

**ENAN
PUR 2023**
Belém 22 a 26 de maio



Análise da estrutura produtiva e emissões de CO₂ para as Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais: evidências para políticas de planejamento urbano regional em contexto de mudanças climáticas

Sessão Temática 04: Convergências entre Urbanização e Natureza

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-chave. Análise Insumo-Produto; Emissão de GEE; Matriz de Impacto Ambiental; Regiões Intermediárias de Minas Gerais.

Analysis of the productive structure and CO₂ emissions for the Intermediate Geographic Regions of Minas Gerais: evidence for regional urban planning policies in the context of climate change

Abstract. This paper analyzed the sectoral and regional distribution of greenhouse gas emissions (GHG) for the Intermediate Geographic Regions of Minas Gerais in order to understand their economic and environmental heterogeneities. To do so, the GHG emission data from the System of Estimates of Emissions and Removals of Greenhouse Gases - SEEG and the Input-Output matrices for the 13 intermediate regions were used, with both data for the year 2016. An Input-Output model with environmental specificity was applied, which allowed obtaining emission coefficients by economic sectors. The main results found point out that the most emitting region is Belo Horizonte, followed by the RGInt that make up the Triângulo Mineiro. The emission coefficients indicate that, in terms of sectors, Agriculture and Husbandry, Transportation, Food Manufacturing, Manufacturing of Non-Metallic Minerals, and Water, Sewage and Waste are the sectors that most intensify emissions given an increase in their respective final demands.

Keywords. Input-output analysis; GHG emissions; Environmental Impact Matrix; Intermediate Regions of Minas Gerais.

Análisis de la estructura productiva y de las emisiones de CO₂ para las Regiones Geográficas Intermedias de Minas Gerais: evidencias para las políticas de planificación urbana regional en un contexto de cambio climático

Resumen. Este trabajo analizó la distribución setorial y regional de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para las Regiones Geográficas Intermedias de Minas Gerais con el fin de comprender sus heterogeneidades económicas y ambientales. Para ello, se utilizaron los datos de emisiones de GEI del Sistema de Estimación de Emissiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero - SEEG y las matrices Input-Output para las 13 regiones intermedias, con ambos datos para el año 2016. Se aplicó un modelo Input-Output con especificidad medioambiental, que permitió obtener coeficientes de emisiones por sectores económicos. Los principales resultados encontrados señalan que la región más emisora es Belo Horizonte, seguida de las RGInt que componen el Triângulo Mineiro. Los coeficientes de emisión indican que, setorialmente, Agricultura y Ganadería, Transporte, Industria Alimentaria,

Fabricación de Minerales no Metálicos y Agua, Saneamiento y Residuos son los sectores que más intensifican las emisiones ante un aumento de sus respectivas demandas finales.

Palabras clave. Análisis Input-Output; Emisión de GEI; Matriz de Impacto Ambiental; Regiones Intermedias de Minas Gerais.

1. Introdução

As mudanças climáticas têm sido uma preocupação global e uma das principais causas 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, também se faz necessário que os entes federativos atuem de forma síncrona a fim de tratar 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 CO₂ entre os estados.

Em um estudo sobre avaliação dos impactos das Mudanças Climáticas Globais no Estado de Minas Gerais elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (FEAM) juntamente com a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), 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 investigar a emissão de CO₂ 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 CO₂e (t) GWP-AR5ⁱ - a partir do método de coeficiente direto e nos fornece uma matriz de impacto ambiental total, permitindo indicar as relações entre

as atividades econômicas em cada região com a emissão de CO₂ e compreender como que alterações na produção setorial podem impactar a emissão direta e indireta de CO₂.

Para esta aplicação será utilizada as Matrizes de Insumo-Produto (MIP) para cada uma das 13 regiões intermediárias de Minas Gerais com 42 setores, disponível para o ano de 2016, em conjunto com os dados de emissão de CO₂ disponibilizados 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 MIP's.

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 apresenta 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 CO₂, e apresenta e discute os coeficientes de emissões para as RGInt's. 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

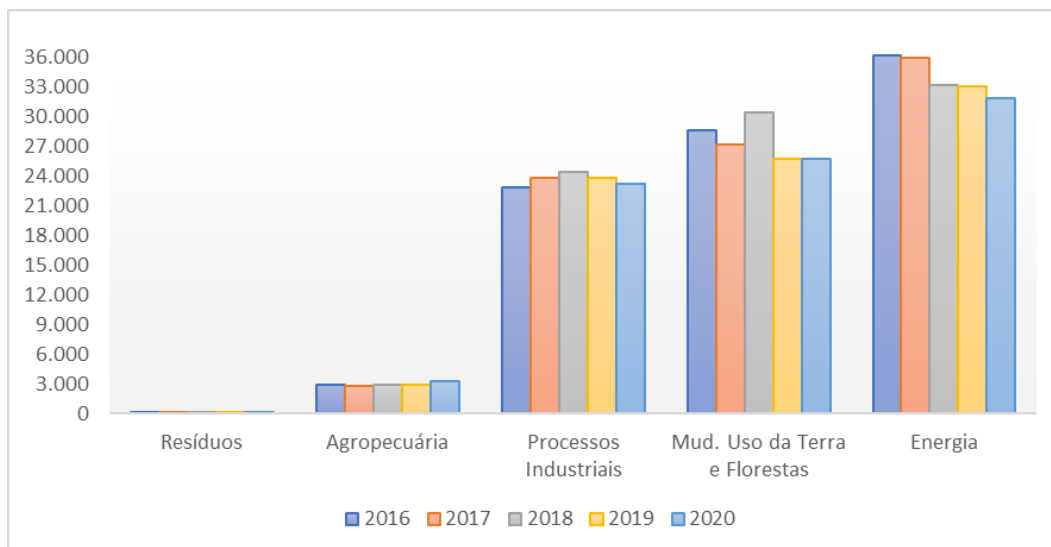
Os Gases de Efeito Estufa são gases encontrados naturalmente na atmosfera terrestre. Entretanto, sua concentração cresceu substancialmente como resultado do crescimento exponencial da utilização de combustíveis fósseis a partir da revolução industrial. A queima de combustíveis como petróleo, gás natural e carvão libera CO₂ na atmosfera, contribui para o efeito estufa e conseqüentemente para o 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 CO₂ desde o início da revolução industrial, e desde 1950 são a fonte dominante de emissão antropogênica 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 CO₂ (*Global Carbon Budget*, 2021). Em 2016, o Brasil emitiu 2,09 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa (CO₂e (t) GWP-AR5). Desse total, 65% correspondem a emissões de CO₂ – 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 CO₂ 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 CO₂ no país caíram levemente, entretanto, voltaram a aumentar em 2019 e 2020. Considerando o período 2018-2020, as emissões cresceram 16%, atingindo 1,4 bilhão de toneladas, e a participação das emissões provenientes de Mudanças no Uso de Terra e Florestas aumentou para 66% das emissões de CO₂ em 2020.

