-forno a coque. O estado da arte das tecnologias de conversão de biomassa em carvão é primitivo e, por isso, possui um grande potencial de ganhos técnicos, ambientais e econômicos, existindo, assim, amplo espaço para o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da tecnologia dos mini altos-fornos, de sorte a ampliar os seus patamares de competitividade e sustentabilidade. Por exemplo, já existem tecnologias e práticas operacionais que garantem elevados índices de tratamento e recuperação dos resíduos gerados pelos altos-fornos a carvão vegetal (CGEE, 2010).

Apesar dos "guseiros" se apresentarem como o segmento mais representativo em termos da produção de ferro-gusa à base de carvão vegetal no país, existem usinas integradas a carvão vegetal em pleno funcionamento, tanto com aciarias básicas a oxigênio, quanto com aciarias elétricas (CGEE, 2010).

4. ESTIMATIVA E COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO NA SIDERURGIA EM MINAS GERAIS

Para a maioria das economias, os sistemas de energia se movem pela combustão de combustíveis fósseis que, durante a combustão, convertem carbono e hidrogênio principalmente em dióxido de carbono e água e, assim, liberam a energia química em forma de calor. O setor energético é responsável por mais de 90% das emissões de CO_2 e 75% do total de emissões de gases de efeito estufa. Estimativas das emissões

nacionais e por setor são feitas com base nas quantidades de combustíveis utilizadas e o teor de carbono dos combustíveis (IPCC, 1995).

Para fins de inventário de emissões de gases de efeito estufa, a queima de combustível ou combustão pode definir-se como a oxidação intencional de materiais dentro de um aparato desenhado para fornecer calor ou trabalho mecânico a um processo, ou para utilizar fora do aparato (IPCC, 2006).

As Diretrizes do IPCC estimam as emissões de carbono segundo as espécies que as emitem. Durante o processo de combustão, a maior parte do carbono é emitida de imediato como dióxido de carbono. Entretanto, parte do carbono é liberada como monóxido de carbono, metano ou compostos orgânicos voláteis diferentes do metano. A maior parte do carbono emitido nessas formas chega a oxidar-se em CO_2 na atmosfera (IPCC, 2006).

As emissões de CO_2 são independentes da tecnologia de combustão e dependem principalmente sobre o conteúdo de carbono no combustível. Portanto, é possível estimar emissões de CO_2 com alguma precisão, com base no total de combustível queimado e o teor de carbono médio de combustíveis (IPCC, 2006).

A metodologia de mensuração das emissões atmosféricas de CO2 para a produção de ferro gusa proposta pelo IPCC (2019) é utilizada neste trabalho com o intuito de quantificar e comparar as emissões da produção de ferro-gusa no estado de Minas Gerais considerando o uso de termorredutores de origem fóssil (coque de carvão) e biomassa (carvão vegetal).

A equação geral da metodologia para emissões da produção de gusa por meio do alto-forno e que não é convertida em aço é a seguinte:

$$E_{CO_2,non-energy} = IP \,.\, EF_{IP} \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$E_{CO_2,non-energy}$ = Emissões de CO2 da produção de ferro-gusa não convertida em aço

IP = Quantidade produzida de ferro gusa não convertida em aço (em toneladas)

EF_x =Fator de emissão, em toneladas de CO_2/ tonelada produzida

Este cálculo é preferível para estimar as emissões separadamente, pois os fatores de emissão das plantas integradas devem levar em consideração tanto as emissões para a produção de ferro quanto para a produção de aço.

4.1. Fatores de emissão de carbono

De acordo com a metodologia do IPCC, para tecnologias eficientes, como já destacado, pode-se considerar que no processo de combustão, todo o carbono presente no combustível reagirá com o oxigênio, formando CO_2. (IPCC, 2006).

Os fatores de emissão são calculados com base no conteúdo de carbono dos combustíveis e o IPCC sugere valores padrão para fatores de emissão caso os valores específicos do país não estejam disponíveis. Neste trabalho serão utilizados, conforme previamente elucidado, os valores sugeridos pelo IPCC, apresentados no Quadro 3.

FONTES DE ENERGIA	FATOR DE EMISSÃO (t CO_2/ t)
Coque de carvão mineral	1,43
Carvão Vegetal oriundo de florestas plantadas[3]	1,35

Quadro 3: Fatores de emissão de carbono segundo o IPCC. Fonte**:** IPCC, 2019

4.2. Balanço de co_2 no ciclo de fabricação do ferro-gusa a carvão vegetal

No ciclo de fabricação do ferro-gusa são gerados CO_2 e CH_4, sendo as principais fontes a carbonização da madeira e a redução no alto-forno. A opção pela energia renovável da biomassa para produção do ferro-gusa contribui para o balanço de CO_2 na atmosfera, com a realização do processo fotossintético.

Comparando-se o balanço de CO_2 para a siderurgia a coque e aquela que utiliza carvão vegetal oriundo de florestas plantadas verifica-se que o resultado para carvão vegetal é

[3] Em geral as emissões neste caso são computadas como zero nos inventários nacionais devido ao coeficiente de fixação do CO_2 na fase de crescimento das plantas.

significativamente melhor em termos de emissões de gases de efeito estufa, conforme será apresentado na sequência, considerando os seguintes estágios:

(a) Carbonização da madeira;
(b) Redução do minério de ferro no alto-forno;
(c) Fixação de CO_2 na floresta de eucalipto.

Para tanto, foram levadas em conta as seguintes hipóteses consideradas por Malard (2009):

i. Em relação à carbonização da madeira:
   - A massa dos gases provenientes da carbonização da madeira representa 25% da massa da madeira seca. A porcentagem em volume dos principais gases gerados no processo é: (a) CO_2 = 62%; (b) Metano = 2,43%; (c) CO = 34%; (d) Etano = 0,13%; (e) Hidrogênio = 0,63%;
   - A média de produtividade na carbonização da madeira é de 1,8 st/mdc ou 1,2 m^3 madeira/mdc;
   - Adota-se a densidade de 440kg/m^3 para o *eucalyptus grandis* e 250kg/m^3 para o carvão vegetal. O consumo específico de carvão vegetal para produção de uma tonelada de ferro-gusa é de 2,74mdc;
   - 1,2m^3 madeira é convertida em 1mdc. Portanto, 2,74mdc equivalem a 3,288m^3madeira;
   - Logo, para produzir uma tonelada de ferro-gusa, usa-se 3,288m^3 ou 1,45tonelada de eucalipto (3,288m^3 x 440kg/m^3 / 1.000);
   - 5% da massa da madeira enfornada é queimada para aquecer a carga do forno, sendo que a composição da fumaça que é liberada nessa fase é desconhecida. Considerando a pequena massa queimada, supõe-se a conversão completa do carbono em CO_2 equivalente. Esses 5%, equivalem a 0,073t de madeira (0,05 x 1,45). Considerando teor de carbono igual a 43%, são liberadas 0,031 toneladas de C (0,43 x 0,073), que, convertidas para

CO_2 – ou seja, multiplicando por 44/12 (massa do CO_2 é 44 e do carbono 12) –, obtém-se 0,115toneladas de CO_2;

- Considerando o enfornamento de 1,45t de madeira, usa-se 1,378t de madeira (0,95 x 1,45t). Como 25% da massa correspondem às frações gasosas, obtém-se 0,345 tonelada de gases (0,25 x 1,378t de madeira).
- Na Tabela 7 estão apresenta das informações sobre as emissões de CO_2 durante o processo de carbonização.

INSUMO	EMISSÃO
0,073 t madeira (equivalente a 5% da massa da madeira enfornada)	0,115 t CO2
1,378 t madeira (equivalente a 95% da massa da madeira enfornada)	0,214 t CO_2
	0,117 t CO
	0,008 t CH_4[30] = 0,168 t CO_2eq
	< 0,001 t C_2H_6

Tabela 6: Emissões de CO_2 durante o processo de carbonização. Fonte: MALARD, 2009

- Total de CO_2 emitido na carbonização da madeira por tonelada de ferro gusa: 0,497t.

ii. Em relação à etapa de redução do minério de ferro no alto-forno:

- O gás de alto-forno é composto de, aproximadamente, 20% de CO_2, 20% de CO, 1% de CH_4, 3% de H_2 e o restante de nitrogênio (porcentagens em volume). As taxas de emissão de CO_2 variaram de 15% a 24%, sendo a média igual a 20%.
- Segundo o IPCC (2019), conforme já mencionado, o fator de emissão é de 1,35t de CO_2 para cada tonelada de ferro-gusa produzida. A título de

informação complementar, o fator de emissão calculado por Malard (2009), especificamente para a indústria siderúrgica mineira, é de 1,9t de CO_2 para cada tonelada de ferro-gusa produzida.

iii. Em relação à fixação de CO_2 na floresta de eucalipto:

- Volume de uma árvore no sétimo ano de crescimento: 0,318m^3;
- São utilizados 3,288m^3 de madeira para produzir uma tonelada de ferro-gusa, ou seja, aproximadamente dez árvores (3,288m^3 / 0,318m^3);
- Para estimar a massa de CO_2 absorvida pela planta, adotou-se a metodologia usada pelo IPCC (2003), que quantifica o estoque de CO_2 por meio da seguinte equação:

$$\mathbf{[E]CO_2 = (V * D * FEB) * (1+R) * FC * (44/12)} \qquad \text{Equação (2)}$$

Onde:

[E]CO2 = estoque de CO_2

V = volume comercial, em m^3;

D = densidade específica da madeira, em toneladas de matéria seca por m^3 de volume comercial;

FEB = fator de expansão da biomassa, para conversão de volume comercialpara biomassa acima do solo;

R = razão parte aérea da árvore (peso seco da parte aérea em kg) / parte radical (peso seco das raízes em kg);

FC = fração de carbono.

• Volume comercial de uma árvore: 0,318m^3

• Densidade do *Eucalyptus grandis* = 0,44g/cm^3

• FEB: 1,05 (CORTE e*t al*., 2015)

• R = 0,08 (CORTE e*t al*., 2015)

• FC- Fração carbono na madeira de *Eucalyptusgrandis* = 0,43

Dessa forma, é possível estimar o estoque de CO_2 por árvore como sendo:

$$\mathbf{[E]CO_2 = (0{,}318 * 0{,}44* 1{,}05) * (1+0{,}08) * 0{,}43* (44/12)} \qquad \text{Equação (2)}$$

$$\mathbf{[E]CO_2 = 0{,}2502t \text{ por árvore}}$$

Para colher a lenha no sétimo ano, é necessário que a floresta tenha seis anos de franco crescimento e permanente plantio. A lenha do sétimo ano alimenta as necessidades de carbono do ciclo de fabricação de ferro gusa, enquanto os seis anos restantes constituem um estoque permanente. Para realização destes cálculos foi considerada taxa constante de acumulação do carbono ao longo do crescimento do eucalipto (MALARD, 2009).

De acordo com os resultados obtidos para a emissão de CO_2 no ciclo de fabricação do ferro-gusa (abrangendo a carbonização da madeira e alto-forno e também a fixação de CO_2 nas florestas plantadas de eucalipto), obtém-se o balanço geral das emissões de gases de efeito estufa na cadeia produtiva relativa ao setor. A Figura 25 apresenta um esquema do balanço emissões para a produção de ferro-gusa a partir do carvão vegetal oriundo de florestas plantadas. Como se pode notar, para cada tonelada de ferro gusa produzida são fixadas 0,65t de CO_2.

