

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
MESTRADO EM ECONOMIA

LUIZ GUSTAVO FERNANDES SERENO

**CRESCIMENTO ECONÔMICO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA: UMA ANÁLISE DE COINTEGRAÇÃO EM PAINEL PARA OS
ESTADOS BRASILEIROS DE 2002 A 2015**

UBERLÂNDIA-MG

2019

LUIZ GUSTAVO FERNANDES SERENO

**CRESCIMENTO ECONÔMICO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA:
UMA ANÁLISE DE COINTEGRAÇÃO EM PAINEL PARA OS ESTADOS
BRASILEIROS DE 2002 A 2015**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Economia, do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico

Orientador: Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade

UBERLÂNDIA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema
de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S483c Sereno, Luiz Gustavo Fernandes, 1992-
2019 Crescimento econômico e emissões de gases de efeito estufa [recurso eletrônico]
: uma análise de cointegração em painel para os estados brasileiros de
2002 a 2015 / Luiz Gustavo Fernandes Sereno. - 2019.

Orientador: Daniel Caixeta Andrade.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Economia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.924> Inclui
bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Economia. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Acordo de Paris. 4.
Aquecimento global - Aspectos econômicos. 5. Efeito estufa (Atmosfera)
- Aspectos econômicos. 6. Curva de Kuznets Ambiental. I. Andrade,
Daniel Caixeta, 1981-, (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

CDU: 330

LUIZ GUSTAVO FERNANDES SERENO

**CRESCIMENTO ECONÔMICO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA:
UMA ANÁLISE DE COINTEGRAÇÃO EM PAINEL PARA OS ESTADOS
BRASILEIROS DE 2002 A 2015**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Economia, do Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico

Orientador: Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade

BANCA EXAMINADORA:

Uberlândia, 08 de fevereiro de 2019

Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade
(Orientador – IERI/UFU)

Prof. Dr. Carlos César Santejo Saiani
(Examinador – IERI/UFU)

Prof. Dr. José Eustáquio Diniz Alves
(Examinador – ENCE/IBGE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida. A meus pais, gigantes em cujos ombros pude me apoiar para deslumbrar e sonhar com um mundo que, sem eles, jamais poderia enxergar. A minha namorada Samantha pela segurança e convicção na minha capacidade, pela compreensão nos momentos mais difíceis e pelos incentivos nos mais desanimadores.

A meus companheiros do mestrado e doutorado, em especial Anderson, Cris, Kayo, Marcelo, Matchuca, Mateus Baby, Mozart Moção, Welber Grande (saudades Niterói) e Welber Pequeno (saudades Barra da Tijuca); pelas ideias, churrascos e infindáveis horas de estudo juntos. Aos inseparáveis amigos furiosos: Alvarão, Bibi, Brock, Doug e Xandão; pela amizade longa e duradoura que resiste à barreira do tempo e do espaço. Aos amigos que a Ciência Econômica me proporcionou: Dora, Iago, Iana, Frota, Mau Mau, Lud e Negão; pelos incentivos, conselhos e a oportunidade de caminharmos juntos. Aos meus amigos Diogo e Adriano; por serem meus irmãos de outra mãe e refúgio nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Daniel pela confiança, por possibilitar que eu ampliasse minhas perspectivas humana e acadêmica e por me assistir com primazia no início de uma jornada que outrora era apenas um sonho distante. A todos os demais docentes, técnicos e amigos do Programa de Pós-Graduação do IERI, em especial: Ana Paula, Camila, Flávio, Niemeyer e Saiani.

Agradeço também à CAPES, pela bolsa de estudos e ao Programa de Pós Graduação em Economia do IERI pelo ambiente de excelência acadêmica. Ao Observatório do Clima pelos esforços para a elaboração ímpar do Sistemas de Estimativas de Gases de Efeitos Estufa e ao Sci-Hub por providenciar acesso livre à artigos acadêmicos. Agradeço, por fim, à paciência dos seguranças patrimoniais da UFU que, por inúmeras vezes, abriram o Bloco J para que eu saísse após o horário de fechamento.

*Sentar a Pua é lançar-se contra o inimigo com decisão,
golpe de vista e vontade de aniquilá-lo.
Quem vai sentar a púa não tergiversa.
Arremete de ferro em brasa e verruma o bruto
Austragésilo de Athayde*

RESUMO

A presente dissertação tem por objetivo traçar o perfil regional das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa (GEE) no período entre os anos de 2002 e 2015. Além disso, também verifica se a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) se aplica no longo prazo para a realidade brasileira através da metodologia de estimação de vetores de cointegração de longo prazo por Mínimos Quadrados Totalmente Modificados (FMOLS) e Mínimos Quadrados Dinâmicos (DOLS). A análise descritiva indica forte heterogeneidade para as emissões regionais brasileiras: enquanto as regiões Norte e Nordeste têm suas emissões preponderantemente ligadas à atividade agropecuária, desmatamento e desflorestamento, as regiões Sul, Nordeste e Sudeste apresentam também emissões relacionadas ao consumo e geração de energia. Em geral, nota-se forte preponderância das emissões de Mudanças no uso da terra, o que indica a necessidade de fortalecimento da legislação ambiental e intensificação tecnológica da produção nacional. Já o resultado empírico não encontrou indícios de uma CKA para os estados brasileiros no período. Antes, tanto para a estimação dos vetores de elasticidade quanto para de semi-elasticidade, verifica-se a existência de uma curva em formato de “N” para a relação entre emissões de GEE per capita e renda per capita. Portanto, os resultados trazem que não há expectativa, no Brasil, de que o crescimento econômico, por si só, implique em melhorias ambientais.

Palavras Chave: Curva de Kuznets Ambiental; Desenvolvimento Sustentável; Acordo de Paris

ABSTRACT

The objective of this dissertation is to outline the regional profile of Brazilian Greenhouse Gas Emissions (GHG) between 2002 and 2015. It also checks if the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis applies to the term methodology for estimating long-term cointegration vectors by Fully Modified Least Squares (FMOLS) and Dynamic Least Squares (DOLS). The descriptive analysis indicates a strong heterogeneity for Brazilian regional emissions: while the North and Northeast regions have their emissions predominantly linked to agricultural activity and deforestation, the South, Northeast and Southeast regions also have emissions related to consumption and generation of energy. In general, there is a strong preponderance of emissions from land use changes, which indicates the need to strengthen environmental legislation and intensify the technological complexity national production. The empirical results did not find evidence of a ECK for the Brazilian states in the period. Before, both for the estimation of the elasticity and semi-elasticity vectors, there is an "N" -shaped curve for the relation between per capita GHG emissions and per capita income. Therefore, the results show that there is no expectation in Brazil that economic growth, by itself, implies environmental significant improvements.

Key-Words: Environmental Kuznets Curve; Sustainable Development; Paris Agreement

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Emissões globais de CO ₂ (10 ⁹ t) pela queima de combustível fóssil, produção de cimento e queima de gás, 1751 – 2014.....	21
Gráfico 2 – Emissões absolutas de GEE por setor de emissão (10 ⁹ tCO ₂ e), Brasil, 2002 – 2015	47
Gráfico 3 – Composição das emissões de GEE, Brasil, 2002 e 2015	49
Gráfico 4– Evolução das Emissões (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de atividade, Brasil, 2002 - 2015 ...	51
Gráfico 5 – Emissões absolutas de GEE (10 ⁹ tCO ₂ e) por setor de emissão, Norte, 2002 – 2015	52
Gráfico 6 – Composição das emissões de GEE, Norte, 2002 e 2015.....	54
Gráfico 7 – Evolução das Emissões (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de atividade, Norte, 2002 - 2015...	54
Gráfico 8 – Emissões absolutas de GEE (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de emissão, Nordeste, 2002 – 2015	56
Gráfico 9 – Composição das emissões de GEE, Nordeste, 2002 e 2015	58
Gráfico 10 – Evolução das Emissões (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de atividade, Nordeste, 2002 - 2015	59
Gráfico 11 – Emissões absolutas de GEE (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de emissão, Sudeste, 2002 – 2015	60
Gráfico 12 – Composição das emissões de GEE, Sudeste, 2002 e 2015	62
Gráfico 13 – Evolução das Emissões (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de atividade, Sudeste, 2002 a 2015	64
Gráfico 14 – Emissões absolutas de GEE (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de emissão, Sul, 2002 – 2015	65
Gráfico 15 – Composição das emissões de GEE, Sul, 2002 e 2015.....	67
Gráfico 16 – Evolução das Emissões (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de atividade, Sul, 2002 - 2015	67
Gráfico 17 - Emissões absolutas de GEE (10 ⁹ tCO ₂ e) por setor de emissão, Centro-Oeste, 2002 – 2015	68
Gráfico 18 – Composição das emissões de GEE, Centro-Oeste, 2002 e 2015.....	70
Gráfico 19 – Evolução das Emissões (10 ⁶ tCO ₂ e) por setor de atividade, Centro-Oeste, 2002 - 2015	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes do Forçamento Radioativo médio global (W/m^{-2}), 2005 (em referência a 1750)	20
Figura 2 – Concentração atmosférica Global média de Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) e Óxido Nitroso (N_2O), 1750 – 2011	22
Figura 3 – Relação entre a concentração de CO_2 na atmosfera (ppm) e a Temperatura média do ar ($^{\circ}C$), últimos 720 mil anos	23
Figura 4 – Anormalidade na alteração da temperatura global ($^{\circ}C$), da superfície global, terrestre e dos oceanos, 1900 - 2000.....	23
Figura 5 – Representação gráfica da CKA	34
Figura 6 – Log da Renda per capita e Índice composto de regulação de poluição atmosférica para 31 países participantes da ECO-92, 1990	42
Figura 7 – Emissões de GEE ($10^6 tCO_2e$), regiões do Brasil, 2002 e 2015	48
Figura 8 – Emissões de GEE ($10^6 tCO_2e$), estados da Região Norte, 2002 e 2015.....	53
Figura 9 – Emissões de GEE ($10^6 tCO_2e$), estados da Região Nordeste, 2002 e 2015	57
Figura 10 – Emissões de GEE ($10^6 tCO_2e$), estados da Região Sudeste, 2002 e 2015	61
Figura 11 – Emissões de GEE ($10^6 tCO_2e$), estados da Região Sul, 2002 e 2015	66
Figura 12 – Emissões de GEE ($10^6 tCO_2e$), estados da Região Centro-Oeste, 2002 e 2015 ...	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação relativa das emissões de GEE (%) no Brasil e regiões brasileiras por setor de atividade, 2015	72
Tabela 2 – Taxas de variação acumuladas (%) das emissões de GEE no Brasil e Regiões brasileiras por setor de atividade, 2002 - 2015	73
Tabela 3 – Participação relativa das emissões de GEE brasileiras (%) do Brasil	73
Tabela 4 – Resumo das variáveis do modelo	77
Tabela 5 – Testes de Raiz Unitária	84
Tabela 6 – Testes de Cointegração	86
Tabela 7 – Vetores de cointegração de longo prazo da semi-elasticidade	87
Tabela 8 – Vetores de cointegração de longo prazo da semi-elasticidade com variável de renda cúbica	89
Tabela 9 – Vetores de cointegração de longo prazo da elasticidade	90
Tabela 10 – Vetores de cointegração de longo prazo da elasticidade com variável de renda cúbica	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo de revisão bibliográfica sobre a CKA	36
Quadro 2 - Grupos de variáveis para os testes de cointegração	85