Em Minas Gerais foram emitidos 161,15 milhões de toneladas de GEE no ano de 2016. Deste total, 56,2% foram de CO₂. Em relação às fontes emissoras, a Energia foi responsável por 40% das emissões de CO₂, 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 CO₂ equivalente)



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

Ainda na perspectiva de emissão de CO₂, 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, Jequitinhonha e Mucuri.

1. 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:

$$z + f = x \quad (1)$$

Em que z corresponde a matriz de Consumo Intermediário (ou ainda, as transações interindustriais), f ao vetor coluna de Demanda Final de cada setor e x 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:

$$x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + f_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + f_i \quad (2)$$

Onde z_{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:

$$x = Z + f \quad (3)$$

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:

$$A = Z(\hat{x}) \quad (4)$$

sendo \hat{x} 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 a_{ij} :

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad (5)$$

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

$$z_{ij} = a_{ij} x_j \quad (6)$$

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

$$Ax + f = x \quad (7)$$

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

$$x = (I - A)^{-1}f = Lf \quad (8)$$

em que $(I - A)^{-1} = L = (l_{ij})$ 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 CO₂, 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 CO₂ na análise insumo-produto. Neste trabalho será utilizado o método de coeficientes diretos, que constrói uma matriz vinculando a quantidade de CO₂ emitido - ou outro poluente - ao montante de produto produzido por determinado setor. Essa matriz de coeficiente pode ser apresentada como:

$$D_p = [D^p_{kj}] \quad (9)$$

Em que D_p 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:

$$x^{p*} = D^p x \quad (10)$$

Em que x^{p*} corresponde a um vetor com a quantidade poluidora. Para a inclusão do coeficiente direto de emissão de CO₂ no modelo, será incluído o vetor de emissão como um componente da Demanda Final, e assim $x = (I - A)^{-1} f = Lf$. Dado isso, podemos derivar a emissão direta e indireta pelos setores da economia com objetivo de atender a demanda final:

$$x^{p*} = [D^p L] f \quad (11)$$

Sendo $D^p L$ a matriz de impacto ambiental total, a qual fornece o impacto sobre a emissão oriundo 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 CO₂ 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. Na categoria Resíduos estão incluídos os processos de incineração ou queima a céu aberto de resíduos de origem fóssil e de matéria orgânica, e o tratamento de efluentes.

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 Administração Pública, Comércio e Atividades Imobiliárias, correspondendo a 18%, 12% e 10% 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 considerar as regiões 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: Elaborado pelas autoras 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 apresentam comportamento heterogêneo, e por isso na análise a seguir irá focar nas atividades importantes para cada região, desconsiderando 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, a Agropecuária soma aproximadamente 10% do VAB e a Construção cerca de 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.

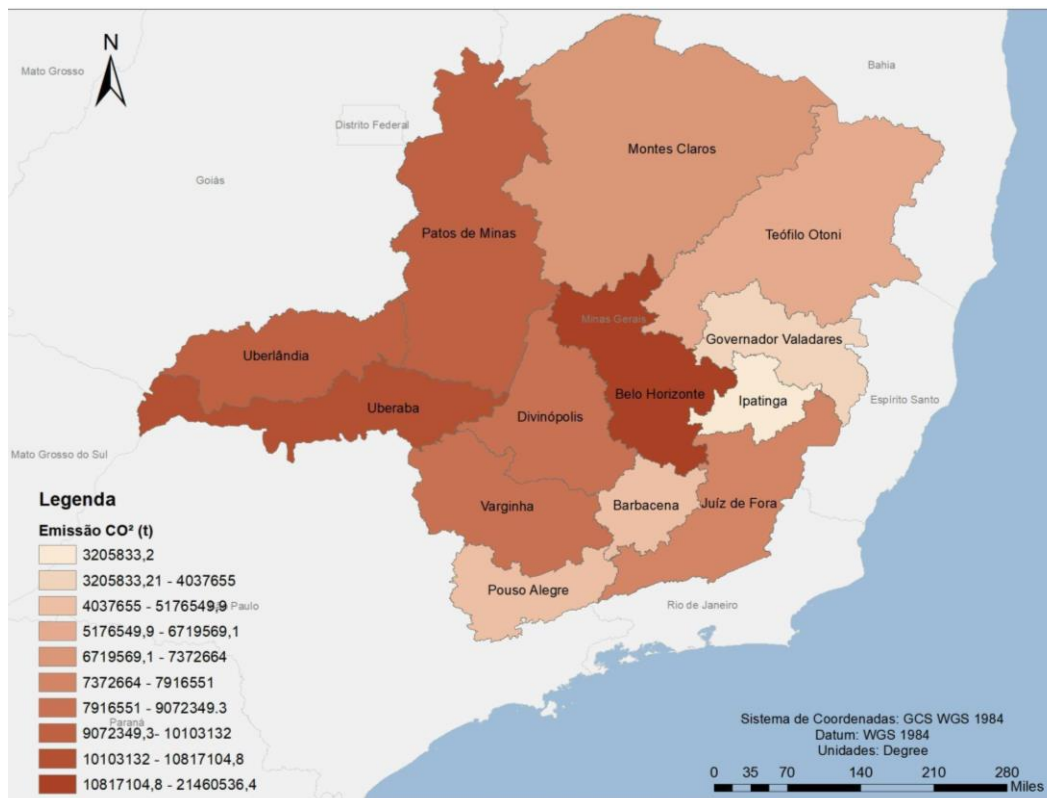
Além disso, o VAB do setor de Agricultura da RGInt de Varginha representa 12,7% do total para essa região. Os Transporte e Agricultura equivalem a 4,7% e 4,5%, respectivamente, do valor da adicionado em Pouso Alegre. As RGInt de Uberaba e Uberlândia possuem uma composição setorial similar, destacando-se 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 em Divinópolis, a Agricultura e Pecuária juntas 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 CO₂eq¹ relacionadas às atividades econômicas. Deste total, a Agropecuária foi responsável pela emissão de 61,6 milhões de toneladas de CO₂eq, os Transportes por 22,48 milhões de toneladas de CO₂, a Fabricação de Minerais não Metálicos por 8,70 milhões de CO₂eq, e as atividades de Água, Esgoto e Resíduos por 7,74 milhões de toneladas de CO₂eq. 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 maior participação, sendo responsável por 20% do total emitido em Minas Gerais (Figura 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.