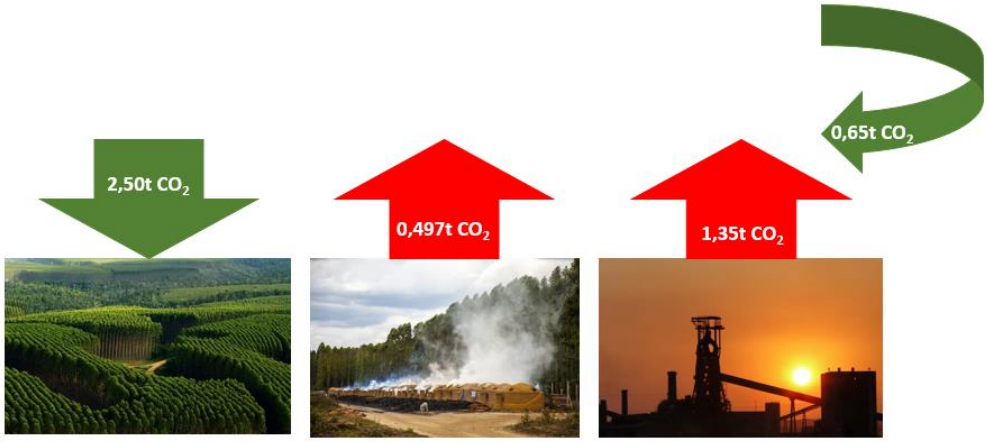

Figura 22: Balanço de CO2 no ciclo de fabricação do ferro-gusa tendo como termorredutor o carvão vegetal oriundo de florestas plantadas. Fonte: Adaptado de Malard (2009)

É importante ressaltar que os valores das emissões variam à medida que se modifica a eficiência da carbonização, inclusive com coleta e transformação dos gases e licores pirolenhosos em produtos fixados.

4.3. Estimativa das emissões de co_2 na siderurgia a coque em minas gerais

Conforme previamente elucidado, Minas Gerais é o maior produtor de ferro-gusa do Brasil. A Tabela 8 mostra a série histórica da produção total de ferro-gusa em Minas Gerais.

ANO	SIDERURGIA A COQUE	SIDERURGIA A CARVÃO VEGETAL EM MG			TOTAL
		USINAS INTEGRADAS	USINAS INDEPENDENTES	TOTAL A CARVÃO VEGETAL	
2011	8.367.456	2.256.500	2.998.000	5.254.500	13.621.956
2012	8.238.710	2.318.790	2.738.437	5.057.129	13.295.839
2013	7.998.656	2.283.244	2.924.957	5.208.201	13.206.857
2014	7.564.308	2.313.692	2.914.132	5.227.824	12.792.132
2015	7.481.840	2.140.623	2.562.327	4.702.950	12.184.790
2016	7.729.708	2.033.592	2.302.368	4.336.160	12.065.868
2017	7.376.886	2.050.214	2.775.393	4.825.607	12.202.493
2018	7.401.700	2.187.500	3.160.010	5.347.510	12.749.210
2019	7.213.580	1.996.420	3.520.142	5.516.562	12.730.142
2020	6.885.740	1.827.660	3.906.655	5.734.315	12.620.055

Tabela 7: Produção total de ferro-gusa no estado de Minas Gerais de 2011 a 2020, em toneladas. Fonte: SINDIFER, 2021

A Metodologia do IPCC será aqui implementada para elaboração de comparações, considerando a produção do ano de 2020, das emissões de CO_2 a partir dasduas diferentes rotas tecnológicas de produção de ferro-gusa no Estado de Minas Gerais, a saber: siderurgia a coque e siderurgia a carvão vegetal.

Considerando as emissões de CO_2 referentes ao setor, de acordo com a Metodologia do IPCC, para a siderurgia a coque no ano de 2020 em Minas Gerais temos:

$$E_{CO_2,non-energy} = 6.885.740t * 1{,}43t\ CO_2/t \qquad \text{Equação (1)}$$

$$E_{CO_2,non-energy} = 9.846.608t\ CO_2 = 9{,}85\ Mt\ CO_2$$

Isso significa que somente no ano de 2020 foram emitidas quase 10 milhões de toneladas de CO_2 na atmosfera apenas pela produção de ferro-gusa a coque no Estado de Minas Gerais.

Para a siderurgia a carvão vegetal, também considerando o ano de 2020 temos:

$$E_{CO_2,non-energy} = 5.734.315t * 1{,}35t\ CO_2/t \qquad \text{Equação (1)}$$

$$E_{CO_2,non-energy} = 7.741.325t\ CO_2 = 7{,}74\ Mt\ CO_2$$

4.4. Análise comparativa dos resultados

Para a siderurgia a carvão vegetal, entretanto, é necessário considerar a fixação de CO_2que ocorre durante o crescimento das florestas plantadas de eucalipto. Conforme foi mostrado anteriormente, para cada tonelada de ferro-gusa produzida são fixadas 0,65t de CO_2. Assim, tem-se:

$$5.734.315\text{t} * 0{,}65\ \text{t}\ CO_2 = 3{,}73\ \text{Mt}\ CO_2$$

Logo, na prática, no ano de 2020 foram emitidas 4,014 Mt de CO_2pela produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Estado de Minas Gerais uma vez que 3,73 Mt CO_2 foram fixadas pelas florestas plantadas de eucalipto.

As siderúrgicas que utilizam coque de carvão mineral ao invés de carvão vegetal emitem aproximadamente 5,84 Mt de CO_2 a mais devido ao fato de se tratar de um recurso energético fóssil, isto é, não há fixação de CO_2nas florestas plantadas. Dessa forma, pode-se dizer que a opção de produzir ferro-gusa a partir do carvão vegetal produzido a partir de madeira de floresta plantada, proporciona um ganho ambiental na produção do ferro-gusa.

Além disso, a rota de fabricação de ferro gusa a coque emite grande quantidade de SO_2, que combinado com o vapor d'água contido na atmosfera, forma a chuva ácida, que danifica monumentos e construções e causa danos ambientais nos lagos, plantações e florestas (ALTHOFF *et al*., 1999 *apud* MALARD, 2009).

Cabe salientar que as emissões de CO_2 da produção de ferro-gusa a partir do carvão vegetal não são computadas nas emissões totais de CO_2 das atividades desenvolvidas no Estado, pois segundo a metodologia do IPCC (2019) elas devem ser relatadas como zero em inventários nacionais de gases de efeito estufa. A biomassa queimada como fonte de energia deve ser contabilizada e as emissões de CO_2 são incluídas no inventário apenas como um item informativo no Setor de Energia, pois se considera que o CO_2 será reabsorvido durante o crescimento da planta (MALARD, 2009; IPCC, 2019).

5. CONFLITOS E INJUSTIÇAS SOCIAIS NA HISTÓRIA DA CADEIA SIDERÚRGICA BRASILEIRA

5.1. Territorialidade, trabalho, segurança e saúde

Primeiramente, é importante elucidar a diferenciação conceitual no que se refere ao espaço e ao território. Para Claude Raffestin (1993), espaço é diferente de território, pois aquele antecede ao território e este se forma a partir do espaço geográfico via relações que são estabelecidas no meio social. O território se apoia no espaço, mas não é o espaço. É uma produção, a partir do espaço (COSTA, 2019 *apud* RAFFESTIN, 1993).

Uma sociedade só se torna concreta a partir do espaço que ela produz. Ocorrendo a formação social do espaço, se constitui assim, a territorialidade que, por sua vez, envolve tanto a sociabilidade, quanto as tensões entre determinado grupo social no espaço geográfico, ao passo que as territorialidades proporcionam a formulação de estratégias de controle de um grupo social sobre um determinado espaço, através do fortalecimento de forças econômicas, políticas e culturais (COSTA, 2019).

Muitas interpretações convencionais, sobretudo as de cunho economicista, supõem que a emergência do espaço socialmente ocupado (ou construído) e dos atores sociais que o ocupam depende apenas do conjunto de ações desencadeado, simultaneamente, pelo Estado e pelo capital privado. A presença desses dois últimos atores seria, então, o mecanismo de elevação de uma categoria "incivilizada" (sobretudo a dos camponeses) à condição de sujeitos modernos por que inseridos no mercado ou submetidos à lógica de políticas ou burocracias específicas. A verdade é que tanto o Estado quanto o capital, ao promoverem uma modernização, capturam e submetem a nova(s) trajetória(s) socialmente excludente(s) aqueles espaços ou territórios cuja ocupação social e técnica é anterior à sua presença (GONÇALVES, 2001).

No Brasil, durante o período militar (1964-1985), optou-se por um modelo de desenvolvimento que tinha o crescimento econômico como principal objetivo. Para isso, alguns setores da economia foram incentivados, por serem considerados mais aptos para o crescimento. Esse modelo econômico militar se baseava em uma forte relação entre Estado e capital internacional. Empresas estrangeiras se orientaram, no Brasil, para os setores de tecnologia de ponta, a produção de bens duráveis, bens de capital, produtos químicos e farmacêuticos e na mineração. A empresa estatal cuidava da infraestrutura e das indústrias de base; as empresas privadas nacionais se deslocavam dos ramos-chave da economia (URÁN, 1987; BRUM, 1995 *apud* CALIXTO, 2006).

Surgiram, assim, as políticas de incentivo ao reflorestamento para a produção de carvão vegetal para a siderurgia, do final da década de 1960 ao início da década de 1980, que estão intimamente relacionadas com o projeto de desenvolvimento do país na época, uma vez que o modelo de desenvolvimento tinha como estratégia a expansão da produção de bens de consumo duráveis. Um modelo elitista e concentrador, pois priorizava as indústrias que necessitavam de grande volume de capital para se estabelecerem e a produção de bens para as camadas mais abastadas da população. Outro fator relevante para o reflorestamento foi a pressão de órgãos ambientais para que

empresas que utilizassem matéria-prima florestal no seu processo produtivo passassem a produzir esse material, fazendo cumprir a legislação ambiental (CALIXTO, 2006). Entretanto, o incentivo mal planejado fez com que grande parte de matas nativas fossem devastadas para dar lugar às extensas plantações de eucalipto.

A siderurgia era central para o desenvolvimento econômico do país, servindo de base para as indústrias de bens de consumo duráveis, que propulsionariam o desenvolvimento. A siderurgia deveria ser nacional para garantir a segurança, reduzindo a dependência externa no setor. O crescimento econômico dessa época provocava um considerável aumento da demanda de aço devido ao crescimento industrial. Isto levou à formulação de planos de expansão para o setor, localizado, em sua maioria, no estado de Minas Gerais, que tropeçava no problema de escassez de matéria-prima para se abastecer (CALIXTO, 2006).

Minas Gerais foi, tradicionalmente, o estado que abrigou o maior número de plantas siderúrgicas, devido ao manancial de recursos naturais, principalmente o minério de ferro. Contribuíram para isso, ainda, a habilidade política e a ampla cobertura vegetal (constituída em boa parte de cerrado e mata), destinada à fabricação de carvão nas proximidades das indústrias. O estado permanece sendo, até os dias atuais, o maior produtor de carvão vegetal do Brasil, sendo responsável por 86,6% da produção nacional do insumo (IBGE, 2019; CALIXTO, 2006).

As áreas utilizadas para expansão do reflorestamento foram consideradas pelas políticas de desenvolvimento como despovoadas. As populações rurais da região foram também consideradas sem importância. A agricultura praticada pelas populações residentes nessas áreas era considerada atrasada, de baixa produtividade e rendimento, e sem a integração necessária para incorporar novas tecnologias. A forma de apropriação dos recursos naturais pelas populações rurais geralmente não é compreendida nem respeitada por pesquisadores e formuladores de políticas públicas (CALIXTO, 2006).

O espaço rural brasileiro é palco de problemas como a concentração fundiária, a degradação ambiental, os conflitos no campo e uma modernização conservadora e desigual que fortaleceu as desigualdades sociais tanto no campo como na cidade.As conjunturas socioeconômicas e políticas sempre favoreceram a estrutura fundiária concentrada, dificultando a vida das famílias camponesas que necessitam da terra para a

sua autossustentação e para o fornecimento do excedente da produção ao abastecimento da população (COSTA, 2019).

Porto *et al.*(2013), com base no estudo do Mapa de Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil (ou Mapa de Conflitos), argumentam que a ampliação das atividades mineradoras e siderúrgicas no Brasil vêm não apenas intensificando os conflitos históricos entre essas atividades e as comunidades locais, mas também gerando novas injustiças ambientais nos territórios, além de serem importantes fontes de contaminação do solo, água e ar, bem como geradoras de agravos à saúde da população..

A cadeia produtiva da indústria siderúrgica apresenta atividades intensivas em recursos naturais, especialmente no uso do solo e da água e, assim, compete diretamente com outras formas de uso dos recursos naturais locais e, em muitos casos, coloca em risco outras formas de produção, em particular aquelas que dependem diretamente do meio ambiente, como a agricultura, a pesca, o turismo, entre outras (PORTO *et al*., 2013).

