

# ESTRUTURA PRODUTIVA E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA ANÁLISE DE INSUMO PRODUTO PARA AS REGIÕES GEOGRÁFICAS INTERMEDIÁRIAS DE MINAS GERAIS

**Área de Submissão:** Economia - Economia do Meio Ambiente

Juliana Moreira Gagliardi<sup>1</sup>  
Thais Oliveira de Oliveira<sup>2</sup>

## RESUMO

Este trabalho analisou a distribuição setorial e regional das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para as Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais, a fim de compreender suas heterogeneidades econômicas e ambientais. Para tanto, utilizou-se os dados de emissão de GEE provenientes do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG e as matrizes Insumo-Produto para as 13 regiões intermediárias, com ambos os dados para o ano de 2016. Foi aplicado um modelo de Insumo-Produto com especificidade ambiental, que permitiu obter coeficientes de emissões por setores econômicos. Os principais resultados encontrados apontam que a região mais emissora é a de Belo Horizonte, seguida das RGInt que compõem o Triângulo Mineiro. Os coeficientes de emissões indicam que, setorialmente, Agropecuária, Transportes, Fabricação de Alimentos, Fabricação de Minerais Não-Metálicos e Água, Esgoto e Resíduos são os setores que mais intensificam as emissões dado um aumento em suas respectivas demandas finais.

**Palavras-chaves:** Insumo-Produto; Emissão de GEE; Matriz de Impacto Ambiental; Regiões Intermediárias de Minas Gerais.

<sup>1</sup> Doutoranda em Economia Aplicada no Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional/UFMG. Email: julianagagliardi@cedeplar.ufmg.br

<sup>2</sup> Doutoranda em Economia Aplicada no Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional/UFMG. Email: thaisolive@cedeplar.ufmg.br.

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm sido uma preocupação global e um dos principais causadores é a emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Os impactos ambientais desastrosos, cada vez mais latentes, ampliam a demanda por políticas estratégicas que consigam frear o aquecimento global. Na Conferência das Partes (COP 26) em 2021, foi estabelecido o pacto de *Glasgow*, que definiu metas e estratégias com objetivo a manter o aumento da temperatura média global abaixo de 1,5°C comparado com os níveis pré-industriais.

Diante da crise pandêmica enfrentada pela necessidade de recuperação econômica, sobretudo para o Brasil, destaca-se a importância de que essa recuperação esteja em consonância com as responsabilidades climáticas, e que ocorra de forma menos onerosa possível ao meio ambiente. O Brasil se situa entre os principais emissores de carbono no mundo. No entanto, na COP26, suas metas de compromissos ambientais foram tímidas, mantendo o que já havia sido estabelecido em 2015, firmando o compromisso de reduzir as emissões de GEE em 50% até 2030, em comparação com 2015.

Assim como é necessário que os países atuem em conjunto para conseguir conter os avanços das mudanças climáticas, se faz necessário que os estados federativos atuem de forma síncrona com estados e municípios a fim de entender as especificidades econômicas e ambientais de cada local, especialmente em países de tamanho continental, como o Brasil. Nesse sentido, podemos destacar o estado de Minas Gerais como uma importante região dinâmica economicamente, que representa 9% do PIB brasileiro, sendo o terceiro maior PIB estadual em 2019. Suas exportações estão concentradas no setor de minério de ferro, café, ferro gusa e ferroligas, que juntos representam aproximadamente 50% do total exportado do estado, de acordo com informações da Matriz de Insumo Produto de MG (2016), fornecida pela Fundação João Pinheiro. Além disso, é o quinto maior emissor de CO<sub>2</sub> entre os estados.

Em um estudo sobre avaliação dos impactos das Mudanças Climáticas Globais no Estado de Minas Gerais elaborado pela FEAM<sup>3</sup> juntamente com a FIPE<sup>4</sup>, foi projetado um aumento na temperatura de 2° a 5°C até o final do século. Além disso, estimou-se redução das chuvas em determinadas regiões e precipitações pluviométricas em outras. Foi mensurado uma previsão de queda no PIB da economia mineira diante das MCG de até -2,96% em 2050. Essas alterações ampliam a heterogeneidade regional e setorial já existentes em MG, intensificando as disparidades - concentrando a atividade espacialmente – e reduzindo o bem-estar em áreas rurais e potencializando aglomerações urbanas.

Diante disso, torna-se necessário compreender a dinâmica econômica e ambiental em Minas Gerais em uma escala setorial e regional, visando capturar a heterogeneidade espacial e assim auxiliar nas políticas de mitigação que consigam frear os danos ambientais prospectivos e, concomitantemente, forneça ganhos econômicos. Com fim a contribuir para a literatura especializada e para a elaboração de políticas, este trabalho tem como objetivo averiguar a emissão de GEE por atividade econômica nas regiões geográficas intermediárias de Minas Gerais (RGInt). Para isso será utilizada a metodologia de Insumo-Produto (IP) com especificidade ambiental - que incorpora a emissão de CO<sub>2</sub>e (t) GWP-AR5<sup>5</sup>- a partir do método de coeficiente direto e nos fornece uma matriz de impacto

<sup>3</sup> Fundação Estadual do Meio Ambiente

<sup>4</sup> Fundação Instituto de Pesquisa Econômicas

<sup>5</sup> Os gases de efeito estufa são mensurados conjuntamente em carbono equivalente a partir da abordagem GWT (Global Warming Potential), que considera a influência dos gases na alteração do balanço energético da Terra (SEEG, 2022b). Os gases inventariados pelo SEEG são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), perfluorcarbonos (CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), hidrofluorcarbonos (HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

ambiental total, permitindo compreender como que alterações na produção setorial, a fim de atender a demanda final, impactam a emissão direta e indiretamente.

Para esta aplicação será utilizada as Matrizes de Insumo-Produto (MIP) para cada uma das 13 regiões intermediárias de Minas Gerais e 42 setores, disponível para o ano de 2016 e os dados de emissão desenvolvidos pelo Observatório do Clima, disposto no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, os quais foram compatibilizados para fornecer informações

sobre os setores apresentados nas MIPs.

Atendendo esses objetivos, este trabalho está organizado em 4 seções além desta introdução. A seção 2 apresenta uma contextualização sobre o tema e uma revisão da literatura empírica sobre o uso do modelo de IP com emissão de GEE; A seção 3 o modelo estilizado e a descrição da base de dados utilizada; A quarta seção inicia com uma breve contextualização sobre o Valor Adicionado Bruto nas regiões, analisa o volume de emissões totais por atividades mais emissoras de CO<sub>2</sub>, e apresenta e discute os coeficientes de emissões para as RGInt's; e por fim, a seção 5 apresenta as principais conclusões encontradas.

## 2- EMISSÃO DE GEE E OS MODELOS DE INSUMO PRODUTO

### 2.1 Panorama de Emissão de GEE no Brasil e Minas Gerais

Os Gases de Efeito Estufa são gases encontrados naturalmente na atmosfera terrestre. Entretanto, sua concentração cresceu substancialmente como resultado da revolução industrial e maior utilização de combustíveis fósseis pela humanidade. A queima de combustíveis como petróleo, gás natural e carvão libera CO<sub>2</sub> na atmosfera e contribui para o efeito estufa e consequente aquecimento global. Além da queima de combustíveis, diversos processos industriais, agrícolas e de disposição final de resíduos sólidos também contribuem para aumentar a emissão do referido poluente.

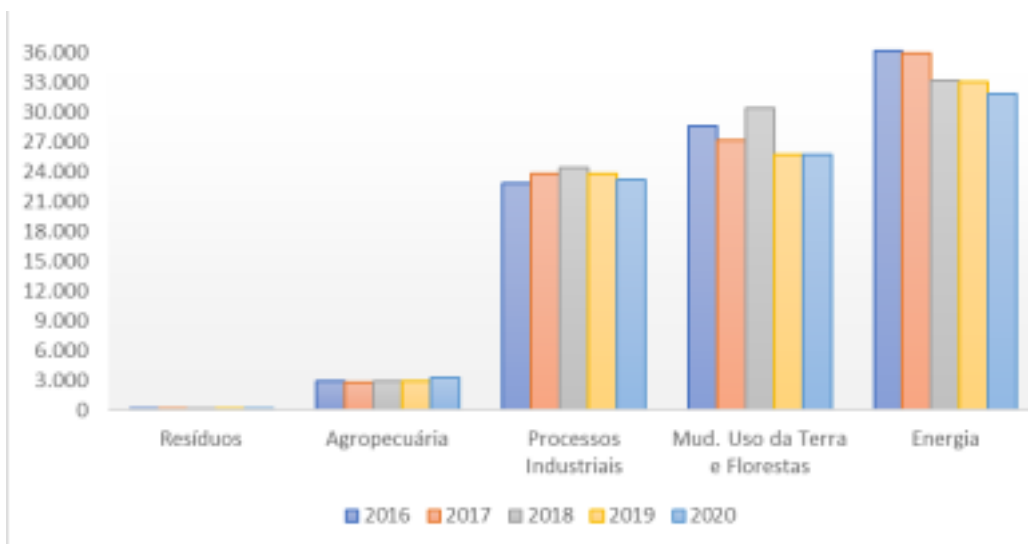
Os efeitos do aumento dos GEE têm sido estudados desde o final do século XIX (Klabin, 2000), e desde a década de 1990, o *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tem investigado a evolução das emissões globais. De acordo com o *Global Carbon Atlas* (2022), a queima de combustíveis fósseis é responsável por  $\frac{2}{3}$  das emissões de CO<sub>2</sub> desde o início da revolução industrial, e desde 1950 são a fonte dominante de emissão antropogênicas para a atmosfera. Segundo o quinto relatório do IPCC, é extremamente provável que a influência humana tenha sido a causa dominante no aquecimento observado desde meados do século XX” (tradução nossa).