¹ CO₂ equivalente (CO₂e (t) GWP-AR5) corresponde ao total de GEE emitidos pelas 42 atividades da MIP de RGInt.

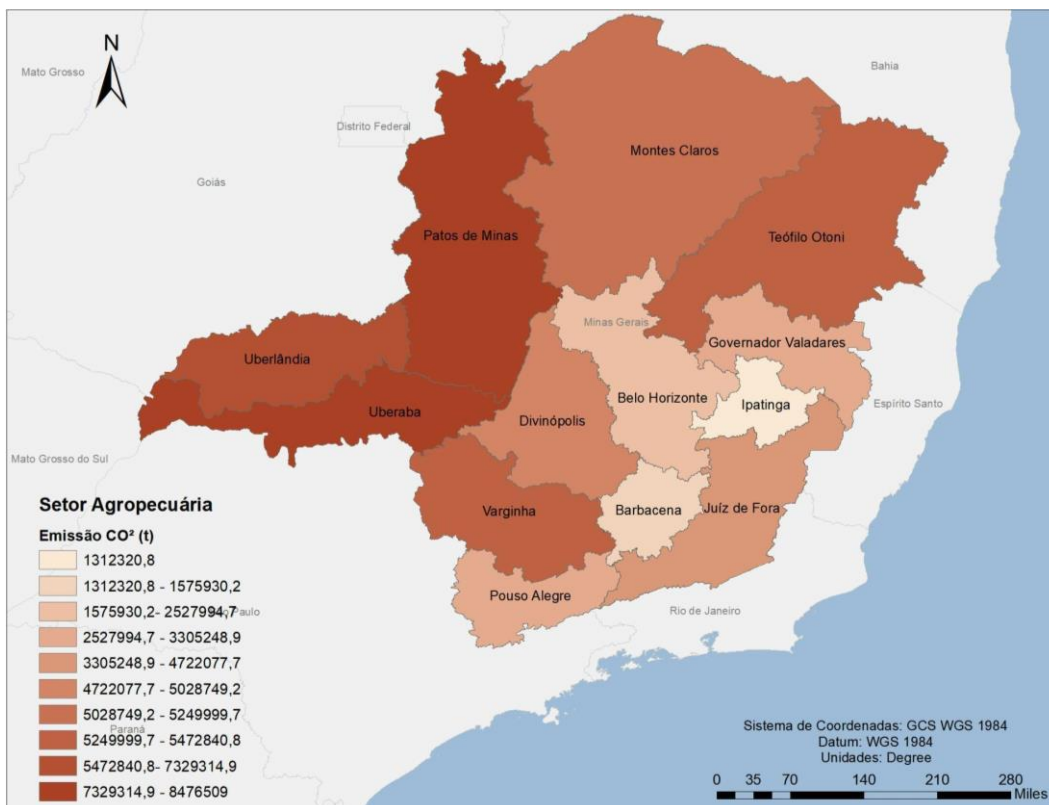
Figura 1- Emissões de CO₂eq Total por RGI de Minas Gerais em 2016.

Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados do SEEG para 2016.

Dentre as atividades destacadas nesta seção, a Agropecuária (Figura 2) 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 RGI'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 (Figura 3) estão concentrada, principalmente, na região de Belo Horizonte (60%), sendo seguida por Barbacena (19%), Varginha (11%) e Divinópolis (8%).

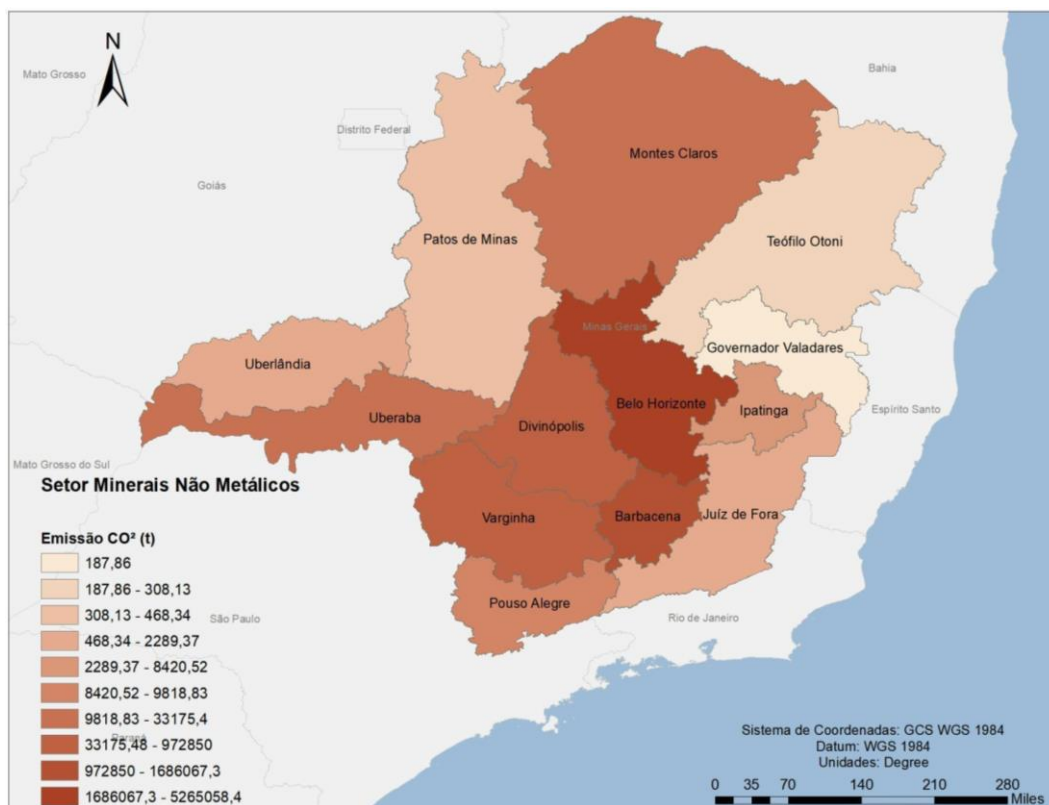
O volume de emissão por meio do setor Água, Esgoto e Resíduos (Figura 4) segue a distribuição populacional no território. A RGI de Belo Horizonte emite o maior volume de CO₂ do setor (27% do total emitido pelo setor) e é a região mais populosa do estado (29,6% da população total). Em segundo lugar, a RGI de Juiz de Fora com 12% das emissões e 11,1% da população. As emissões totais oriundas do setor de Transportes (Figura 5) 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 no setor de Transportes.

