**CRESCIMENTO ECONÔMICO, EXPORTAÇÕES E EMISSÕES DE GEE NA REGIÃO SUDESTE: UMA ANÁLISE DE COINTEGRAÇÃO EM PAINEL**

Luiz Gustavo Fernandes Sereno[[1]](#footnote-1)

Marcelo Silva Simões[[2]](#footnote-2)

Daniel Caixeta Andrade[[3]](#footnote-3)

**RESUMO**

Há um recorrente debate na literatura sobre a relação entre crescimento econômico e degradação ambiental, comumente referido como a hipótese do “U” invertido (Curva de Kuznets Ambiental – CKA). Este artigo busca entender a dinâmica das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na região sudeste brasileira e sua relação com o crescimento econômico. Para tanto, procura evidências da existência da CKA para os estados da região entre os anos 2002-2015 por meio de estimações de cointegração em painel via FMOLS e DOLS. Os modelos econométricos relacionaram as emissões de GEE *per capita* em função de variáveis de PIB *per capita*, densidade populacional, indicadores de exportações e renda externa. Os resultados finais levam a uma CKA de “U” e em que a intensidade tecnológica das exportações e a demanda externa são centrais para o entendimento da emissão de GEE, bem como reafirma a necessidade de políticas regionais especificas para o êxito nas metas de redução de GEE.

Palavras chaves: Curva de Kuznets Ambiental, Intensidade Tecnológica, Especificidades Regionais, Sudeste Brasileiro.

**ABSTRACT**

There is a recurrent debate in the literature about the relationship between economic growth and environmental degradation, commonly referred to as the inverted "U" hypothesis (Environmental Kuznets Curve – EKC). This paper seeks to understand the dynamics of Greenhouse Gas emissions (GHG) in the Southeast region of Brazil and its relationship with economic growth. To do so, search evidence of the existence of the EKC for the states of the region between the years 2002-2015 by panel coitegration estimations via FMOLS and DOLS methods. The econometric models used correlated GHG emissions per capita according to variables of GDP *per capita*, population density, export indicators and external income. The results lead to a "U" EKC in wich the technological intensity of exports and the external demand are central to the understanding of GHG emissions as well as reaffirming the need for specific regional policies for the success of the GHG reduction targets.

Keywords: Environmental Kuznets Curve, Technological Intensity, Regional Specificities, Brazilian Southeast.

JEL classification: Q56, Q54, Q53

Área ANPEC: Área 11 - Economia Agrícola e do Meio Ambiente

# INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970 a problemática ambiental tem se tornado cada vez mais discutida nos meios acadêmicos, empresariais e políticos. O aumento do interesse pela temática foi devido, principalmente, a fatores como o aumento sem precedentes da poluição no meio ambiente, derivado do crescimento econômico da Era de Ouro do capitalismo (do pós II Guerra até a Crise do Petróleo de 1973), do crescente temor gerado pela possibilidade de escassez de recursos naturais importantes, uma vez que se vivia em plena Crise do Petróleo (1973), e a publicação do relatório *Limits to Growth* (MEADOWS et al., 1972), o qual aponta para um cenário de catástrofe ambiental caso se disseminassem e generalizassem por todo o mundo os mesmos padrões de consumo dos países ricos (NØRGÅRD *et al*., 2010).

Dentre os estudiosos da relação meio ambiente *vs*. crescimento econômico, encontra-se a chamada escola da Economia Ambiental Neoclássica, que busca mostrar que o próprio funcionamento do sistema econômico seria capaz de se adequar a novos padrões de produção e consumo, criando alternativas ambientalmente sustentáveis. Neste âmbito, Grossman e Krueger (1991, 1995) mostraram que, segundo um conjunto de indicadores de poluição, o crescimento econômico engendra uma primeira fase de deterioração ambiental, seguida por uma fase de atenuação na degradação. Esta forma de relacionar a degradação ambiental e o crescimento econômico foi denominada de Curva de Kuznets Ambiental (CKA) que apresenta o formato de “U” invertido.

A partir deste estudo, vários autores procuraram relacionar variáveis como emissão de gases poluentes, desmatamento, biodiversidade, sustentabilidade, condições sanitárias etc., com níveis de renda, seja corroborando ou rejeitando a hipótese da curva. Dentre estes, considerável parcela da literatura empírica da CKA trata das emissões de dióxido de carbono (CO2), também conhecido como gás carbônico. Tal fato se justifica pela sua atuação como Gás de Efeito Estufa (GEE) e, consequentemente, sua importância no equilíbrio energético terrestre.

O Brasil se insere internacionalmente no debate acerca da redução do nível de emissões de GEE como assinante do Acordo de Paris (2015) com metas precisamente estabelecidas (BRASIL, 2015). No entanto, enquanto as emissões totais brasileiras apresentaram trajetória de queda a partir dos anos 2000, as emissões relativas da região Sudeste (SE) experimentaram crescimento vertiginoso (SEEG, 2017). Dado que o SE se apresenta como a região mais relevante em termos de renda e população do país, faz-se necessário examinar o impacto das especificidades regionais sobre as emissões para auxiliar a elaboração de políticas públicas efetivas consoantes com as metas de redução brasileiras.

O objetivo central do trabalho é de entender a dinâmica das emissões de GEE na região Sudeste brasileira, composta pelos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo entre os anos de 2002 e 2015. Dessa forma, pretende-se testar a existência de uma CKA para as emissões de GEE da região. Adicionalmente, o trabalho pretende contribuir com a literatura sobre a CKA ao acrescentar à análise variáveis de mensuração da renda externa e da intensidade tecnológica das exportações.

O trabalho se estrutura em cinco seções além desta introdução. Na segunda seção são apresentadas e sumariamente discutidas as referências teóricas e empíricas acerca da CKA. A terceira seção contempla uma análise descritiva da região Sudeste por estado sobre os dados de emissões de GEE por setor de atividade, crescimento econômico e intensidade tecnológica da pauta exportadora. A seguir, a quarta seção aborda o modelo econométrico a ser estimado, bem como as variáveis consideradas e as fontes dos dados. Na quinta seção estão descritos os testes econométricos, os resultados das estimações e a inferência sobre os modelos. Por fim, na última seção estão sintetizadas as principais reflexões realizadas no trabalho.

# REFERENCIAL TEÓRICO E EMPÍRICO

No ano de 1972, o *Massachusetts Institute of Technology* publicou, encomendado pelo Clube de Roma, o relatório *Limits to Growth* (MEADOWS et al., 1972). O estudo apresentava projeções pessimistas sobre a capacidade de a biosfera suportar o estilo de desenvolvimento econômico que vinha sendo praticado até então. Previa-se que já no século XXI seriam ultrapassados os limites biofísicos impostos pelo meio ambiente, o que teria o potencial de levar a uma grande desorganização social e econômica em nível mundial (MEADOWS et al., 1972).

A partir destas estimativas, a principal conclusão do estudo é de que seria necessário alcançar um estado global de equilíbrio de forma a evitar o desfecho catastrófico previsto com a continuidade da voraz depleção ambiental causada pelo avanço da industrialização. Dentre as medidas defendidas para atingir o estado de equilibrio destacam-se a necessidade de estabilizar as taxas de crescimento populacional e de reduzir drasticamente a utilização de recursos não renováveis e a poluição das produções industrial e agrícola (MEADOWS et al., 1972).

A Conferência de Estocolmo em 1972, na qual o estudo foi apresentado, assumiu notoriedade global, definindo o norte da compreensão em torno do meio ambiente a partir de então. Dentre seus desdobramentos, encontra-se a criação de importantes organismos internacionais como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP). No contexto da década de 1980, o UNEP foi importante para avanços significativos no debate mundial sobre a preservação ambiental com a criação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) em 1988 (JACOBI, 2005).

O IPCC, desde sua criação, assume a posição de principal órgão para o tratamento das questões climáticas, lançando relatórios de análise desde 1990, amplamente reconhecidos e sustentados pela comunidade científica mundial. A atuação do IPCC se dá no sentido de investigar os aspectos científicos do sistema climático e da mudança no clima; a vulnerabilidade do sistema socioeconômico frente às mudanças climáticas e as opções para limitar ou evitar as emissões de GEE (IPCC, 2014).

Dada a considerável difusão do tema de sustentabilidade ambiental, tornou-se inviável sua rejeição por parte da teoria econômica predominante. Sendo assim, a sustentabilidade ambiental passa a ser incorporada como variável de interesse nos modelos econômicos resultando em discussões teóricas e análises empíricas. Destaca-se neste bojo a adaptação do modelo de Kuznets (1955) que originalmente versava sobre a relação entre renda *per capita* e desigualdade social para a discussão ambiental acerca dos efeitos do crescimento econômico quanto a degradação ambiental.