A siderurgia, ainda que muitas vezes justificada por ser uma estratégia de 'agregação de valor', apresenta várias limitações, como a geração de uma quantidade restrita de empregos de baixa qualidade, ou seja, que dispensa mão de obra qualificada, reforçando um ciclo perverso de reprodução de desigualdades socioeconômicas uma vez que não contribui para a qualificação profissional nas regiões onde suas atividades estão inseridas (PORTO *et al*., 2013).

Até mesmo a atividade de reflorestamento, em comparação com as outras atividades, pela dimensão da área que ocupa, se mostrou uma atividade tímida em relação a aspectos como ocupação de força de trabalho e renda gerada pela atividade, sendo expressivo apenas na ocupação de terras. Isto é justificado pela lógica empresarial de que a empresa deve investir em tecnologia para mecanização das atividades produtivas e assim, diminuir custos (redução do quadro de funcionários) para obter competitividade no mercado internacional (CALIXTO, 2006).

Além disso, muitos empregos criados pela siderurgia e sua cadeia produtiva expõem a saúde dos trabalhadores a uma série de riscos, e a implantação desses empreendimentos, usualmente, é condicionada a financiamentos públicos (muitas vezes pouco transparentes) e a renúncias fiscais (PORTO *et al*., 2013).

A força de trabalho é considerada mercadoria primeira e central no processo de produção capitalista, mas sob a condição de que essa força de trabalho tenha a saúde necessária para inserir-se em um processo de trabalho. A capacidade produtiva do indivíduo seria, portanto, o elemento definidor de sua importância e valor para o mercado. Como a máquina que estraga ou uma peça que se desgasta, o trabalhador sem saúde pode ser substituído pelo mercado. (ABRAMIDES; CABRAL, 2003 *apud* CAETANO; NEVES, 2009)

Como forma de ilustrar tais questões referentes à cadeia de ferro e aço, entre os anos de 2016 e 2018, apenas no estado de Minas Gerais, o setor de metalurgia e siderurgia (produção de ferro gusa, ferroligas, semi-acabados de aço, laminados planos de aço, laminados longos de aço, relaminados, trefilados e perfilados de aço) reportou 2247 acidentes de trabalho, enquanto a indústria automobilística, por exemplo, reportou 717 (BRASIL, 2018). Adicionando aos números da metalurgia e siderurgia os números de acidentes de trabalho registrados na indústria extrativa de minério de ferro, presente em sua cadeia produtiva, esse número sobe para 2964 acidentes reportados. Assim, verifica-se um paradoxo ao afirmar que o setor de fato se importa com a emissão de gases de efeito estufa e busca soluções para tais questões quando sequer demonstra preocupação com a vida, saúde e bem-estar de seus próprios empregados.

Relativizar a morte de milhares, centenas, dezenas ou até mesmo de uma única pessoa,é ignorar a vida e a condição humana da finitude como um todo.Assim, cabe questionamento se há genuíno interesse dos gestores da cadeia siderúrgica e do próprio poder público em resguardar o futuro diante das consequências, já perceptíveis das mudanças climáticas, ou se estes estão presos a uma perspectiva ética que se preocupa apenas com o imediato, sem mensurar os danos que suas ações trarão alongo prazo (LIRA *et al.*, 2020).

No setor siderúrgico brasileiro, em face de suas especificidades, há um aspecto instigante, que não pode ser relegado a segundo plano, que é a fabricação do carvão vegetal (insumo básico do processo de redução na siderurgia), ainda realizada em sua maior parte em carvoarias artesanais, onde as condições de trabalho, a fumaça, a poluição ambiental, além da devastação de florestas são fatores muito negativos (SANTI, 2019).

5.2. O trabalho escravo nas carvoarias

5.2.1. Atividades e condições de vida nas carvoarias

As carvoarias, em geral, estão instaladas próximas de onde se obtém a madeira utilizada na fabricação do carvão vegetal. O tamanho da carvoaria, ou seja, o número de fornos depende da disponibilidade de mão de obra. As carvoarias tradicionais são formadas por baterias com 12 ou 18 fornos e as operações realizadas são cíclicas. Os trabalhadores são submetidos a longas e extenuantes jornadas de trabalho. As atividades nas carvoarias, pelas características do processo, exigem trabalho noturno, que é revezado, se houver mais de um carvoeiro trabalhando no local. (SANTI, 2019)

A manutenção desse quadro tem sido possível porque, além da experiência na fabricação do carvão, "esses trabalhadores encontram-se em estado de miserabilidade, sem alternativas e sem muita consciência de seus direitos" (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2004).

As condições de trabalho são instáveis (sem garantias do direito trabalhista), inadequadas, sem conforto, equipamentos e instrumentos de trabalho arcaicos, longa exposição ao calor e radiação solar, alimentação precária, remuneração baixa, jornadas exaustivas de trabalho e moradia insalubre. (DIAS, 2002 *apud* SANTI, 2019)

O conjunto de tarefas realizadas pelo carvoeiro nas carvoarias artesanais (predominantes no Brasil) evidencia a exploração do trabalho braçal em ambiente insalubre e perigoso, conforme Quadro 4.

.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO
Corte da lenha(mata nativa ou floresta plantada)	corte utilizando motosserra ou com trator, com destoca da árvore, ou foice e
Leira e embraçamento da lenha em feixes	retirada de galhos, para facilitar a disposição das toras dentro do forno; secagem durante 15 a 30 dias, seguida do embraçamento da lenha seca em feixes
Transporte da lenha até os fornos	com auxílio de tração animal ou trator, dependendo do porte da carvoaria
Enchimento do forno	limpeza do interior do forno, com garfo, pá, enxada, rastelo e rodo, para retirar os pedaços e restos de carvão da fornada anterior preparação do chão, forrado com folhas secas (para diminuir as perdas de calor) transporte manual da pilha de lenha para a boca do forno, onde é colocada de forma tal a aproveitar o espaço disponível e aumentar o rendimento
Fechamento do forno e barrelamento	fechamento da boca do forno com tijolos e barrelamento com uma mistura de "tauá" (rocha rosada ou amarelada encontrada em barrancos de encostas de morros) e água
Carbonização ou "cozimento da madeira"	acendimento do forno, na abertura deixada na parte superior da porta ou no chapéu do forno supervisão da carbonização, que dura cerca de três dias, com controle da entrada de ar no forno, pelas baianas e tatus
Barrelamento do forno	barrelamento do forno com "tauá", no final do processo de carbonização, quando todos as baianas e tatus já foram fechados, com objetivo de impedir a entrada de ar e a combustão do carvão; resfriamento do forno
Abertura, desenfornamento do carvão vegetal e transferência para a praça	abertura da porta do forno e retirada do carvão com auxílio de um garfo (de cerca de 4 kg), colocação na "gaiola" ou "grade" (cheia, pesa cerca de 50 kg) que é carregada até a "praça", onde o carvão vegetal é despejado sobre o solo e deixado resfriar
Ensacamento do carvão e carregamento dos caminhões graneleiros	colocação do carvão em sacos e acondicionamento em caminhões graneleiros

Quadro 4: Tarefas realizadas pelo carvoeiro nas carvoarias artesanais. Fonte: GONÇALVES, 2016 *apud* SANTI, 2019

O desgaste físico e o calor do forno, somados a outras condições depreciativas de trabalho e moradia, fundem-se, promovendo o desgaste mental do trabalhador. Em geral, os carvoeiros moram em alojamentos improvisados, muitas vezes cobertos com lona ou folhas de palmeira, com cozinhas precárias e insalubres, sem água potável,

instalações sanitárias e alimentação suficiente para suprir as necessidades diárias dos trabalhadores.

Durante o processo de carbonização, os carvoeiros, mulheres e crianças presentes na carvoaria são envolvidos por intensa fumaça, que é uma mistura de diversas substâncias resultantes da decomposição térmica da madeira: ácido pirolenhoso e alcatrão; metanol, ácido acético, acetona, acetato de metila, dióxido de carbono, monóxido de carbono e metano. Essa fumaça possui grande toxicidade para seres humanos e apresentam efeitos neurológicos e hematológicos, teratogênicos e carcinogênicos. (FUNDACENTRO, 2016 *apud* SANTI, 2019)

5.2.2. A escravidão contemporânea na cadeia siderúrgica

De acordo com a "Organização Internacional do Trabalho", (OIT), trabalho escravo é "aquele de caráter degradante, realizado sob ameaça ou coerção e que envolve o cerceamento de liberdade". A brutal concentração de renda e as desigualdades regionais também levam às modernas formas de escravidão, como a servidão por dívida, com compensações financeiras incentivando o uso e descarte do ser humano nos empreendimentos e projetos agrícolas. Isso ressalta que a sujeição à condição análoga a do escravo é decorrente da fome, da miséria, da falta de educação, da grilagem de terras, do porte ilícito de armas, da sonegação de impostos e da lavagem de dinheiro (SILVA, 2016).

A escravidão contemporânea não envolve necessariamente a mão de obra adulta, mas também a exploração de mão de obra infantil, de modo que o preço do trabalho da criança pode ser inferior ao de um adulto, ou, até mesmo, ocorrer por troca de alimentos, exploração sexual ou constante endividamento (SANTOS; FERREIRA, 2018).

José de Souza Martins, alerta para as ciladas da interpretação sobre trabalho escravo. O sociólogo orienta a não confundirmos superexploração do trabalhador com trabalho escravo:

> No caso brasileiro, a escravidão não se manifesta direta e principalmente em más condições de vida ou em salários baixos ou insuficientes. O núcleo dessa relação escravista está na violência em que se baseia, nos mecanismos de coerção física e às vezes nos mecanismos de coerção moral utilizados por fazendeiros e capatazes para subjugar o trabalhador. Adicionalmente, ela surge

> quando o trabalhador, por não receber o salário que lhe é devido e por estar trabalhando em local que representa confinamento (caso da mata nas extensas fazendas da Amazônia), fica materialmente subjugado ao patrão e impossibilitado de exercer seu direito de homem livre e igual, que está no direito de ir e vir, direito de sair de um emprego e ir para outro. Isso não quer dizer, obviamente que todos os casos em que o trabalhador não recebe seu salário sejam casos de escravidão. O pesquisador deve estar atento ao seu ingrediente principal que é a coerção física e moral que cerceia a livre opção e a livre ação do trabalhador. (MARTINS, 1999, p. 162 *apud* CAETANO; NEVES, 2009).

Embora os conflitos envolvendo os trabalhadores escravos tenham diminuído no Brasil, Minas Gerais tem liderado o ranking nacional em casos de trabalhadores em situação análoga à escravidão tanto no campo como nas cidades. A Comissão Pastoral da Terra registra e divulga anualmente dados sobre denúncias de trabalho escravo. No período de 2000 a 2019, foram mais de 5 mil trabalhadores resgatados em Minas Gerais, em condição análoga à de escravo, sendo que 70 desses trabalhadores eram menores, conforme Anexo I. Desse total, aproximadamente 23% estavam envolvidos em atividades ligadas à produção de carvão vegetal (CEDOC Dom Tomás Balduino – CPT, 2021).

A indústria siderúrgica, uma atividade econômica bilionária, é a ponta inicial de uma cadeia de produção que envolve, com diversos graus de responsabilidade, a violação dos direitos humanos. O Brasil é dito “afortunado” por relacionar três aspectos que levam o país ao protagonismo na indústria global do aço: matéria-prima abundante, excelência tecnológica e mão-de-obra barata. O que não se comenta é que uma das supostas vantagens estratégicas do Brasil, a mão-de-obra barata, é obtida em parte com exploração do trabalho degradante e escravo. Mesmo nas carvoarias onde não existe trabalho escravo, a legislação é sistematicamente descumprida. Os trabalhadores não recebem equipamentos de proteção individual, não possuem alojamento e nem assistência médica, além de não possuírem um vínculo formal de trabalho, não tendo direito, assim, aos benefícios legais, como auxílio doença ou seguro-desemprego (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2004).