Figura 2 - Emissões de CO₂eq da Agropecuária por RGI de Minas Gerais em 2016.



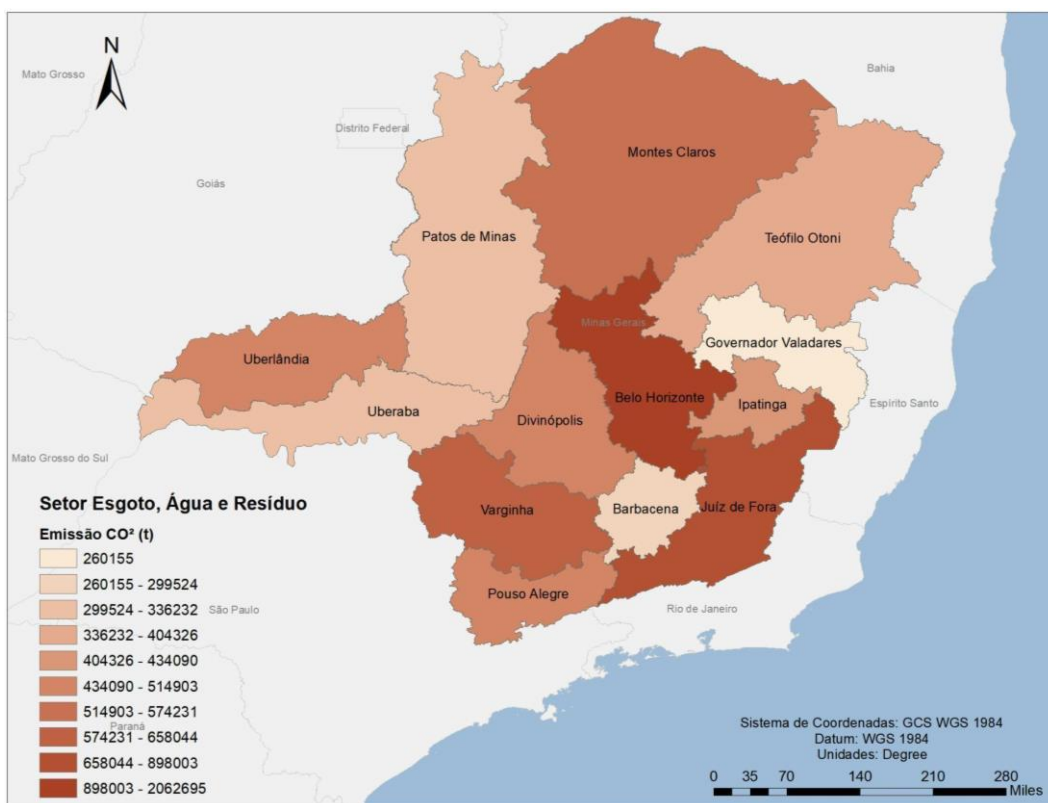
Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados do SEEG para 2016.

Figura 3 - Emissões de CO₂eq Mineraiis Não Metálicos por RGI de Minas Gerais em 2016.



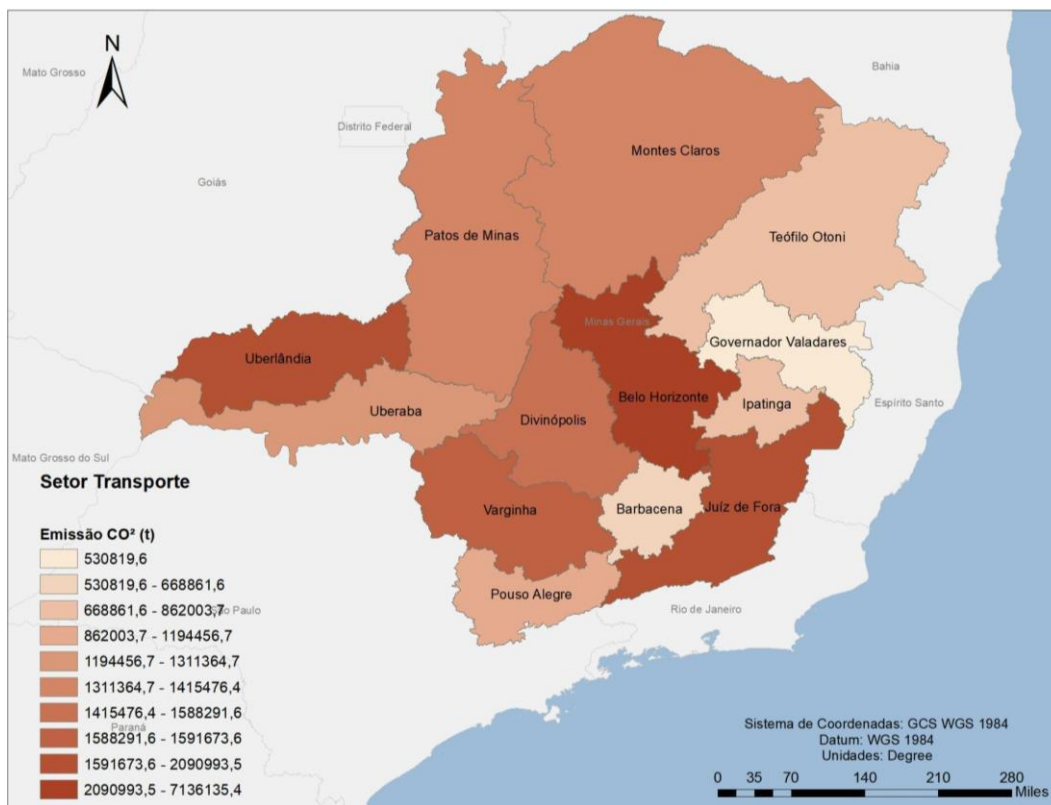
Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados do SEEG para 2016.