Kuznets (1955) demonstra que, em um primeiro momento, aumentos da renda *per capita* em um país em desenvolvimento, de estrutura predominantemente agrária e população majoritariamente residente nas zonas rurais, tendem a aumentar a concentração de renda. Contudo, com o decorrer do desenvolvimento econômico verificou-se que a desigualdade de renda tende a se reduzir a partir de determinado patamar de renda. Em linhas gerais, o autor relaciona tal redução com a migração da população para as cidades, o processo de industrialização e a consolidação de sociedades democráticas com instituições mais fortes. Resumidamente, a partir de determinado momento o próprio crescimento econômico propiciaria condições para que uma maior parcela da sociedade pudesse se apropriar da elevação da renda gerada. Seria formada, portanto, uma curva em formato de “U” invertido na relação entre PIB *per capita* e desigualdade de renda*.*

Grossman e Krueger (1991, 1995) aplicaram os termos dessa relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda para a degradação ambiental. Os autores encontraram, por meio de estudos empíricos, evidências de que a relação entre degradação ambiental e crescimento econômico igualmente se divide em duas fases. A primeira, em que as nações são pouco desenvolvidas, caracteriza-se por uma população predominantemente residente no campo e elevada dependência do setor primário. A prioridade é a industrialização e inserção no comércio internacional, de modo a resolver os problemas de pobreza da população. Nesta fase de intenso crescimento econômico e aumento da degradação ambiental destaca-se o fator Escala, considerando que quanto maior a escala de uma economia, uma maior quantidade de recursos é utilizada nos processos produtivos e, portanto, maior a emissão de resíduos (MUELLER, 2004).

Com o êxodo rural, maior nível de renda *per capita* e estrutura econômica mais industrializada, verifica-se uma tendência de aumento da participação no PIB do setor de serviços. Visto que literatura costuma considerar o setor de serviços como menos intensivo em energia e materiais que o primeiro e segundo setores, espera-se uma diminuição da degradação. Dessa forma, o Fator Composição é o primeiro fator que explica a trajetória de queda na degradação ambiental na segunda fase do desenvolvimento econômico. O segundo fator importante para explicar a segunda fase do processo é o de Mudança Tecnológica. Aqui se pressupõe que a maior disponibilidade de recursos para o progresso tecnológico, com o avançar do desenvolvimento, possibilita o surgimento de novas tecnologias mais limpas a substituir as tecnologias obsoletas e mais intensivas em energia e matéria (MUELLER, 2004).

No âmbito da CKA, o papel do Estado se faz presente em ambas as fases. Na fase ascendente, o governo emprega ações e políticas em favor do crescimento que geram aumento da deterioração ambiental. Ao chegar a um nível maior de desenvolvimento, contudo, a maturidade da população implica maiores exigências na proteção ambiental e o Estado tende a implementar políticas para melhorar a qualidade do meio ambiente e proteger os recursos naturais (MUELLER, 2004). Nesta perspectiva, portanto, a “solução” para a crescente degradação do meio ambiente seria o próprio desenvolvimento econômico e o consequente enriquecimento da população, ou seja, a sustentabilidade ambiental é inerente ao próprio sistema capitalista, fruto do livre funcionamento das forças de mercado, hierarquização de preferências, e demanda mercadológica e política por bens e serviços mais “limpos”.

Há que se considerar, ainda, as críticas que a literatura da Economia Ecológica registra acerca da hipótese do “U” invertido, sobretudo considerando que “há sérias razões, entretanto, para não aceitar essa visão otimista” (MUELLER, 2004, p. 25). Mueller (2004) argumenta que a hipótese se aplica normalmente apenas a alguns poluentes que em geral são de curto prazo e de impacto geograficamente reduzido. Assim, a redução de um poluente específico em determinada região não significa, necessariamente, redução do seu impacto global. Lembrando, ainda, que a redução pode estar associada ao crescimento em outra região.

Ademais, de acordo com Mueller, “os estudos empíricos da CKA geralmente consideram poluentes altamente visíveis e que tendem a provocar crescentes reações de desagrado e protesto nas populações atingidas” (MUELLER, 2004, p. 25). Por fim, o autor ressalta que – em dimensões globais e considerando o histórico de emissões antrópicas – os efeitos dos gases acumulados na atmosfera superam em muito os efeitos locais.

Além da prévia revisão teórica, faz-se premente a imersão na revisão de trabalhos que estimam empiricamente tal hipótese. A este respeito, a literatura sobre a CKA é bem trabalhada e rica em diversidade de aplicações empíricas via regressões econométricas. O quadro 1 apresenta uma relação de trabalhos que corroboram ou não a tese da CKA, para diversos períodos de tempo, regiões, variáveis dependentes, métodos econométricos de estimação e resultados finais.

Quadro 1: Resumo de revisão bibliográfica sobre a CKA

| **Autores** | **Região** | **Período** | **Variável dependente** | **Tipos de dados** | **Conclusões** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Grossman e Krueger (1991) | Até 52 cidades em até 32 países | 1977, 1982, 1988 | Concentração de SO2 e SPM\* | Painel de dados | Crescimento econômico em níveis médios de renda melhoraria a qualidade ambiental, enquanto crescimento em altos níveis de renda seria prejudicial. |
| Arraes *et*  *al.* (2006) | Países do mundo (não define a quantidade) | 1980,  1985,  1990,  1995,  2000 | Emissões de CO2 e indicadores de desenvolvimento sustentável | Painel de dados | A equação que tem como variável dependente as emissões de CO2 apresentou a forma de “U” invertido. |
| Pires (2017) | Brasil | 1970-2011 | Emissões de CO2 *per capita* | Séries temporais | Não foram encontradas evidências substantivas para a CKA em forma de “U” invertido, mas sim o formato em “N”. |
| Lucena (2005) | Brasil | 1970-2003 | Emissões de CO2 *per capita* | Séries temporais | Não foram encontradas evidências de uma CKA no caso das emissões de CO2 *per capita*. |
| Catalán  (2014) | 144 países | 1990- 2010 | Emissões de CO2 *per capita* | Painel de dados | Encontradas evidências de  CKA em forma de “N”. |
| Carvalho e Almeida (2010) | 187 países | 2004 | Emissões de CO2 *per capita* | *Cross-section* com análise espacial | A introdução do termo cúbico do PIB *per capita* torna a curva em formato de “N”. |
| Cunha  (2008) | Brasil | 1980-2004 | Emissões de CO2 *per capita* | Séries temporais | Encontrou CKA em formato de “U” invertido, mas com a parte descendente da curva apenas para níveis de renda muito elevados. |
| Dos Santos *et al.* (2008) | 792 municípios da  Amazônia Legal no Brasil | 2000-2004 | Área desmatada | Painel de dados | Há evidências para curvas ambientais com formato quadrático, aceitando-se assim as CKA originais, porém com modelos pouco representativos. |
| Panayotou  (1993) | 68 países na amostra de desflorestamento e 54 na amostra de poluição | 1987-1988 | Emissões de SO2, NOx, SPM\* e desflorestamento | *Cross-section* | Todas as curvas estimadas apresentam a forma de “U” invertido. |
| Stern e Commom  (2001) | 74 países, separados em pertencentes à  OCDE, não- OCDE e todos. | 1960-1990 | Emissões de SO2 | Painel de dados | A estimativa da CKA somente utilizando países da OCDE leva a um ponto de inflexão a um nível de renda muito menor do que quando estimada com todos os países disponíveis na amostra. |

\*Material Particulado Suspenso no Ar

FONTE: Elaboração própria.

Observa-se que a literatura é rica na produção de trabalhos em níveis nacional e internacional. Predominam as análises que utilizam métodos de painel de dados, para emissões de poluentes gasosos. Foram selecionados como referência trabalhos que abordam como variável dependente a emissão de CO2 *per capita*, tendo em vista que este é o regressando no presente trabalho. Por fim, a maioria dos trabalhos encontra evidências para uma CKA. Sua forma, porém, é encontrada tanto em “U” invertido quando em “N”.

# ANÁLISE DESCRITIVA

O Brasil obteve avanços expressivos na redução das emissões de GEE no século XXI. Contudo, Euler (2016) aponta que, em que pese o progresso que alçou o país à posição de um dos líderes mundiais na redução das emissões de GEE, não existe ainda um consenso sobre as ferramentas de redução das emissões bem como falta interação com outros instrumentos e incentivos macroeconômicos. La Rovere (2016) destaca que o país possui condições para se desenvolver por meio da implementação de uma infraestrutura de baixo carbono pela abundância de recursos naturais, ainda assim, salienta a disponibilidade de recursos financeiros como imprescindível para a transição para uma economia de baixo carbono.