LISTA DE ABREVIATURAS

ADF	Augmented Dickey-Fuller
AIC	Critério de Informação de Akaike
ANA	Agência Nacional das Águas
AR	Coeficiente auto regressivo
AR4	Quarto Relatório de Avaliação do IPCC
AR5	Quinto Sexto Relatório de Avaliação do IPCC
AR6	Sexto Relatório de Avaliação do IPCC
ARDL	Modelos Autorregressivos de Defasagens Distribuídas
CEPAL	Comissão Econômica para América Latina e o Caribe
CKA	Curva de Kuznets Ambiental
COP	Conferência das Partes
DA	Degradação Ambiental
DAEX	Departamento de Estatística e Apoio as Exportações
DOLS	Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos
ECO-92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
FAR	Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC
FC	Forçamento Climático
FE	Efeitos Fixos
FMOLS	Mínimos Quadrados Ordinários Totalmente Modificados
FOB	<i>Free On Board</i>
FR	Forçamento Radioativo
GARCH	Heterocedasticidade condicional Autorregressiva Generalizado
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEMS	Sistema de Monitoramento Global do Meio Ambiente
GMM	Método dos Momentos Generalizados
GTP	Potencial de Mudança de Temperatura Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
iLPF	sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Florestas
iNDC	Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada
INPE s	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPS	Teste de Raiz unitária de Im, Pesaran e Shin

ISIC	International Standart Industrial Classification
LLC	Teste de Raiz Unitária de Levin, Lin e Chu
LOG	Logarítmo Natural
MCRL	Modelo Clássico de Regressão Linear
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
OC	Observatório do Clima
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OLS	Mínimos Quadrados Ordinários
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNMC	Política Nacional sobre Mudanças no Clima
PP	Philips-Perron
PPB	Partes por bilhão
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal
PPCerrado	Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado
PPM	Partes por milhão
PQ	Protocolo de Quioto
RE	Efeitos Aleatórios
RU	Raiz Unitária
SAR	Segundo Relatório de Avaliação do IPCC
SCR	Sistema de Contas Regionais
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SH	Sistema Harmonizado
SIIT	Setores da Indústria por Intensidade Tecnológica
SNA	Sistema de Contas Anuais
SPM	Material Particulado Suspenso no Ar
TAR	Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
VEC	Vetor de Correção de Erros
WCDE	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
WDI	World Development Indicators

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Efeito Estufa, GEE e Mudanças Climáticas.....	19
2.1.1 Implicações das Mudanças Climáticas.....	24
2.1.2 Institucionalidade das mudanças climáticas.....	26
2.2 Curva de Kuznets Ambiental	31
2.2.1 Revisão Teórica.....	31
2.2.2 Revisão Empírica	36
2.2.3 Críticas à Hipótese da CKA	41
3. PERFIL REGIONAL DAS EMISSÕES DE GEE NO BRASIL (2002 – 2015).....	46
3.1 Emissões de GEE no Brasil: 2002 a 2015.....	47
3.2 Região Norte	51
3.3 Região Nordeste	56
3.4 Região Sudeste	60
3.5 Região Sul	65
3.6 Região Centro-Oeste	68
3.7 Síntese	72
4. METODOLOGIA	75
4.1 Considerações iniciais.....	75
4.2 Dados e variáveis	77
4.3 Cointegração (FMOLS E DOLS).....	79
4.4 Testes de RU e Cointegração	81
4.4.1 Testes de raiz unitária em painel	81
4.4.2 Testes de Cointegração.....	81
4.5 Descrição dos modelos.....	82
5. RESULTADOS	84

5.1 Testes de Raiz Unitária	84
5.2 Testes de Cointegração	85
5.3 Modelos.....	86
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXO A - SETORES E ATIVIDADES DE EMISSÃO DE GEE JUNTO AO IPCC.....	109
ANEXO B – SIIT: INTENSIDADE TECNOLÓGICA E SETORES DE ATIVIDADE.....	110

1. INTRODUÇÃO

A problemática ambiental tem sido amplamente disseminada nos meios acadêmicos, políticos e empresariais desde a década de 1970. O aumento da poluição dos grandes centros urbanos em função do intenso crescimento econômico do pós II Guerra e o crescente temor pela escassez dos recursos naturais com as crises do petróleo, somados às perspectivas catastróficas do primeiro modelo de previsão ambiental (MEADOWS et al., 1972; NØRGÅRD et al., 2010), conduziram a um contexto global de apreensão quanto à continuidade do status quo do crescimento capitalista. Com destaque para a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), de iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU), instituições globais surgiram para discutir as deficiências ambientais do modelo de produção capitalista e assegurar as condições de desenvolvimento necessárias para as próximas gerações, conceito que ficou conhecido como Desenvolvimento Sustentável (WCDE, 1987).

Ainda que na época a ortodoxia econômica relutasse em incorporar os conceitos ecológicos que limitavam a capacidade de expansão do sistema econômico propostos por Georgescu-Roegen (1971), como apontam Cechin e Veiga (2010), o debate ambiental tomou proporções que tornavam inviável desconsiderá-lo. A partir dos anos 1990, então, o meio ambiente passou a ser inserido como variável de interesse em estudos econômicos.

Dentre os estudiosos da relação entre meio ambiente e 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” invertido¹.

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

¹ A CKA se baseia na Curva de Kuznets (1955) que, originalmente, versa sobre a relação entre desigualdade de renda e crescimento econômico.

conhecido como gás carbônico. Tal fato se justifica pela sua atuação como Gás de Efeito Estufa (GEE) e, conseqüentemente, sua importância no equilíbrio energético terrestre.

O Brasil se insere internacionalmente no debate acerca da redução do nível de emissões de GEE sediando a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Eco-92) em 1992, como participante voluntário do Protocolo de Kyoto (1997) e, mais recente, como assinante do Acordo de Paris (2015), para o qual o país apresentou metas de redução das emissões de GEE precisamente estabelecidas (BRASIL, 2015). Nesse contexto, o Brasil assumiu papel de liderança global durante a década de 2000 (EULER, 2016). Todavia, no período mais recente o país vem enfrentando dificuldades em manter a tendência de contração nas emissões e, portanto, as metas estabelecidas no Acordo de Paris se encontram em risco (ROCHEDO et al., 2018).

Dada a dimensão continental do país, bem como suas características regionais díspares, acredita-se aqui que um plano nacional para mitigação das emissões de GEE deve incorporar os diferentes padrões de emissões de cada região. Ademais, o trabalho também conjectura que a hipótese da CKA – de que o crescimento econômico por si só resolva as questões ambientais – corroborada ou rejeitada, não deve ser um parâmetro exclusivo para subsidiar a elaboração de políticas ambientais que visam à redução das emissões brasileiras. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é ao mesmo tempo investigar as particularidades regionais das emissões de GEE bem como testar a validade da hipótese da CKA no longo prazo para os estados brasileiros.

Tenciona-se, em primeiro lugar, realizar uma investigação acerca dos comportamentos das emissões de GEE – desagregadas em setores de emissão – para cada região brasileira entre os anos de 2002 e 2015. Tal análise incorpora a relação das emissões com as atividades econômicas de destaque, a intensidade tecnológica da produção voltada à exportação e o desempenho da economia global. Assim, a comparação entre os padrões de emissões encontrados permite verificar tanto a existência quanto a proporção das disparidades regionais.

Além disso, pretende-se discutir com a extensa literatura empírica da CKA, adicionando fatores relevantes para a explicação das emissões em regiões de países não desenvolvidos. Dessa forma, para o teste empírico da CKA que é proposto para os estados do Brasil, são adicionadas a intensidade tecnológica das exportações e a renda do restante do mundo como variáveis explicativas relevantes. Sendo exequível, assim, o delineamento das diferenças estruturais das emissões dos estados brasileiros em relação a outros trabalhos da literatura da CKA.

Para cumprir os objetivos apresentados, o trabalho conta com quatro capítulos além desta introdução. No segundo capítulo é realizado um esforço de contextualização acerca das Mudanças Climáticas, bem como um breve histórico das ações globais em torno do tema. Além disso, apresentam-se a fundamentação teórica da CKA e a revisão empírica de trabalhos anteriores. Estão expressas, ainda, as críticas e avanços metodológicos que a literatura registra acerca da hipótese da CKA.