Figura 4 - Emissões de CO₂eq do setor Água, Esgoto e Resíduos por RGI de Minas Gerais em 2016.



Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados do SEEG para 2016.

Figura 5 - Emissões de CO₂eq do setor Transporte por RGI de Minas Gerais em 2016.



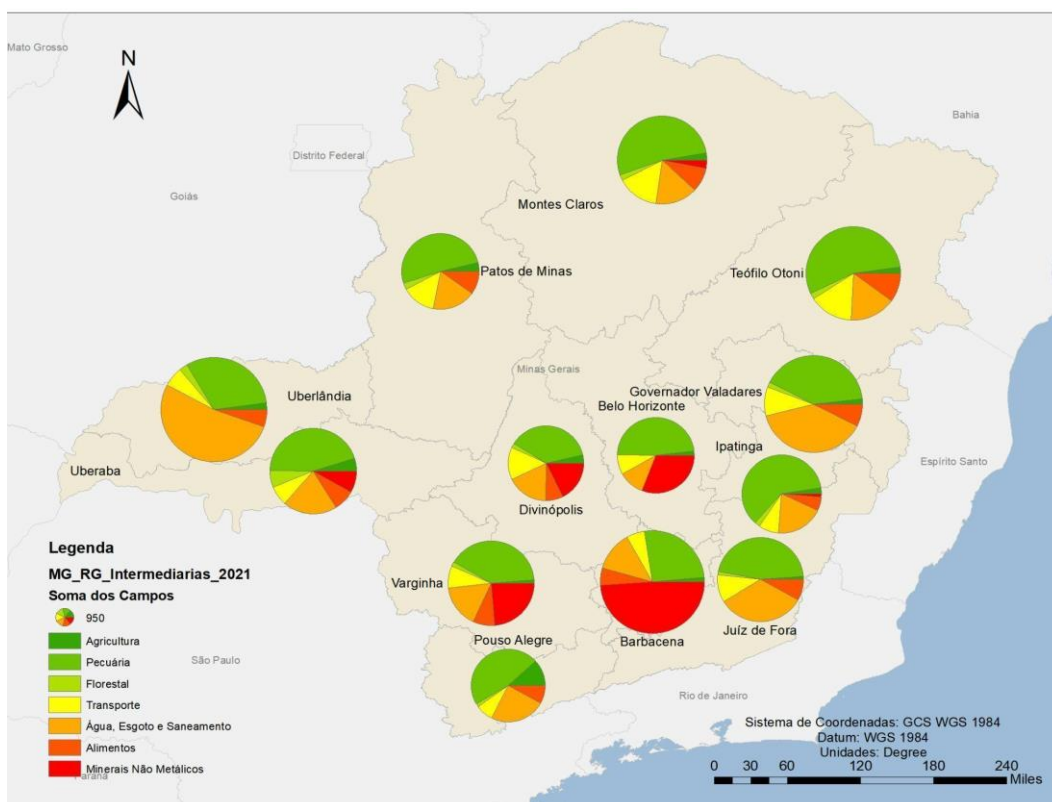
Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados do SEEG para 2016.

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 CO₂ 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 mais intensivos em emissões diretas e as relações intersetoriais que afetam as emissões, ambas as dimensões são basilares para a formulação de políticas e necessitam ser analisadas de forma integrada.

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 na Figura 6. Apesar dos coeficientes de emissão dessas atividades econômicas variarem de magnitude entre as regiões, nota-se que são coeficientes expressivos em todas as regiões, confirmando as características de indução de emissões que essas atividades apresentam. Uberlândia, Barbacena e Governador Valadares destacam-se pelos maiores coeficientes totais de emissão dentre as regiões.

Figura 6 - Coeficientes Total de emissão setorial para as RGI - sete principais setores poluentes.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Importante setor para o Estado de MG e presente em todas as RGI, 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, as atividades de transporte têm efeito importante sobre as emissões. Tal fato ressalta a dinâmica regional de mobilidade humana e de cargas, indicando que não é apenas um problema dos grandes centros, mas também para as cidades menores, devendo ser enfrentado de forma integrada 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 emissões permite identificar o efeito de cada setor sobre as emissões e também o efeito indireto que cada setor tem sobre as emissões em sua cadeia produtiva. A identificação dos efeitos diretos e indiretos por região permite compreender mais detalhadamente os setores-chave em relação às emissões em cada uma das regiões, bem como os desafios e gargalos para o planejamento urbano integrado que vise redução das emissões de CO₂.

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 5.560,64 toneladas de CO₂eq 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 CO₂eq 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 CO₂eq.

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

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
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: Elaborado pelas autoras.

No mesmo sentido, na RGInt de Montes Claros (Tabela 3) o setor de Pecuária é responsável pelos maiores efeitos total e direto da região, em que um aumento de 1 bilhão na demanda final do setor provoca um aumento nas emissões do próprio setor de 8.020,32 toneladas de CO₂eq. Destaca-se em segundo lugar o setor de Metalurgia de Metais Não Ferrosos com um impacto direto de 3.014,08 toneladas de CO₂eq. Cabe ainda ressaltar o setor de Fabricação de Alimentos, em que o efeito total de 1.412,95 toneladas de CO₂eq, 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

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
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
FabFerroGusa_Ferroliga	257,96	115,16	142,80

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 CO₂eq 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 Otoni

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
Pecuária	9512,16	9121,32	390,83
AguaEsgotoResíduo	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
FabFerroGusa_Ferroliga	133,69	0,00	133,69

Fonte: Elaborado pelas autoras.