A desaceleração econômica provocada pela pandemia do Covid-19 provocou redução das emissões globais em 5,4% no ano de 2020 comparando com 2019. Para 2021, o *Global Carbon Budget* estimou um crescimento de 4,8% nas emissões de CO<sub>2</sub> (Global Carbon Budget, 2021). Em 2016, o Brasil emitiu 2,09 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>e (t) GWP-AR5)<sup>6</sup>. Desse total, 65% correspondem a emissões de CO<sub>2</sub> – em sua maior parte devido às Mudanças no Uso da Terra e Florestas em decorrência de processos de desmatamento, principalmente na Amazônia. Dos 1,36 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos em 2016, 63% foram devidos à Mudanças no Uso da Terra e 29% devidos à Energia, que contabiliza as emissões provenientes da produção ou uso de combustíveis fósseis. Entre 2016 e 2018 as emissões totais de CO<sub>2</sub> no país caíram levemente, entretanto, voltaram a aumentar em 2019 e 2020. Considerando o período 2018-2020, as emissões cresceram 16%,

<sup>6</sup> Os gases de efeito estufa são mensurados conjuntamente em carbono equivalente a partir da abordagem GWT (Global Warming Potential), que considera a influência dos gases na alteração do balanço energético da Terra (SEEG, 2022b). Os gases inventariados pelo SEEG são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), perfluorcarbonos (CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), hidrofluorcarbonos (HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), atingindo 1,4 bilhão de toneladas, e a participação das emissões provenientes de Mudanças no Uso da Terra e Florestas aumentou para 66% das emissões de CO<sub>2</sub> em 2020.

Em Minas Gerais foram emitidos 161,15 milhões de toneladas de GEE no ano de 2016. Deste total, 56,2% (90,6 milhões de toneladas) foram de CO<sub>2</sub>, sendo a Energia a fonte emissora responsável por 40% das emissões de CO<sub>2</sub>, seguida pela Mudança no Uso da Terra e Florestas com 32%, Processos Industriais com 25%, Agropecuária com 3% e Resíduos com 0,1% (Gráfico 1). Em perspectiva, entre 2016 e 2020 houve redução de 6% nas emissões totais, sendo Energia e Mudança no Uso da Terra e Florestas as fontes emissoras responsáveis por essa alteração.

Gráfico 1 – Emissões de GEE em Minas Gerais (em mil de tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente)



Fonte:

Elaboração das autoras a partir dos dados da SEEG, 2022.

Ainda na perspectiva de emissão de CO<sub>2</sub>, estudos apontam que nas últimas décadas já é perceptível um aumento na temperatura em todo estado de MG (DOS SANTOS BRITO *et al*, 2017), cabe frisar que os impactos decorrentes das mudanças climáticas podem provocar um aumento na temperatura no estado de Minas Gerais de até 5°C até o ano de 2080 o que implicará em uma contração da economia mineira em decorrência da alteração da estrutura produtiva e alterações nos padrões de consumo das famílias (FEAM, 2011). Além disso, o Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais (FEAM, 2015) mostra que algumas regiões serão mais atingidas por causa de uma maior vulnerabilidade, como o Norte de Minas e Jequitinhonha e Mucuri.

## 2.2- Literatura empírica e a modelagem de insumo produto ambiental

As mudanças climáticas têm ampliado o debate sobre a necessidade de alteração no uso de recursos ambientais, seja em decorrência da escassez ou pela oneração que pode acarretar. Nesse sentido, é crescente o debate na literatura econômica ambiental sobre a emissão de gases de efeito estufa. Uma das modelagens comumente utilizadas para avaliar aspectos ambientais são os Modelos de Insumo Produto. Tal método permite analisar a economia como um todo, sobretudo a dimensão produtiva setorial e seus encadeamentos, com inclusão da dimensão ambiental, que pode ser inserida na modelagem a fim de avaliar como os impactos na estrutura produtiva afetam o quantitativo de poluentes.

Na literatura internacional são vastos os trabalhos que utilizaram modelos de IP incluindo a especificação ambiental. Hetherington (1996) incluiu emissão de CO<sub>2</sub> em um modelo de IP híbrido para o Reino Unido com 101 setores industriais para o ano de 1984, as principais conclusões indicaram que os setores mais intensivos em emissão de carbono são Eletricidade, Ferro e Aço, Fibras Sintéticas, Cimento e Extração de Carvão. Analisando as emissões na economia chinesa, Chen e Zhang (2010), a partir da aplicação de um modelo de IP concluíram que o setor de Energia Elétrica e Fornecimento de Vapor e Água Quente são o mais expressivo em termos de emissão, fato decorrente da utilização do carvão. Seguindo neste mesmo sentido de análise, visando compreender a emissão decorrente da atividade da economia espanhola há o trabalho de Cansino *et al* (2013) e Labadeira e Labeaga (2002).

Mais recentemente, Harun *et al* (2021) investigaram as interações entre atividades econômicas e intensidades energéticas e emissões de CO<sub>2</sub>, os resultados obtidos sugerem que o setor de transporte é um dos principais contribuidores para a emissão de CO<sub>2</sub>. No mais, os resultados indicaram que é necessário controlar os problemas ambientais e incentivar a eficiência do uso de energia no processo produtivo, sobretudo nos setores de Construção Civil, Transporte, Eletricidade, Gás, Água e Agricultura.

Também em período recente, tem-se o trabalho de Guevara *et al* (2019) que analisou as economias pertencentes ao NAFTA buscando investigar as relações econômicas e de emissão de CO<sub>2</sub> por uso de

energia entre eles. Para isso aplicou um modelo IP multirregional e multifatorial com inclusão de energia. Os resultados sugerem que o NAFTA construiu um sistema de energia integrado, embora tenha ajudado a reduzir emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia.

No Brasil, análises de insumo-produto ambiental começaram a ser realizadas em 1970 e se intensificaram a partir da década de 2000. Hilgemberg (2005), a partir de um modelo inter-regional de IP, mensurou as emissões provenientes do uso energético, gás natural, álcool e derivados do petróleo, identificando os setores chaves em termos de emissão. Os resultados indicam que as regiões Sul e Nordeste são as que têm maiores impactos emissores dado um aumento na demanda final.

No trabalho de Machado (2002), que também utilizou a modelagem de IP com incorporação ambiental, analisou o uso de energia e as emissões diante de impactos no comércio exterior nos anos de 1985, 1990 e 1995 em nível nacional. Os setores que se destacaram em termos de emissão de carbono foram Ferro e Aço, Papel e Celulose, Minerais Não-Metálicos e Transporte. No mais, os resultados obtidos indicaram que o Brasil constitui como um exportador de energia e carbono incluídos nos produtos não-energéticos.

Avelino e Guilhoto (2009) estimaram as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da construção de usinas eólicas e o período de retorno da compensação dessas emissões utilizando uma matriz nacional para o ano de 2004 e indicaram que tal construção benéfica ao gerar uma redução de emissão no máximo a partir de 4 meses após a implementação. Oliveira (2011) aplicou um modelo ampliado com o uso de coeficientes ambientais para avaliar as relações das emissões de GEE com mudanças nos componentes da demanda final para 2005. Os resultados indicaram que as exportações, dentre os componentes da demanda final, aquele que mais impacta sobre as emissões, explicado pela estrutura exportadora nacional baseada na Agropecuária e na Mudança e Usa de Terras e Florestas.

A partir de um modelo híbrido, Montoya e Pascoal (2015) avaliaram as emissões de CO<sub>2</sub> por parte dos setores de acordo com a fonte de energia utilizada. Os resultados indicaram que mais de 70% das emissões decorrentes do uso da energia são de fontes não-renováveis e que uma parcela significativa desse valor deriva do consumo das famílias. Setorialmente, destacam-se transporte, cimento, minério de ferro, entre outros, como os que mais utilizam da energia não-renovável. Montoya *et al* (2016) estimaram uma matriz energética com 56 setores para o Brasil a fim de estudarem a estrutura do agronegócio brasileiro com relação à renda, empregos, consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub>.

Ademais, alguns trabalhos na literatura nacional especializada realizam análises para regiões e estados brasileiros. Hilgemberg e Guilhoto (2006) quantificaram as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do uso de combustíveis fósseis nas regiões brasileiras e simularam efeitos de restrição de emissões sobre vários setores da economia utilizando um modelo de matriz insumo produto híbrida. Os resultados indicaram que um aumento na demanda final impacta de maneira mais intensa nas emissões na região nordeste, além de um elevado grau de transações interindustriais em São Paulo e no restante do Sudeste. Ademais, os setores que mais impulsionam o aumento da emissão são Transportes, Produção de Energia não Hidráulica, Petróleo e Álcool e Refino do Petróleo.

Corroborando com trabalho citado anteriormente, Carvalho e Perobelli (2009) construíram um modelo de IP inter-regional de São Paulo com o resto do Brasil a fim de quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> derivadas do uso de combustíveis energéticos e concluíram que o resto do Brasil tem um impacto positivo sobre suas emissões devido a um aumento na demanda no estado de São Paulo.

Para outras regiões podemos citar os trabalhos de IP com especificidade ambiental para o Paraná (MONTEIRO *et al*, 2012), Rio Grande do Sul (MONTTOYA *et al*, 2013), para a Amazônia brasileira IMORI *et al* (2014), Mato Grosso do Sul (RODRIGUES;FRAINES; EDUARDO, 2021), entre outros.