Políticas institucionais que visem à redução nas emissões de GEE, como as sugeridas por Euler (2016) e La Rovere (2016), carecem de substancial análise econométrica. Contudo, para a construção eficaz de um modelo econométrico e correta interpretação das estimações, faz-se necessário analisar o comportamento dos principais dados da base utilizada ao longo do tempo, comparando os valores para cada estado da região. O SE brasileiro se apresenta como a principal região política brasileira tanto em termos de renda quanto de população. Em 2002 o PIB da região representava 57,38% do PIB total do Brasil, em 2015 o produto da região ainda correspondia a mais da metade do PIB nacional com participação de 54,02%. Em termos de população os resultados são semelhantes, no ano de 2002 42,63% da população total brasileira residia no SE, ao passo que em 2015 a população da região correspondia a 41,95% do total.

GRÁFICO 1.a – Emissões Brasileiras - eixo esquerdo- (CO2e) e participação por região

GRÁFICO 1.b – Emissões do Sudeste Brasileiras (eixo esquerdo, CO2e) e participação por estado

FONTE: Elaboração própria a partir de dados do OC (2017)

No que diz respeito às emissões de GEE, a participação da região SE nas emissões totais brasileiras dobrou no período: saltou de 11,93% em 2002 para 24,05% no ano de 2015(Gráfico 1.a). No Gráfico 1.a, é possível perceber a queda das emissões de GEE a nível nacional, em que se destaca a relativa estabilidade das emissões totais a partir de 2009, período no qual o SE assume participações relativas notoriamente superiores às iniciais. Ao mesmo tempo há uma queda na participação relativa nas emissões das regiões Norte (N) e Centro-Oeste (CO). Entre 2002 e 2015, enquanto o Brasil reduziu suas emissões anuais em 22,25% o SE cresceu suas emissões de GEE em 44,25% (OC, 2017). Tal informação pode ser corroborada pelo crescimento das emissões totais da região (Gráfico 1.b) em oposição à redução ocorrida em nível nacional. Além disso, verifica-se que o arranjo de emissões relativas entre os estados continuou muito próxima à inicial, com a liderança do estado de MG em todos os anos.

Em tempo, considerando as emissões totais do período, as emissões dos setores de Energia, Processos Industriais e Resíduos do SE representaram mais da metade das emissões totais brasileiras (Tabela 1). Ainda que no principal setor de emissões do Brasil, Mudanças no Uso da Terra, as emissões do SE tenham correspondido a 17,93% do total, a região foi responsável por um quarto das emissões totais de GEE brasileiras. O valor é alarmante ao observar que no início da série as emissões da região correspondiam a pouco mais de um oitavo das emissões totais.

Tabela 1 – Emissões totais de GEE do Brasil e do Sudeste e Emissões Relativas de GEEdo Sudeste entre 2002 e 2015 (1000 toneladas de CO2e)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Setor de Emissão** | **Emissões totais BR** | **Emissões totais BR** | **Emissões Relativas SE** |
| Energia | 4.406 | 2.376 | 53,94% |
| Processos Industriais | 880 | 473 | 53,68% |
| Resíduos | 179 | 111 | 62,19% |
| Mudanças no Uso da Terra | 21.090 | 3.781 | 17,93% |
| Agropecuária | 2.179 | 551 | 25,28% |
| **Total** | **28.734** | **7.292** | **25,38%** |

FONTE: Elaboração própria a partir de dados do OC (2017)

No segundo conjunto de gráficos tem-se a composição das emissões segundo as atividades econômicas geradoras[[4]](#footnote-4).Para a região sudeste (Gráfico 2.a) se destacam as emissões dos setores de Mudanças no Uso da Terra e de Energia que aumentaram 25,63% e 87,34% contra redução de 42,21% e aumento de 67,16% para o Brasil, respectivamente, entre 2002 e 2015.O setor de Mudanças no Uso da Terra apresenta forte predominância entre os anos de 2003 e 2009, reduzindo seus valores percentuais e absolutos a partir de 2010. Esse comportamento é potencialmente explicado pelo *boom* das commodities (2004 – 2009), considerando que o setor tem relação direta com a expansão da atividade agrícola[[5]](#footnote-5), ainda que o setor de agropecuária apresente emissões diretas inicialmente modestas. Já as emissões do setor de Energia demonstram tendência de crescimento em todo o período, indicando expansão da utilização de energia de origem fóssil, possivelmente relacionado a intensificação das atividades industriais que utilizam deste recurso[[6]](#footnote-6).

Em relação à composição das emissões dos estados, salta aos olhos a escala do setor de Mudanças no uso da terra para o estado de MG (Gráfico 2.b), o que contribui para compreender tanto a hegemonia da participação das emissões de MG, quanto a predominância das emissões deste setor para o total da região. Apenas este setor no estado de MG foi responsável por uma emissão média anual em torno de 253 mil toneladas ao passo que a emissão total dos demais estados foi de aproximadamente 62 mil toneladas médias anuais. O desproporcional peso das emissões do setor de Mudanças no Uso da Terra para MG provavelmente se relaciona com a extensão territorial do estado, que ocupa cerca de 63% do SE, e ao perfil das atividades econômicas. Destaca-se para o setor o fato de que, entre 2002 e 2015, 3,03% da área total do estado de MG foi desmatada, o que corresponde a 1,92% da área do SE. O desmatamento dos estados do ES, RJ e SP correspondem conjuntamente a apenas 0,14% da região no mesmo período (OC, 2017).

Para além nisso, ainda em MG percebe-se ainda uma tendência de crescimento nas emissões oriundas do setor “Energia”. Apesar dos baixos valores relacionados ao setor “Processos Industriais”, a crescente necessidade energética das atividades de extração mineral, também relacionada às exportações, no estado se reflete no setor de geração de energia.

Gráfico 2.a – Emissões de GEE da região Sudeste por setor de atividade (CO2e)

Gráfico 2.b – Emissões por setor de atividade, MG (CO2e GTP 100)

Gráfico 2.d – Emissões por setor de atividade, RJ (CO2e GTP 100)

Gráfico 2.c – Emissões por setor de atividade, ES (CO2e GTP 100)

Gráfico 2.e – Emissões por setor de atividade, SP (CO2e GTP 100)

FONTE: Elaboração própria a partir de dados do OC (2017).

O estado do ES (Gráfico 2.c) apresenta os menores valores de emissões totais da região, embora com tendência crescente desde 2009. Destaca-se o crescimento das emissões dos setores de energia e processos industriais, relacionado ao aumento da exploração de jazidas de petróleo e gás natural, bem como à intensificação das atividades de extração mineral e vegetal, atividades estas direcionadas à exportação à exportação. Os estados do RJ e SP (Gráficos 2.d e 2.e, respectivamente) apresentam forte predominância das emissões ligadas à geração de energia. Destaca-se aqui a importância do estado de RJ na extração e refino de combustíveis fósseis e a importância da geração de energia de origem fóssil para atividades industriais no estado de SP. Novamente, as atividades relacionadas às emissões de GEE se mostram ligadas às exportações.

Buscando entender a intensidade poluidora de cada estado da região SE, o Gráfico 3 expõe a relação entre as emissões de GEE para cada real de PIB por ano. Percebe-se que o estado de MG apresenta a maior intensidade poluidora dentre as unidades federativas em questão. Nota-se ainda que para os anos com maiores emissões do setor de Mudanças no uso da terra, a intensidade poluidora é maior, fato que se supõe estar relacionado à estrutura produtiva mineira, voltada à exportação de produtos de baixo valor agregado. Por outro lado, a intensidade do SE como um todo é menor e menos volátil que a de MG, terminando a série com emissão de 0,14 kg de GEE por real de valor de produção frente a 0,95 em MG. Os outros estados (RJ, SP e ES) apresentam todos uma intensidade poluidora modesta próxima à região.

Gráfico 3 – Emissões de GEE em relação ao PIB (kg CO2e/R$ 2010)

FONTE: Elaboração própria a partir de dados do OC (2017) e IBGE (2017).

Os Gráficos de radar 4.a e 4.b exibem a emissão total de GEE (linhas tracejadas) e a intensidade poluidora (linha contínua), ambas em índice com ano-base em 2002. Destaca-se aqui o distanciamento das linhas tracejadas em relação às contínuas ao longo da série temporal, isto é, apesar de as emissões totais aumentarem, a intensidade poluidora cresce em menor intensidade ou até mesmo decresce. É possível, portanto, crer que a região tenha crescido sua produção em um nível superior ao crescimento das emissões.

Gráfico 4.a – Emissões de GEE e intensidade poluidora (SE, MG e ES)

Gráfico 4.b – Emissões de GEE e intensidade poluidora (SE, RJ e SP)

FONTE: Elaboração própria a partir de dados do OC (2017) e IBGE (2017).