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

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
Pecuária	7525,56	7185,10	340,46
AguaEsgotoResíduo	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: Elaborado pelas 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 CO₂eq emitidos pelo 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 CO₂eq 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 CO₂eq).

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: Elaborado pelas 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 CO₂ 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: Elaborado pelas 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 CO₂eq, e um aumento na emissão nos demais setores em 1.084 toneladas de CO₂eq. 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 490 toneladas de CO₂eq. 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

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
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
OutrasIndTransf	353,71	279,31	74,40

Fonte: Elaborado pelas 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 CO₂eq e 587,89 toneladas de CO₂eq, 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 Varginha

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
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
FabQuimicos	211,11	144,48	66,64

Fonte: Elaborado pelas autoras.

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

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
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
FabDef_Desinf	112,18	67,46	44,72

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Nas 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 CO₂eq para Uberlândia e 664,5 toneladas de CO₂eq em Uberlândia. As atividades de Produção Florestal, Pesca e Aquicultura, possuem coeficiente direto em cada uma das regiões de 823,25 e 432,47 CO₂eq. 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 indireto nas emissões de CO₂eq de 680 toneladas em Uberaba e 436,36 em Uberlândia.

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

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
Pecuária	6685,87	6314,62	371,26
AguaEsgotoResíduo	3000,67	2975,59	25,08
Agricultura	1319,28	1217,71	101,57
FabMinMetal	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
FabFerroGusa_Ferroliga	221,02	115,62	105,40

Fonte: Elaborado pelas autoras.

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

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
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
FabMinNMetal	116,74	59,18	57,56

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Pato de Minas (Tabela 13) tem nos setores de Agropecuária, Água, Esgoto e Resíduos e Transporte os maiores coeficientes diretos. Na RGInt de Divinópolis (Tabela 14), 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

Setor	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
FabDef_Desinf	132,12	62,21	69,91

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Tabela 14: Coeficientes Total, Diretos e Indiretos para a região intermediária de Divinópolis

Setor	Efeito Total	Efeito Direto	Efeito Indireto
Pecuária	4382,67	4094,14	288,52
FabMinMetal	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

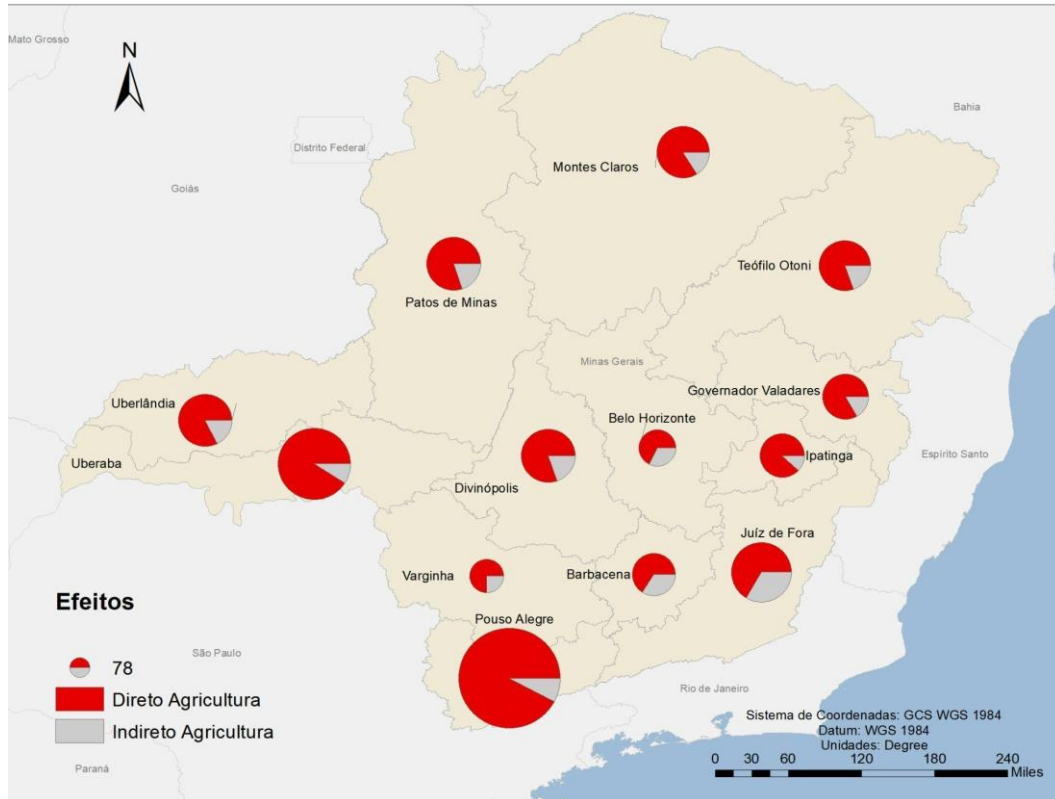
Fonte: Elaborado pelas autoras.

Sumarizando visualmente os resultados dispostos nas tabelas acima, as Figuras 7 a 11 a seguir permitem 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.