Para a região de Minas Gerais, estado no escopo da análise do presente estudo, foram encontrados três trabalhos empíricos que fizeram uso dos modelos de Insumo Produto com especificação ambiental até o momento. Perobelli, Mattos e Faria (2006) analisaram a relação entre Minas Gerais e o restante do Brasil no que diz respeito ao consumo de energia utilizando um modelo inter-regional híbrido para 14 setores de atividade. Os resultados indicam que os setores dentro do estado exercem uma influência maior no setor de energia do que quando comparado com os respectivos setores no

resto do Brasil. Além disso, o trabalho indicou que os setores que mais demandam energia no processo produtivo são os de Ferro e Aço, Transporte e Energético e Outras Indústrias.

O segundo trabalho foi o de Santiago *et al* (2010), que analisou a intensidade de emissões de CO<sub>2</sub> decorrente do consumo de combustíveis para Minas Gerais a partir de uma matriz híbrida desagregada em 13 setores de atividade. Os autores indicaram os setores de Agropecuária, Mineração e Pelotização e Transportes como os mais importantes em relação às emissões.

E por fim, o terceiro trabalho foi o de De Vasconcelos (2018), que avaliou a intensidades de emissões de CO<sub>2</sub> na economia mineira em um modelo de insumo-produto ambiental com a incorporação de coeficientes de emissão. Os setores com maior impacto nas emissões, dado uma alteração na demanda final, foram os de Cimento, Transporte e Pecuária. Ao endogenizar o consumo das famílias nas dinâmicas intersetoriais, evidenciaram-se as emissões induzidas pelos setores de Comércio, Produtos Químicos e Refino do Petróleo, Alimentos e Bebidas.

Este trabalho contribui com a literatura e com a avaliação de políticas públicas ao realizar uma análise desagregada das emissões de GEE e o potencial de emissões no território mineiro considerando a nova divisão geográfica implementada pelo IBGE em 2017 e as matrizes Insumo-Produto para as regiões intermediárias de Minas Gerais disponibilizadas pela Fundação João Pinheiro para o ano de 2016.

### 3- METODOLOGIA

#### 3.1- O modelo de Insumo-Produto e a especificidade ambiental

A análise de Insumo-Produto é comumente utilizada para compreender as interrelações existentes entre setores da economia de uma região. A partir deste método é possível obter informações sobre produção setorial, consumo das famílias, comércio internacional, salário e, inclusive, aspectos ambientais, como uso da água e emissão de carbono. A partir dessas informações, é possível avaliar choques de políticas e os impactos econômicos e ambientais oriundos delas (Miller e Blair, 2009). De acordo com Leontief (1987, p. 860), a análise Insumo-Produto é uma extensão prática da teoria clássica que descreve e interpreta a operação de um sistema econômico em termos de suas relações estruturais básicas observáveis.

Nesta modelagem são representados os setores produtivos da economia, o que pode ser feito utilizando níveis de desagregação diferentes (países, regiões, estados, municípios, etc). A matriz insumo-produto capta as transações que os setores econômicos realizam entre si a fim de produzir bens e serviços que são disponibilizados para os componentes da demanda final - famílias, governo, investimento e exportações. Assim, a produção demanda insumos (nacionais e importados), impostos são pagos, empregos são gerados e gera-se valor adicionado na forma de salários, remuneração do capital e da terra (Guilhoto, 2004). O modelo busca descrever a interdependência da economia, configurando-se como “um estudo empírico das interrelações entre as diferentes partes de uma economia nacional como revelado através da covariação de preços, produções, investimentos e rendas” Leontief (1951, p.3).

A representação matemática de um modelo de insumo-produto, segundo Miller e Blair (2009), equivale a um conjunto de  $n$  equações lineares com  $n$  incógnitas, em que o setor  $j$  demanda insumos de outros setores  $i$  para satisfazer a produção de bens intermediários e a demanda final. A simplificação do modelo de I-P que descreve os fluxos monetários é:

$$Z + Y = X \quad (1)$$

Em que  $Z$  corresponde a matriz de Consumo Intermediário (ou ainda, as transações interindustriais),  $X$  ao vetor coluna de Demanda Final de cada setor e  $Y$  ao vetor de Produção Final de cada setor.

Detalhadamente podemos descrever o modelo considerando  $n$  setores totais, em que  $x_i$  corresponde

a produção total do setor  $i$ , representada por:

$$Y_i = X_{i1} + \dots + X_{iN} + \dots + X_{iN} + X_{iN} = \sum_{j=1}^N X_{ij} + Y_i \quad (2)$$

Onde  $X_{ij}$  representam as compras interindustriais realizadas pelo setor  $i$ . Reunindo todos os setores da economia podemos representar essas relações de forma matricial utilizando a expressão:

$$Y = XY + Y \quad (3)$$

Na análise insumo-produto considera-se que a produção ocorre sob retornos constantes de escala e que cada setor usa os insumos em proporções fixas. A partir dessas suposições e com as informações de produção e demanda por setor, é possível obter uma matriz de coeficientes técnicos, representada por  $A$ , definida matematicamente como:

$$A = X^{-1}Y \quad (4)$$

sendo  $X^{-1}$  a diagonalização de  $X$ . Portanto,  $A$  representa a proporção de insumos do setor  $i$  que o setor  $j$  demanda para a produção de uma unidade monetária de produto, representado pelo coeficiente técnico  $X_{ij}^{-1}Y_{ij}$ :

$$X_{ij}^{-1}Y_{ij} = a_{ij} \quad (5)$$

Manipulando algebricamente, pode-se escrever a equação acima como:

$$Y = XY + Y \quad (6)$$

Reescrevendo a equação (1), substituindo por (6):

$$Y - XY = Y \quad (7)$$

Realizando as manipulações algébricas e matriciais necessárias e isolando o  $Y$ , a representação do sistema de equações para uma economia pode escrita como

$$Y(I - X) = Y \quad (8)$$

em que  $(I - X)^{-1} = B = (B_{ij})$  e corresponde a matriz inversa de Leontief, cujos coeficientes representam os efeitos diretos e indiretos de produção, que são os requerimentos totais da produção.

Uma das expansões dos modelos de I-P é a inclusão de uma especificação ambiental que pode ocorrer nas mais distintas análises ambientais. No escopo deste trabalho serão incluídas as emissões de CO<sub>2</sub>, que permitem identificar a emissão resultante das atividades econômicas, seja a partir da atividade produtiva setorial intermediária, como também nas alterações nas demandas finais, a exemplo do consumo das famílias, demanda do governo e mudanças nas exportações.

Há na literatura empírica diferentes métodos para a incorporação de CO<sub>2</sub> na análise insumo-produto. Neste trabalho será utilizado o método de coeficientes diretos, que constrói uma matriz vinculando a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido - ou outro poluente - ao montante de produto produzido por determinado setor. Essa matriz de coeficiente pode ser apresentada como:

$$E_{ij} = [E_{ij}^k] \quad (9)$$

Em que  $E_{ij}^k$  associa a quantidade emitida de determinado poluente do tipo  $k$  emitido por determinado setor  $j$ . A partir disso o nível de emissão poluente de uma indústria é dado por:

$$E_i^k = E_{ij}^k Y_j \quad (10)$$

Em que  $\mathbf{E}^*$  corresponde a um vetor com a quantidade poluidora. Para a inclusão do coeficiente direto de emissão de CO<sub>2</sub> no modelo, será incluído o vetor de emissão como um componente da Demanda Final, e assim  $\mathbf{E} = (\mathbf{I} - \mathbf{E}^*)^{-1} \mathbf{E}^* = \mathbf{E}^* \mathbf{L}$ . Dado isso, podemos derivar a emissão direta e indireta pelos setores da economia com objetivo de atender a demanda final:

$$\mathbf{E}^* \mathbf{L} = [\mathbf{E}^* \mathbf{L} \mathbf{E}^*] \mathbf{E}^* \quad (11)$$

Se  $\mathbf{L}$  a matriz de impacto ambiental total, a qual fornece o impacto sobre a emissão oriundos de um aumento de uma unidade monetária sobre a demanda final, a qual decorre das demandas setoriais diretas e indiretas.

### 3.2 Dados

Para a elaboração deste trabalho foi utilizada a Matriz de Insumo Produto para as Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais para o ano de 2016 e com 42 setores, divulgada em 2020 pela Fundação João Pinheiro. A divisão em Regiões Geográficas Intermediárias (RGInt) seguiu a metodologia proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na qual os 853 municípios mineiros são distribuídos em 13 regiões intermediárias, a saber: Barbacena, Belo Horizonte, Divinópolis, Governador Valadares, Ipatinga, Juiz de Fora, Montes Claros, Patos de Minas, Pouso Alegre, Teófilo Otoni, Varginha, Uberaba e Uberlândia.

Os dados de emissão de GEE para 2016 foram obtidos no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) desenvolvidos pelo Observatório do Clima. Eles são disponibilizados desagregados por município e consideram as emissões oriundas de 5 fontes distintas: agropecuária, energia (queima de combustíveis), resíduos, processos industriais e mudanças no uso do solo. Para o escopo de análise atual será desconsiderada esta última fonte. Os municípios foram agregados de acordo com a divisão das 13 RGInt, e as atividades componentes das fontes de emissão foram compatibilizadas com os 42 setores econômicos utilizados na MIP das RGInt.