Para os órgãos fiscalizadores, Ministério Público do Trabalho e Ministério da Economia (extinto Ministério do Trabalho), as siderúrgicas são diretamente responsáveis por tudo o que acontece em todos os elos de sua cadeia produtiva. São as siderúrgicas que pagam as multas impostas pelos órgãos competentes e não as carvoarias. Na atualidade, muitas ações proclamadas como responsabilidade social empresarial estão mais para filantropia e estratégia de marketing. Uma instituição socialmente responsável deve desenvolver

critérios rígidos para seus fornecedores e descredenciar os que sistematicamente desrespeitam os direitos fundamentais do trabalho e degradam o meio ambiente e, ao não fazer isso, se torna corresponsável pelos delitos praticados. (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2004)

Assim, as transformações na agricultura tanto promoveram a flexibilização e a informalização do emprego agrícola, quanto contribuíram para fazer ressurgir a escravização ou servidão por dívida. Também o trabalho volante e a mão-de-obra infantil são utilizados como mecanismos para aumentar a taxa de acumulação de capital. O processo de produção capitalista, concorre, sistematicamente, para a precarização do trabalho e do trabalhador (CAETANO; NEVES, 2009).

5.3. Produção de carvão vegetal a partir das matas nativas

A expansão do capital e a construção do território capitalista devem ser refletidas considerando o seu caráter desigual, combinado e contraditório. Isto é, ao mesmo tempo em que o capital atua expandindo e desenvolvendo relações sociais de produção tipicamente capitalistas, assalariadas, ele se apropria e redefine relações não capitalistas de produção, como, por exemplo, as relações camponesas, necessárias ao seu processo de produção. (MARTINS, 1979 *apud* AMARAL, 2011)

Tais transformações são decorrentes da forma como as indústrias siderúrgicas atuam no campo, isto é, reproduzindo a lógica do "lucro livre e socialmente irresponsável", já que não assumem os danos sociais e ambientais que criam em seu processo produtivo. Assim, indiretamente, a produção de carvão vegetal oriundo de lenha originária de desmatamento começou a ser "incentivada" pelas grandes indústrias (MARTINS, 2003 *apud* AMARAL, 2011).

Há séculos as matas nativas são cortadas para a retirada de lenha e carvão, sendo que uma parte delas é replantada com pastos, alimentos, cana-de-açúcar e outras culturas. Medeiros (2003) considera que a atividade de carvoejamento é oriunda de duas motivações econômicas:

1. atividade derivada ou complementar à expansão da fronteira agropecuária, representando neste caso uma receita a ser absorvida nos gastos de preparação do solo para a implantação de culturas agrícolas ou pastagens;

2. atividade autônoma, portanto, geradora de uma receita de significativa importância econômica para o produtor de carvão vegetal (MEDEIROS, 2003).

Muitas vezes a madeira, matéria-prima utilizada na produção de carvão vegetal, é irregularmente obtida de florestas nativas. Atualmente, o consumo do carvão vegetal de origem nativa é menor do que o da silvicultura, o que não significa que ele tenha sido extinto. Apesar da produção de carvão vegetal não ser a principal atividade econômica causadora do desmatamento no Brasil, ainda existe um longo percurso a fim de diminuir e extinguir o uso de práticas não sustentáveis em sua cadeia produtiva.

A título de exemplo temos a produção de carvão vegetal, que é a fonte de renda de algumas famílias, nas zonas rurais da Bacia do São Francisco. O carvão é produzido a partir da vegetação da mata nativa, que vem sendo desmatada irregularmente para ser usada na carbonização. Essa é uma das maiores causas de desmatamento na região.Com o desmatamento ao redor do rio São Francisco para a produção de carvão vegetal, o Velho Chico perde a mata que protege o solo, provocando o assoreamento (CBHSF, 2016).

Existe ainda a destruição da mata nativa para introdução do cultivo de espécies exóticas para a produção de carvão vegetal, gerando alteração da paisagem, instabilidade hidrológica e redução da biodiversidade regional. O estudo de Bethonico (2004) apontou os impactos socioambientais da produção de carvão vegetal no município de Montezuma, localizado no norte de Minas Gerais. A autora elucida que a introdução dessa atividade econômica foi fruto das estratégias governamentais para promover o desenvolvimento siderúrgico no estado, com o objetivo de incrementar as atividades industriais e gerar emprego e renda para a população, entretanto, tais atividades produziram modificações na vida cotidiana das pessoas introduzindo novas relações de trabalho nas carvoarias e a oferta de empregos tão prometida nunca ocorreu. Muito pelo contrário, a coleta e comercialização de frutos nativos pelos pequenos agricultores, que tinham na atividade uma maneira de complementar a renda, foi prejudicada pois dependiam da existência da mata nativa, esta diminuída em função da produção de carvão vegetal (BETHONICO, 2004).

Já o estudo de Caetano & Neves (2009) analisou o impacto social da atividade de carvoejamento na cidade de Curvelo, também em Minas Gerais, a partir da década de 1970. Segundo as autoras, a produção de carvão vegetal é um elemento importante do

cenário histórico e socioeconômico da cidade e consumiu boa parte do cerrado mineiro. Tal desastre ambiental foi resultado da intensa exploração da mata nativa e da expansão dos maciços florestais de eucalipto (CAETANO; NEVES, 2009).

O território mineiro é abrangido por três biomas em toda a sua extensão, de acordo com classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). São eles: Cerrado (54%), Mata Atlântica (40%) e Caatinga (6%). As florestas cultivadas em Minas Gerais estão presentes em 4,79% da área do Cerrado, 3,33% da área da Mata Atlântica e 0,01% da área da Caatinga (SINDIFER, 2021).

O cerrado, por exemplo, é uma floresta de cabeça para baixo, um bioma importantíssimo para a produção de água e para a biodiversidade. O ato de reflorestá-lo indiscriminadamente influencia dramaticamente a produção de água, piorando a crise ambiental da atualidade. Reflorestar biomas complexos sem considerar fauna e floras locais levam o solo ao caos, por isso o cuidado com relação à silvicultura deve ser redobrado e muito criterioso (FERNANDES, 2019).

Já a Mata Atlântica é um dos ecossistemas com maior prioridade para a restauração no mundo, considerando-se os benefícios para a conservação da biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas. Segundo estudos, o bioma faz parte de um grupo de ecossistemas em que a restauração de 15% da sua área evitaria 60% das extinções de espécies previstas, ao mesmo tempo sequestrando o equivalente a 30% do CO_2 lançado na atmosfera desde o início da Revolução Industrial. Como resultado dos 521 anos de devastação, apenas 12,4% da vegetação original da Mata Atlântica permanece e o que sobrou está abaixo do limite mínimo aceitável para a conservação da sua biodiversidade (PINTO; VOIVODIC, 2021).

Entre 2019 e 2020, o desmatamento da Mata Atlântica se intensificou em dez dos 17 estados que compreendem o bioma. No total, foram desflorestados 13.053 hectares (130 quilômetros quadrados) da Mata Atlântica no período – dado que, apesar de 9% menor que o levantado em 2018-2019 (14.375 hectares), representa um crescimento de 14% em relação a 2017-2018 (11.399 hectares), quando se atingiu o menor valor da série histórica. Além disso, no que se refere à Mata Atlântica, 13 mil hectares é muito, uma vez que se trata de uma área onde qualquer perda impacta imensamente a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, como regulação do clima e disponibilidade e qualidade da água (SOS Mata Atlântica, 2021).

Segundo estudo de Mallard (2009), somente seis siderúrgicas não-integradas do estado de Minas Gerais informaram que não utilizam carvão vegetal de mata nativa, e 41% disseram que mais de 50% do carvão consumido por elas é de origem nativa. Além disso, três empresas afirmaram ser autossuficientes em carvão vegetal produzido a partir da floresta plantada e, em doze empreendimentos, mais de 50% do carvão consumido é proveniente de florestas próprias.

A implantação dos reflorestamentos e produção de carvão vegetal provocaram um incremento nas atividades industriais mas, por outro lado, promoveram profundas alterações ambientais e sociais. As áreas rurais são capazes de indicar os impactos sociais, uma vez que os agricultores são os principais envolvidos, não apenas como empregados das carvoarias mas também como pequenos produtores de carvão e como receptores diretos dos impactos ambientais. O reflorestamento e o carvoejamento produziram modificações não apenas na paisagem, mas na vida cotidiana das comunidades impactadas introduzindo novas relações de trabalho nas carvoarias e uma modificação do relacionamento entre o homem e o meio natural (BETHONICO, 2004).

5.4. A ética da responsabilidade

Na antiguidade, as relações humanas possuíam consequências imediatas e a natureza utilizava de sua capacidade de resiliência para se reestabelecer. Entretanto, a vulnerabilidade da natureza tornou-se latente na medida em que se a tecnologia evoluiu substancialmente e a ação humana trouxe impactos de maiores grandezas sobre o ambiente e, consequentemente, sobre a sociedade (LIRA *et al*., 2020).

Assim, tornou-se urgente a adoção de uma ética que fundamente as ações do homem levando em consideração as consequências de tais ações no meio ambiente, uma vez que os problemas ambientais de origem antropogênica já são notáveis. O cerne da questão é: Como promover o Desenvolvimento Sustentável se não há orientação moral que albergue a um só tempo o agir humano e a natureza? Como apontar o homem como parte integrante e responsável pelo ambiente e fazê-lo adotar um agir moral diferente e condizente com a atualidade?

O filósofo alemão Hans Jonas afirmou, em sua célebre obra “O princípio responsabilidade”, que é a partir de uma projeção para o futuro que se constrói uma

perspectiva ética, contudo, esta se realiza enquanto projeto coletivo, visto que este futuro não é apenas o futuro de um indivíduo, mas o futuro da humanidade. A isto, Hans Jonas chama de ética da responsabilidade. A ação no plano individual, preconizada pelo pensamento moderno não se encaixa mais na lógica atual. O novo imperativo trata da ação coletiva e sua responsabilidade sobre a humanidade que esta geração deixará para a geração do futuro. A reflexão considera que o homem de hoje não tem direito a encerrar a continuidade da vida humana (e de outras espécies) na terra. (JONAS, 2006 *apud* LIRA *et al*, 2020)

A noção de Desenvolvimento Sustentável é baseada em três pilares, que se confluem, se complementam e se inter-relacionam: (a) desenvolvimento econômico, (b) desenvolvimento social e (c) proteção ao meio ambiente.

Os problemas ambientais são consequência do fracasso tanto do modelo de desenvolvimento econômico como do desenvolvimento social; estritamente a isso que se deve a escassez de água potável, a falta de energia, falta de tratamento de resíduos, condições precárias de vida e uso intensivo de recursos naturais. O que se nota, também, é que os problemas sociais e ambientais estão contidos em um ciclo vicioso, ora a degradação ambiental é a causa dos problemas sociais (como é o caso do reflorestamento para a cadeia siderúrgica), ora são os valores sociais que aniquilam a preservação do meio ambiente (SILVA; PASQUALETO, 2014; PAGLIARIN; TOLENTINO, 2015). O desenvolvimento social deve proporcionar vantagem material e moral às pessoas, em respeito ao princípio da dignidade humana, o que claramente não foi obtido como modelo de desenvolvimento econômico proposto durante o regime militar no Brasil. Não foram gerados tantos empregos, conforme foi apregoado e as pessoas que sobreviviam da terra perderam seus espaços e sucumbiram à tal "modernização", perdendo sua dignidade e sua identidade.

O filósofo Hans Jonas é referência da filosofia contemporânea, sobretudo, no que se refere ao novo pressuposto de responsabilidade ética e suas implicações jurídicas e políticas na concepção de sustentabilidade. Para ele, a responsabilidade não é mais centrada no passado e no presente, mas sim no futuro da humanidade, com as gerações futuras e com a sobrevivência das mesmas. O princípio da responsabilidade também tem seu viés ontológico, pois, a construção deste comprometimento é o reconhecimento da necessidade da vontade guiada pela razão como forma de dever (ZOLET, 2016; SOUSA, 2020).

O sistema econômico neoclássico sempre tratou o meio ambiente como uma reserva infinita de recursos naturais e um depósito ilimitado para os resíduos e rejeitos do sistema econômico. O reconhecimento dos limites dos recursos naturais demostrou o princípio da luta na busca de soluções fundamentadas na sustentabilidade. As questões acerca do meio ambiente são responsabilidade humana, e a ética nesse aspecto também deve ser repensada. A responsabilidade comprometida não apenas como pessoas do nosso tempo mas como protagonistas da possibilidade futura de vida no planeta é base para qualquer ética (PAGLIARIN; TOLENTINO, 2015).