A análise do perfil das emissões de GEE para cada região brasileira –e do país como um todo - entre os anos de 2002 e 2015 é realizada no terceiro capítulo. Os aspectos metodológicos relativos aos modelos econométricos para as emissões de GEE dos estados brasileiros estão expostos no quarto capítulo. No quinto capítulo são apresentados e discutidos os resultados das estimações, bem como os resultados são correlacionados com a apreciação descritiva anterior. Por fim, no quinto Capítulo são feitas as considerações finais, nas quais se pretende apontar para diretrizes importantes para a redução das emissões de GEE no Brasil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Efeito Estufa, GEE e Mudanças Climáticas

Para analisar a relação entre crescimento econômico e meio ambiente – no que diz respeito às emissões de GEE – é necessário compreender as conexões entre as emissões de GEE com o fenômeno das mudanças climáticas. Para tanto, é fundamental entender o que caracteriza o efeito estufa e como ele é alterado pelas ações humanas.

O efeito estufa pode ser definido como um fenômeno natural pelo qual “uma parte da irradiância solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera. Como consequência disso, o calor fica retido, não sendo liberado ao espaço” (ALMEIDA, 2016, p. 35). Ou seja, os gases aparentemente invisíveis para a radiação solar que compõem a atmosfera ao mesmo tempo refletem parte da radiação ultravioleta recebida pelo sol como também refletem parte da radiação infravermelha que é irradiada pela superfície terrestre em um fenômeno que é denominado por aprisionamento do infravermelho (XAVIER; KERR, 2004).

Este processo é responsável por estabelecer um equilíbrio energético por meio dos fluxos constantes de energia que a Terra absorve e irradia. Tal equilíbrio é condição necessária à vida como conhecemos, já que conserva a temperatura média terrestre em torno de 15°C contra -19°C, que é a temperatura média estimada para um corpo que irradiasse a mesma quantidade de energia que a Terra (ALMEIDA, 2016). Os principais gases responsáveis por esse fenômeno são o “metano (CH₄), dióxidos de nitrogênio (NO₂) e de carbono (CO₂) e os três gases flúor (HFC, PFC, SF₆), associados ao vapor d’água (H₂O)”(ALMEIDA, 2016, p. 36).

Qualquer perturbação nesse equilíbrio natural causa um efeito chamado Forçamento Climático (FC). De acordo com Hansen et al. (2011), tais perturbações podem ser naturais, como alterações na irradiação solar ou erupções vulcânicas que lançam aerossóis² na Estratosfera. Além disso, os autores também elencam as emissões de GEE, aerossóis Troposféricos e nas camadas mais baixas da atmosfera como efeitos advindos da atividade humana - ou antropogênicos – que causam o forçamento climático.

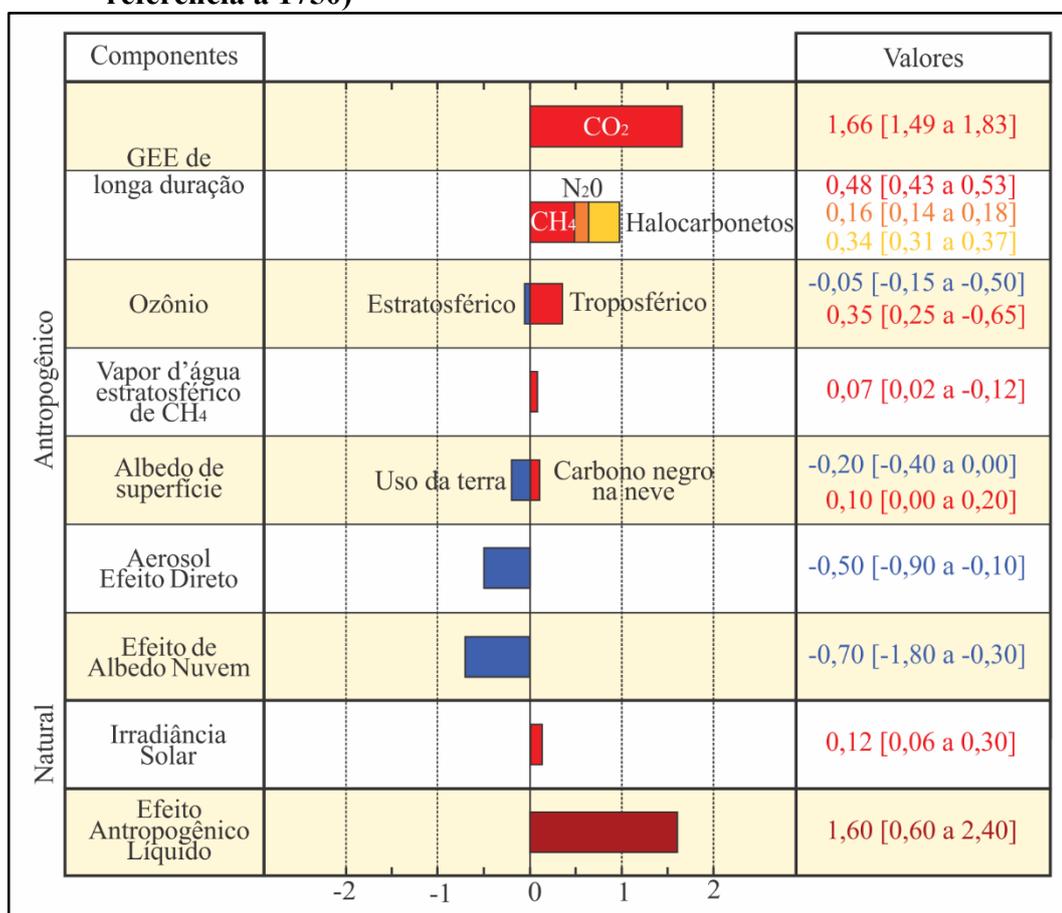
O Forçamento Climático é medido por meio de alterações no Forçamento Radiativo (FR) dado em relação ao FR natural de 1750. Dessa forma, é possível mensurar os efeitos dos componentes naturais e antropogênicos no Forçamento Climático total da Terra. Ressalta-se

² Hansen et al. (2011) definem aerossóis como nuvens de partículas suspensas no ar que, dependendo da altitude, podem agir como gases de efeito estufa ou, mais comumente, como refletores da irradiância solar.

que o FR pode ser positivo – como no caso dos GEE – e também negativo como para os efeitos diretos e indiretos dos aerossóis que aumentam a reflexão da radiação ultravioleta solar, diminuindo, portanto, a absorção da superfície terrestre.

Na Figura 1 é possível observar como as atividades humanas têm impactado substancialmente o FR desde a Revolução Industrial. Enquanto o único componente relevante natural do FR foram alterações na irradiação solar, a ação antropogênica é representada principalmente pelos GEE de longa duração como o CO₂, CH₄, N₂O e os Halocarbonetos; o Ozônio troposférico e estratosférico; o vapor d'água estratosférico do metano, alterações no albedo³ de superfície e os aerossóis.

Figura 1 – Componentes do Forçamento Radioativo médio global (W/m²), 2005 (em referência a 1750)



Fonte: Adaptado de IPCC (2014)

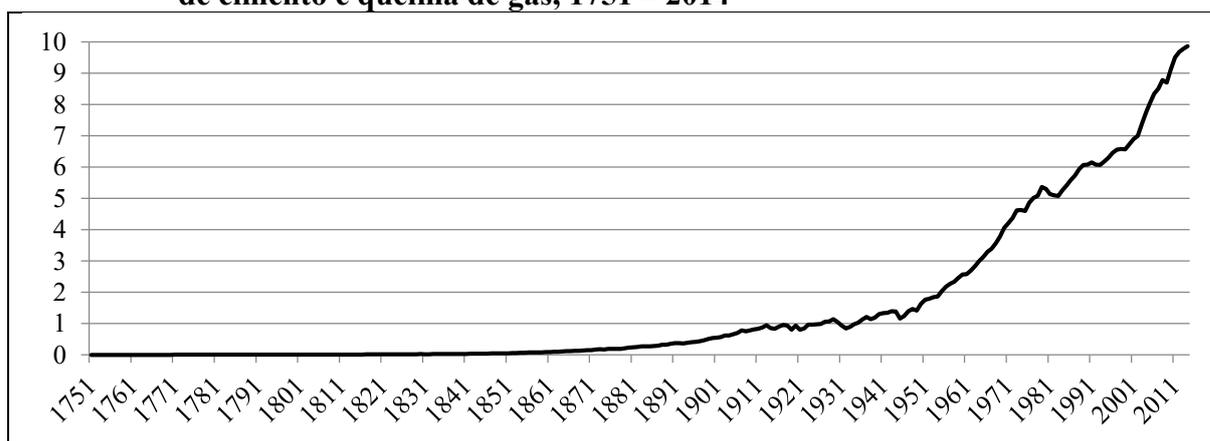
³ Albedo: coeficiente de reflexão de uma superfície, ou seja, a relação entre a quantidade de luz refletida a partir de determinada superfície sobre a quantidade de energia que incide sobre a mesma. Quanto menor o albedo – que varia entre 0 e 1 – de uma superfície, maior sua absorção de energia, logo, quanto menor o albedo de uma superfície, maior será seu potencial de aquecimento (SILVA, 2015, p. 36).

Como citado anteriormente, os efeitos antropogênicos não são necessariamente no sentido de um forçamento positivo: o efeito dos aerossóis, tanto no direto como no do albedo das nuvens, bem como o albedo de superfície contribuem para o forçamento radioativo negativo. Contudo, constata-se que o efeito antropogênico líquido no FR é da ordem de treze vezes superior ao efeito natural. A partir disto, espera-se que um desbalanceamento energético causado, sobretudo, pela variação anormal dos GEE, resulte em um FR positivo e, conseqüentemente, alterações positivas na temperatura média global. Nesse sentido, espera-se que o impacto antropogênico no FR esteja relacionado com as emissões de GEE considerando que

[...]a contribuição humana para o aquecimento global é indiscutível e, portanto, pelo menos a curto prazo (dentro de uma perspectiva geológica), influencia a dinâmica do sistema climático, com conseqüências ainda não totalmente esclarecidas (TANIMOTO; PEREIRA LINDOSO; DEBORTOLI, 2008, p. 15)

Observa-se no Gráfico 1 uma significativa alteração nos níveis de emissão dióxido de carbono após o início do período industrial, sobretudo a partir de meados do século XX. Percebe-se também determinada associação com a atividade humana dado que os principais momentos de queda nas emissões estão relacionados à Grande Depressão (1929-1931), à Segunda Guerra Mundial (1943-1945) e ao Segundo Choque do Petróleo (1978-1981).