A base de dados do SEEG fornece os dados conforme a classificação de emissão por tipo de fonte emissora considerando cinco categorias: Energia, Mudança no Uso da Terra e Florestas, Processos Industriais, Agropecuária e Resíduos. Por exemplo, as emissões por combustíveis fósseis que estão listados na fonte Energia da SEEG podem ser de responsabilidade da atividade agrícola, industrial ou transportes. Para verificar os coeficientes de emissão de cada um dos 42 setores da MIP, as emissões por tipo de fonte foram devidamente alocadas nas respectivas atividades correspondentes através da compatibilização de informações do SEEG com a MIP. Dessa forma, as emissões do setor Energia foram devidamente alocadas para cada atividade correspondente dentre os 42 setores da MIP RGInt.

As emissões de GEE têm origem em processos diversos. Na agropecuária elas decorrem da fermentação entérica de gado ruminante (como bovinos, búfalos, ovelhas e cabras), da queima de resíduos agrícolas e do manejo do solo com aplicação de calcário e ureia. A Energia como fonte emite CO<sub>2</sub> através da queima de combustíveis fósseis. As emissões oriundas de Processos Industriais estão ligadas a diversos procedimentos, como por exemplo, o consumo de combustíveis em altos-fornos para a produção de ferro-gusa e aço, o processo de produção de alumínio, cal, cimento, dentre outros. Incineração ou queima a céu aberto de resíduos de origem fóssil e de matéria orgânica e o tratamento de efluentes são processos de destinação final de resíduos que geram GEE.

## 4- RESULTADOS

### 4.1- Dinâmica Econômica das Regiões Intermediárias de Minas Gerais

Ao averiguar a dinâmica econômica do estado de Minas Gerais por meio do Valor Adicionado Bruto (VAB), fornecido pela MIP das regiões analisadas, constata-se que - de forma agregada - há uma concentração em setores de serviços, como Comércio, Atividades Imobiliárias e Administração



Pública, correspondendo a 12%, 10% e 18% do VAB total de MG, respectivamente; os setores da Agropecuária correspondem a 7% do VAB total, enquanto Construção e Transporte, representam 6% e 4%, nessa ordem.

Entretanto, ao ponderar cada região separadamente compreende-se que as atividades econômicas e o PIB são desigualmente distribuídos no território. A tabela 1 permite ver como o VAB é concentrado em determinadas regiões. Por exemplo, a Região Geográfica Intermediária de Belo Horizonte concentra cerca de 36% do valor adicionado bruto (VAB) gerado em todo Estado no ano de 2016. Em seguida, está a RGInt de Juiz de Fora com 8,4% e a RGInt de Uberlândia com 8,1% do valor adicionado bruto. Enquanto as RGInt de Barbacena, Governador Valadares e Teófilo Otoni representam 3,3%, 2,1% e 2,6% do VAB de MG.

Tabela 1 – Participação do Valor Adicionado Bruto Total de Minas Gerais por Regiões Geográficas Intermediárias, 2016.

RGInts	% VAB	RGInts	% VAB
Divinópolis	5,60%	Juiz de Fora	8,40%
Patos de Minas	4,40%	Ipatinga	4,60%
Uberlândia	8,10%	Governador Valadares	2,10%
		Uberaba	6,50%
		Teófilo Otoni	2,60%
		Pouso Alegre	6,70%
		Montes Claros	4,40%
		Varginha	7,10%
		Belo Horizonte	36,30%
		Barbacena	3,30%

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da MIP das RGInt disponibilizada pela FJP, 2016.

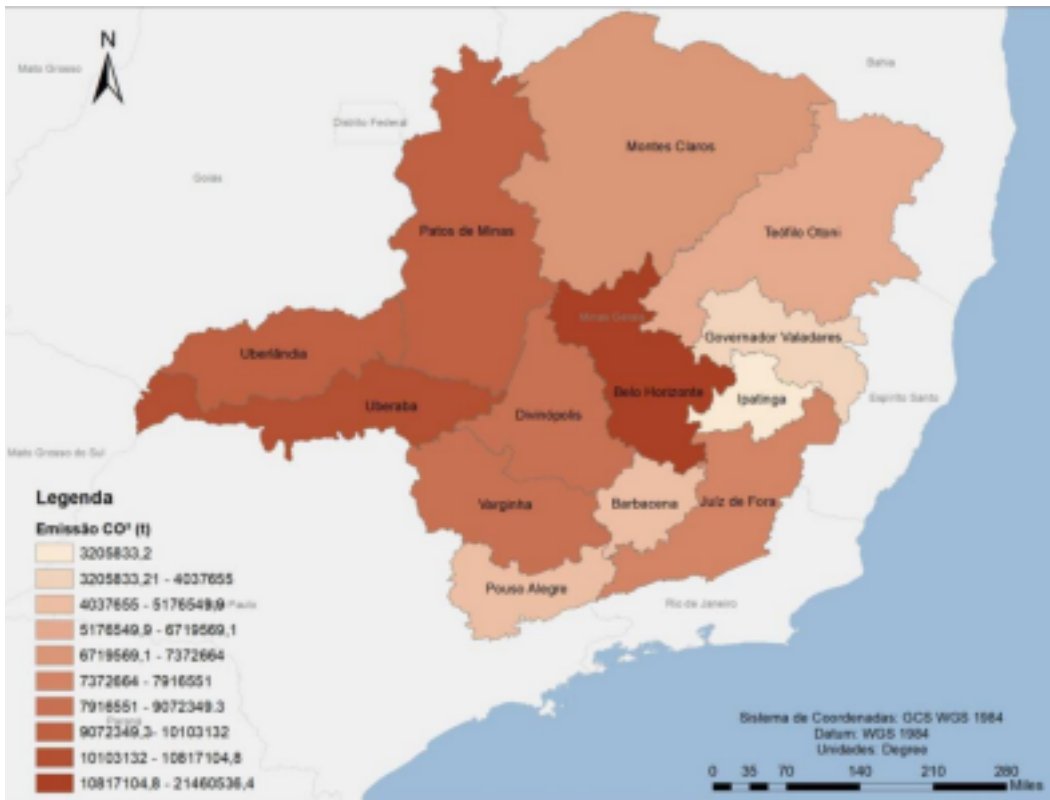
A maioria das regiões tem seu VAB concentrado nos setores de serviços, com uma média de 50% do total do valor adicionado, mas as demais atividades são heterogêneas, e por isso na análise a seguir irá focar nas demais atividades importantes para cada região. São desconsiderados os setores relativos às atividades de serviço. Na RGInt de BH destacam-se as atividades de Construção (7,4%), Indústrias Extrativas (5,3%) e Transportes (4,5%). Já nas RGInt de Montes Claros e Teófilo Otoni os setores da Agropecuária somam aproximadamente 10% do VAB de cada uma das regiões e Construção 4%. Na RGInt de Governador Valadares, 8% do VAB é oriundo da Agricultura e Pecuária e 4% oriundo do Transporte. Na região de Ipatinga, 14% do VAB deriva da produção de Ferro Liga e Ferro Gusa e 6,7% de Indústrias Extrativas. Na RGInt de Juiz de Fora, 5,7% do VAB deriva da Construção e 4% da Agricultura.

Além disso, o VAB do setor de agricultura da RGInt de Varginha representa 12,7% do total para essa região. Os Transporte e Agricultura equivalem a 4,7% e 4,5%, respectivamente, do valor da adicionado em Pouso Alegre. As RGInt de Uberaba e Uberlândia possuem uma composição setorial similar, destacando-se o setor de Energia (9,5% e 5,4%, respectivamente) e Fabricação de Alimentos (8,3% e 6,21%, respectivamente). Em Pato de Minas, o setor Agricultura corresponde a 19,8% do VAB total, enquanto Divinópolis a Agricultura e Pecuária, juntos somam 8% do VAB total.

#### 4.2 – Emissões de GEE por Setor e Região

A seguir são apresentados os dados de emissão total de GEE por região intermediária e a distribuição territorial das emissões das atividades mais poluentes. Em 2016, o estado de Minas Gerais emitiu um total de 109,34 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq<sup>7</sup> relacionadas às atividades econômicas. Deste total, a Agropecuária foi responsável pela emissão de 61,6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq, os Transportes por 22,48 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, a Fabricação de Minerais não Metálicos por 8,70 milhões de CO<sub>2</sub>eq, e as atividades de Água, Esgoto e Resíduos por 7,74 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq. Essas quatro atividades em conjunto induziram cerca de 92% das emissões do estado para o referido ano.

Considerando o volume total de emissões, a RGInt de Belo Horizonte é a região com participação, sendo responsável por 20% do total emitido em Minas Gerais (Mapa 1). Em seguida está a região de Uberaba com 10%, Uberlândia e Patos de Minas com 9% das emissões cada. As regiões com menor



volume de emissão são Ipatinga e Governador Valadares, com respectivamente 3% e 4% do total.

Mapa 1-

Emissões de CO<sub>2</sub>eq Total por regiões intermediárias de Minas Gerais em 2016.

Fonte: Elaboração das autoras com base nos dados do SEEG para 2016.

<sup>7</sup> CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e (t) GWP-AR5) corresponde ao total de GEE emitidos pelas 42 atividades da MIP de RGInt. Dentre as atividades destacadas nesta seção, a Agropecuária é a atividade com emissões menos concentradas no território devido a presença e importância da atividade para todas as regiões. Ainda assim, destacam-se as RGInt's de Uberaba, Patos de Minas e Uberlândia, que juntas respondem por 39% do total de emissões da atividade. As emissões da atividade de Fabricação de Minerais não

Metálicos estão concentrada, principalmente, na região de Belo Horizonte (60%), sendo seguida por Barbacena (19%), Varginha (11%) e Divinópolis (8%).

Figura 1- Emissões de CO<sub>2</sub>eq Total e pelos setores mais emissões por regiões intermediárias de Minas Gerais em 2016.