Para Hans Jonas, a busca e o uso exacerbado da tecnologia poderão atentar contra a essência do homem, sua vida, sua forma física e até mesmo colocando em risco a própria sobrevivência e a de todos os seres do planeta. A tecnologia manipula. Manipulando não se age pelo saber e sim pela irracionalidade dos instintos (PAGLIARIN; TOLENTINO, 2015; SOUSA, 2020).

A ética da responsabilidade não é voltada para o sujeito individual e nem se apega à tecnologia como saída para todos os problemas. A nova ética diz respeito à ação individual, mas também a ações de sujeitos coletivos como empresas, organizações, governos e outras instituições, destacando o alto impacto das ações destes sujeitos para a humanidade. É preciso que todos esses sujeitos se guiem por um princípio ordenador que considere os efeitos do ser humano sobre a natureza e pautem suas ações em prol desta e das futuras gerações (LIRA *et al*., 2020). É essa perspectiva que deve nortear as estratégias dos sujeitos públicos coletivos e das organizações.

6. DISCUSSÃO, LIMITAÇÕES E CONCLUSÃO

O setor siderúrgico constitui um dos grandes pilares da indústria brasileira e Minas Gerais é destaque na produção siderúrgica nacional. O Estado segue, também, como líder mundial na produção e consumo de carvão vegetal oriundo de florestas plantadas. O alto consumo do carvão vegetal pelo setor siderúrgico pode ser visto como positivo do ponto de vista ambiental na perspectiva das mudanças climáticas, uma vez que a cadeia produtiva de ferro-gusa e aço é de elevado potencial poluidor e degradador do meio ambiente, assim, este energético desloca parte do consumo de carvão mineral e suas emissões de CO_2 são compensadas pela sua fixação nas florestas plantadas, tornando-o um combustível menos poluente.

No entanto, ao longo do estudo, algumas limitações foram observadas, como:

- a contribuição para a mitigação das mudanças climáticas devido à utilização do carvão vegetal como termorredutor não é absoluta, pois existem outros GEEs que são emitidos pela queima do carvão e não são absorvidos pela biomassa durante o desenvolvimento da planta;
- mesmo havendo estímulo para ampliação das áreas de florestas plantadas certificadas e a promoção e fiscalização para seu manejo adequado, trata-se uma espécie exótica passível de causar impactos ambientais negativos para o ecossistema.

Assim, o controle e monitoramento para promover a preservação das matas nativas e o respeito às Áreas de Proteção Permanente, propiciarão o sequestro de quantidades adicionais de carbono implicando em uma maior contribuição para a proteção do sistema climático.

A substituição de um combustível altamente emissor de Gases do Efeito Estufa por outro menos poluente é um dos procedimentos de Produção Mais Limpa, uma vez que propõe a alteração da matéria-prima com o objetivo de reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo processo industrial. A alteração do combustível com o objetivo de minimizar os impactos ambientais decorrentes da atividade industrial é registrada pela ONU como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, vinculado ao Protocolo de Quioto (BOICO, 2013).

Cabe salientar que o objetivo deste trabalho não é sugerir ou incentivar a utilização de uma única fonte de energia por determinado setor industrial uma vez que isto poderia comprometer, dentre outros aspectos, a segurança energética do setor. Todavia, é importante ressaltar a importância da utilização de fontes energéticas alternativas, principalmente as renováveis, devido aos benefícios ambientais proporcionados por elas. Além disso, seria reduzida a dependência externa do Brasil em relação ao carvão, uma vez que o carvão de consumo industrial é totalmente importado.

A preocupação com os problemas ambientais e o aquecimento global fez com que o mundo voltasse sua atenção para a utilização racional dos recursos naturais e estratégias fossem propostas para proteger o sistema climático da interferência antrópica perigosa. O Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima e, apesar de não apresentar emissões expressivas como os países

desenvolvidos, se propôs voluntariamente a combater as mudanças do clima, atestando seu compromisso com o Desenvolvimento Sustentável.

Os resultados deste trabalho confirmaram que a utilização do carvão vegetal na redução do minério de ferro contribui para a mitigação da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, em razão da fixação de CO_2 que ocorre durante o desenvolvimento da floresta, proporcionando significativo ganho ambiental em termos de emissões desse gás de efeito estufa.

A siderurgia mineira a coque de carvão mineral emitiu, em 2020, aproximadamente 5,84 Mt de CO_2 a mais que a siderurgia a carvão vegetal, considerando uma produção de ferro-gusa a coque e a carvão vegetal de 6,8 milhões e 5,7 milhões de toneladas, respectivamente, naquele ano. Trata-se de um valor expressivamente superior considerando que a produção de ferro-gusa a carvão vegetal em Minas Gerais é bem expressiva em comparação aos números nacionais, sendo estreita a diferença na produção de ferro-gusa entre as duas rotas tecnológicas.

Portanto, a utilização do carvão vegetal como estratégia para uma economia de baixo carbono para a indústria siderúrgica mostra-se uma opção atrativa, desde que sejam não gere mais prejuízos ambientais e sociais (conforme aspectos que foram destacados ao longo deste trabalho), que são, atualmente, alguns dos maiores desafios do setor. Considerando esse panorama, espera-se que este trabalho possa ser uma ferramenta importante para auxiliar uma melhor análise da cadeia produtiva do setor siderúrgico mineiro e para fornecer subsídios a fim de promover, de fato, o desenvolvimento sustentável desse segmento.

Em função do tempo disponível e da indisponibilidade de algumas informações não foi possível elaborar, neste trabalho, um balanço que reflita com mais lealdade a realidade das emissões da siderurgia a carvão vegetal e, por isso, recomenda-se para trabalhos futuros elaborar o balanço de CO_2 no ciclo de fabricação do ferro-gusa a carvão vegetal estimando, também, as emissões das etapas de transporte e, se aplicável, colheita do eucalipto para trazer um panorama completo e mais detalhado sobre as emissões inerentes a essa fonte energética.

Sugere-se, também, que seja feita uma comparação entre os antigos potenciais de fixação de CO_2 nas áreas de mata nativa do Estado de Minas Gerais e a fixação atual, após devastação das mesmas áreas para dar lugar às florestas plantadas a fim de ajudar a

identificar os reais impactos da produção de ferro-gusa a carvão vegetal para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇO BRASIL (2010). *Relatório de sustentabilidade 2010*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil.

AÇO BRASIL (2018). *Relatório de sustentabilidade 2018*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil.

AMARAL, M. D. B. Monopolização do território e carvoejamento na Amazônia: a produção do carvão vegetal nos assentamentos e acampamentos de reforma agrária e nas carvoeiras tradicionais de Rondon do Pará. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.8.2011.tde-20062012-150427. Acesso em: 30 de abr. de 2021.

Associação Mineira da Indústria Florestal- AMIF (Minas Gerais). Quem somos. 2021. Disponível em: https://amif.org.br/quem-somos/. Acesso em: 08 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO VEGETAL - ABCM (Santa Catarina). **Siderurgia**. Disponível em: https://www.carvaomineral.com.br/interna_conteudo.php?i_subarea=15&i_area=2#:~:text=O%20equipamento%20onde%20o%20processo,utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20um%20agente%20redutor.. Acesso em: 22 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16409:2015. Ferrogusa a carvão vegetal - Orientações para a produção sustentável. 2015.

AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra. Mudanças climáticas: uma análise dos impactos sobre o meio ambiente e os direitos humanos. **Lex Humana**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 85-108, 2010. Coimbra University Press. http://dx.doi.org/10.14195/2175-0947_2-1_5.

BACHA C.J.C.; BARROS, A.L.M. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**, 2004, v.66, p.191-203.

BARCELLOS, Daniel. **Forno de Carvão Rabo Quente, Tudo O Que Você Precisa Saber!** Disponível em: https://danielbarcellos.com/forno-de-carvao-rabo-quente/. Acesso em: 17 mar. 2021.

BETHONICO, M. B. M. II Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional, 2., 2004, Santa Cruz do Sul. **Impactos sócio-ambientais da produção de carvão vegetal no norte de minas gerais: o caso de Montezuma**. Santa Cruz do Sul: Ufrgs, 2004. 27 p. Disponível em: https://www.unisc.br/site/sidr/2004/sustentabilidade/15.pdf. Acesso em: 30 abr. 2021.

BOICO, V. F. **A redução das emissões de Gases do Efeito Estufa nas indústrias de ferro-gusa e aço e química por meio da alteração da matriz energética.** 2013. Monografia (Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

BRACK, D.; GRUBB, M; VROLIJK, C. The Kyoto Protocol: Guide And Assessment. London: Royal Institute of International Affairs and Earthscan, London, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Convenção das Nações Unidas: Protocolo de Quioto. Brasília, 2002.

BRASIL. Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 de dezembro de 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Convenção das Nações Unidas: Acordo de Paris. Brasília, 2016.

BRASIL. Nº 9.578, de 22 de novembro de 2018. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 de novembro de 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas.** 2018. Disponível em: < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/outras-publicacoes/planonacional-de-desenvolvimento-de-florestas-plantadas.pdf/view> Acesso em 07 de outubro de 2020.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). **Plano Setorial de Redução de Emissões na Siderurgia: Sumário Executivo.** 2010. Disponível em: <http://bibliotecadigital.planejamento.gov.br/xmlui/handle/123456789/1011> Acesso em 09 de agosto de 2019.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Protocolo de Quioto à Convenção da Mudança do Clima:** o Brasil e a Convenção-Quadro das Nações Unidas. Brasília. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quioto.pdf>Acesso em 12 de ago. de 2020.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Q**uarta comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. 2020. Brasília. Disponível em: <https://issuu.com/mctic/docs/quarta_comunicacao_nacional_brasil_unfccc>Acesso em 10 de mai. de 2021.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Clima:** Protocolo de Quioto. Brasília. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>Acesso em: 12 de ago. de 2020.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Clima:** Acordo de Paris. Brasília. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>Acesso em: 12 de ago. de 2020.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Notícias:** Na COP 24, Brasil incentiva produção sustentável. Brasília. Disponível em: <https://mma.gov.br/informma/item/15300-na-cop-24,-brasil-incentiva-produ%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html> Acesso em: 27 de out. de 2020.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Notícias:** Na COP 24, Brasil incentiva produção sustentável. Brasília. Disponível em: <https://mma.gov.br/informma/item/15300-na-cop-24,-brasil-incentiva-produ%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html> Acesso em: 27 de out. de 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Clima:** Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC. Disponível em: <http://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/ciencia_do_clima/painel_intergovernamental_sobre_mudanca_do_clima.html> Acesso em: 30 de out. de 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto de assistência técnica ao setor de energia (Relatório Técnico - 2009)**. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/449811/P32_RT58_Perfil_do_Axo.pdf/707a627b-1637-c9c6-f511-fa282607a180?version=1.0> Acesso em: 12 de jan. de 2021.

BRASIL. Decreto nº 144, de 16 de abril de 2002. Aprova o texto do Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aberto a assinaturas na cidade de Quioto, Japão, em 14 de dezembro de 1997, por ocasião da Terceira Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Câmara dos Deputados, [2002]. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2002/decretolegislativo-144-20-junho-2002-458772-protocolo-1-pl.html . Acesso em 12 de ago. de 2020.

BRASIL. Decreto nº 5.445, de 12 de maio de 2002. Promulga o Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aberto a assinaturas na cidade de Quioto, Japão, em 11 de dezembro de 1997, por ocasião da Terceira Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Casa Civil, [2002]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5445.htm. Acesso em 12 de ago. de 2020.

BRASIL. Instituto Nacional de Seguro Social. Ministério da Fazenda (org.). ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DO TRABALHO: aeat 2018. Brasília: Acs/Mf e Coaq/Dataprev, 2018. 1287 p. Disponível em: https://www.gov.br/previdencia/pt-

br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/dados-de-acidentes-do-trabalho/arquivos/aeat-2018.pdf. Acesso em: 27 mar. 2021.

BRASIL. Pércio de Moraes Branco. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil (org.). **Carvão Mineral**. 2014. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Carvao-Mineral-2558.html. Acesso em: 01 dez. 2020.

BRUM, A. **O desenvolvimento econômico brasileiro**. Petrópolis: Vozes, 1995.