Gráfico 1 – Emissões globais de CO₂ (10⁹t) pela queima de combustível fóssil, produção de cimento e queima de gás, 1751 – 2014



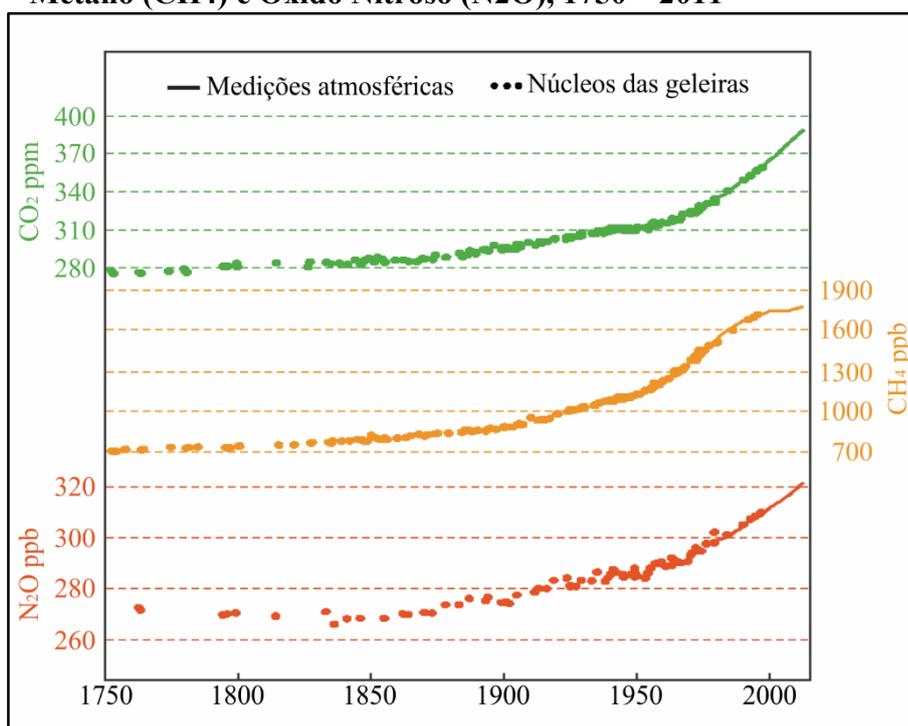
Fonte: Elaboração própria a partir de dados da CDIAC (2017)

Destaca-se que o aumento das emissões não seria, por si, o problema. Entretanto, o aumento do fluxo de emissões implica também no crescimento da concentração – ou estoque – dos gases na atmosfera, dado o limite da capacidade de absorção natural ecossistêmica. De acordo com os relatórios *Second Assessment Report (SAR)* (IPCC, 1995) e *Fifth Assessment Report (AR5)* (IPCC, 2014), as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O cresceram

consideravelmente no período pós-revolução industrial (a partir de 1750). Entre 1750 e 2011 as concentrações de CO₂ passaram de cerca de 280 partes por milhão (ppm) para 392 ppm, as concentrações de CH₄ foram de 700 partes por bilhão (ppb) para 1750 ppb e as concentrações de N₂O de cerca de 275 ppb para aproximadamente 330 ppb, o que equivalem a aumentos de 40%,150% e 20% respectivamente (IPCC, 2014).

Além disso, como pode ser verificado na Figura 2, a expansão das concentrações tem se acentuado desde meados do século XX para CO₂ e N₂O, com notável crescimento para o dióxido de carbono durante a primeira década do século XXI (IPCC, 2014). A concentração de CH₄, por sua vez, após uma inédita estabilização a partir de meados dos anos 1990, voltou a apresentar trajetória de crescimento após 2007 (IPCC, 2014). Acrescenta-se, que de acordo com de Souza Júnior et al. (2016), o aumento das emissões de CH₄ nesse período está relacionado ao degelo do *permafrost*⁴ do Ártico (DE SOUZA JÚNIOR et al., 2016).

Figura 2 – Concentração atmosférica Global média de Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) e Óxido Nitroso (N₂O), 1750 – 2011



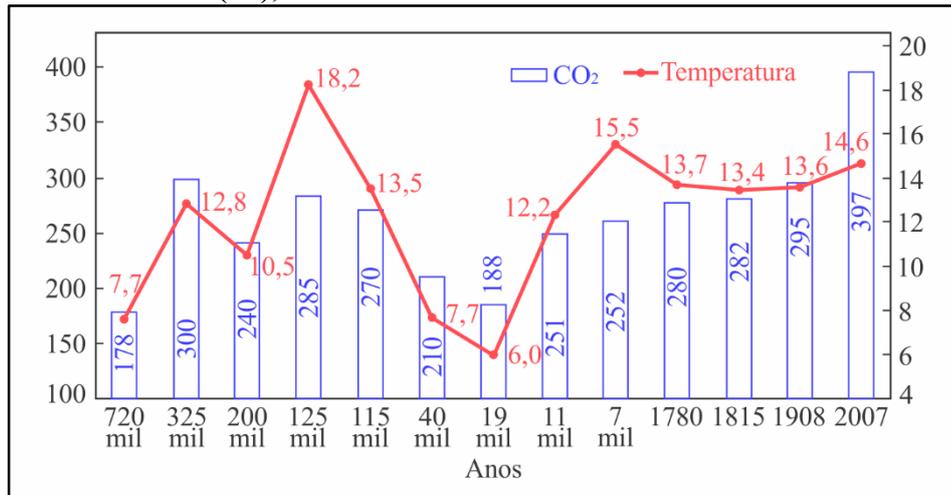
Fonte: Adaptado de IPCC (2014)

Estabelecida a relação entre a emissão e o aumento das concentrações atmosféricas de GEE, é necessário compreender quais possíveis efeitos dessas alterações para o clima, levando

⁴ *Permafrost* é “o solo permanentemente congelado, ou seja, para receber esse nome o solo deve permanecer com temperatura de 0°C ou inferior por dois anos seguidos” (DE SOUZA JÚNIOR et al., 2016, p. 1144).

em consideração que “construir um modelo para as mudanças climáticas compreende, portanto, o conhecimento total do tempo e do comportamento atmosférico por um período longo nas diversas regiões do planeta” (XAVIER; KERR, 2004, p. 328). na Figura 3 nota-se a evidente correlação entre a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e a temperatura média global nos últimos 720 mil anos.

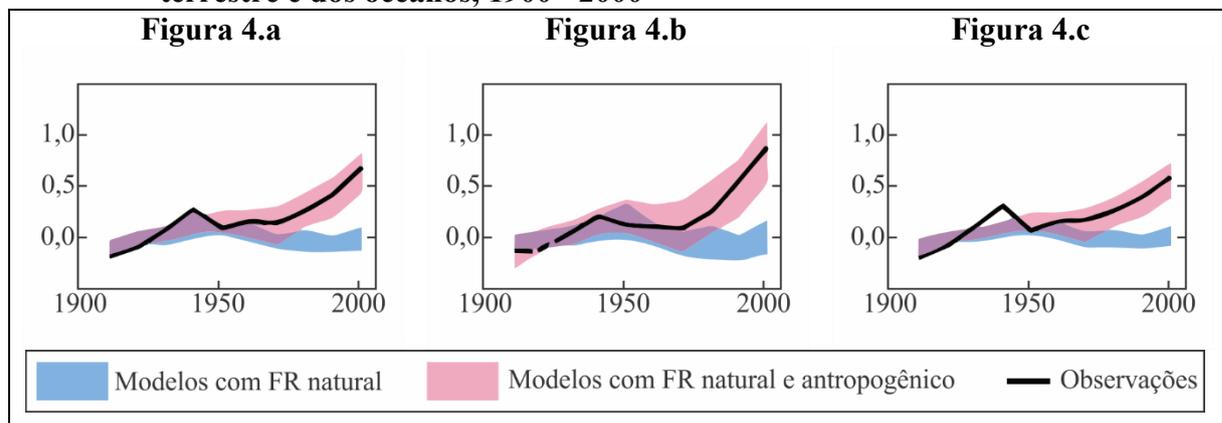
Figura 3 – Relação entre a concentração de CO₂ na atmosfera (ppm) e a Temperatura média do ar (°C), últimos 720 mil anos



Fonte: Adaptado de Almeida (2016)

O resultado, como pode ser verificado na Figura 4, é um comportamento anormal do aquecimento da temperatura global, da superfície terrestre e dos oceanos. De acordo com o Quarto Relatório do IPCC (IPCC, 2007), ao longo do século XX esperava-se que o aumento médio da temperatura global fosse próximo a zero baseando-se na modelagem que leva em consideração somente o FR natural. Entretanto, as observações diferem do esperado.

Figura 4 – Anormalidade na alteração da temperatura global (°C), da superfície global, terrestre e dos oceanos, 1900 - 2000



Fonte: Adaptado de IPCC (2007)

Já na modelagem que inclui também os elementos de FR antropogênicos percebe-se uma forte correlação com os dados observados, sobretudo na segunda metade do século XX. Ressalta-se ainda que a diferença foi mais abrupta – de quase 1°C – a partir de meados dos anos 1970 e na temperatura terrestre.

2.1.1 Implicações das Mudanças Climáticas

As alterações anormais na temperatura – isoladamente – não representam em sua totalidade todos os efeitos do que ficou conhecido como Mudanças Climáticas. De acordo com o AR5 do IPCC (2014), o aquecimento do sistema climático global que o mundo vem experimentando é um acontecimento sem precedentes em milhões de anos. Aqui se incluem o aquecimento da atmosfera, dos oceanos, a diminuição das áreas cobertas por gelo e neve e a elevação dos níveis dos oceanos.