Por fim, o Gráfico 5 apresenta um aspecto central para a discussão deste trabalho, qual seja: a intensidade tecnológica das exportações como importante variável explicativa das emissões de GEE. Uma hipótese que deverá ser testada pelos métodos econométricos (próxima seção) é que menor intensidade tecnológica da estrutura produtiva está relacionada a maior nível de emissões. Ao analisar o comportamento da razão dos bens de baixa intensidade tecnológica[[7]](#footnote-7) sobre o total exportado, percebe-se que os estados do ES e de MG mantêm médias muito elevadas, entre 70 e 80%, visto que são grandes exportadores de commodities minerais e agrícolas. O estado do RJ, apesar das oscilações, apresenta valores próximos aos do ES e MG. Já SP apresenta uma proporção menor, dado seu parque industrial mais complexo. Ressalta-se ainda que no período entre 2013 e 2015, no qual a região apresentou queda nas emissões, a proporção de baixa intensidade tecnológica nas exportações sofreu grande alteração negativa.

Gráfico 5 - Proporção dos bens de baixa intensidade tecnológica sobre o valor total exportado (%)

FONTE: Elaboração própria a partir de dados do BRASIL (2018)

É possível avaliar, portanto, que o crescimento relativo das emissões de GEE do SE em relação ao Brasil estão associadas, sobretudo, aos setores de Energia e Mudanças de Uso da Terra. O setor de Energia apresenta crescimento relevante em todos os estados da região enquanto o setor de Mudanças do Uso da Terra é substancialmente grave no estado de MG. Este setor se mostra como o principal emissor da região justamente pelo peso absoluto das emissões de MG que superam as emissões de GEE conjuntas dos demais estados. Tal fato se relaciona, ainda, com o copioso desmatamento ocorrido no estado de MG em associação com a estrutura exportadora primária, com produtos industriais de baixa intensidade tecnológica. Embora com áreas territoriais severamente menores, o crescimento das emissões dos setores de Energia e Processos Industriais para os estados de ES e RJ igualmente se associam a estados de pauta exportadora de baixa intensidade tecnológica.

# MODELO ECONOMÉTRICO E ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS

A hipótese da curva em forma de “U” invertido pressupõe uma relação quadrática entre degradação ambiental e crescimento econômico. Portanto, a degradação ambiental pode ser estimada em função de um polinômio quadrático da variável explicativa de renda *per capita*, tal como é usualmente utilizada na literatura. A equação considerando dados longitudinais entre a Degradação Ambiental (DA) e a Renda *per capita* (Ypc) pode ser denotada inicialmente por:

(1)

com *i = {1, ..., N}* para a dimensão *cross-section* e *t* = *{1, ..., T}* para a dimensão temporal.

A hipótese nula (H0)da CKA requer que os estimadores sejam significantes, que β1 seja positivo e β2 seja negativo. Portanto, para não rejeitar a hipótese é necessário que β1>0eβ2<0. Caso os coeficientes sejam estatisticamente significantes é possível ainda calcular o ponto crítico da curva dado por (GREENE, 2012). O ponto crítico representa o nível de renda *per capita* correspondente ao momento de inflexão na curva da degradação ambiental que forma o “U” invertido. A adição do estimador β3 permite verificar a possibilidade da ocorrência uma curva em forma de “N”, tal como Grossman e Krueger (1991).

Como se tratam de várias unidades de estimativas amostrais (*i*) ao longo do tempo (*t*), a ferramenta utilizada na estimação é a análise de dados longitudinais, ou dados em painel. Considerando que os modelos de painel agrupado (POLS), de Efeito Fixo (FE) e Efeito Aleatório (RE) não lidam com o problema de endogenia (BALTAGI, 2005) e que não existem dimensões *cross-section* suficientes para a estimação via painel dinâmico, optou-se nesse trabalho pela estimação de vetores de cointegração.

Kao (1999) explica a regressão de cointegração partindo de seguinte regressão de FE dada por:

(2)

na qual {*yit*} é uma sequência de escalares (1x1), *β* é um vetor (kx1) de parâmetros e {*αit*} são os interceptos de cada unidade individual de corte transversal e o termo de erro {*µit*} seja estacionário. Assumindo ainda que {*xit*} é um processo integrado de ordem um para todo *i* no qual

Sob essas especificações e considerando {*ε*} um ruído branco, (2) descreve um sistema de equações cointegradas no qual {*yit*} é cointegrado com {*xit*}.

Sobre a estimação de um painel de cointegração, Kao (1999) sugere que o estimador de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) tem um viés que não pode ser negligenciado para amostras finitas. Além disso, o estimador de Mínimos Quadrados Modificados (FMOLS), em geral, não consegue resultados muito superiores ao OLS. Por fim, Kao (1999) considera que é provável que o estimador de Mínimos Quadrados Dinâmicos (DOLS) obtenha resultados mais promissores que o OLS e o FMOLS. Dessa forma, as estimações para os modelos do trabalho foram realizadas por meio dos métodos FMOLS e DOLS para todos os modelos.

## 4.1 Variáveis e Dados

As variáveis consideradas para o presente modelo estão descritas sumariamente no Quadro 2. Acrescenta-se aqui que variáveis para mensurar o preço das commodities e taxa real efetiva de câmbio foram inicialmente incluídas na análise, porém não se mostraram adequadas para a estimação do vetor de cointegração, dado que são estacionárias em nível.

Quadro 2 -Descrição das Variáveis

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variável** | **Descrição** | **Unidade** | **Fonte** | **Sinal esperado** |
| GTPpc | Emissões per capita de GEE em carbono equivalente GTP | kg/m² por habitante | SEEG/IBGE |  |
| PIBpc | PIB *per capita* | R$ 2010 | IBGE/IPEADATA | + |
| PIBpc² | PIB *per capita* ao quadrado | R$ 2010 | IBGE/IPEADATA | - |
| PIBpc³ | PIB *per capita* ao cubo | R$ 2010 | IBGE/IPEADATA | \* |
| dens | Densidade Populacional | Habitantes por km² | IBGE | \* |
| IN4000 | Razão entre os valores das exportações de baixa intensidade tecnológica sobre o total | Proporção | MDIC | + |
| PIBXpc | PIB *per capita* médio dos principais importadores do Sudeste | US$ 2010 | WDI | + |

\* esta variável pode assumir valor negativo ou positivo

FONTE: Elaboração própria

Como apresentado, na literatura empírica acerca da CKA, a variável dependente é representada por diversas tentativas de mensuração da degradação ambiental, sendo a mais usual as emissões de dióxido de carbono (CO2) *per capita*. Contudo, com objetivo de evitar um possível viés de seleção da variável dependente, como apontado por Mueller (2004), essa hipótese foi descartada. Como alternativa, preferiu-se optar pelo carbono equivalente (CO2e GTP 100 AR5) que agrupa as emissões de todos os GEE do inventário nacional de acordo com os índices de Potencial de Mudança de Temperatura Global (GTP). O GTP 100 relaciona a mudança na temperatura média da superfície global em resposta a um pulso de emissão de cada GEE em relação ao CO2 nos 100 anos subsequentes à emissão (EFCT, 2014) e foi estabelecido pelo IPCC Fifth Assessment Report (AR5) (IPCC, 2014).

Os dados relativos às estimativas de emissões de CO2e GTP100 AR5 foram obtidos junto à base de dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima (OC, 2017). Os montantes totais foram transformados em valores *per capita* a partir das estimativas de população residente total obtidas junto ao IBGE (2017).

Para mensurar o crescimento econômico, como sugere a literatura, será utilizada a renda *per capita* medida pelo Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* dos estados. Os dados referentes aos PIB estaduais foram obtidos junto ao Sistema de Contas Regionais do IBGE (2017) e deflacionados pelo deflator implícito do PIB com referência ao ano de 2010 obtido do IPEADATA (2017). Para o cálculo dos PIB *per capita* estaduais foram utilizadas as estimativas de população residente total acima descritas.

Assim como Shafik e Bandyopadhyay (1992), Selden e Song (1994) e Rupasingha et al. (2004), optou-se aqui por adicionar também uma variável de densidade populacional. A inclusão se justifica pelo fato de que determinadas regiões se tornaram mais vulneráveis a eventos como tormentas, inundações e secas, com o adicional aumento da densidade populacional (IPCC, 1995). Portanto, existem evidências para se acreditar que o aumento da densidade populacional está relacionado à intensificação de atividades degradantes. Para o cálculo da densidade populacional foram novamente consideradas as estimativas de população residente total, bem como as áreas territoriais de cada estado, extraídas dos dados de Estrutura Territorial do IBGE (2016).

Considerando a importância das exportações para o crescimento econômico dos estados da Região Sudeste, optou-se por incluir na análise uma variável que busque captar os efeitos da proporção de produtos de baixa intensidade tecnológica nas exportações dos estados sobre as emissões de GEE. Isto se justifica pelo fato de que, segundo a literatura da CKA, um dos fatores relacionado à queda na degradação ambiental com o decorrer do desenvolvimento econômico é a mudança tecnológica (MUELLER, 2004).