CAETANO, E. C. O.; NEVES, M. M. B. A. Trabalho e Precarização: carvoeiros em curvelo /mg. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA, 2009, Rio de Janeiro. **Anais [...] .** Rio de Janeiro: Ufrj, 2009. p. 1-23. Disponível em: http://www.sbsociologia.com.br/portal/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=3698&Itemid=171. Acesso em: 30 abr. 2021.

CALIXTO, J. S. **Reflorestamento, terra e trabalho:** análise da ocupação fundiária e da força de trabalho no Alto Jequitinhonha, MG. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Administração, Departamento de Administração, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/2390/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Reflorestamento%2c%20terra%20e%20trabalho.pdf. Acesso em: 03 maio 2021.

CAMIOTO, F. C.; REBELATTO, D. A. N. Análise da contribuição ambiental por meio da alteração da matriz energética do setor brasileiro de ferro-gusa e aço. **Gest. Prod.**, São Carlos , v. 21, n. 4, p. 732-744, dez. 2014 . Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2014000400006&lng=pt&nrm=iso. Acesso em 01 dez. 2020. https://doi.org/10.1590/0104-530x448/12.

CAMPOS, A. R. **MODELAGEM TERRITORIAL DE CENÁRIO DA EXPANSÃO DAS PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO BRASIL**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2013.

CEMIN, D. S. **Desenvolvimento de um forno para carbonização de resíduos agroflorestais em pequena escala**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2010. Disponível em: http://bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6162/dissertacao_Daniela%20da%20Silveira%20Cemin.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 mar. 2021.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. Siderurgia no Brasil 2010-2025; subsídios para tomada de decisão – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; 2010.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; 2015.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO - CBHSF (Minas Gerais). **Os impactos ambientais e sociais da produção de carvão**. 2016. Disponível em: https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/sustentabilidade_blog/os-impactos-ambientais-e-sociais-da-producao-de-carvao/. Acesso em: 30 abr. 2021.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo** - PROCLIMA. São Paulo: CETESB, 2020.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA (Brasília). **Quem somos**. Disponível em: https://www.cnabrasil.org.br/cna/quem-somos-cna. Acesso em: 03 mar. 2021.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL- CEBDS. **Entenda como foi a COP22 – a 22ª Conferência do Clima das Nações Unidas**. Rio de Janeiro: CEBS, 2016.

CORTE, A. P. .; SANQUETTA, C. R. .; SILVA, F. .; SCHIKOWSKI, A. B. .; RUZA, M. S. . Fator de expansão de biomassa, razão de raízes-parte aérea e modelos para carbono para *Eucalyptus grandis* plantados no sul do Brasil. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, [S. l.], v. 11, n. 21, 2015. Disponível em: https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1830. Acesso em: 7 jun. 2021.

COSTA, B. L. **Territorialidade camponesa:** estratégias de reprodução e organização socioespacial. Rio Branco: Edufac, 2019. 146 p. Disponível em: http://www2.ufac.br/editora/livros/TERRITORIALIDADE.pdf. Acesso em: 03 maio 2021.

COSTA, B. S.; OLIVEIRA, M. L. Florestas plantadas de eucalipto no Brasil: uma cultura nociva aos recursos hídricos? Veredas do Direito, Belo Horizonte, v. 16, n. 36, p. 123-141, set/dez. 2019. Disponível em: http:// www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/1671. Acesso em: 16 de fevereiro de 2021.

DIAS, Julia. **Estudo alerta para impactos das mudanças climáticas na saúde**. 2018. Disponível em: https://portal.fiocruz.br/noticia/estudo-alerta-para-impactos-das-mudancas-climaticas-na-saude. Acesso em: 03 ago. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (Brasília). **Quem somos**. Disponível em: https://www.embrapa.br/quem-somos. Acesso em: 03 mar. 2021.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2019.

FERNANDES, Geraldo Wilson. **Nem tudo é árvore**. 2019. Disponível em: https://ufmg.br/comunicacao/publicacoes/boletim/edicao/2079/nem-tudo-e-arvore. Acesso em: 31 maio 2021.

FIGUEIRA JUNIOR, E. A., **Análise de metano na produção de carvão vegetal**. Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2010. 4 p. Disponível em:.http://web.posfemec.org/posmec/20/PDF/Solidonio-POSMEC20EdsonALVESFIGUEIRAJr.pdf Acesso em 20 de mar de 2021.

FILHO, E. P. C.; CAMPOS, A. D. C.; OLIVETTE, M. P. A. Água e Uso pela Agropecuária: neomalthusianismo hídrico. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 10, n. 3, mar. 2015. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-15-2015.pdf> Acesso em 08 de março de 2021.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC (Minas Gerais) (org.). **Carvão Vegetal**: destilação, carvoejamento, propriedades e controle de qualidade. Belo Horizonte: CETEC, 1982. 170 p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC (Minas Gerais) (org.). **Manual de construção e operação de fornos de carbonização**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. 53 p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC (Minas Gerais) (org.). **Produção e utilização de carvão vegetal**: destilação, carvoejamento, propriedades e controle de qualidade. Belo Horizonte: CETEC, 1982. 357 p.

FUNDACENTRO. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Centro Regional da Bahia. Laboratório Químico de Higiene Ocupacional. Relatório Final do Projeto Avaliação de Agentes Carcinogênicos/ Mutagênicos em Ambientes de Trabalho - Exposição de Trabalhadores a Agentes Cancerígenos e Irritantes em Carvoarias não Mecanizadas na Bahia, 2016. 212p.

GONÇALVES, Múcio Tosta. **Nós da Madeira**: mudança social e trabalhadores assalariados das plantações florestais nos vales do aço/rio doce de minas gerais. 2001. 294 f. Tese (Doutorado) - Curso de Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade - Cpda, Departamento de Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/3940. Acesso em: 23 mar. 2021.

Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS. A participação do Aço nos Automóveis. IPT/USP. São Paulo, 2005.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FLORESTAS – IBÁ (Brasília). Relatório Anual 2019 ano base 2018. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf Acesso em: 03 mar. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ (Brasília). **Área de árvores plantadas**. 2020. Disponível em: https://iba.org/dados-estatisticos. Acesso em: 15 fev. 2021.

INSTITUTO AÇO BRASIL - IAB. Número de mercado:estatísticas. 2012. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp> Acesso em: 31 mar. 2012.

INSTITUTO AÇO BRASIL - IAB. Estatísticas da Siderurgia 2020. Disponível em: <http://https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/08/Estatistica-da-Siderurgia_2o_TRI_2020.pdf> Acesso em: 25 nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Zoneamento econômico florestal do estado de Minas GeraisProdução da Extração Vegetal e da Silvicultura 2019**. Rio de Janeiro, 2019.

Instituto Federal do Rio Grande do Sul- IFRS. **Tecnologia em processos metalúrgicos.** Disponível em: <https://sites.google.com/site/tecnologiaprocessometalurgico/fundicao-i/2-fornos/9-f-especiais> Acesso em 28 de maio de 2021.

IPCC. **Climate Change 1990: The IPCC 1990 and 1992.** Relatório. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 196p, 1992. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_sp.pdf> Acesso em 30 de outubro de 2020.

IPCC, 1995. **Climate Change 1995: The Science of Climate Change.** Relatório. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 588p, 1995. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf> Acesso em 02 de novembro de 2020.

IPCC, 2001. **Climate Change 2001: Synthesis Report.** Relatório. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 409, 2001. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf> Acesso em 02 de novembro de 2020.

IPCC, 2007: **Mudanças Climáticas 2007: Relatório de Síntese**. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Equipe de Redação Central, Pachauri, RK e Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 104 pp. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr.pdf Acesso em 02 de novembro de 2020.

IPCC, 2014: **Mudanças Climáticas 2014: Relatório de Síntese.** Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Equipe de Redação Central, RK Pachauri e LA Meyer (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 151 pp. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf> Acesso em 02 de novembro de 2010.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.

IPCC. PAINEL GOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC, sigla em inglês). Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/> Último acesso em: 30 de outubro de 2020.

JACOMINO, V. M. F. *et al.* **Controle ambiental das indústrias de ferro gusa em altos fornos a carvão vegetal.** Belo Horizonte: Segrac Editora e Gráfica Limitada, 2002.

LEITE, José Correa. Controvérsias na climatologia: o IPCC e o aquecimento global antropogênico. **Sci. stud**., São Paulo, v. 13, n. 3, p. 643-677, Set. 2015. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662015000300643&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 09 Nov. 2020. https://doi.org/10.1590/S1678-31662015000300008.

LIMA, W. P. **A silvicultura e a água: ciência, dogmas, desafios.** Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, 2010. 64 p.; v. 01. Disponível em: <https://dialogoflorestal.org.br/wp-content/uploads/2018/05/cadernos-do-dialogo1-agua-e-silvicultura.pdf> Acesso em 08 mar 2021.

LIRA, J. O. L. *et al*. O horizonte ético da responsabilidade nas políticas públicas implementadas para o enfrentamento à covid-19 na cidade de Campina Grande – PB. ENGEMA, XXII., 2020, São Paulo. São Paulo: Universidade de São Paulo 2020. Disponível em: http://engemausp.submissao.com.br/22/anais/resumo.php?cod_trabalho=657. Acesso em: 02 abr. 2021.

MACHADO, A.F.L. et al . Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. Planta daninha, Viçosa , v. 28, n. 2, p. 319-327, June 2010 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582010000200011&lng=en&nrm=iso>. access on 02 Mar. 2021. https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000200011.

MALLARD, A. A. M. (2009). Avaliação ambiental do setor de siderurgia não integrada a carvão vegetal do Estado de Minas Gerais. Ouro Preto: Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental / Universidade Federal de Ouro Preto (Universidade Federal de Ouro Preto).

MANZONI, L. P.; BARROS, T. D. Embrapa: carvão vegetal. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000gc6fompl02wx5ok01dx9lc67w62o0.html#:~:text=O%20coque%20%C3%A9%2019%25%20e,de%20projetos%20de%20reflorestamento%2C%20respectivamente.>. Acesso em: 30 nov. 2020.

MARTINS, J.S. O cativeiro da terra. São Paulo: USP, 1979.

_____. A sociedade vista do abismo: novos estudos sobre exclusão, pobreza e classes sociais. Petrópolis: Vozes, 2003.

MEDEIROS, J. X. Aspectos econômico-ecológicos da produção e utilização do carvão vegetal na siderurgia brasileira. In MAY, Peter H. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável.** 4 ed. São Paulo: Cortez, 2003.

MOLEDO, J. C. et al. Impactos ambientais relativos à silvicultura de eucalipto: uma análise comparativa do desenvolvimento e aplicação no plano de manejo florestal. Revista Geociências, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 512-530, 2016.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. *A cultura do eucalipto no Brasil*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. Disponível em: http:// atividaderural.com.br/artigos/50ec5305728a6.pdf. Acesso: 02 mar. 2021

OBSERVATÓRIO SOCIAL. Trabalho escravo no Brasil. O drama dos carvoeiros. A responsabilidade das siderúrgicas. A campanha para a erradicação. Observatório Social em Revista. n.6. Florianópolis: Instituto Observatório Social, 2004.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Conferência de Copenhague sobre as mudanças do clima. Dinamarca, 2009. Disponível em: <https://unfccc.int/process-andmeetings/conferences/past-conferences/copenhagen-climate-change-conference-december-2009/copenhagen-climate-change-conference-december-2009> Acesso em 20 ago. 2020.

ONU- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática: COP21/ CMP11. Paris, 2015. Disponível em: https://nacoesunidas.org/cop21/Acesso em 13 de ago. de 2020.

PINTO, L. F. G. ; VOIVODIC, M. **Mata Atlântica e Clima**. 2021. Disponível em: https://www.sosma.org.br/artigos/mata-atlantica-e-clima/. Acesso em: 31 maio 2021.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza et al (org.). **Injustiça ambiental e saúde no Brasil**: o mapa de conflitos. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2013. 306 p.

RAFFESTIN, Claude. **Por uma geografa do poder**. São Paulo: Ática, 1993.

REZENDE, L. V. B.; CAMELLO, T. C. F.; REBELO, L. P. O EUCALIPTO RESSECA O SOLO? MITO OU VERDADE?. Revista Internacional de Ciências, v. 1, n. 1, p. 19-38. 2011.

ROMEIRO, S. B. B. Química na Siderurgia. Porto Alegre: UFRGS, 1997.