O relatório cita ainda que os 30 anos compreendidos entre 1983 e 2012 foram os mais quentes dos últimos 800 anos no hemisfério norte⁵. Além disso, há certo grau de confiança de que a Troposfera se aqueceu enquanto a parte inferior da Estratosfera se resfriou desde meados do século XX. Essa alteração vertical na estrutura inferior da atmosfera influencia diretamente na precipitação: O AR5 descreve alterações na precipitação global média a partir de 1901 com baixo grau de confiança e a partir de 1951 com médio grau de confiança (IPCC, 2014).

O aquecimento dos oceanos também é um fato preocupante, evidenciando um maior aquecimento próximo à superfície. Nos 75 metros mais próximos à superfície, os oceanos aqueceram em média 0,11°C (0,08 – 0,13) por década entre 1971 e 2010. É certo que a camada superior (dos 700 metros mais próximos da superfície) se aqueceram no período. Além disso, é muito provável que a camada mais profunda dos oceanos vem se esquentando desde 1992 (IPCC, 2014).

Entre 1901 e 2010, o nível médio global dos oceanos aumentou em 0,19 metros (0,17 – 0,21), o que representa uma taxa de aumento sem precedência em dois milhões de anos (IPCC, 2014). O relatório aponta que, pelo menos 75% desse aumento estão relacionados à perda de massa glacial e expansão do oceano devido ao seu aquecimento. Destaca-se que o aumento no nível do mar varia entre as regiões do globo: a área do Pacífico Oeste, por exemplo, observou elevações da ordem de três vezes superiores à média global. Marengo (2006) ressalta que os efeitos do aumento do nível do mar também serão gravemente sentidos pela costa brasileira.

⁵ Região para a qual os dados estão disponíveis com um alto grau de confiabilidade.

Segundo o autor, “construções à beira-mar poderão desaparecer, portos poderão ser destruídos e populações teriam que ser remanejadas. [Além de que] Sistemas precários de esgoto entrarão em colapso” (MARENGO, 2006, p. 136).

Existem dados confiáveis que apontam que várias espécies terrestres, de água doce e salgada têm alterado suas regiões geográficas, atividades sazonais, padrões de migração, abundância e interações entre espécies em respostas às mudanças climáticas (IPCC, 2014). Além disso, os desastres ambientais têm aumentado em frequência e grandeza. Só no ano de 2005 os desastres ambientais “responderam pela morte de 350 mil pessoas e prejuízos de US\$200 bilhões [...]. Este foi o ano de maior número de tempestades tropicais (26, quebrando o recorde de 23, em 1933), de furacões (14, antes 12, em 1969)” (MARENGO, 2006, p. 135). Além disso, “A Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que as mudanças climáticas podem provocar até 150 mil mortes todos os anos e ao menos cinco milhões de casos de doenças” (MARENGO, 2006, p. 135).

Os efeitos das Mudanças Climáticas relacionados aos desastres ambientais são, ainda, superiores para populações em situação de vulnerabilidade social e espacial. Myers, Slack e Singelmann (2008) demonstraram uma relação entre migração pós-desastre e desigualdade social a partir de evidências empíricas de que populações em estado de vulnerabilidade social estiveram em situação de desvantagem na moldagem da migração após os furacões Katrina e Rita em 2005. Em relação ao Brasil, Marengo (2006) aponta o aumento da probabilidade de que a costa seja atingida por novos furacões.

Além disso, é preciso apontar para efeitos em cadeia das mudanças climáticas como o aquecimento da superfície que causa: a) alterações nas estações - como o pico da primavera mais cedo no hemisfério norte e; b) o aumento no escoamento de rios provenientes de geleiras que resulta em mudanças no padrão de descarga de sólidos dos rios. Existem, ainda, evidências de alterações significativas para a atividade de pesca devido à queda na abundância de espécies e aumento na quantidade de espécies não pescáveis relacionadas ao aquecimento dos oceanos (IPCC, 2014).

Além disso, prevê-se o aumento da mortalidade das árvores e diminuição na densidade arbórea devido ao aumento da infestação de pestes e da diminuição da umidade do solo, também derivados do aquecimento da atmosfera e das mudanças nas precipitações (IPCC, 2014). Quando se consideram regiões vulneráveis- como os países da África sub-saariana, da Ásia e da América do Sul - as alterações no clima estão associadas, ainda ao aumento das doenças tropicais infecciosas como a Malária, Dengue e Disenteria em regiões (MARENGO, 2006). Weihs, Sayago e Tourrand (2017, p. 333) apontam que regiões que experimentaram uma

urbanização tardia, como a região amazônica, “mantêm algumas doenças da pobreza, enquanto aumenta a incidência de doenças crônico-degenerativas”.

Assim como os efeitos dos desastres ambientais e da proliferação de doenças, os efeitos das variações nas precipitações são mais impactantes para as populações socialmente vulneráveis, sobretudo, nas áreas urbanas. Em grandes cidades e regiões metropolitanas, Marengo (2006, p. 137) indica que as alterações têm implicado em “[...]mais inundações, enchentes e desmoronamentos em áreas principalmente nas encostas de morro” enquanto para todas as regiões urbanas, em geral, a tendência é que “ As chuvas cada vez mais intensas poderiam castigar as cidades, com grande impacto social nos bairros mais pobres” (MARENGO, 2006, p. 137).

Se, por um lado, o aumento da pluviosidade nas áreas urbanas traz consigo sérias consequências sociais, os efeitos para a produção agrícola não são melhores. Marengo (2006, p. 136) alerta que “Ainda que a chuva tendesse a aumentar no futuro, as elevadas temperaturas do ar simuladas pelos modelos poderiam, de alguma forma, comprometer a disponibilidade de água para agricultura [...] devido a um acréscimo previsto na evaporação ou evapotranspiração”. Além da irrigação, disponibilidade hídrica para a geração de energia, abastecimento urbano e utilização industrial ficaria seriamente comprometida (ANA, 2016).

Para o Brasil, especificamente, é preciso considerar o aumento no risco de incêndios florestais na área amazônica pelo aumento na secura do ar dada a diminuição do nível dos rios (MARENGO, 2006). Além de mudanças no atual eixo de produção “A produção de grãos poderá ficar inviabilizada na região Sul do Brasil com o aumento da temperatura, secas mais frequentes e chuvas restritas a eventos extremos de curta duração” (MARENGO, 2006, p. 137) e que “ Culturas perenes, como a laranja, tendem a procurar regiões com temperaturas máximas mais amenas e a produção poderá se deslocar para o Sul”(MARENGO, 2006, p. 137), além de que “ Elevadas temperaturas de verão vão condicionar o deslocamento das culturas como arroz, feijão, soja para a região Centro-Oeste [...]” (MARENGO, 2006, p. 137).

2.1.2 Institucionalidade das mudanças climáticas

A relação entre a atividade humana, a ampliação das emissões de GEE – e o consequente aumento de sua concentração na atmosfera – e as mudanças climáticas advindas do processo de desbalanceamento energético têm sido amplamente difundida não só no meio científico como também no meio popular. De acordo com o SAR (IPCC, 1995) isso se deve, sobretudo, a dois fatores. O primeiro é dado pelo fato de que atividades humanas – como a

queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra e agricultura – estão contribuindo para o aumento da concentração de GEE; o segundo diz respeito ao fato de que determinadas regiões se tornaram mais vulneráveis a eventos como tormentas, inundações e secas, com o adicional aumento da densidade populacional.

Isto posto, têm-se que desde o início da intensificação da atenção científica acerca dos efeitos das ações humanas sobre o meio ambiente, várias instituições internacionais tomaram parte no debate e na construção de ferramentas e acordos para reduzir os impactos gerados pelas alterações climáticas. A bem da verdade, desde meados do século XX, as preocupações com a intensa degradação vêm sendo inseridas nos debates acadêmicos e políticos.

Jacobi (2005) aponta que o estabelecimento das questões ambientais se deu, sobretudo, a partir da década de 1960, tendo como estopim a publicação do livro *Primavera Silenciosa* (CARSON, 1962). A publicação, considerada como um dos trabalhos pioneiros para uma nova era na compreensão global acerca dos limites da atividade humana sobre o meio ambiente se soma, ainda, a trabalhos como *A Bomba Populacional* (EHRlich, 1968) e *A Tragédia dos Comuns* (HARDIN, 1968).

Ainda na década de 1960, a fundação do Clube de Roma resultou em um dos primeiros relatórios envolvendo modelagem de previsão matemática acerca das consequências das ações antrópicas sobre o meio ambiente. Publicado no livro *Os Limites do Crescimento* (MEADOWS et al., 1972) e apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano de 1972 (Conferência de Estocolmo), o estudo apontava para um cenário de catástrofe ambiental caso se disseminassem e generalizassem por todo o mundo os mesmos padrões de consumo dos países ricos (NØRGÅRD; PEET; RAGNARSDÓTTIR, 2010).

As previsões dos modelos davam conta de que os limites biofísicos impostos pelo meio ambiente seriam ultrapassados já no século XXI, o que tinha o potencial de levar a uma grande desorganização social e econômica em nível mundial. A partir destas projeções, propunha-se medidas duras que limitassem a voraz depleção ambiental causada pela industrialização, e defendia-se que, caso esta não fosse a opção política, desfechos catastróficos estavam por vir (MEADOWS et al., 1972).

A Conferência de Estocolmo assumiu notoriedade para a dinâmica global em torno do meio ambiente resultando na criação de importantes organismos internacionais focados em compreender e mitigar os impactos ecossistêmicos das ações humanas, como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. A UNEP, a partir da década de 1980, apresentou avanços significativos para o tema com a criação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) em

1988. Paralelamente, os trabalhos da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento resultaram no documento Nosso Futuro Comum (WCED, 1987), que projetaria o termo desenvolvimento sustentável (JACOBI, 2005).