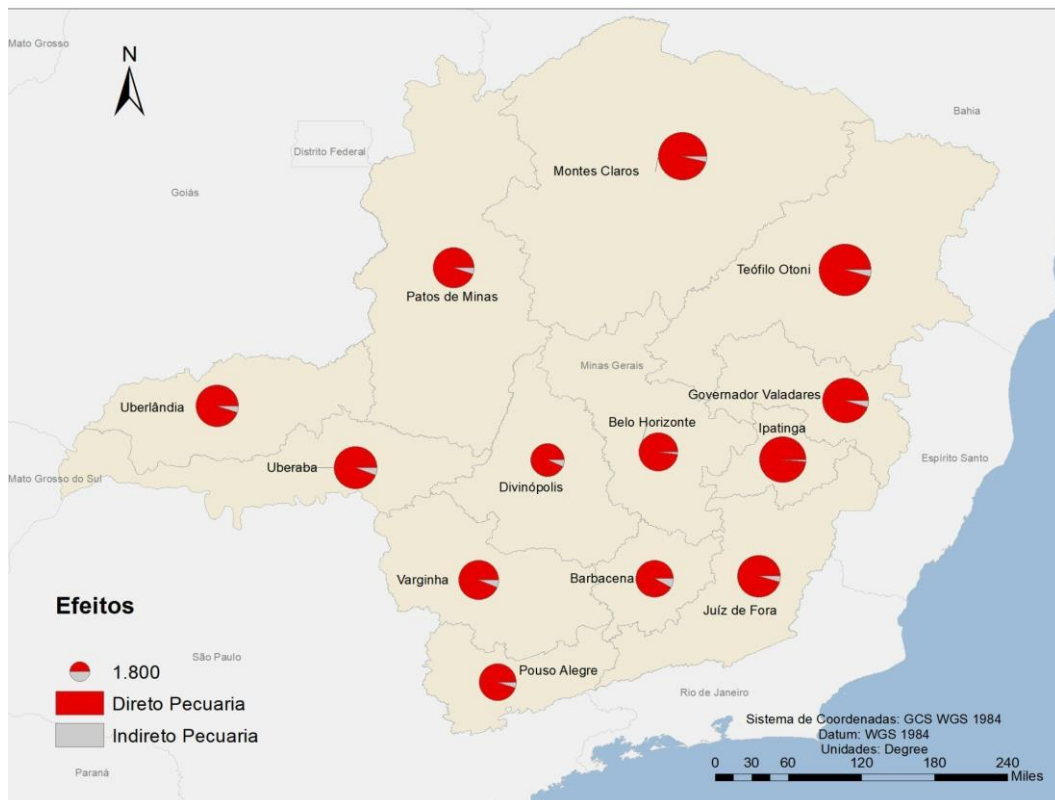
Por outro lado, o setor de Fabricação de Alimentos tem baixo efeito direto e alto efeito indireto, indicando que a atividade *per se* não é intensiva em emissões, mas que estimula emissões ao longo da sua cadeia produtiva. Para atividades com efeitos diretos preponderantes, a redução de emissões deve 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 7 - Coeficientes Diretos e Indiretos de emissão setorial da Agricultura



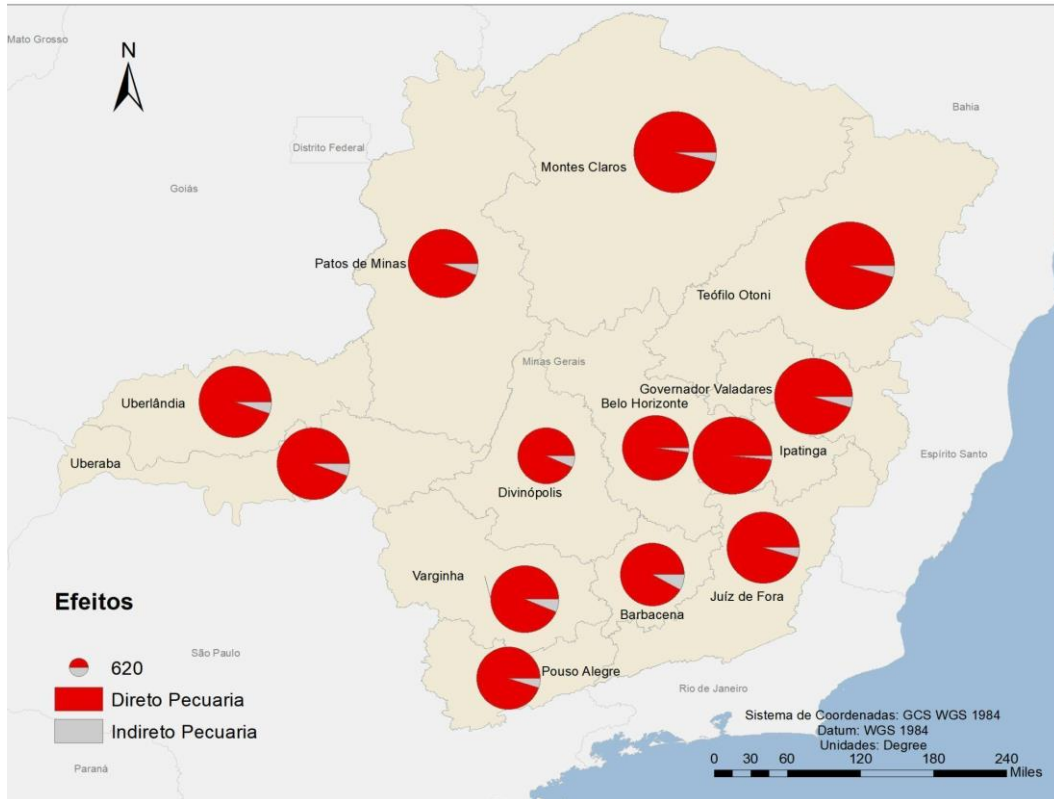
Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 8 - Coeficientes Diretos e Indiretos de emissão setorial da Produção Florestal, Pesca e Aquicultura