SAMPAIO, R. S., **Conversão da biomassa em carvão vegetal - situação atual com tendências 2025.** Belo Horizonte: Centro de Gestão e Estudos Estretégicos – CGEE, 2008.

SANQUETTA. C.R. **Elaboração de projetos de MDL e o mercado de carbono**. Apostila do curso oferecido pelo Instituto Eco$_2$clima, Belo Horizonte, 2009.

SANTI, A.M. M., GONÇALVES, Z. L. Por trás da cortina de fumaça: trabalho e vida em carvoarias brasileiras R. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 15, n. 37, p. 429-444, jul./set. 2019. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9771>. Acesso em: 05 de abr. de 2021.

SANTOS, C.F dos; FERREIRA, G.H.C. Escravidão contemporânea no campo e na cidade: um retrato de Minas Gerais entre 2000 a 2015. DOI: 10.12957/tamoios.2018.32238. 2018. Disponível em: <http://epublicacoes.uerj.br/index.php/tamoios/article/download/32238-120772-1-

PB.pdf>. Acessado em 05 de abr. de 2021.

SANTOS, S. F. O. M. **Produção de carvão vegetal em cilindros metálicos verticais**: alguns aspectos referentes à sustentabilidade. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2007. Disponível em: https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-63329/producao-de-carvao-vegetal-em-cilindros-metalicos-verticais--alguns-aspectos-referentes-a-sustentabilidade. Acesso em: 20 mar. 2021.

SANTOS, S.R; SANSÍGOLO, C.A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, 2007. v. 17, N. 1, p. 53-63.

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA - SESI (Brasil). Confederação Nacional da Indústria - Cni (org.). **Panorama em Segurança e Saúde no Trabalho (SST) na Indústria ano 2004**: setor de metalurgia básica (cnae 27) e metal mecânica (cnae 28, 29, 34 e 35). Brasília: Sesi, 2011. 234 p. Disponível em: https://www.sesipr.org.br/uploadAddress/Serie%20panorama%20da%20seguranca%20e%20saude%20no%20trabalho%20no%20brasil_setor_de_metalurgia_metal_arquivo%5B33366%5D.pdf. Acesso em: 27 mar. 2021.

SILVA, H. P. S. **Efeito da adição de pó de balão na combustibilidade do carvão pulverizado injetado no alto-forno**. 2016. 98f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Departamento de Física. Programa de pós-graduação em Física de Materiais.

SILVA, M. B. da. Trabalho escravo, uma realidade. jun.2007. Disponível em:< https://www.direitonet.com.br/artigos/exibir/3534/Trabalho-escravo-umarealidade. Acessado em 05 de abr. de 2021.

SILVA, J.B.; PASQUALETTO, A. O desenvolvimento sustentável sob a ótica dos pilares: ambiental social e econômico. **Estudos**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 107-118, set. 2014. Disponível em: http://revistas.pucgoias.edu.br/index.php/estudos/article/download/3727/2164. Acesso em: 03 maio 2021.

Sindicato da Indústria do Ferro do Estado de Minas Gerais. **Produtores de ferro-gusa no Brasil.** Disponível em:

<http://www.sindifer.com.br/institucional/anuario/anuario_2021.pdf> Acesso em: 15 abr.2021.

Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais- SINDIFER (Minas Gerais). **Novo levantamento consolida as florestas cultivadas como a maior cultura agrícola de Minas Gerais**. 2021. Disponível em: http://sindifer.com.br/sndfr/2021/05/31/novo-levantamento-consolida-as-florestas-cultivadas-como-a-maior-cultura-agricola-de-minas-gerais/. Acesso em: 08 jun. 2021.

SIMÕES, A. F. **O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais:** Emissões de CO_2 e Alternativas de Mitigação. Rio de Janeiro, 2003.

SOS MATA ATLÂNTICA (São Paulo). Fundação Sos Pro-Mata Atlântica (org.). **Desmatamento da Mata Atlântica cresce em dez estados**. 2021. Disponível em: https://www.sosma.org.br/noticias/desmatamento-da-mata-atlantica-cresce-em-dez-estados/. Acesso em: 31 maio 2021.

SOUZA, V. de. "Kit Siderurgia Sustentável" em Minas Gerais. 2021. Disponível em: https://siderurgiabrasil.com.br/2021/05/10/kit-siderurgia-sustentavel-em-minas-gerais/. Acesso em: 07 jun. 2021.

SPERANZA, J., ROMEIRO, V., BETIOL,L. E BIDERMAN, R. **Monitoramento da implementação da política climática brasileira: implicações para a Contribuição Nacionalmente Determinada.** Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil. Disponível online em: <http://wribrasil.org.br/pt/publication/monitoramento-daimplementacao-da-politica-climaticabrasileira >Acesso em 08 de outubro de 2020.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. O uso de carvão vegetal na indústria brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA [UFV]. Laboratório de Painéis e Energia da Madeira. Apostila (Curso de Atualização em Carvão Vegetal). snd.

URÁN, A.M.B. **Nacionalismo, militarismo e dominação na América Latina.** Tradução de Jaime A. Clasen. Petrópolis: Vozes, 1987. 291p.

VITAL, Marcos H. F.. Impacto Impacto Ambiental de Flor Ambiental de Florestas de Eucalipto estas de Eucalipto. **Revista do Bndes**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, dez. 2007. Disponível em: http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_impacto_eucalipto_12148.pdf. Acesso em: 02 dez. 2020.

VITAL, M.H.F.; PINTO, M.A.C.. (2011). "Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil". BNDES setorial 30, p. 237-297.

WHITEHEAD, D. & BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. 2004. **Forest Ecology and Management**, 193: 113-140.

APÊNDICE I

Compilado de todas as Conferências das Partes e suas principais deliberações

Conferências das Partes - COP			
Conferências	**Ano**	**Local**	**Deliberações**
COP 1	1995	Berlim, Alemanha	Mandato de Berlim: ações mais enérgicas para mitigação do efeito estufa; redução de emissões para os níveis de 1990 até o ano 2000 não seria suficiente para objetivos de longo prazo; esboço de um protocolo que culminaria no Protocolo de Quioto
COP 2	1996	Genebra, Suíça	Países em desenvolvimento (sem compromisso de redução das emissões) poderiam encaminhar comunicação preliminar à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima solicitando auxílio financeiro e tecnológico proveniente do Fundo Global para o Meio Ambiente para a terceira Conferência das Partes
COP 3	1997	Quioto, Japão	Adoção do Protocolo de Quioto, um dos marcos mais importantes desde a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. O protocolo definiu que os países industrializados deveriam reduzir em, pelo menos, 5,2 % suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990. O Protocolo passou a vigorar 90 dias após sua ratificação, ou seja, passou a ser um compromisso legal vinculando todas as Partes envolvidas, e a não complacência de alguma Parte implicaria em penalidades dentro do Protocolo.
COP 4	1998	Buenos Aires, Argentina	Plano de Ação de Buenos Aires: pacote de metas para tratar separadamente e tomar decisões a respeito de mecanismos de financiamento, desenvolvimento e transferência de tecnologias e programa de trabalho dos mecanismos do Protocolo de Quioto.
COP 5	1999	Bonn, Alemanha	Questões relativas à implementação do Plano de Ação Buenos Aires, Mudança no Uso da Terra e capacitação de países em desenvolvimento.
COP 6	2000	Haia, Holanda	Por conta de conflitos e divergências, referentes a questões essenciais (Plano de Ação Buenos Aires, financiamento aos países em desenvolvimento e mecanismos de Desenvolvimento Limpo) que permaneceram sem solução nos documentos transmitidos à Conferência pelos seus órgãos subsidiários, a COP 6 não pôde ser concluída e foi reconvocada para o ano de 2001 em Bonn, Alemanha. Contudo, a segunda edição foi considerada um sucesso principalmente em virtude de um acordo em que concessões foram feitas para agradar aos interesses dos países em conflito, constantes do Acordo de Bonn.

Conferências das Partes - COP			
Conferências	**Ano**	**Local**	**Deliberações**
COP 7	2001	Marrakesh, Marrocos	Definição das regras operacionais para se colocar em prática o "Acordo de Bonn" e o Protocolo de Quioto. O "Acordo de Marrakesh "definiu as regras operacionais sobre Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas, inventário nacional de emissões, limitação para a utilização de créditos oriundos de florestas e agricultura e foram estabelecidos fundos internacionais para ajudarem os países menos desenvolvidos a se adaptarem aos efeitos das mudanças climáticas.
COP 8	2002	Nova Deli, Índia	Destaque às iniciativas do setor privado e das organizações não governamentais para a ratificação do protocolo e funcionamento dos mecanismos de flexibilização. Apresentação de projetos sobre Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e iniciativas como o Fundo Protótipo de Carbono, Carbono equivalente e *Chicago Climate Exchange*- CCX (Bolsa do Clima de Chicago).
COP 9	2003	Milão, Itália	Definição das regras e procedimentos para projetos florestais no MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de um pacote de regras que define a maneira como os projetos de reflorestamento e reflorestamento deverão ser conduzidos para reconhecimento junto à Convenção do Clima e obtenção dos créditos de carbono.
COP 10	2004	Buenos Aires, Argentina	Foi marcada pela ratificação Russa, o que fará com que o Protocolo de Quioto entre em vigor em 16 de fevereiro de 2005. Foram discutidos projetos de pequena escala, adaptação (recursos para países pobres) e próximo período de compromissos.
COP 11	2005	Montreal, Canadá	Foi a primeira Conferência após a entrada em vigor do Protocolo de Quioto. Assim, conjuntamente com a COP11, ocorreu a 1ª Reunião das Partes do Protocolo de Quioto (MOP1). Marcada pela adoção das decisões sobre a regulamentação do Protocolo de Quioto, em especial o Acordo de Marrakesh; do conjunto de regras necessárias para a implementação do Protocolo de Quioto, entre elas decisões acerca das modalidades e procedimentos para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), inclusive com o reconhecimento da necessidade de sua continuidade no próximo período de compromissos do Protocolo de Quioto.

Conferências das Partes - COP			
Conferências	**Ano**	**Local**	**Deliberações**
COP 12	2006	Nairóbi, Quênia	Foram estipuladas regras para o Fundo de Adaptação, ferramenta para o financiamento de projetos de adaptação às mudanças climáticas voltados para países em desenvolvimento, constituído pelo valor correspondente a 2% dos créditos advindos de atividades do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O governo brasileiro propôs oficialmente a criação de um mecanismo para promover efetivamente a redução de emissões de gases de efeito estufa, em países em desenvolvimento, oriundas do desmatamento, o que mais tarde originou a proposta de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD).
COP 13	2007	Bali/ Indonésia	Início do processo de negociação para o segundo período de compromissos do Protocolo de Quioto, através da aprovação do Plano de Ação de Bali e estabeleceram-se compromissos mensuráveis, transparentes e verificáveis para a redução das emissões causadas pelo desmatamento de florestas tropicais para o segundo período de compromisso. Implementação efetiva do Fundo de Adaptação, com o estabelecimento de diretrizes para financiamento e fornecimento de tecnologias limpas para países em desenvolvimento.
COP 14	2008	Poznan, Polônia	Caracterizou-se por discussões lentas e ausência de resultados mais sólidos. Acordo sobre a operacionalização final do Fundo de Adaptação, para apoio de medidas de adaptação concretas nos países menos desenvolvidos, com aprovação de normas e procedimentos. Foi discutida, também, a promoção do Plano de Ação de Bali, a inclusão do desmatamento no regime do próximo período de compromisso, a transferência de tecnologia aos países em desenvolvimento, porém sem conclusões concretas.
COP 15	2009	Copenhague, Dinamarca	Resultou no Acordo de Copenhague que, após uma sucessão de impasses e embates, a decisão da COP foi de "tomar nota" do Acordo de Copenhague. Isso significa que o texto não teve caráter decisório nem juridicamente vinculante, colocando em xeque suas implicações práticas. No Acordo de Copenhague, os países desenvolvidos assumiram o compromisso de contribuir com US$ 10 bilhões ao ano, entre 2010 e 2012, e com US$ 100 bilhões ao ano a partir de 2020, para a mitigação e adaptação dos países mais vulneráveis frente aos efeitos das mudanças climáticas. O Brasil teve uma participação de destaque nesse encontro, quando apresentou o compromisso voluntário nacional de reduzir entre 36,1% e 38,9% a emissão de gases de efeito estufa até 2020, meta transformada na Lei N° 12.187 de 29 de dezembro do mesmo ano.