1a) Agropecuária 1b) Minerais Não-Metálico



1c) Água, Esgoto e Resíduos 1d) Transporte



Fonte: Elaboração das autoras com base nos dados do SEEG para 2016.

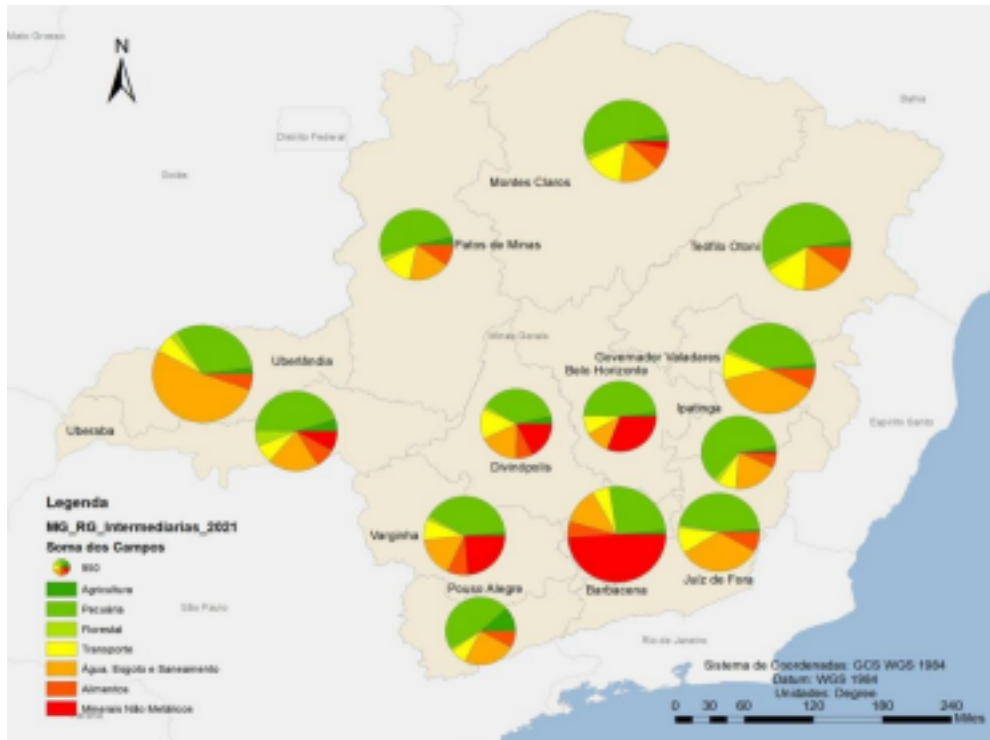
O volume de emissão por meio do setor Água, Esgoto e Resíduos segue a distribuição populacional no território. A RGInt de Belo Horizonte emite o maior volume de GEE (27%) e é a região mais populosa do estado (29,6% da população total). Em segundo lugar, a RGInt de Juiz de Fora com 12% das emissões e 11,1% da população. As emissões totais oriundas do setor de Transportes estão concentradas na região de Belo Horizonte com 32% do total. As demais regiões participam com percentuais entre 3% e 9%. Uberlândia e Juiz de Fora são as regiões que aparecem em seguida com 9% de emissão cada.

### 4.3- Análise dos Coeficientes de Emissão

Os coeficientes fornecidos pela matriz de impactos ambientais indicam o impacto - direto e indireto - sobre o montante de emissão de CO<sub>2</sub> decorrente do aumento de uma unidade monetária em determinado setor para atender a demanda final. O efeito direto indica o aumento na emissão de determinado setor decorrente da sua própria atividade, ao passo que o coeficiente indireto representa o efeito sobre o montante de emissão de outros setores para atender a demanda do setor em questão. Esses indicadores são importantes para compreender os setores intensivos em emissões diretamente e as relações intersetoriais que afetam a emissão, ambas as dimensões são basilares para a formulação de políticas e necessitam estar integradas.

Analisando os coeficientes totais, sete setores se destacam: Agricultura; Pecuária; Produção Florestal; Transporte; Água, Esgoto e Resíduos; Alimentos e Minerais Não-Metálicos, como pode ser visto no Mapa 2. Apesar dos coeficientes de emissão dessas atividades econômicas variarem de magnitude entre as regiões, nota-se que são os coeficientes expressivos em todas as regiões, confirmando as características de indução de emissões dessas atividades. Uberlândia, Barbacena e Governador Valadares destacam-se pelos maiores coeficientes totais de emissão dentre as regiões.

Mapa 2 - Coeficientes Total de emissão setorial para as Regiões Intermediárias - sete principais setores poluentes.



Fonte: Elaboração das autoras.

Importante setor para o Estado de MG e presente em todas as RGInt, a Pecuária está entre as atividades com maiores coeficientes totais de emissões e com expressiva participação em todas as regiões. Com exceção de Barbacena e Uberlândia, a Pecuária é a atividade que mais induz emissões

em todas as demais regiões.

Em Barbacena, o setor com maior coeficiente de emissões é a Fabricação de Minerais Não-Metálicos e em Uberlândia, Água, Esgoto e Resíduo. Cabe destacar os altos coeficientes de emissão observados para a Fabricação de Minerais Não- Metálicos nas regiões Barbacena (10.020,99) e de Belo Horizonte (3.667,92).

O setor de Água, Esgoto e Resíduo aparece em todas as RGInt como alto coeficiente de emissão. O saneamento básico, para além de melhoria da qualidade de vida da população, redução dos gastos com saúde nos municípios, mostra-se como uma das atividades que necessitam de melhorias de processo a fim de reduzir o nível de emissões de GEE.

Os coeficientes de emissão total para a atividade de Transporte aparecem entre o terceiro e quintos lugares entre as RGInt, o que indica que, mesmo em regiões com menor densidade urbana e menor população, o transporte e sua cadeia produtiva têm efeito importante sobre as emissões. Tal fato ressalta a dinâmica regional de mobilidade humana e de cargas, assim como indicando que não é apenas um problema dos grandes centros, mas também para as cidades menores, devendo ser enfrentado de forma conjunta pelos governos locais.

Outro setor significativo em termos de coeficientes de emissão é a Fabricação de Alimentos. Neste setor, as emissões diretas decorrem via uso de energia para o processo produtivo, tendo como principal fonte energética o gás liquefeito de petróleo (GLP). A Fabricação de Bebidas também utiliza intensamente o GLP, embora tenha coeficientes de emissão menores do que a produção de alimentos.

A Fabricação de Ferro-gusa e Ferro-liga aparece entre os 13 maiores coeficientes total de emissão em 10 das 13 RGInt, com destaque para as regiões de Juiz de Fora, Uberlândia, Ipatinga e Patos de Minas. Nessas atividades, as emissões são oriundas da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia.

Como já destacado, a análise dos coeficientes diretos e indiretos de emissão permite verificar quais atividades induzem emissões por conta da própria atividade e quais têm mais efeito sobre a cadeia produtiva e ao realizar essa discriminação por região permite compreender mais detalhadamente os setores chaves de cada uma das regiões e os gargalos estratégicos de mitigação de emissão.

Na RGInt de Belo Horizonte (tabela 2), o setor de Pecuária possui o maior coeficiente direto entre todas as demais atividades na região, em que um aumento de uma unidade monetária na demanda final do setor (no presente estudo a unidade está em 1 bilhão de reais) emite 5560,64 toneladas de CO<sub>2</sub>eq decorrente da própria atividade setorial. Os setores de Fabricação de Minerais Não-Metálicos, Água Esgoto e Resíduo e Transporte aparecem logo em seguida, com um aumento de 3.328,4, 1.209,37 e 907,87 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a cada aumento de 1 bilhão na produção nos respectivos setores. Em relação aos efeitos indiretos, o setor de Ferro Gusa e Ferro Liga é um dos quais o efeito indireto supera o efeito direto, indicando que um aumento na sua demanda final induz mais à emissão nos demais setores do que no próprio setor. A atividade de Minerais Não-Metálicos, além de ter um dos maiores efeitos diretos, é a que possui maior quantidade emitida indiretamente por um aumento da sua demanda final, em que o aumento de 1 bilhão na demanda final, implica em um aumento de emissão por outros setores em 439,53 toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

Tabela 2: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Belo Horizonte

	<u>Setor</u>	<u>Efeito Total</u>	<u>Efeito Direto</u>	<u>Efeito Indireto</u>
	Pecuária	5690,23	5560,64	129,59
	FabMinNMetal	3667,92	3228,40	439,53
	AguaEsgotoResiduo	1304,98	1209,37	95,61
	Transporte	1010,65	907,87	102,78
	RefPetr	422,80	300,09	122,71
	Energia	323,82	242,14	81,68
	FabQuimicos	314,83	259,14	55,68
	FabProdLimpezaCosm	310,05	259,14	50,91
	FabDef_Desinf	307,42	259,14	48,28
	MetMetaisNFerrosos	300,45	193,79	106,66

FabFerroGusa\_Ferroliga 227,23 106,87 120,36  
 Agricultura 226,91 153,75 73,16  
IndExtrativas 203,39 132,79 70,61

Fonte: Elaboração das autoras.

No mesmo sentido, a RGInt de Montes Claros (tabela 3), possui o setor de Pecuária como um dos maiores efeitos totais e diretos da região, em que um aumento de 1 bilhão na demanda final do setor provoca um efeito sobre as emissões de 8.020,32 toneladas de CO<sub>2</sub>eq nele próprio. Destaca-se o setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos com um impacto direto de 3.014,08 toneladas de CO<sub>2</sub>eq. Cabe ainda ressaltar o setor de Fabricação de Alimentos, em que o efeito total de 1.412,95 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, tem grande parte da sua emissão provocada pelo efeito indireto, com um coeficiente de 1.220,34.