Para mensurar o impacto da intensidade tecnológica das exportações propõe-se um índice de proporção dos produtos exportados pelas indústrias de transformação de baixa intensidade tecnológica em relação ao total de produtos exportados (**IN4000**). Devido a dificuldades em se considerar diferentes unidades de medidas para os produtos exportados, o índice foi construído a partir da soma dos valores líquidos *free on board* (FOB). Os dados foram obtidos a partir da Base de Dados do Comércio Exterior do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (BRASIL, 2018).

A classificação foi realizada de acordo com os Setores da Indústria por Intensidade Tecnológica (SIIT), seguindo a metodologia proposta no *The OECD STAN Bilateral Trade by Industry and End-use* (OECD, 2017) e baseado na 4ª versão do *International Standart Industrial Classification* (ISIC4). As tabelas de referência utilizadas para classificação são disponibilizadas pelo Departamento de Estatística e Apoio as Exportações (DAEX/MDIC) por meio da correspondência entre o ISIC4 e a 4ª versão do Sistema Harmonizado (SH4) (BRASIL, 2017)[[8]](#footnote-8).

Por fim, acrescentou-se também ao modelo a variável de Renda *per capita* dos vinte principais países de destino das exportações da região SE. De modo semelhante à renda *per capita* dos estados, esta variável é mensurada pela média ponderada da razão do PIB dos vinte principais países destinos das exportações dos estados do Sudeste em valor líquido FOB pelas suas respectivas populações totais. Os dados foram obtidos junto a base de dados do *World Development Indicators* (WDI) do Banco Mundial (2018a e 2018b).

# ESTIMAÇÃO

## 5.1 Testes de Raiz Unitária

Os testes de raiz unitária para dados em painel surgiram a partir dos testes para séries temporais. A grande diferença entre ambos é que quando se trata de dados em painel, deve-se considerar o comportamento assintótico da dimensão temporal T e da dimensão *cross-section* N (BALTAGI, 2005). Para este trabalho, foram realizados os testes de Levin, Lin e Chu (2002) e os testes de Fisher–Augmented Dickey-Fuller e Fisher-Philips-Perron de Maddala e Wu (1999).

A principal diferença entre o primeiro e os dois últimos está na hipótese alternativa. Enquanto o LLC considera um processo de raiz unitária para o painel como um todo, os demais consideram um coeficiente autorregressivo específico para cada N (ÁVILA, 2015). Além disso, Baltagi (2005) aponta que os testes de Fisher possuem maior poder de análise em relação ao LLC quando a dimensão *cross-section* é pequena. Portanto, a partir dos testes de raiz unitárias (Tabela 2), é possível afirmar que existem evidências de que todas as variáveis são não estacionárias em nível e estacionárias em primeira diferença, sendo, portanto, integradas de ordem I(1).

Tabela 2 – Testes de Raiz Unitária

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variável** | **LLC** | **Fisher ADF** | **Fisher PP** | **Conclusão** |
| logGTP | -0.73183 | 12.5147 | 40.4083\*\*\* | Não estacionária |
| logPIBpc | -1.2697 | 3.0395 | 6.5789 | Não estacionária |
| logPIBpc² | -1.6630\*\* | 6.2181 | 6.2917 | Não estacionária |
| logPIBpc³ | -2.9603\*\*\* | 0.2171 | 0.6237 | Não estacionária |
| logdens | -1.5972\* | 3.6537 | 8.5367 | Não estacionária |
| logIN4000 | -0.8737 | 13.5673 | 28.7923\*\*\* | Não estacionária |
| logPIBXpc | 0.7281 | 2.1941 | 1.5768\*\*\* | Não estacionária |
| ΔlogGTP | -3.7585\*\*\* | 28.9641\*\*\* | 85.6265\*\*\* | Estacionária |
| ΔlogPIBpc | -3.0729\*\*\* | 18.3686\*\* | 18.6930\*\* | Estacionária |
| ΔlogPIBpc² | -3.0430\*\*\* | 18.2115\*\* | 18.5428\*\* | Estacionária |
| ΔlogPIBpc³ | -1.4395\* | 7.64517 | 26.1127\*\*\* | Estacionária |
| Δlogdens | -4.7412\*\*\* | 20.3064\*\*\* | 39.7784\*\*\* | Estacionária |
| ΔlogIN4000 | -9.6534\*\*\* | 50.0935\*\*\* | 73.8481\*\*\* | Estacionária |
| ΔlogPIBXpc | -3.0003\*\*\* | 13.5008\* | 17.8925\*\* | Estacionária |

\*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respectivamente

FONTE: Elaboração própria

## 5.2 Testes de Cointegração

Uma vez verificada que todas as variáveis são integradas de ordem I(1), foram realizados os testes de cointegração. O objetivo dos testes é verificar se os resíduos das variáveis integradas de ordem I(1) são integrados de ordem I(0). Em caso positivo, as variáveis possuem uma relação estável no longo prazo e, portanto, são ditas cointegradas. Os testes realizados foram o de Kao (1999) e Pedroni (1999, 2004) e as defasagens foram selecionadas pelo Critério de Informação de Akaike (AIC). A hipótese nula de todos os testes é a não cointegração. Entretanto, o teste de Pedroni inclui estatísticas PP e ADF para duas hipóteses alternativas distintas, o teste para o painel como um todo considera como H1 que as séries possuem coeficientes autorregressivos (AR) comuns, enquanto o teste para os grupos tem por H1 que possuem coeficientes AR individuais.

Foram selecionados quatro conjuntos de variáveis para os testes de cointegração. O primeiro grupo inclui as variáveis GTP, PIBpc, PIBpc², dens e IN4000, enquanto que o segundo inclui todas as variáveis do primeiro grupo e adiciona a variável PIBXpc. O terceiro e quarto grupo adicionam a variável PIBpc³ ao primeiro e segundo grupo, respectivamente.

Tabela 3 – Testes de Cointegração

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Grupo** | **Pedroni Panel**  H1 = coef AR comuns | | **Pedroni Group**  H1 = coef AR individuais | | **Kao** |
| **PP** | **ADF** | **PP** | **ADF** | **ADF** |
| 1 | -3.9258\*\*\* | -3.5505\*\*\* | - 4.9968\*\*\* | - 2.9085\*\*\* | - 4.9334\*\*\* |
| 2 | -4.5001\*\*\* | -4.5307\*\*\* | -3.9781\*\*\* | -3.6135\*\*\* | -5.1786\*\*\* |
| 3 | - 1.6451\* | - 1.2996\* | - 1.6950\*\* | - 1.2793 | - 4.8375\*\*\* |
| 4 | - 3.3993\*\*\* | - 4.1070\*\*\* | - 3.5288\*\*\* | - 4.3150\*\*\* | - 5.1919\*\*\* |

\*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

FONTE: Elaboração própria

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, é possível rejeitar a hipótese nula de não cointegração para todas as estatísticas dos grupos 1, 2 e 4 ao nível de significância de 1%. Para o terceiro grupo não se rejeita a hipótese nula apenas para a estatística ADF do teste de grupos de Pedroni. Portanto, existem evidências de que não há expectativa de que a relação de longo prazo das variáveis seja espúria.

## 5.3 Vetores de Cointegração

Para a ordenação dos modelos, partiu-se de um modelo inicial que considerava apenas a relação inicial teórica da CKA, qual seja, a relação entre a degradação ambiental e o crescimento econômico em nível e ao quadrado. Posteriormente, foram estimados nove modelos adicionando as variáveis de densidade populacional, de intensidade tecnológica das exportações e a renda *per capita* dos principais países importadores. Os modelos que se mostraram mais relevantes para a análise são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Estimação dos vetores de cointegração