O IPCC, que além da UNEP contou com iniciativas da Organização Meteorológica Mundial (OMM), assume papel relevante na discussão e no enfrentamento das mudanças climáticas a partir da década de 1990. A atuação do Painel se dá por meio de três grupos de trabalho contínuos que avaliam: a) os aspectos científicos do sistema climático e da mudança no clima; b) a vulnerabilidade do sistema socioeconômico frente às mudanças climáticas e; c) as opções para limitar ou evitar as emissões de GEE (IPCC, 2014).

Os principais resultados dos trabalhos desenvolvidos pelo IPCC são sintetizados mediante a publicação de relatórios de avaliação em intervalos regulares que, são ainda, amplamente reconhecidos e sustentados pela comunidade científica mundial. O Primeiro Relatório de Avaliação (FAR) foi publicado em 1990, seguido pelo Segundo Relatório (SAR) em 1995, Terceiro Relatório (TAR) em 2001 e Quarto Relatório (AR4) em 2007. O trabalho mais recente é o Quinto Relatório (AR5) de 2014 que será sucedido pelo Sexto Relatório de Avaliação (AR6) previsto para o início de 2022, quando será possível fazer um primeiro levantamento da dinâmica global das Mudanças Climáticas sob o Acordo de Paris.

Ainda na década de 1990, observa-se uma intensificação das conferências mundiais, dentre as quais destacam-se a *Toronto Conference on the Changing Atmosphere* (1990) e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Eco-92). Desta última, resultou-se a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (UNFCCC), que tem como objetivo primordial, de acordo com o SAR (IPCC, 1995) do IPCC, a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera a um nível que evitaria interferências antropogênicas perigosas ao sistema climático. Tal nível deve ser alcançado dentro de um prazo suficiente para permitir que os ecossistemas se adaptem naturalmente às mudanças climáticas, assegurando que a produção de alimentos não seja ameaçada e permitir que o crescimento econômico se perpetue de forma sustentável (IPCC, 1995, p. 13).

O órgão supremo de tomada de decisões da UNFCCC é a Conferência das Partes (COP) que acontece atualmente bianualmente. Durante a COP 3, em 1997, houve a assinatura de um dos principais tratados internacionais de cooperação mútua, que incluía 192 estados, na cidade de Quioto no Japão, no qual o Brasil, como parte da UNFCCC, foi assinante voluntário. O tratado que ficou conhecido como Protocolo de Quioto (PQ) leva em consideração as

avaliações do FAR do IPCC e propõe a redução das emissões de GEE dos países do Anexo I⁶ entre os anos de 2008 e 2012 a um nível 5,2% inferior aos níveis da década de 1990. Para que o tratado entrasse em vigor era necessário que os países assinantes produzissem mais da metade das emissões totais de GEE globais. Como os Estados Unidos se recusaram a assinar o documento, o tratado passou a vigorar em 2005 após a assinatura da Rússia. Os países em desenvolvimento não possuíam metas estabelecidas.

Mais recentemente, durante a COP 21 foi aprovado por 195 países, incluindo o Brasil, o Acordo de Paris em 2015, o qual elevou o nível de comprometimento em redução das emissões. O compromisso do acordo contemplava o empenho global para limitar o aumento da temperatura em até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. A meta, que partia do limite de aumento da temperatura média global inferior a 2°C definido pelo FAR⁷ do IPCC demonstra, portanto, a robustez tanto da responsabilidade assumida, quanto das medidas que deverão ser tomadas para o êxito do acordo. É importante frisar que, diferentemente do Protocolo de Quioto, os Estados Unidos foram, pelo menos inicialmente, assinantes do Acordo de Paris⁸.

Em sua Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) (BRASIL, 2015), o Brasil estabelece metas e meios para o cumprimento do Acordo de Paris e afirma que

Todas as políticas, medidas e ações para implementar a iNDC do Brasil são conduzidas no âmbito da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009), da Lei de Proteção das Florestas Nativas (Lei 12.651/2012, o chamado Código Florestal), da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000) e da legislação, instrumentos e processos de planejamento a elas relacionados (BRASIL, 2015, p. 1)

As metas expressas na iNDC estão inseridas no compromisso firmado pelo Brasil de “reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37%[e 43%]abaixo dos níveis de 2005, em 2025 [e 2030, respectivamente]”(BRASIL, 2015, p. 1–2), abrangendo todo o território nacional e incluindo os gases CO₂, CH₄, N₂O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF₆. Na mesma direção, o documento reafirma o compromisso brasileiro de instigar esforços para uma transição para sistemas de energia baseados em fontes renováveis e a descarbonização da economia

⁶ Os países integrantes da UNFCCC são divididos em Anexo I (países industrializados), Anexo II (países desenvolvidos que pagam os custos para os países em desenvolvimento) e países em desenvolvimento.

⁷ Acrescenta-se que o último Relatório Especial do IPCC (2018) reitera que as atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, já causaram um aquecimento médio global de cerca de 1°C acima do nível pré-industrial. Ao mesmo tempo, afirma que esse aquecimento deve prosseguir, atingindo 1,5°C entre 2030 e 2052, se as emissões de CO₂ não forem forte e imediatamente reduzidas. Calcula, ainda, que para se evitar tal nível de aquecimento global, as emissões líquidas de CO₂ decorrentes das atividades humanas devem cair para cerca de 18 bilhões de toneladas já nos próximos 12 anos, e devem estar zeradas até 2050.

⁸ Em junho de 2017 o presidente Donald Trump sinalizou a saída dos Estados Unidos do Acordo de Paris, prevista para 2020. Contudo, uma aliança formada por estados, municípios e corporações estadunidenses prometeu cooperar para o cumprimento das metas do acordo independentemente do governo federal (CORNWALL, 2017).

mundial. É importante ressaltar ainda que, de acordo com Roniou Du Pont (2017), o Brasil e o México são os países que possuem as metas de redução mais ambiciosas dentre as nações do G20.

Além disso, o país declara em sua iNDC pretender aplicar medidas adicionais para o cumprimento da meta de limitar o aumento da temperatura global em até 1,5°C. Dentre elas, pode-se destacar que o país pretende aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030 (BRASIL, 2015). O Brasil também declara se esforçar em fortalecer o cumprimento do Código Florestal e alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030. Para além disso, pretende-se ainda restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030 e expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030 (BRASIL, 2015)

A iNDC brasileira também declara a intenção nacional em expandir o uso doméstico de fontes renováveis no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% do total da energia elétrica residencial até 2030, assim como atingir 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico, também até 2030. Além disso, registra o compromisso em realizar a restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e o incremento de 5 milhões de hectares aos sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Florestas (iLPF) até 2030 (BRASIL, 2015).

Por fim, o Brasil também manifesta a intenção de promover novos padrões de tecnologias limpas, ampliar medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono, assim como promover medidas de eficiência, melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas (BRASIL, 2015).

Destaca-se também, no contexto dos avanços na institucionalização ambiental brasileira, a criação da Política Nacional sobre Mudanças no Clima (PNMC) no Brasil em 2009 pela Lei Nº 12.187/09 (BRASIL, 2009), regulamentada pelo Decreto 7390/10 de 2010 (BRASIL, 2010). A PNMC representa um considerável passo para o Brasil no enfrentamento das questões climáticas, nela estão definidos os

planos de ação para a prevenção e controle do desmatamento nos biomas e planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas [...]: I. Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), o II .Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado), III. Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE); IV. Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura; e V. Plano de Redução de Emissões da Siderurgia (BRASIL, 2010)

Para a ação dos instrumentos, a PNMC define metas de redução nas emissões para até 2020. A projeção apresentada no Decreto é que as emissões de GEE brasileiras somassem 3.236

milhões de toneladas de CO₂ equivalente GWP⁹ (tCO₂e GWP) em 2020 caso as ações não se efetivassem. Portanto, a política estabelece como meta para as ações a serem implementadas a redução desse montante entre 1.168 e 1.259 milhões de tCO₂e GWP, ou 36,1% e 38,9% em relação à projeção inicial¹⁰.

2.2 Curva de Kuznets Ambiental

2.2.1 Revisão Teórica

As observações a respeito do Meio Ambiente nos estudos econômicos remontam aos economistas clássicos do século 18 que, via de regra, compreendiam o estado estacionário como destino inevitável do modo de produção capitalista (COSTANZA; DALY, 1987). Adam Smith, o pai da economia moderna, não menosprezava a pressão exercida pelo crescimento populacional à oferta de terra que, por sua vez, concebia como circunscrita aos limites físicos do planeta (ABRAMOVITZ, 1989). Dessa forma, a Economia Clássica tratava da escassez de recursos naturais como a barreira máxima da expansão material, dedicando-se a investigar sua aplicação ótima de modo a retardar o máximo possível a estagnação do crescimento produtivo.

No período que se segue após a Revolução Marginalista, contudo, a ciência econômica desconsidera a existência de limites para a expansão do sistema econômico a partir de uma aproximação com a física mecanicista. A analogia econômica com a Lei da Conservação de Energia tem como premissa indispensável que a energia total de um sistema físico isolado é constante, ou seja, não há criação ou destruição de energia, apenas transformações. Dessa forma, por exemplo, é a transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética que gera o movimento realizado por um corpo. Como para a mecânica clássica o objeto de estudo é o ponto no qual determinado objeto se localiza, e não sua trajetória, é possível supor que o processo que o levou até lá é plenamente reversível, tendo em vista que não se considera a possibilidade de fuga de energia do sistema (CECHIN; VEIGA, 2010).

⁹ O CO₂e GWP é calculado de acordo com o Global Warming Potential (GWP), dado pela relação entre o aumento no FR de cada GEE em relação ao CO₂ (EFCTC, 2014).