Tabela 3: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Montes Claros

<u>Setor</u>	<u>Efeito Total</u>	<u>Efeito Direto</u>	<u>Efeito Indireto</u>
Pecuária	8344,44	8020,32	324,12
MetMetaisNFerrosos	3140,36	3014,09	126,27
AguaEsgotoResiduo	2403,48	2366,82	36,67
Transporte	2380,03	2269,76	110,27
FabAlim	1412,95	192,61	1220,34
FabCelulosePapel	533,41	418,75	114,66
FabMinNMetal	491,50	396,43	95,07
Agricultura	416,36	349,33	67,03
ProduçãoFlorPesAqui	347,44	237,39	110,04
FabBicomb	310,34	0,00	310,34
FabBebidas	293,65	192,61	101,04
IndExtrativas	290,78	206,93	83,85
<u>FabFerroGusa_Ferroliga</u>	<u>257,96</u>	<u>115,16</u>	<u>142,80</u>

Fonte: Elaboração das autoras.

Na região de Teófilo Otoni (tabela 4) e de Governador Valadares (tabela 5) os setores de Pecuária, Água, Esgoto e Resíduos, Transporte e Fabricação de Alimentos estão entre os setores com maiores coeficientes totais. Destaca-se a Pecuária, em que um aumento de 1 bilhão na demanda final do próprio setor implica em um aumento na emissão de CO<sub>2</sub>eq em 9.121,31 toneladas em Teófilo Otoni e de 7.185,10 toneladas em Governador Valadares. Tal como na região de Montes Claros, a atividade de Fabricação de Alimentos também amplia as emissões por efeitos indiretos em ambas as regiões.

Tabela 4: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Teofili

<u>Otoni</u>	<u>Setor</u>	<u>Efeito Total</u>	<u>Efeito Direto</u>	<u>Efeito Indireto</u>
Pecuária	9512,16	9121,32	390,83	
AguaEsgotoResiduo	2732,94	2698,78	34,16	
Transporte	2624,86	2519,25	105,62	
FabAlim	1733,92	335,67	1398,25	
FabProdLimpezaCosm	543,31	469,40	73,91	
FabDef_Desinf	536,57	469,40	67,17	
FabQuimicos	531,09	469,40	61,69	
FabBebidas	436,81	335,67	101,14	
Agricultura	398,43	320,67	77,76	
ProduçãoFlorPesAqui	349,30	227,06	122,24	
FabBicomb	257,93	0,00	257,93	
MetMetaisNFerrosos	189,93	57,46	132,47	
<u>FabFerroGusa_Ferroliga</u>	<u>133,69</u>	<u>0,00</u>	<u>133,69</u>	

Fonte: Elaboração das autoras.

Tabela 5: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Governador

<u>Valadares</u>	<u>Setor</u>	<u>Efeito Total</u>	<u>Efeito Direto</u>	<u>Efeito Indireto</u>
Pecuária	7525,56	7185,10	340,46	
AguaEsgotoResiduo	7126,34	7088,79	37,55	
Transporte	1792,88	1702,53	90,35	
FabAlim	1395,44	249,70	1145,74	
FabCelulosePapel	379,48	267,90	111,58	

FabBebidas 342,56 249,70 92,85  
 Agricultura 331,71 276,74 54,97  
 ProduçãoFlorPesAqui 316,77 215,38 101,39  
 FabBicomb 222,20 0,00 222,20  
 MetMetaisNFerrosos 203,43 57,46 145,97  
 FabProdLimpezaCosm 137,58 60,25 77,34  
 FabFerroGusa\_Ferroliga 131,66 0,00 131,66  
 FabDef\_Desinf 123,55 60,25 63,31

Fonte: Elaboração das autoras.

A RGInt de Ipatinga (tabela 6), o setor de Pecuária é o que mais induz emissões, em que um aumento de 1 bilhão na demanda final do setor impacta em um aumento de 7.563,53 toneladas de CO<sub>2</sub>eq no próprio setor. Os setores de Água, Esgoto e Resíduo e Transporte aparecem em seguida, com um aumento de 2.413,43, 952,84 e 248,99 toneladas de CO<sub>2</sub>eq a cada 1 bilhão de aumento na produção nos respectivos setores. Cabe destacar que os efeitos indiretos nestes três setores são pequenos. O setor de Fabricação de Alimentos é o que tem o maior efeito indireto (467,64 CO<sub>2</sub> eq).

Tabela 6: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Ipatinga  
Setor Efeito Total Efeito Direto Efeito Indireto

Pecuária 7691,05 7563,53 127,52  
 AguaEsgotoResiduo 2443,60 2413,43 30,17  
 Transporte 1022,02 952,84 69,18  
 FabAlim 716,62 248,99 467,64  
 FabCelulosePapel 322,95 245,87 77,08  
 Agricultura 311,35 274,25 37,10  
 FabBebidas 300,15 248,99 51,17  
 ProduçãoFlorPesAqui 285,59 237,28 48,31  
 FabFerroGusa\_Ferroliga 221,83 103,29 118,54  
 MetMetaisNFerrosos 196,45 80,15 116,30  
 FabMinNMetal 170,71 110,41 60,30  
 FabBicomb 109,70 0,18 109,70

Fonte: Elaboração das autoras.

A RGInt de Juiz de Fora (tabela 7) segue o padrão da grande maioria das regiões, com Pecuária, Água, Esgoto e Resíduos, Transporte e Fabricação de Alimentos entre os setores com maiores coeficientes, mas destaca-se o setor de Energia como o quinto maior indutor de emissão, em que um aumento na demanda final de 1 bilhão, induz uma quantidade emitida de 211,07 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente no próprio setor.

Tabela 7: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Juiz de Fora  
Setor Efeito Total Efeito Direto Efeito Indireto

Pecuária 6650,66 6357,06 293,60  
 AguaEsgotoResiduo 4825,16 4786,50 38,66  
 Transporte 1532,92 1447,42 85,50  
 FabAlim 1160,19 168,93 991,26  
 Energia 255,57 211,07 44,50  
 FabBebidas 251,29 168,93 82,36  
 FabFerroGusa\_Ferroliga 228,90 100,28 128,62  
 MetMetaisNFerrosos 201,05 60,11 140,94  
 FabBicomb 190,96 0,00 190,96  
 Agricultura 189,51 130,24 59,27  
 ProduçãoFlorPesAqui 184,47 99,93 84,53  
 FabTexteis 153,16 99,68 53,48

Fonte: Elaboração das autoras.

Na RGInt de Barbacena (tabela 8) destaca-se o setor de Fabricação de Minerais Não Metálicos, em que um aumento de 1 bilhão na demanda do próprio setor provoca um efeito direto nas emissões de 8.937 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, e um aumento na emissão nos demais setores em 1.084 toneladas de CO<sub>2</sub>eq. A indústria química também tem um peso expressivo na região, nos setores de Produtos de Limpeza, Cosmético e Afins, Produtos Químicos e Produto Detergente, Desinfetante e Afins, em cada um com o coeficiente direto de aproximadamente 480 toneladas de CO<sub>2</sub>eq. Os setores de Fabricação de Alimentos e Construção destacam-se pelo alto efeito indireto.

Tabela 8: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Barbacena

<u>Setor</u>	<u>Efeito Total</u>	<u>Efeito Direto</u>	<u>Efeito Indireto</u>
FabMinNMetal	10020,99	8937,00	1084,00
Pecuária	5319,10	4893,96	425,14
AguaEsgotoResíduo	2530,09	2308,82	221,27
Transporte	1170,71	1091,48	79,23
FabAlim	1104,04	271,94	832,10
FabProdLimpezaCosm	594,17	487,34	106,83
FabQuimicos	585,48	487,34	98,14
FabDef_Desinf	568,39	487,34	81,05
FabBebidas	456,35	271,94	184,41
Construcao	446,52	0,00	446,52
FabAutomoveis	391,62	279,31	112,31
FabBorracha	358,11	279,31	78,80
<u>OutrasIndTransf</u>	353,71	279,31	74,40

Fonte: Elaboração das autoras.

Em Varginha (tabela 9) - além dos já habituais setores - destacam-se os de Fabricação de Minerais Não Metálicos e Metalurgia de Metais Não Ferrosos, que possuem um coeficiente direto de 3.069,56 toneladas de CO<sub>2</sub>eq e 587,89 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, respectivamente. Na RGInt de Pouso Alegre (tabela 10), os setores com coeficientes mais altos são Pecuária, Água, Esgoto e Resíduos, Transportes e Fabricação de Alimentos.

Tabela 9: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de

<u>Varginha</u>	<u>Setor</u>	<u>Efeito Total</u>	<u>Efeito Direto</u>	<u>Efeito Indireto</u>
	Pecuária	5943,91	5579,67	364,24
	FabMinNMetal	3481,98	3069,56	412,42
	AguaEsgotoResíduo	2401,15	2304,78	96,36
	Transporte	1258,62	1174,34	84,28
	FabAlim	1182,27	231,03	951,23
	MetMetaisNFerrosos	706,33	587,89	118,44
	FabBebidas	357,27	231,03	126,23
	Agricultura	293,64	193,40	100,24
	FabBicomb	243,07	0,00	243,07
	FabProdLimpezaCosm	236,60	144,48	92,13
	ProduçãoFlorPesAqui	223,35	140,84	82,51
	FabFerroGusa_Ferroliga	218,03	101,92	116,11
	<u>FabQuimicos</u>	211,11	144,48	66,64

Fonte: Elaboração das autoras.