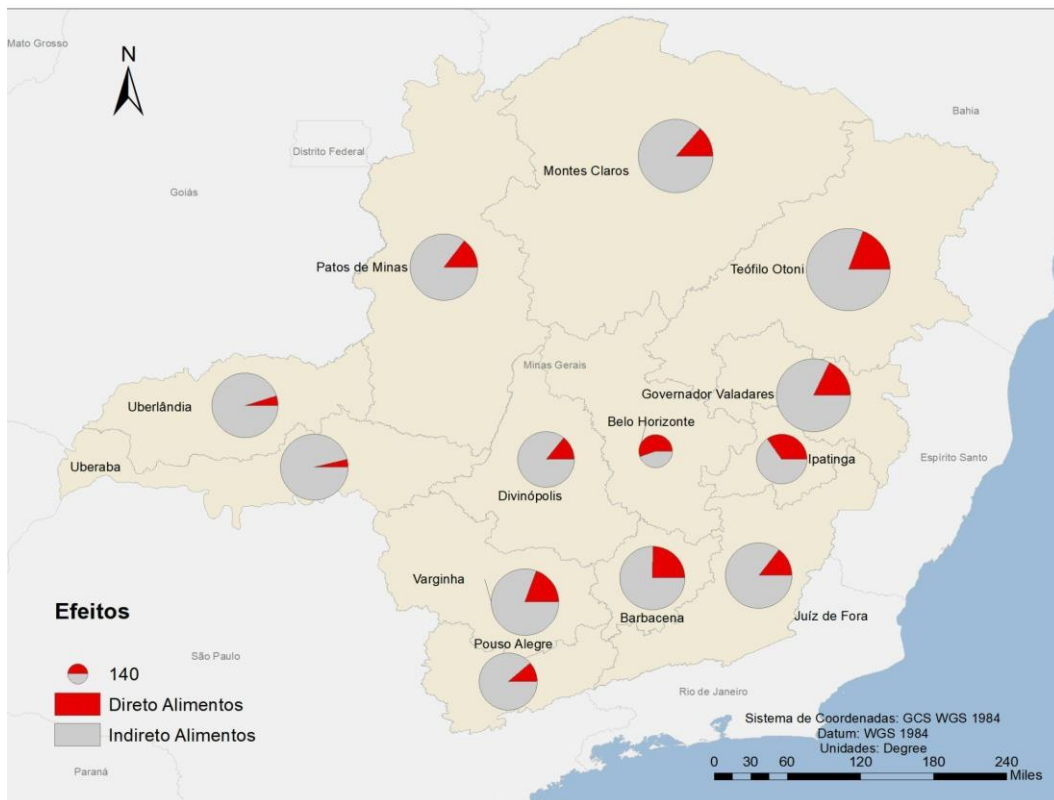
Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 9 - Coeficientes Diretos e Indiretos de emissão setorial da Pecuária



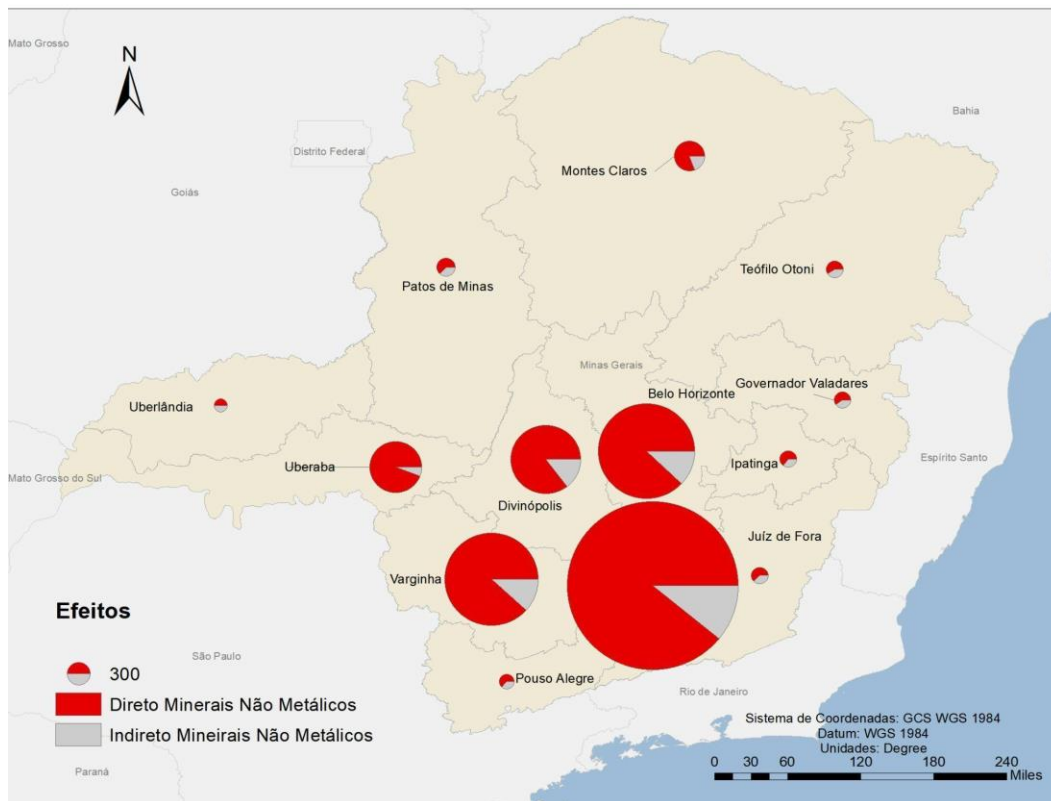
Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 10 - Coeficientes Diretos e Indiretos de emissão setorial da Fabricação de Alimentos



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 11 - Coeficientes Diretos e Indiretos de emissão setorial de Minerais Não Metálicos



Fonte: Elaborado pelas 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 RGIInt de Belo Horizonte, também responsável pelo maior VAB dentre as regiões. O segundo maior VAB pertence à RGIInt 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, destaca-se a Agropecuária com participação em todo território, mas ainda assim, Uberaba, Pato de Minas e Uberlândia são as que mais emitem GEE pelo setor. O setor de Fabricação de Minerais está concentrado, 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. Uma forma de mitigar as emissões da Pecuária pode ser o reflorestamento de mata ciliares contribuindo para equilibrar as emissões e também para a saúde hídrica das regiões. Nesse sentido, cabe ressaltar também a importância do planejamento urbano integrado para recuperar os cursos de rios que estão localizadas no âmbito urbano.

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 alto coeficiente de emissão do setor de Transportes 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 locais, com propostas de adequação 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. Uma possibilidade para mitigar as emissões desses setores é a substituição da fonte energética.

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.

1. Notas

1. 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 (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis não-metânicos (COVNM), óxidos de nitrogênio (NO_x), perfluorcarbonos (CF₄ e C₂F₆), hidrofluorcarbonos (HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

7. 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 CO₂ setoriais e na estrutura de exportações: Um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil. Aracaju: Enaber, 2009.

CHEN, G. Q.; 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 CO₂ 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.