¹⁰ No momento de conclusão deste trabalho (janeiro de 2019), não havia uma posição oficial do governo brasileiro acerca da continuidade do país no Acordo de Paris, muito embora tenha sido noticiada a intenção de permanência. Esta polêmica se deve ao posicionamento do governo do Presidente Jair Bolsonaro, que durante sua campanha havia sinalizado a retirada brasileira do referido acordo. De concreto, sabe-se que houve intensa reestruturação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e que o tema das mudanças climáticas sofreu significativo estiolamento dentro do novo MMA, cujas atribuições foram reduzidas sobremaneira (ISA, 2019)

A esse enunciado acrescenta-se que a mecânica clássica pondera a existência de um momento estático no qual todas as forças que atuam sobre determinado corpo em sentidos opostos se cancelam. Na correspondência utilitarista, os interesses individuais dos agentes em se satisfazer atuam como forças que, quando consideradas conjuntamente, tendem a formar um sistema em estado de equilíbrio. O momento de equilíbrio é dado, neste caso, pelo ponto máximo de utilidade de todos os indivíduos dada a restrição de recursos para a produção (CAVALCANTI, 2010). Dessa forma, o único limite para o crescimento infinito equilibrado da satisfação e do bem-estar – e conseqüentemente do sistema econômico – é a disponibilidade de recursos para a produção.

A “solução” para a disponibilidade de recursos é, então, considerar o sistema econômico como um sistema fechado para o qual a lei da conservação da energia seja válida. Assim, qualquer configuração entre capital, trabalho e recursos naturais enquanto fatores de produção se torna possível, dado que em um sistema fechado todo processo é plenamente reversível (ROMEIRO, 2012). Ademais, ainda que os recursos naturais sejam finitos, sua substituição pelo infinito aumento de produção do capital faz com que “o obstáculo ao crescimento imposto pelo meio ambiente não mais se coloca, devido à crença na possibilidade de expansão contínua da engrenagem econômica propiciada pelo avanço tecnológico” (ANDRADE, 2008, p. 7).

A economia neoclássica, dessa forma, não considerava os limites naturais para a expansão do sistema econômico mundial, supondo sua capacidade de se perpetuar com os avanços tecnológicos exógenos. Os problemas ambientais, como sugere Pigou (1932), eram tratados como falhas de mercado de ocorrência excepcionais. Dessa forma, as questões relacionadas ao meio ambiente eram reduzidas a externalidades¹¹, não sendo consideradas como aspectos estruturais (MUELLER, 1996). Desde que as instituições ambientais garantissem que os atributos ambientais relevantes são de propriedade privada, o mercado se encarregaria de encontrar o ponto de equilíbrio de crescimento do sistema econômico.

Mueller (1996, p. 264) argumenta que “essa postura diante do meio ambiente se justificava enquanto eram limitadas, em relação ao ecossistema, as demandas de materiais e de energia do sistema econômico, bem como as suas emissões de resíduos e rejeitos”. Contudo, a partir de meados do século XX, com destaque para a volumosa expansão do consumo na “era de ouro capitalista”, o intenso crescimento populacional e da produção passou a forçar as

¹¹ Externalidade é o fenômeno que ocorre quando “os custos sociais marginais sejam diferentes dos custos privados marginais, o que leva a uma distinção entre a quantidade socialmente ótima e a quantidade privada ótima” (ANDRADE, 2008, p. 10).

barreiras ecossistêmicas à expansão econômica e “se tornou evidente o fato de que externalidades ambientais são parte normal e inevitável dos processos econômicos” (MUELLER, 1996, p. 262).

A já referida difusão da problemática ambiental a partir da década de 1960 trouxe novos desafios para a ciência econômica no que diz respeito à compreensão do sistema econômico e suas relações com o meio ambiente. Tendo em vista que “o sistema econômico é visto como a principal fonte de pressão sobre o meio ambiente” (ANDRADE, 2008, p. 10), é primordial que a economia, enquanto ciência, incorporasse em suas concepções vigentes os limites e impactos ambientais dos processos de produção e consumo.

Georgescu-Roegen (1971) é notadamente um dos primeiros autores a revisar os pressupostos econômicos neoclássicos análogos ao princípio da conservação de energia da física (CECHIN; VEIGA, 2010). O autor argumenta, em suma, que não se pode considerar o sistema econômico de forma isolada do planeta dado que o sistema está constantemente interagindo com o meio ambiente ao absorver recursos e expelir resíduos (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Para tanto, o autor propõe uma analogia à termodinâmica em substituição aos pressupostos derivados da mecânica clássica. Dessa forma, seria possível compreender as interações do sistema econômico com o ecossistema por meio da análise dos fluxos de energia da lei da entropia.

O ponto central da concepção de Georgescu-Roegen (1971) é a demarcação de limites físicos para a expansão do sistema econômico pelo estabelecimento da economia como um subsistema do ecossistema. Como, pela Lei da Entropia, todo processo de transformação energética resulta em dissipação de calor¹², nenhum processo é inteiramente reversível. Sendo assim, a economia precisa continuamente da entrada de insumos (baixa entropia) e da saída de resíduos (alta entropia). Logo, é imprescindível para a expansão do sistema econômico ampliar o fluxo de entrada de energia de baixa entropia do ecossistema. Como este último recebe um fluxo constante de energia de uma fonte externa (Sol), a quantidade de energia possível de ser captada pelo sistema econômico é finita e, portanto, estabelece as barreiras à sua expansão ilimitada.

Além disso, para a expansão contínua do sistema econômico é necessário que o ecossistema seja capaz de absorver quantidades ilimitadas de energia residual dos processos econômicos (energia de alta entropia), ou seja, os limites à expansão não se dão apenas no sentido da quantidade finita de recursos. Assim, como é fisicamente inconcebível que o

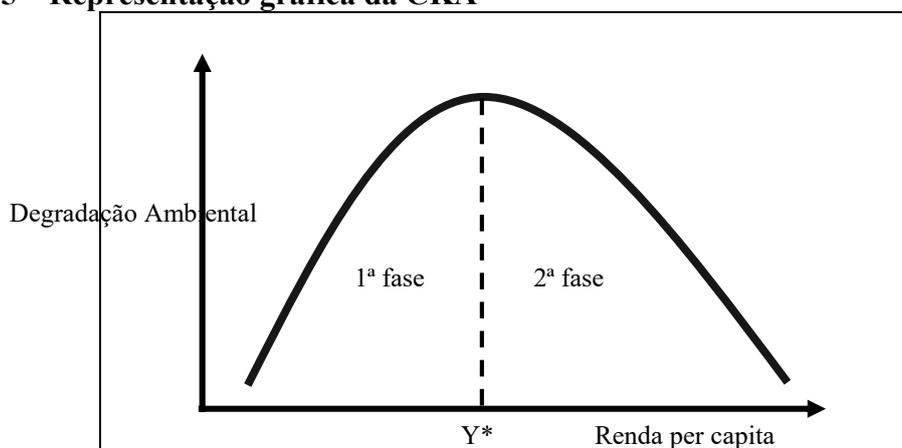
¹² A energia dissipada em forma de calor implica em destruição de energia. Assim “a degradação da energia tende a um máximo em sistema isolado” (CECHIN; VEIGA, 2010, p. 441),

processo de transformação dos insumos não gere resíduos (energia de baixa entropia) também é inverossímil que o ecossistema seja capaz de assimilar uma quantidade infinita de energia dissipada.

Apesar do rigor lógico e de importantes contribuições pretéritas à ciência econômica, sobretudo no campo da teoria do consumidor, estas formulações de Georgescu-Roegen (1971) não foram bem recebidas pelos teóricos da economia predominante na época (CECHIN; VEIGA, 2010). Do contrário, a ciência econômica neoclássica se recusou a abandonar os pressupostos mecanicistas, argumentando que o importante é que o nível de consumo per capita seja sustentado indefinidamente no nível mais elevado possível (SOLOW, 1974, 1997 *apud* CECHIN; VEIGA, 2010).

Foi só a partir dos anos 1990 que a sustentabilidade ambiental passa a ser incorporada como variável de interesse nos modelos econômicos neoclássicos. Destaca-se nesse bojo a adaptação do modelo de Kuznets (1955), cuja versão ambiental (Curva de Kuznets Ambiental – CKA) aborda a relação entre o crescimento econômico e a degradação ambiental. O trabalho original (KUZNETS, 1955) trouxe evidências de que aumentos da renda per capita em um país não industrializado tendem, inicialmente, a aumentar a concentração de renda. Contudo, com o decorrer do progresso econômico¹³ a desigualdade de renda encontraria um ponto de inflexão, a partir do qual o próprio crescimento propiciaria condições para uma maior parcela da sociedade se apropriar da elevação da renda gerada. Dessa forma, a relação entre crescimento econômico e desigualdade de renda seria dada por uma curva em formato de “U” invertido.

Figura 5 – Representação gráfica da CKA



Fonte: Adaptado de Mueller (2004)

¹³ No que diz respeito a CKA não existem registros de diferenciação entre crescimento ou desenvolvimento econômico, neste caso os dois termos correspondem ao crescimento da renda per capita (BECKERMAN, 1992).

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 (Figura 5). A primeira fase se baseia em um contexto no qual as nações são pouco desenvolvidas: população predominantemente residente no campo e elevada dependência do setor primário.

Com o objetivo de aumentar a renda, diminuir a pobreza e aumentar o bem-estar da população, a prioridade é a industrialização e inserção no comércio internacional. Nesta etapa, portanto, os esforços se direcionam na criação e ampliação da produção industrial de base, reconhecidamente intensiva no emprego de recursos naturais. O resultado do crescimento econômico através do aumento da escala da economia é uma maior utilização absoluta de recursos naturais e, conseqüentemente, uma maior emissão de resíduos. Portanto, o estágio ascendente da CKA é resultante do fator escala (GROSSMAN; KRUEGER, 1995).

Ao longo do processo de crescimento econômico, observa-se na CKA uma inflexão a partir de determinado nível crítico da renda (Y^*). A segunda fase da curva que se inicia após esse ponto é explicada por dois fatores de alterações estruturais. Após o processo industrializante inicial e um maior nível de renda per capita, é usual que as nações tenham experimentado o êxodo rural e possuam uma estrutura econômica mais industrializada. Nesse contexto, 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 (MUELLER, 2004). Dessa forma, o Fator Composição é o primeiro fator que explica a trajetória de queda na degradação ambiental na segunda fase do crescimento econômico.