Tabela 10: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Pouso Alegre

<u>Setor</u>	<u>Efeito Total</u>	<u>Efeito Direto</u>	<u>Efeito Indireto</u>
Pecuária	5234,05	4979,22	254,82
AguaEsgotoResíduo	2727,29	2701,39	25,90
FabAlim	918,90	103,70	815,20
Transporte	840,20	781,39	58,80
FabFerroGusa_Ferroliga	248,35	163,27	85,08



Agricultura	190,45	143,03	47,42
FabBebidas	180,14	103,70	76,43
FabBicomb	174,54	0,00	174,54
MetMetaisNFerrosos	164,74	68,98	95,77
ProduçãoFlorPesAqui	159,84	94,81	65,03
FabProdLimpezaCosm	126,79	67,46	59,33
IndExtrativas	112,34	66,49	45,86
<u>FabDef_Desinf</u>	112,18	67,46	44,72

Fonte: Elaboração das autoras.

Os coeficientes das regiões de Uberaba e Uberlândia, tabela 11 e 12, respectivamente, além dos setores recorrentes nas demais regiões, destaca-se o setor de Agricultura, que tem um coeficiente direto de 1.217,71 toneladas de CO<sub>2</sub>eq para Uberlândia e 664,5 toneladas de CO<sub>2</sub>eq em Uberlândia. As atividades de Produção Florestal, Pesca e Aquicultura, possuem coeficiente direto em cada uma das regiões de 823,25 e 432,47 CO<sub>2</sub>eq. Ademais, cabe ainda destacar que para ambas RGInt, no setor de Fabricação de Biocombustíveis todo o efeito sobre as emissões decorre indiretamente. Mais especificamente o um aumento de 1 bilhão na demanda do setor de Biocombustível provoca um aumento nas emissões indiretamente de CO<sub>2</sub>eq de 680 toneladas em Uberaba e 436,36 em Uberlândia.

Tabela 11: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Uberaba

Fonte: Elaboração das autoras.

<b>Sector</b>	<b>Efeito Total</b>	<b>Efeito Direto</b>	<b>Efeito Indireto</b>
Pecuária	6685,87	6314,62	371,26
AguaEsgotoResíduo	3000,67	2975,59	25,08
Agricultura	1319,28	1217,71	101,57
FabMinNMetal	1229,99	1160,15	69,84
FabAlim	1186,28	46,44	1139,83
Transporte	1095,35	1019,22	76,13
ProduçãoFlorPesAqui	954,14	823,25	130,89
MetMetaisNFerrosos	743,62	661,54	82,08
FabBicomb	680,00	0,00	680,00
FabProdLimpezaCosm	255,51	181,57	73,95
FabDef_Desinf	236,70	181,57	55,13
FabQuimicos	231,62	181,57	50,06
<u>FabFerroGusa_Ferroliga</u>	221,02	115,62	105,40

Tabela 12: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Uberlândia

<b>Sector</b>	<b>Efeito Total</b>	<b>Efeito Direto</b>	<b>Efeito Indireto</b>
AguaEsgotoResíduo	11001,00	10976,23	24,77
Pecuária	6623,61	6283,96	339,64
Transporte	1265,04	1176,02	89,02
FabAlim	1135,65	55,74	1079,91
Agricultura	731,39	664,50	66,89

ProduçãoFlorPesAqui	541,27	432,47	108,80
FabBicomb	436,36	0,00	436,36
FabFerroGusa_Ferroliga	194,99	98,87	96,12
MetMetaisNFerrosos	186,12	97,23	88,90
FabBebidas	176,23	55,74	120,49
FabProdLimpezaCosm	136,98	62,84	74,14
FabDef_Desinf	119,13	62,84	56,29
<u>FabMinNMetal</u>	116,74	59,18	57,56

Fonte: Elaboração das autoras.

Pato de Minas tem os setores da Agropecuária como dinâmicos em termos de emissão, além de Transporte, Fabricação e Alimento e Água e Esgoto. A RGInt de Divinópolis, além dos setores já recorrentes, destaca-se a Indústria Extrativa com alto efeito total, em que um aumento de 1 bilhão na demanda deste setor provoca um efeito sobre emissão de CO2eq de 914,39 toneladas do próprio setor.

Tabela 13: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Pato de Minas  
Sector Efeito Total Efeito Direto Efeito Indireto

Pecuária	6207,35	5878,06	329,29
AguaEsgotoResíduo	2205,46	2174,92	30,54
Transporte	1700,65	1589,79	110,85
FabAlim	1193,34	176,90	1016,44
Agricultura	427,96	353,44	74,52
ProduçãoFlorPesAqui	334,10	237,38	96,72
FabBicomb	322,87	0,00	322,87
FabBebidas	284,13	176,90	107,23
FabFerroGusa_Ferroliga	235,96	98,87	137,09
MetMetaisNFerrosos	181,21	57,46	123,75
FabProdLimpezaCosm	148,18	62,21	85,98
IndExtrativas	138,28	52,98	85,30
<u>FabDef_Desinf</u>	132,12	62,21	69,91

Fonte: Elaboração das autoras.

Tabela 14: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Divinópolis  
Sector Efeito Total Efeito Direto Efeito Indireto

Pecuária	4382,67	4094,14	288,52
FabMinNMetal	2079,76	1776,65	303,11
AguaEsgotoResíduo	2076,24	2004,21	72,04
Transporte	1657,33	1553,54	103,79
IndExtrativas	1005,54	914,39	91,15
FabAlim	876,59	125,59	751,00
Agricultura	437,42	350,58	86,84
FabCalçados	423,07	325,05	98,02

FabAutomoveis 416,02 325,05 90,97

FabPecasVeiculos 403,43 325,05 78,37

FabMetal 402,27 325,05 77,22

OutrasIndTransf 390,61 325,05 65,56

FabBorracha 389,81 325,05 64,76

Fonte: Elaboração das autoras.

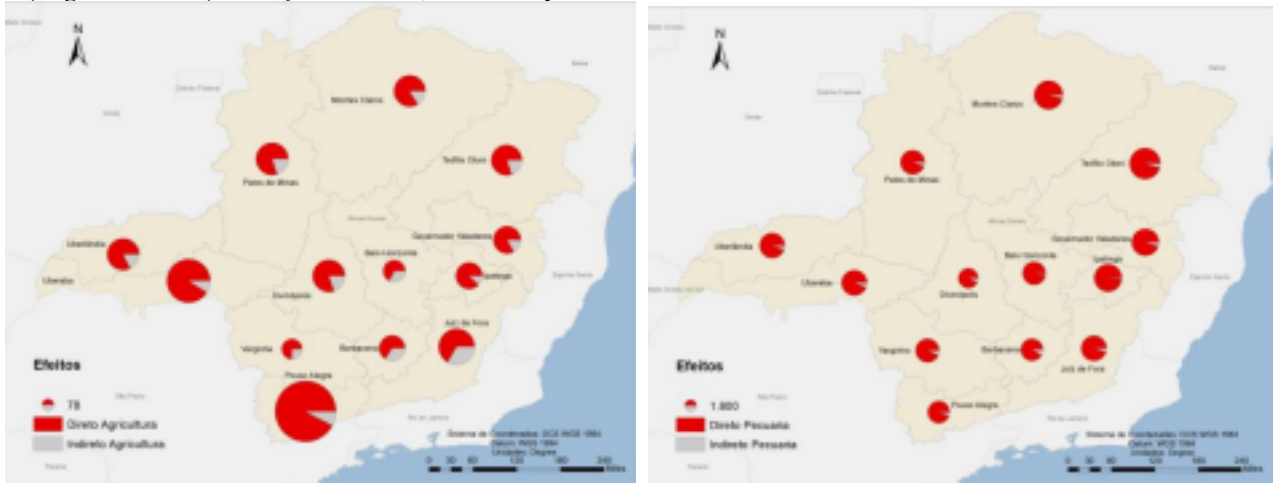
Sumarizando visualmente os resultados dispostos nas tabelas acima, a Figura 2 permite comparar a magnitude dos efeitos direto e indireto de cada um dos 5 setores com maiores coeficientes totais. As atividades de Produção Florestal e Pecuária têm os maiores percentuais de efeitos diretos e pequenos efeitos indiretos, indicando que seus processos produtivos são intensivos em emissão de GEE.

As emissões no setor de Pecuária decorrem, majoritariamente, da fermentação entérica do gado. Tal processo gera gás metano, cujo potencial de aquecimento global é 21 vezes maior do que o gás carbônico. A redução de emissões nesse setor representa um enorme desafio, pois a própria atividade em si é intensiva em emissões e o processo emissor é intrínseco à atividade o que dificulta o potencial redutor de emissões que novas tecnologias poderiam propiciar para a produção de gado de corte. Além desse entrave, a Pecuária se constitui fundamental na dinâmica econômica das regiões mineiras.

Por outro lado, o setor de Fabricação de Alimentos tem baixo efeito direto e alto efeito indireto, indicando que a atividade *per se* não é intensiva em emissões, mas que estimula emissões ao longo da sua cadeia produtiva. Para atividades com efeitos diretos preponderantes, a redução de emissões deve estar focada nos processos produtivos da própria atividade. Já para atividades com efeitos indiretos maiores, é necessário analisar o processo de fabricação dos insumos que utilizam considerando toda a cadeia produtiva.

Figura 2 - Coeficientes Diretos e Indiretos de emissão setorial para as Regiões Intermediárias para os cinco principais setores poluentes.

2a) Agricultura 2b) Produção Florestal, Pesca e Aquicultura



2c) Pecuária 2d) Alimentos



2e) Minerais Não Metálicos



Fonte: Elaboração das autoras.