|  | **Método** | **PIBpc** | **PIBpc²** | **Dens** | **In4000** | **PIBXpc** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | FMOLS¹ | 1,9763\*\*\*  (0,0026) | -0,1796\*\*\*  (3,49E-05) |  |  |  |
| DOLS² | 2,2751\*\*\*  (0,1838) | -0,2104\*\*\*  (0,0185) |  |  |  |
| 2 | FMOLS¹ | 1,1922\*\*\*  (0,0051) | -0,0792\*\*\*  (0,0001) | -0,4346\*\*\*  (0,0003) |  |  |
| DOLS² | 1,2169\*\*\*  (1,4808) | -0,0863\*\*\*  (0,1639) | -0,4041\*\*\*  (0,5297) |  |  |
| 3 | FMOLS¹ | 1,7148\*\*\*  (0,3095) | -0,1639\*\*\*  (0,0280) |  | 0,2329\*  (0,1166) |  |
| DOLS² | 1,3640\*\*\*  (0,3562) | -0,1369\*\*\*  (0,0305) |  | 0,4561\*\*\*  (0,1521) |  |
| 4 | FMOLS¹ | -9,1098\*\*\*  (0,0051) | 0,3647\*\*\*  (5,26E-05) |  |  | 5,5507\*\*\*  (0,0002) |
| DOLS² | -9,9328\*\*\*  (2,5078) | 0,3931\*\*\*  (0,1245) |  |  | 6,0383\*\*\*  (1,2406) |
| 5 | FMOLS¹ | 0,6849\*\*\*  (0,2261) | -0,0470\*\*  (0,0232) | -0,4083\*\*\*  (0,0652) | 0,3508\*\*\*  (0,0674) |  |
| DOLS² | 0,6525\*\*  (0,2575) | -0,0396  (0,0264) | -0,4662\*\*\*  (0,0821) | 0,3055\*  (0,0809) |  |
| 6 | FMOLS¹ | -6,1907\*\*\*  (0,0706) | 0,2827\*\*\*  (0,0008) | -0,3607\*\*\*  (0,0003) | 0,2548\*\*\*  (0,0006) | 3,5369\*\*\*  (0,0145) |
| DOLS² | -5,0087\*  (2,58850) | 0,2152\*  (0,1182) | -0,2855\*\*  (0,1093) | 0,3409\*  (0,1088) | 2,9552\*\*  (1,3744) |

*¹Weighted* FMOLS

*²Weighted DOLS* com defasagens definidas pelo Critério de Seleção de Akaike (AIC)

\*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respectivamente

Erro padrão entre parêntesis

FONTE: Elaboração própria

Em relação à análise dos resultados, é importante salientar, em primeiro lugar, que Grossman e Krueger (1995) advertem que a análise das estimações da CKA deve ser realizada levando em conta exclusivamente os sinais dos estimadores e os valores dos parâmetros não são, necessariamente, plausíveis de inferência.

Isto posto, é notável que na maioria nos modelos da Tabela 3 os coeficientes referentes ao PIB *per capita,* bem como seu termo quadrático, apresentaram significância estatística a 1%. Nos modelos com variável de densidade populacional e razão de intensidade tecnológica das exportações, os sinais foram os esperados, quais sejam positivo para nível e negativo para o coeficiente de termo quadrático.

Entretanto, ao se adicionar o coeficiente de estimação da renda dos países importadores, dois fatos devem ser tratados com atenção. O primeiro é que em ambos os modelos com PIBXpc os sinais dos coeficientes de PIBpc e PIBpc² se invertem, ao passo que o sinal de PIBXpc é sempre positivo. O segundo ponto é que enquanto os coeficientes de PIBCpc se mostram relevantes nos dois modelos a 5% ou 1%, os coeficientes de PIBpc e PIBpc² no modelo com todas as variáveis estimado via DOLS apresenta significância estatística de apenas 10%.

Essa observação indica que o crescimento econômico dos países importadores tem impacto positivo sobre as emissões de GEE, o que fornece indícios de não rejeição da hipótese que considera o comportamento das exportações como relevante para a explicação das emissões de GEE da região. Entretanto, por si só, a relação da renda externa com as emissões pode ser explicada pela possível correlação entre a primeira e a renda dos estados exportadores.

Os coeficientes estimados da variável de intensidade tecnológica favorecem o argumento a respeito da relação entre emissões e exportações para a região. O estimador que mede o impacto da proporção de bens de baixa intensidade tecnológica sobre o total exportado apresenta sinal positivo em todos os modelos, sendo também significativo em todos. Portanto, não se pode rejeitar a suposição de que uma maior proporção na exportação de bens da indústria de baixa tecnologia impacta positivamente nas emissões da região Sudeste.

A análise conjunta do efeito da renda externa e da variável de intensidade tecnológica das exportações revela evidências de que, no longo prazo, ambos assumem papel relevante na definição das emissões de GEE da região Sudeste. Assim sendo, não se pode rejeitar a suposição de que parcela significativa das emissões de GEE da região esteja diretamente relacionada a fatores externos à dinâmica econômica da região.

Os coeficientes referentes à variável de densidade populacional apresentaram significância estatística em todos os modelos. O sinal negativo em todos os modelos, no entanto, foi o contrário do esperado. Dois fatores podem ser apresentados conjuntamente para explicação dessa observação. Inicialmente, espera-se que a densidade populacional contribua positivamente para a degradação ambiental por meio de maiores aglomerações urbanas. Em relação às emissões de GEE, isto se dá, sobretudo, em emissões relacionadas ao consumo de combustíveis fósseis (IPCC, 1995). O segundo fator se relaciona com o fato de que o estado de Minas Gerais possui a segunda maior população total e, no entanto, apresenta a menor densidade populacional[[9]](#footnote-9), já que tem a maior área entre os estados. Ainda assim apresenta as maiores taxas de emissões *per capita* para todos os anos de análise.

Pontua-se que as emissões de GEE do estado de MG estão relacionadas, sobretudo, ao setor de Mudanças no Uso da Terra, o que indica que o impacto das emissões por combustíveis fósseis em relação ao total não se mostra relevante. Ademais, a composição da matriz de energia elétrica – substancialmente gerada por hidroelétricas – diminui ainda mais o impacto. Por outro lado, estados com grandes áreas[[10]](#footnote-10) (como o estado de Minas Gerais) têm um maior potencial para a produção agropecuária, atividade com participação relevante nas emissões do setor de Mudanças no uso da terra. Assim sendo, uma área expressivamente maior do estado que diminuiria substancialmente sua densidade populacional também tem um potencial de impacto positivo relevante nas emissões de GEE.

Adicionalmente, foram estimados modelos incluindo também um coeficiente cúbico para a renda *per capita*. Os três modelos que se mostraram mais relevantes contam sempre com a variável de densidade populacional e diferentes combinações do fator de intensidade tecnológica nas exportações e renda externa (Tabela 5). Com a inclusão do termo cúbico o coeficiente da renda em nível é significativo apenas na estimação via DOLS para o modelo 8 e em ambos os métodos para o modelo 9. Os coeficientes quadrático e cúbico não foram estatisticamente significantes em nenhum modelo, ao passo que os coeficientes de densidade populacional, intensidade tecnológica e renda externa *per capita* apresentaram significância estatística em todos os modelos.

Tabela 5 – Estimação dos vetores de cointegração incluindo PIBpc³

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Método¹** | **PIBpc** | **PIBpc²** | **Dens** | **In4000** | **PIBXpc** | **PIBpc³** |
| 7 | FMOLS¹ | 0.2503  (5.4193) | 0.0293  (1.0871) | -0.4130\*\*\*  (0.0612) | 0.3683\*\*\*  (0.0633) |  | -0.0033  (0.0545) |
| DOLS² | 8.1962  (5.2492) | -1.5704  (1.0542) | -0.3431\*\*\*  (0.0886) | 0.4526\*\*\*  (0.1114) |  | 0.0765  (0.0530) |
| 8 | FMOLS¹ | -15.361\*  (7.9217) | 1.8410  (1.4672) | -0.2313\*\*\*  (0.0853) |  | 4.6937\*\*\*  (1.2612) | -0.0757  (0.0725) |
| DOLS² | -6.9528  (8.6405) | 0.0958  (1.4496) | -0.2262\*  (0.1182) |  | 4.8859\*\*  (1.7711) | 0.0127  (0.0698) |
| 9 | FMOLS¹ | -9.5753\*  (5.2778) | 0.9722  (0.9780) | -0.3213\*\*\*  (0.0571) | 0.3123\*\*\*  (0.0557) | 3.4654\*\*\*  (0.8400) | -0.0350  (0.0484) |
| DOLS² | -11.9139\*  (5.9514) | 1.3923  (1.1059) | -0.3685\*\*\*  (0.0664) | 0.2508\*\*\*  (0.06240) | 3.6559\*\*\*  (0.9046) | -0.0550  (0.0547) |

*¹Weighted* FMOLS

*²Weighted DOLS* com defasagens definidas pelo Critério de Seleção de Akaike (AIC)

\*, \*\* e \*\*\* representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respectivamente

Erro padrão entre parêntesis

FONTE: Elaboração própria

Ao adicionar o coeficiente cúbico para a renda *per capita*, portanto, todos os coeficientes relacionados à renda *per capita* perdem significância enquanto as demais permanecem significativas. Os sinais para os coeficientes significativos permanecem inalterados em relação aos modelos anteriores, o que reforça a inferência acima realizada.