Conferências das Partes - COP			
Conferências	**Ano**	**Local**	**Deliberações**
COP 16	2010	Cancun, México	O conjunto de decisões adotado em Cancun não teve caráter vinculante e não estabeleceu novas metas concretas de redução de emissões para os países, entretanto, a Conferência estabeleceu a criação do Fundo Verde no âmbito da Convenção, com um Conselho composto por partes de forma equitativa entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, administrado provisoriamente pelo Banco Mundial. Os governos acordaram incrementar as ações voltadas a reduzir emissões por desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento através do mecanismo REDD+ e do apoio financeiro e tecnológico dos países desenvolvidos.
COP 17	2011	Durban, África do Sul	Resultou em um pacote de medidas, entre elas uma segunda fase para o Protocolo de Quioto, o mecanismo que deve reger o Fundo Verde para o Clima e o roteiro para o novo acordo global, denominado "Plataforma de Durban". O objetivo deste consistiu em manter o aumento da temperatura abaixo de dois graus Celsius através da redução de emissões de gases do efeito estufa nas próximas décadas e ainda incluiu a estruturação do fundo climático verde, para canalizar recursos financeiros para ações de adaptação e mitigação em países em desenvolvimento, promovendo ao mesmo tempo benefícios ambiental, social e econômico.
COP 18	2012	Doha, Catar	Ocorreu simultaneamente a *Conference of Meeting of Parties* (CMP8) do Protocolo de Quioto e seu principal objetivo foi chegar à um acordo conclusivo, com metas para os países do Anexo I deste Protocolo, que orientem as medidas de redução de emissão de GEE (Gases de Efeito Estufa) para o seu segundo período de compromisso, que se inicia em 2013. Também foi acordado que o segundo período seria até o ano de 2020. Com a renovação do Protocolo, também ficou mantida a arrecadação de US$ 10 bilhões por ano para doação a países mais pobres para combate às mudanças climáticas e determinado um fundo que passará a contar com US$ 100 Bilhões a partir de 2020.
COP 19	2013	Varsóvia, Polônia	Seu objetivo foi chegar à um acordo climático, tornando obrigatória a redução das emissões de gases de efeito estufa à partir de 2020. Apesar dos conflitos e impasses entre as partes, dentre as decisões gerais da COP19, destacam-se o regime de compensação por perdas e danos (*loss & damage*), financiamento climático e pagamento por emissão reduzida a partir de esforço de combate ao desmatamento e à degradação florestal (REDD+)

Conferências das Partes - COP			
Conferências	**Ano**	**Local**	**Deliberações**
COP 20	2014	Lima, Peru	Resultou no documento "Chamado de Lima para a Ação Climática", também conhecido como "Rascunho Zero", e foi um acordo para a redução de emissões de gases de efeito estufa e base para um novo pacto global de clima (Acordo de Paris). Seu objetivo foi, também, a submissão e revisão de INDC (*Intended nationally determined contributions*). O INDC representa os compromissos pretendidos por cada país, ao determinar suas próprias metas de redução de gases de efeito estufa, e ampliando a ambição pré-2020.
COP 21	2015	Paris, França	Foi adotado um novo acordo, o Acordo de Paris, e seu objetivo central foi fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. O compromisso consistiu em manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Os governos se envolveram na construção de seus próprios compromissos, a partir das chamadas Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC, na sigla em inglês). Por meio das iNDCs, cada nação apresentou sua contribuição de redução de emissões dos gases de efeito estufa, seguindo o que cada governo considera viável a partir do cenário social e econômico local.
COP 22	2016	Marrakesh, Marrocos	O intuito maior foi de reiterar os compromissos assumidos pelos países como o Acordo de Paris e buscar caminhos para o financiamento climático. A precificação do carbono figurou diversas vezes como tema principal de discussões da conferência como item importantíssimo para o alcance das metas de NDCs. A NDC assumida pelo Brasil no Acordo de Paris estabeleceu 37% de redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE) até 2025, tendo como base o ano de 2005.
COP 23	2017	Bonn/ Alemanha	Tratou da regulamentação do Acordo de Paris, com a produção de elementos que poderiam servir de base às negociações da COP 24, em 2018, e adotou decisões para promover maiores esforços dos países no combate à mudança do clima. Os países concordaram em encaminhar textos-base para a negociação das diretrizes para implementar os compromissos assumidos sob o Acordo nas áreas de mitigação, adaptação, financiamento, transparência, mercados, avaliação global e cumprimento, entre outras.
COP 24	2018	Katowice, Polônia	Pesquisadores de diferentes países analisaram a contribuição de trabalhos científicos para o entendimento dos prejuízos causados pelo aquecimento global. Representantes do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), ressaltaram as recomendações de relatório recente da entidade sobre os impactos de um aumento de 1.5ºC na temperatura média do planeta.

Conferências das Partes - COP			
Conferências	**Ano**	**Local**	**Deliberações**
COP 25	2019	Madrid, Espanha	Resultou no acordo "Chile-Madri, hora de agir" cujo objetivo foi estabelecer as bases para ampliar a atuação contra a mudança climática. O evento foi marcado pela resistência brasileira em relação aos oceanos e uso dos solos e, após duras críticas de outros países, resolveu ceder. O acordo da COP25 tratou sobre questões vinculadas à regulação do mercado de carbono, reconheceu que as políticas climáticas devem ser permanentemente atualizadas com base nos avanços da ciência, devem ser mais ambiciosas e previu a criação de diretrizes para o Fundo Verde do Clima de forma que o órgão destine recursos às perdas dos países mais vulneráveis a fenômenos climáticos extremos.
COP 26	2020	Glasgow, Escócia	Adiada para 2021 em função da pandemia de COVID 19

Fonte: Adaptado de CETESB, 2020; Ministério do Meio Ambiente, 2018; CEBDS, 2016.

ANEXO I

Relação dos trabalhadores resgatados no Estado de Minas Gerais entre 2000 e 2019. Os grifados em amarelo trabalham em condições análogas à escravidão em atividades ligadas à produção de carvão vegetal.

MUNICÍPIOS	OCORRÊNCIAS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS MENORES DE IDADE	TIPO DE TRABALHO
Conceição do Mato Dentro	1	863	0	Mineração
Iturama	1	374	0	Cana-de-açúcar
Carmo de Minas	2	325	0	Café
Itabirito	1	309	0	Mineração de Ferro
Patrocínio	6	255	2	Café, Tomate e Carvoaria
Capinópolis	1	207	0	Cana-de-açúcar
Paracatu	9	303	0	Carvoaria, Milho, Feijão, Pecuária e Cana-de-açúcar
Delta	1	170	0	Cana-de-açúcar
Unaí	5	144	16	Carvoaria, Feijão e Pecuária
Manga	1	142	9	Lavoura de sementes
Limeira do Oeste	1	99	0	Cana-de-açúcar
Cláudio	1	80	0	Cana-de-açúcar
Buritizeiro	4	116	0	Feijão
Nova Resende	1	60	6	Café
Ibiraci	4	62	7	Café
Santa Fé de Minas	3	56	6	Carvoaria
São Roque de Minas	3	77	0	Café, eucalipto e carvoaria
Estiva	2	46	1	Morango
Oliveira	3	46	2	Café
Cascalho Rico	1	40	0	Café
Diamantina	2	46	0	Mineração e Carvoaria
Cambuí	1	39	8	Morango
Patos de Minas	1	39	0	Café
Guaranésia	1	33	0	Cana-de-açúcar
Sacramento	1	33	0	Soja
União de Minas	1	31	2	Seringueira
Machado	3	34	0	Café e Mineração de Ferro
Bonfinópolis de	4	27	1	Carvoaria

MUNICÍPIOS	OCORRÊNCIAS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS MENORES DE IDADE	TIPO DE TRABALHO
Minas				
Campos Gerais	1	27	0	Café
Carmo do Rio Claro	1	27	0	Café
João Pinheiro	5	26	0	Carvoaria
Buritis	4	24	2	Eucalipto, Carvoaria e Pecuária
Claraval	1	24	0	Sem informação
Luz	1	24	0	Café
Comendador Gomes	1	23	0	Laranja
São João do Manhuaçu	1	22	0	Café
Caratinga	1	20	0	Café
Cássia	1	20	0	Café
Matias Cardoso	2	18	0	Carvão Vegetal
Pedra Azul	2	18	0	Carvoaria
Paraguaçu	1	17	0	Café
São Gotardo	2	17	0	Café e Carvoaria
Araguari	1	13	0	Tomate
Coronel Pacheco	1	11	0	Eucalipto
Curvelo	1	11	0	Carvoaria
Jequitinhonha	2	11	0	Carvoaria
Juvenília	1	11	0	Sem informação
Simonésia	1	11	0	Café
Brasilândia de Minas	1	10	0	Carvoaria
Coração de Jesus	2	16	0	Carvoaria
Serro	1	9	0	Pecuária
Brumadinho	1	8	0	Eucalipto
Pintópolis	2	8	0	Carvoaria
São Romão	1	8	0	Carvoaria
São Sebastião do Paraíso	1	8	0	Cana-de-açúcar
Araxá	1	7	0	Carvoaria
Córrego Danta	3	30	0	Café e Carvoaria
Três Pontas	1	7	0	Café
Chiador	1	6	0	Limpeza de Pasto
Conceição das Alagoas	1	6	0	Olaria
Tapira	1	6	0	Carvoaria

MUNICÍPIOS	OCORRÊNCIAS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS MENORES DE IDADE	TIPO DE TRABALHO
Nova Belém	1	4	0	Desmatamento
Passa Quatro	1	3	0	Abacate
Rio Vermelho	1	2	0	Mineração de Pedras
Uberlândia	1	2	8	Pecuária
Varginha	2	2	0	Pecuária
Campanha	1	1	0	Café e Cana-de-açúcar
Governador Valadares	1	1	0	Pecuária
Paraopeba	1	1	0	Pecuária
Águas Vermelhas	1	1	0	Sem informação
Bom Jesus da Penha	1	14	0	Sem informação
Bom Sucesso	1	10	0	Sem informação
Campos Altos	2	70	0	Café
Carmo da Cachoeira	1	7	0	Sem informação
Conceição da Aparecida	1	16	0	Sem informação
Nepomuceno	1	4	0	Sem informação
Poço Fundo	2	32	0	Sem informação
Porto Firme	1	1	0	Sem informação
Campestre	1	4	0	Olaria
Jacuí	1	14	0	Café
Jaíba	1	1	0	Bananas
Jequitaí	1	14	0	Carvoaria
São João da Ponte	1	1	0	Lavoura
Boa Esperança	1	8	0	Carvoaria
Conceição de Ipanema	1	3	0	Café
Cristais	1	2	0	Café
Ibiá	3	41	0	Serviços Gerais e Carvoaria
Ibirité	1	1	0	Carvoaria
Jequitaí	1	23	0	Carvoaria
Lassance	1	25	0	Carvoaria
Muzambinho	1	15	0	Café
Piumhi	2	28	0	Café e Eucalipto
Pompéu	1	26	0	Carvoaria
Pratinha	2	25	0	Café
São Gonçalo do Abaeté	1	2	0	Carvoaria

MUNICÍPIOS	OCORRÊNCIAS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS	NÚMERO DE TRABALHADORES ESCRAVOS MENORES DE IDADE	TIPO DE TRABALHO
São João Del Rei	1	15	0	Pecuária
São Vicente de Minas	1	433	0	Pecuária
Serra do Salitre	2	21	0	Café
Grão Mogol	3	10	0	Carvoaria
Jacutinga	1	4	0	Café
Ninheira	2	33	0	Eucalipto
Ouro Fino	1	17	0	Café
Santa Rosa da Serra	2	26	0	Café
Taiobeiras	1	16	0	Carvoaria
Tapira	1	5	0	Carvoaria
Uberaba	1	8	0	Eucalipto
Turvolândia	2	8	0	Café
Pocrane	1	1	0	Pecuária

Fonte: Adaptado deCEDOC Dom Tomás Balduino – CPT, 2021