## 5- CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo analisar a distribuição das emissões de GEE por atividade econômica para as Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais, utilizando a metodologia de Insumo Produto com especificação ambiental que incorpora a emissão de CO2 equivalente. A partir disso obteve-se um panorama da heterogeneidade da dinâmica econômica e ambiental nas atividades.

A análise das emissões indicou que a Agropecuária, Transportes, Fabricação de Minerais não Metálicos e de Água, Esgoto e Resíduos em conjunto induziram cerca de 92% das emissões do estado para o ano de 2016. A região mais emissora é a RGInt de Belo Horizonte, também responsável pelo maior VAB dentre as regiões. O segundo maior VAB pertence à RGInt de Juiz de Fora, que no ranking de emissões aparece em sétimo lugar. As regiões de Ipatinga e Governador Valadares são as que menos emitem em termos totais e também com menores VABs. Nota-se que, de forma geral, o volume de emissão acompanha o valor adicionado pelas regiões.

Dentre as principais atividades emissoras, a Agropecuária tem uma menor concentração no território, mas ainda assim, Uberaba, Pato de Minas e Uberlândia são as que mais emitem GEE. No setor de Fabricação de Minerais está concentrada, principalmente, na região de Belo Horizonte, sendo seguida por Barbacena, Varginha e Divinópolis. O volume de emissão por meio do setor Água, Esgoto e Resíduos segue a distribuição populacional no território.

A partir dos coeficientes fornecidos pela matriz de impactos ambientais foi possível averiguar o montante de emissão de CO2 decorrente do aumento de uma unidade monetária em determinado setor para atender a demanda final. Sumariamente, o coeficiente total indica que Agricultura; Pecuária; Produção Florestal; Transporte; Água, Esgoto e Resíduos; Alimentos e Minerais Não-Metálicos são os setores que mais ampliam a emissão dado um aumento na sua demanda final. As regiões de Uberlândia, Barbacena e Governador Valadares destacam-se pelos maiores coeficientes totais de

emissão dentre as regiões.

Setorialmente, Pecuária é um importante setor para o Estado e apresentou-se como uma das atividades com maiores coeficientes totais na maioria das regiões intermediárias. Seus efeitos maiores decorrem da própria atividade, majoritariamente, da fermentação entérica do gado. Como frizado anteriormente, a redução de emissões nesse setor representa um enorme desafio, pois os processos emissores são intrínsecos à atividade, dificultando a mitigação. Além desse entrave, a Pecuária se constitui fundamental na dinâmica econômica das regiões mineiras.

O saneamento básico (Água, Esgoto e Resíduo), para além de melhoria da qualidade de vida da população, redução dos gastos com saúde nos municípios, mostra-se como uma das atividades que necessitam de melhorias de processo a fim de reduzir o nível de emissões de GEE, visto seu alto efeito total. O coeficiente alto para Transporte indica que, mesmo em regiões com menor densidade urbana e menor população, sua cadeia produtiva têm efeito importante sobre as emissões. Tal fato ressalta a dinâmica regional de mobilidade, indicando que não é apenas um problema dos grandes centros, mas também para as cidades menores, devendo ser enfrentado de forma conjunta pelos governos regionais.

Outro setor significativo em termos de coeficientes de emissão é a Fabricação de Alimentos. Neste setor, as emissões diretas decorrem do uso de energia para o processo produtivo, tendo como principal fonte energética o gás liquefeito de petróleo (GLP). A Fabricação de Bebidas também utiliza intensamente o GLP, embora tenha coeficientes de emissão menores do que a produção de alimentos. No entanto, os efeitos diretos são baixos quando comparados aos efeitos indiretos, indicando que a atividade *per se* não é intensiva em emissões, mas que estimula emissões ao longo da sua cadeia produtiva.

Para atividades com efeitos diretos preponderantes, a redução de emissões deve estar focada nos processos produtivos da própria atividade. Já para atividades com efeitos indiretos maiores, é necessário analisar o processo de fabricação dos insumos que utilizam considerando toda a cadeia produtiva.

Importante destacar a necessidade de projetos integrados em termos regionais e setoriais para a redução das emissões de GEE em áreas estratégicas para a dinâmica econômica e social de Minas Gerais, como a geração de energia, o saneamento e os transportes, atividades estas que são responsáveis por parte considerável das emissões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVELINO, Andre; GUILHOTO, Joaquim. **Ecological payback in Brazil energy matrix: analysis of a wind energy expansion**. University Library of Munich, Germany, 2009.

CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. Avaliação da intensidade de emissões de CO<sub>2</sub> setoriais e na estrutura de exportações: Um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil. Aracaju: Enaber, 2009.

CHEN, G. Q<sup>†</sup>; ZHANG, Bo. Greenhouse gas emissions in China 2007: inventory and input–output analysis. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 6180-6193, 2010.

DE VASCONCELOS, Vitória Ferreira. **Intensidade de Emissões de CO<sub>2</sub> na Economia Mineira e Opções de Mitigação: Uma Análise Regional de Insumo-Produto**. Monografia (Graduação em Economia). Faculdade de Ciências Econômicas, UFMG. Belo Horizonte, p. 61, 2018.

DOS SANTOS BRITO, Marcos Rogério et al. Análise espaço-temporal da variação da temperatura do Estado de Minas Gerais.

FEAM. **Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira**: relatório resumo. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011. 46p.

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM-MG). **Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: resumo executivo**. Belo Horizonte: FEAM, 2015. 49 p..

Fundação João Pinheiro (FJP). **Matriz de Insumo Produto das Regiões Intermediárias de Minas Gerais: para o ano de 2016**. Disponível em <<http://fjp.mg.gov.br>> Acesso em 30 de fev. de 2022.

Global Carbon Atlas. Disponível em: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/outreach>. Acesso em 02 de maio de 2022.

GUEVARA, Zeus et al. Energy and CO2 emission relationships in the NAFTA trading bloc: a multi regional multi-factor energy input–output approach. **Economic Systems Research**, v. 31, n. 2, p. 178-205, 2019.

HARUN, Mukaramah et al. Sectoral energy-CO2 emissions using an environmental input-output framework. **International Journal of Business and Society**, v. 22, n. 2, p. 1066-1075, 2021.

HETHERINGTON, R. An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK. **Energy Conversion Management**, v.37, n.6-8, p.979-984, 1996.

HILGEMBERG, E.M. **Quantificação e Efeitos Econômicos do Controle de Emissões de CO2 Decorrentes do Uso de Gás Natural, Álcool e Derivados de Petróleo no Brasil: Um Modelo Interregional de Insumo-Produto**. 2005. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

HILGEMBERG, Emerson Martins; GUILHOTO, Joaquim JM. Uso de combustíveis e emissões de CO2 no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia**, v. 16, n. 1, p. 49-99, 2006.

FEAM - Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais / Fundação Estadual do Meio Ambiente; Centro Clima. --- Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2008.

KLABIN, Israel. O mecanismo de desenvolvimento limpo e as oportunidades brasileiras. **Parcerias Estratégicas**, v. 5, n. 9, p. 35-53, 2010.

LABANDEIRA, Xavier; LABEAGA, José M. Estimation and control of Spanish energy-related CO2 emissions: an input–output approach. **Energy policy**, v. 30, n. 7, p. 597-611, 2002.

MACHADO, G.V. **Meio Ambiente e Comércio Exterior: Impactos da Especialização Comercial Brasileira sobre o Uso de Energia e as Emissões de Carbono do País**. 2002. 192f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. 2ª edição. [S.l.]: Cambridge University Press, 2009. 784 p.

MONTEIRO, D.C et al. Emissões de CO2 e consumo de energia no Paraná: Uma abordagem Insumo Produto. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 19-35, 2012.

MONTOYA, M. A. et al. **Consumo setorial de combustíveis e emissões de dióxido de carbono (CO2) na economia do Rio Grande do Sul: uma abordagem insumo-produto híbrida**. Passo Fundo: Feac/UPF, 2013. (Texto para Discussão, n. 6).

MONTOYA, Marco Antonio; PASQUAL, Cássia Aparecida. O uso setorial de energia renovável versus não renovável e as emissões de CO2 na economia brasileira: um modelo insumo-produto híbrido para 53 setores. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 45, n. 2, p. 289-335, 2015.

MONTOYA, Marco Antonio et al. Consumo de energia, emissões de co2 e a geração de renda e emprego no agronegócio brasileiro: uma análise insumo–produto. **Economia aplicada**, v. 20, n. 4, p. 383-413, 2016.

PEROBELLI, Fernando Salgueiro; MATTOS, R. S.; FARIA, Weslem Rodrigues. A interdependência energética entre o estado de Minas Gerais e o restante do Brasil: uma análise inter regional de insumo-produto. **XI Seminário sobre a Economia Mineira**, 2006.

RODRIGUES, Wesley Osvaldo Pradella; FRAINER, Daniel Massen; EDUARDO, Antonio Sérgio. Modelo híbrido de emissões de CO2 em Mato Grosso do Sul: aplicação na cadeia de frango de corte. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 4, p. 1-11, 2021.

SANTIAGO, Flaviane Souza et al. Análise Setorial Da Intensidade De Emissões De Co2 E Na Estrutura De Exportações: Um Modelo Regional De Insumo-Produto Para Minas Gerais. **XIV Seminário sobre a Economia Mineira**, p. 1-18, 2010.

SEEG - Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. 2022a. Acesso em 08 de abril de 2022.

SEEG. Entenda as estimativas. <https://seeg.eco.br/entenda-as-estimativas>. 2022b. Acesso em 09 de abril de 2022.