Por fim, considerando todos os modelos apresentados só se encontram evidências da existência da CKA para a região Sudeste quando não se considera a variável de renda externa *per capita*. Ao considerar a variável de renda externa *per capita*, quando são estatisticamente significantes, os coeficientes de nível e quadrático da renda *per capita* interna indicam evidências para uma curva no formato de “U” em contraposição ao “U” invertido. De acordo com os modelos, rejeita-se a hipótese da curva em formato de “N”, dado que os coeficientes do termo cúbico não são estatisticamente significantes. Destaca-se também o papel relevante da intensidade tecnológica das exportações conjuntamente à renda dos países parceiros.

Tendo em vista os resultados apresentados, pode-se acreditar que variáveis de mensuração do comportamento da demanda externa e da composição da pauta exportadora sejam relevantes para a análise da degradação ambiental para a região Sudeste brasileira. É preciso ponderar, portanto, acerca das políticas de incentivo à exportação e industrialização para atingir o objetivo da redução das emissões de GEE especificamente originadas na região Sudeste.

Considerando o crescimento expressivo das emissões relativas da região, existem indícios de que seja fundamental ponderar acerca das especificidades do desenvolvimento regional para inferir sobre as relações de longo prazo entre a degradação ambiental e o crescimento econômico. Pesquisas que se disponham a analisar tais características regionais se mostram, em vista disso, fundamentais para o êxito nacional em reduzir o nível das emissões de GEE em nível nacional no longo prazo, como também apontado por Monzoni (2016) e Pasqual (2016).

# Conclusões

O presente trabalho avaliou as características determinantes das emissões de GEE da região Sudeste. Verificou, para tanto, que as suposições acerca do impacto das exportações de baixa intensidade tecnológica nas emissões da região se mostraram verdadeiras. Sobretudo, destaca-se na região o comportamento do estado de Minas Gerais, responsável pela maior parcela das emissões da região em todo o período, bem como de maior intensidade poluidora por real de PIB.

As estimações realizadas apresentaram evidências sobre a relação de longo prazo entre as emissões de GEE, crescimento econômico, densidade populacional, renda externa e fator de baixa intensidade tecnológica das exportações. Foram encontrados indícios estatisticamente significantes tanto de que as exportações são relevantes para a explicação das emissões da região, quanto de que o fator de baixa intensidade tecnológica deve ser considerado. A densidade populacional apresentou comportamento contrário ao inicialmente esperado. Este resultado demonstra, contudo, a especificidade da composição da produção em regiões com grande abundância de terras.

Embora em alguns modelos se verifique a existência de uma CKA para a região, a renda externa se mostra variável relevante para análise e quando adicionada ao modelo não existem indícios da CKA. Assim como os resultados não corroboram a existência de uma curva em formato de “N”. O desvio das emissões do SE em relação às emissões de nível nacional reforça a necessidade de políticas públicas regionais voltadas à redução das emissões de GEE. Especificamente para o SE, a importância do nível tecnológico das exportações sugere ações voltadas ao adensamento da pauta exportadora e à inovação industrial. As elevadas taxas de desmatamento em MG se mostram substanciais para as emissões do estado e impactam fortemente as emissões totais do SE, contudo, se mostram mínimas nos demais estados da região. Portanto, as composições heterogêneas das emissões por estado da região indicam a necessidade urgente de um olhar cuidadoso a respeito das emissões do setor de Mudanças do Uso da Terra do estado de MG.

# REFERêNCIAs

ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T.: “Curva Ambiental de Kuznets e o Desenvolvimento Econômico Sustentável”. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 03, p. 525-547, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032006000300008&script=sci\_arttext> Acesso em Março de 2018

ÁVILA, E. S. de; DINIZ, E. M. Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões. **Estud. Econ.**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 97-126, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-41612015000100097&script=sci\_arttext> Acesso em Abril de 2018

BALTAGI, B. H. **Econometric analysis of panel data**. 3ª edição. West Sussex: John Wiley & Sons, 2005.

BANCO MUNDIAL. World Development Indicators (WDI), **GDP (constant 2010 US$)**. 2018a. Disponível em < https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD> Acesso em abril de 2018

\_\_\_\_\_. World Development Indicators (WDI), **Population, total**. 2018b. Disponível em < https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> Acesso em abril de 2018

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas Anuais de Emissão de Gases de Efeito Estufa**. 2ª edição, Brasília, DF, 2014. 190 p. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/Estimativasd.pdf/0abe2683-e0a8-4563-b2cb-4c5cc536c336> Acesso em outubro de 2017

\_\_\_\_\_\_. **PRETENDIDA CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA**. 2015. Disponível em: < http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf> Acesso em julho de 2017

\_\_\_\_\_, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). **Classificação da Secretaria de Comércio Exterior: Classificação por Intensidade Tecnológica**. 2017. Disponível em < http://www.mdic.gov.br/balanca/metodologia/Nota\_ISIC.pdf> Acesso em abril de 2018

\_\_\_\_\_, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). **Base de Dados do Comércio Exterior Brasileiro**. 2018. Disponível em < http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/base-de-dados-do-comercio-exterior-brasileiro-arquivos-para-download> Acesso em abril de 2018

BREITUNG, J.; PESARAN, M. H. **Unit roots and cointegration in panels**. CESifo: Munique 2005. (*Working paper* n. 1565). Disponível em: <http://www.cesifo-economic-studies.de/DocDL/cesifo1\_wp1565.pdf> Acesso em março de 2018

BRITO, G. F. D.; CHOI, V. P.; ALMEIDA, A. D. **Manual ABNT: regras gerais de estilo e formatação de trabalhos acadêmicos**. 4 ed. São Paulo: UNICAMP, 2014.

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estudos Econômicos,** São Paulo, v. 40, n. 3, p. 587-615, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S0101-41612010000300004

CATALÁN, H. Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. **Economía Informa**, v. 389, p. 19-37, 2014. https://doi.org/10.1016/S0185-0849(14)72172-3

CHOI, In. Unit root tests for panel data, **Journal of International Money and Finance**, 20, issue 2, p. 249-272, 2001. https://doi.org/10.1016/S0261-5606(00)00048-6

CUNHA, C. A. Curva de Kuznets Ambiental Estimativa Econométrica Usando CO2 e PIB Per Capita. In: Congresso da Soc. Bras. de Eco., Adm. e Soc. Rural, 46, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/ags/sbrfsr/133284.html> Acesso em agosto de 2017

EFCTC. **Global Temperature change Potential compared to Global Warming Potential**. EFCTC. [S.l.], p. 4. 2014. Disponível em: <https://www.fluorocarbons.org/wp-content/uploads/2014/06/efctc-factsheet\_gtp.pdf> Acesso em dezembro de 2017

EULER, A. M. C. O acordo de Paris e o futuro do REDD+ no Brasil. In: VICENTE, M. C. P. (Org.). **Mudanças climáticas:** **desafio do século**. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenaeur, 2016. p. 85-104

GREENE, W. H. **Econometric analysis**. 7ª. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2012.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North American free trade agreement**. Cambridge: NBER, 1991. (Working paper n. 3914). Disponível em: < https://core.ac.uk/download/pdf/6853464.pdf> Acesso em agosto de 2017

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic Growth and the Environment. **Quarterly Journal of Economics.**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/pdf/2118443.pdf> Acesso em agosto de 2017

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Organização do Território: Área dos Municípios**. 2016. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e> Acesso em março de 2018

\_\_\_\_\_. **Sistema de Contas Regionais**. 2017a. Disponível em https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=downloads> Acesso em março de 2018

\_\_\_\_\_. **Estimativas da** **População residente**. 2017b. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads> Acesso em março de 2018

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: Genebra, 2014. 104 p. Disponível em: < http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> Acesso em julho de 2017

\_\_\_\_\_\_. **Climate Change 2007: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: Genebra, 2007. 151 p. Disponível em: < http://www.ipcc.ch/publications\_and\_data/ar4/syr/en/contents.html> Acesso em julho de 2017

\_\_\_\_\_\_. **IPCC Climate Change 1995: A report of the Intergovernamental Panel on Climate Change**. IPCC: Genebra, 1995. 73 p. Disponível em: < http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf> Acesso em agosto de 2017

IPEADATA. **Produto interno bruto (PIB) a preços de mercado - deflator implícito: variação anual - referência 2010**. 2017. Disponível em < http://www.ipeadata.gov.br/> Acesso em março de 2018

JACOBI, P. R. Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 2, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ep/v31n2/a07v31n2.pdf> Acesso em agosto de 2017

KAO, Chihwa. Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. **Journal of econometrics**, v. 90, n. 1, p. 1-44, 1999. https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2

KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review**, v. 45, p. 1-28. 1955.

LA ROVERE, E. L. **O Brasil e a COP-21**. [S.l.]: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/Noticias/documentos/O\_Brasil\_e\_a\_COP-21\_-\_Emilio\_La\_Rovere.pdf> Acesso em agosto de 2017

LAKATOS, E. M.; & MARCONI, M. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas, 2008

LEVIN, A.; LIN, C. F.; CHU, C. S. J. Unit roots tests in panel data: asymptotic finite sample properties. **Journal of Econometrics**, v. 108, p. 1-24, 2002. https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7

LUCENA, A. F. P. (2005): **Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental aplicada ao uso de energia e suas implicações para as emissões de carbono no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MADDALA, G S.; WU, S. A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. **Oxford Bull. of Econ. and Stat.**, v. 61, n. S1, p. 631-652, 1999. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1468-0084.0610s1631> Acesso em março de 2018

MCCOSKEY, S; KAO C. A residual-based test of the null of cointegration in panel data, **Econometric Reviews**, 17:1, 57-84, 1998. Disponível em: < http://econwpa.repec.org/eps/em/papers/9711/9711002.pdf> Acesso em março de 2018

MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, J., BEHRENS III, W. **Limits to growth.** Nova York: Universe Books, 1972.

MONZONI, M. **Contribuições para análise da viabilidade econômica da implementação do Plano ABC e da INDC no Brasil**. GVces: São Paulo, 2016. 63 p. Disponível em: < http://hdl.handle.net/10438/18639> Acesso em agosto de 2017

MUELLER, C. C. **Os economistas e as inter-relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: NEPAMA, Universidade de Brasília, v. 5, 2004.

NØRGÅRD, J.S., PEET, J., RAGNARSDÓTTIR, K.V. The history of The Limits to Growth. **Solutions**, v. 1, n. 2, p. 59-63, 2010. Disponível em: <http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:26771/datastreams/file\_5509654/content> Acesso em outubro de 2017

PANAYOTOU, T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. **International Labour Organization**, 1993. Disponível em: <http://www.ilo.org/public/libdoc/ilo/1993/93B09\_31\_engl.pdf> Acesso em agosto de 2017

PASQUAL, J. C. E. A. Implicações e desafios para o setor energético do Brasil e México para atender às reduções de emissão de dióxido de carbono comprometidas no INDC durante a COP 21-CMP11. **Desenv. e Meio Amb.**, v. 37, 2016 http://dx.doi.org/10.5380/dma.v37i0.45129

PEDRONI, P. Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. **Oxford Bull. of Econ. and Stat**, v. 61, p. 653–670, 1999. Disponível em: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1468-0084.0610s1653> Acesso em março de 2017

\_\_\_\_\_\_. Panel Cointegration; Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the PPP Hypothesis. **Econometric Theory**, 20, 597-625, 2004. https://doi.org/10.1017/S0266466604203073

PIRES, G.N. Crescimento econômico e emissões de dioxide de carbon: a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil (1970 – 2011). **Revista Observ. de la Econ. Latinoamericana**, Brasil. 2017. Disponível em: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/17/kuznets.html> Acesso em junho de 2017.

RUPASINGHA, A. et al. The Environmental Kuznets Curve for US Counties: a Spatial Econometric Analysis with Extensions. **Papers in Regional Science**, v. 83, p. 407-424, 2004. https://doi.org/10.1007/s10110-004-0199-x

SANTOS, R. B. N. dos et al. Estimativa da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. In: Congresso da Soc. Bras. de Eco., Adm. e Soc. Rural, 46, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. Disponível em: <http://purl.umn.edu/113968> Acesso em novembro de 2017

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental Quality and Development: Is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? **Journ. of Environ. Econ. and Manag.**, v. 27, p. 147-162. New York: 1994. https://doi.org/10.1006/jeem.1994.1031

SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. Economic Growth and Environmental Quality: a time series and cross-country evidence. **Journ. of Environ. Econ. and Manag.**, v. 4, p. 1-24, New York: 1992. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/833431468739515725/pdf/multi-page.pdf> Acesso em outubro de 2017

STERN, D. I.; COMMON, M. S. Is there an environmental Kuznets curve for sulfur?. **Journal of Environ. Econ. and Manag.**, v. 41, n. 2, p. 162-178, 2001. <https://doi.org/10.1006/jeem.2000.1132>

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2017. Disponível em <http://seeg.eco.br/tabela-geral-de-emissoes/> Acesso em dezembro de 2017

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Bilateral Trade Database by Industry and End-use (BTDIxE)**. 2017. Disponível em <http://www.oecd.org/sti/ind/Estimating\_BilatFlows\_byIndEndUse.pdf>. Acesso em abril de 2018

WESTERLUND, J. Testing for error correction in panel data. **Oxford Bull. of Econ. and Stat.**, v. 69, p. 709-748, 2007. https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. Cambridge: MIT Press, 2002.

# ANEXO 1

Setores e atividades de emissão de GEE junto ao IPCC

|  |  |
| --- | --- |
| **Setor** | **Atividades** |
| Mudanças no Uso da Terra | Variação na quantidade de carbono de biomassa vegetal e do solo  Emissão de CO2 por aplicação de Calcário em solos agrícolas  Emissões de CH4 e N2O pela queima de biomassa nos solos  Remoção de CO2 pelo crescimento da vegetação |
| Agropecuária | Emissões advindas da fermentação entérica do gado, do manejo de dejetos de animais, solos agrícolas, cultivo de arroz e queima de resíduos agrícolas |
| Energia | Emissões devido à queima de combustíveis e emissões fugitivas da indústria de petróleo, gás e carvão mineral |
| Processos Industriais | Emissões resultantes dos processos produtivos da indústria e que não são resultados da queima de combustíveis  Produtos minerais, siderurgia e química  Produção e consumo de HFCs e SF6 |
| Resíduos | Emissões pela deposição de resíduos sólidos e tratamento de esgotos  Emissões por incineração de resíduos e pelo consumo humano de proteínas |

FONTE: Brasil (2014)

# ANEXO 2

Classificação SIIT: código de referência, nível de intensidade tecnológica e Setores de Atividade correspondentes

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **SITT** | **Nível de tecnologia da Industria de Transformação** | **Setores de Atividade por grupo do SH4** |
| 9000 | Não Classificado na Indústria da Transformação (N.C.I.T.) | 1. Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura 2. Indústrias extrativas 3. Eletricidade e gás 4. Produtos de outras atividades, desperdícios e não alocados |
| 1000 | Alta | 1. Produtos farmoquímicos e farmacêuticos 2. Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos 3. Aeronaves |
| 2000 | Média alta | 1. Produtos químicos 2. Máquinas, aparelhos e materiais elétricos 3. Máquinas e equipamentos N.C.O.I.¹ 4. Veículos automotores, 5. Reboques e carrocerias 6. Veículos ferroviários e Equipamentos de Transporte N.C.O.I.¹ 7. Veículos militares de Combate |
| 3000 | Média baixa | 1. Coque, produtos derivados do petróleo e biocombustíveis 2. Produtos de borracha e de material plástico 3. Produtos minerais não metálicos 4. Metalurgia e produtos de metal, exceto máquinas e Equipamentos 5. Embarcações navais |
| 4000 | Baixa | 1. Alimentos, bebidas e Tabaco 2. Têxteis, couros e Calçados 3. Madeira e seus produtos 4. Celulose, papel e Impressão 5. Móveis e outras 6. Manufaturas N.C.O.I.¹ |

¹N.C.O.I.: Não classificado em outro código ISIC

FONTE: Brasil (2017)

1. Mestrando em Economia pelo PPGE/UFU e graduado em Economia pelo IERI/UFU. E-mail: luizgustavosereno@gmail.com [↑](#footnote-ref-1)
2. Doutorando em Economia pelo PPGE/UFU, Mestre em Economia pelo PPGE/UFU, professor da faculdade ESAMC Uberlândia e gestor ambiental na SEMAD-MG. E-mail: marcelo.simoes@meioambiente.mg.gov.br [↑](#footnote-ref-2)
3. Professor Associado do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia. Bolsista de Produtividade do CNPq. E-mail: daniel.andrade@ufu.br [↑](#footnote-ref-3)
4. Ver **Anexo 1** [↑](#footnote-ref-4)
5. Os setores de Mudança no uso da terra e de Agropecuária estão fortemente relacionados já que a expansão da atividade do segundo necessita de uma maior área, portanto, maiores emissões relacionadas à queimadas, desmatamentos e tratamento de solos agrícolas com calcário. [↑](#footnote-ref-5)
6. A queima de combustíveis fósseis em atividades industrias é medida pelo setor de Energia e não pelo setor de Processos Industriais [↑](#footnote-ref-6)
7. Ver **Anexo 2** [↑](#footnote-ref-7)
8. Ver **Anexo 2** [↑](#footnote-ref-8)
9. O estado de Minas Gerais tem 24,34% da população do Sudeste ao passo que ocupa 63,43% da Região [↑](#footnote-ref-9)
10. Relacionado à abundância de terras e recursos minerais [↑](#footnote-ref-10)