Adicionalmente a mudança na composição do produto, a diminuição da degradação per capita também é justificada pelo fator de Mudança Tecnológica. A suposição aqui é de que uma maior disponibilidade de recursos para o progresso tecnológico, com o avançar do crescimento econômico, possibilita o surgimento de novas tecnologias mais limpas a substituir as tecnologias obsoletas e mais intensivas em energia e matéria (GROSSMAN; KRUEGER, 1995).

Por fim, é preciso ressaltar o papel do Estado no âmbito da CKA, que 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 produto per capita, 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 progressiva degradação do meio ambiente seria o próprio crescimento 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”.

2.2.2 Revisão Empírica

Além da prévia revisão teórica, faz-se premente a imersão na revisão de trabalhos que estimam empiricamente a hipótese da CKA. A este respeito, a literatura é bem trabalhada e rica em 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.

Nota-se, entre os trabalhos mais relevantes, certa prevalência para as emissões de CO₂ per capita como variável dependente. Nos trabalhos iniciais, sobretudo durante a década de 1990, era usual a mensuração da degradação ambiental por meio da concentração de SO₂, Nox e Material Particulado Suspenso no ar (SPM). Todavia, com as críticas¹⁴ em relação à utilização da poluição visível e local, fortemente influenciada pela regulação ambiental devido aos efeitos danosos ao ambiente urbano, as emissões de CO₂ per capita se tornaram preponderantes nos trabalhos mais recentes.

A utilização das emissões per capita de CO₂ como *proxy* para os impactos das ações humanas ao meio ambiente é usualmente justificada pelo fato de que “a principal ameaça ao aquecimento global e às mudanças climáticas é o dióxido de carbono (CO₂), cujas emissões são responsáveis por pelo menos 60% do aquecimento global” além de que “[as emissões de CO₂] vêm aumentando desde 1990 devido ao o rápido crescimento econômico e populacional” (APERGIS; OZTURK, 2015, p. 21, tradução nossa).

Quadro 1 - Resumo de revisão bibliográfica sobre a CKA

Autores	Região	Período	Variáveis dependentes	Metodologia	Conclusões
Grossman e Krueger (1991)	Até 52 cidades em até 32 países	1977, 1982, 1988	Concentração de SO ₂ e SPM*	Dados em painel (RE ²)	Para níveis médios de renda aumentos de renda prova melhorias na qualidade ambiental. Já para níveis superiores o

¹⁴ Para mais informações ver seção 2.2.3

Autores	Região	Período	Variáveis dependentes	Metodologia	Conclusões
					crescimento é prejudicial.
Shafik e Bandyopadhyay (1992)	149 países	1960-1990	SPM*, concentração de SO ₂ , mudanças em áreas florestais e emissões de CO ₂ per capita	Dados em painel (elasticidade)	Evidências da CKA para SPM e SO ₂ . Emissões per capita de CO ₂ crescem mais que proporcionalmente ao aumento de renda de forma linear.
Panayotou (1993)	68 países (desmatamento) e 54 (poluição do ar)	1987-1988	Desmatamento, emissões de SO ₂ , NO _x e SPM*	<i>Cross-section</i>	Foram encontradas evidências da CKA em forma de “U” invertido em todos os modelos
Selden e Song (1994)	30 países (2 de baixa renda, 6 de renda média e 22 da OECD)	1973-75, 1979-81 e 1982-84	SO ₂ , SPM*, NO _x e CO	Dados em Painel (FE ³ e RE ²)	Evidências da CKA para todos os modelos, porém com níveis críticos de renda muito elevados. Os autores ressaltam a previsão de que a tendência da poluição é não atingir os níveis iniciais dado o aumento populacional.
Cole; Rayner e Bates (1997)	11 países da OECD	1970-1992	SO ₂ , SPM*, NO _x , HNO ₃ e CO ₂	Dados em painel (FE ³ e RE ²)	Os autores concluem que as evidências da CKA em formato de “U” invertido existem, em geral, apenas para poluição do ar local. Para a poluição global, ou com efeitos indiretos, ou existe uma reação de crescimento monotônica com a renda ou pontos críticos muito altos com erros-padrão elevados.
Kaufmann et al. (1998)	23 países (13 desenvolvidos, 7 em desenvolvimento e 3 economias planificadas)	1974-1989	Concentrações de SO ₂	Dados em painel (FE ³ e RE ²)	Foram encontradas evidências de uma CKA em formato de “U” invertido entre concentrações de SO ₂ e intensidade espacial da economia. Para a relação entre SO ₂ e PIB per capita, as evidências apontam um curva em formato de “U”.
Stern e Common (2001)	74 países (divididos em	1960-1990	Emissões de SO ₂	Dados em painel (FE ³ e RE ²)	Em geral, foram encontradas evidências para uma

Autores	Região	Período	Variáveis dependentes	Metodologia	Conclusões
	todos, pertencentes à OECD e não-OECD).				CKA em forma de “U” invertido. Ressalta-se que o ponto crítico para todos os países da amostra é muito superior ao do modelo que conta apenas com países da OECD..
Lucena (2005)	Brasil	1970-2003	Emissões de CO ₂ per capita	Série temporal	Não foram encontradas evidências para a curva em formato de “U” invertido.
Carvalho e Almeida (2010)	187 países	2004	Emissões de CO ₂ per capita	<i>Cross-section</i> com análise espacial	A introdução do termo cúbico do PIB per capita torna a curva em formato de “N”.
He e Richard (2010)	Canadá	1948-2004	Emissões de CO ₂ per capita	Série de tempo (GARCH ⁴)	Não foram encontradas evidências de uma CKA em formato de “U” invertido para o Canadá. Antes a relação entre emissões per capita e renda per capita apresenta crescimento monotônico.
Saboori; Sulaiman e Mohd (2012)	Malásia	1980-2009	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em série de tempo (ARDL ⁵)	Evidências de uma CKA em formato de “U” invertido para a Malásia no curto e longo prazo. Entretanto, os autores sugerem estudos com adição de demais variáveis independentes.
Iwata, Okada e Samreth (2012)	11 países da OECD	1960-2003	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em Paineis: (ARDL ⁵)	Evidências limitadas para a CKA forma encontradas para 4 países. Desses, apenas a Finlândia apresentou ponto crítico de renda dentro do período.
Shahbaz, Lean e Shabbir (2012)	Paquistão	1971-2009	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em série de tempo (ARDL ⁵)	Para o Paquistão, evidencia-se a existência de uma CKA no período. Contudo, o trabalho não testa a curva em formato de “N”.
Cunha e Scalco (2013)	Brasil	1980-2006	Emissões de CO ₂ provenientes	Série de tempo (VEC ⁶)	Os autores concluíram que existe uma relação de causalidade

Autores	Região	Período	Variáveis dependentes	Metodologia	Conclusões
			do consumo de petróleo		simultânea entre PIB per capita e emissões de CO ₂ e a elasticidade entre PIB e CO ₂ foi de 7,32. Os autores argumentam que não há perspectiva de redução nas emissões em função do processo de crescimento econômico.
Catalán (2014)	144 países	1990-2010	Emissões de CO ₂ per capita	Dados em painel (FE ³)	Foram encontradas evidências de uma CKA em forma de “N”.
Serrano, Loureiro e Nogueira (2014)	Brasil	1980-2010	Emissões de CO ₂	Série de tempo (OLS ⁷)	Os termos quadrático e cúbico da renda per capita não apresentaram significância estatística. A relação entre as emissões e a renda foi linear e positiva.
Biage e Almeida (2015)	37 países de todos os continentes com padrões de desenvolvimento diversos	1991-2006	Emissões de CO ₂ per capita	Dados em Painel (FE ³)	Foram encontradas evidências para uma CKA em forma de “N”. Destaca-se que os países de maior significância são os de renda per capita baixa e mais populosos.
Ávila e Diniz (2015)	99 países	1978, 1984, 1990, 1996, 2002 e 2008	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em Painel: (FMOLS ⁸ e DOLS ⁹)	Foram encontradas evidências de uma CKA em formato de “N”
Bölük e Mert (2015)	Turquia	1961-2010	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em série de tempo (ARDL ⁵)	Evidências de uma CKA em formato de “U” invertido. O ponto crítico de renda, contudo, foi superior aos observados e se destaca o peso da utilização de energia renovável para a redução nas emissões.
Apergis e Ozturk (2015)	14 países asiáticos	1990-2011	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em Painel (FMOLS ⁸ e DOLS ⁹)	Evidências para uma CKA em formato de “U” invertido.
Sousa, Sousa e Santos (2016)	51 países: desenvolvidos, em desenvolvimento	2005-2010	Emissões de CO ₂ per capita	Dados em Painel (RE ²)	Evidências para uma curva em formato de “N”.

Autores	Região	Período	Variáveis dependentes	Metodologia	Conclusões
	e sub-desenvolvidos)				
Jebli, Youssef e Ozturk (2016)	25 países da OECD	1980-2010	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em Paineis: (FMOLS ⁸ e DOLS ⁹)	Evidências para uma CKA em formato de “U” invertido. Contudo o termo cúbico não foi testado.
Bilgili, Koçak e Bulut (2016)	17 países da OECD	1977-2010	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em Paineis: (FMOLS ⁸ e DOLS ⁹)	Evidências de uma CKA em formato de “U” invertido. Os autores destacam a relação negativa entre as emissões e a utilização de energia de fontes renováveis.
Pires (2017)	Brasil	1970-2011	Emissões de CO ₂ per capita	Série temporal	Não foram encontradas evidências para a curva em formato de “U” invertido, mas para a curva em formato de “N”.
Zoundi (2017)	25 países da África	1980-2012	Emissões de CO ₂ per capita	Cointegração em Paineis: (ARDL ⁵)	Não foram encontradas evidências da CKA. Contudo, a relação positiva entre renda e emissões em um estágio prévio de desenvolvimento confirmam as suposições da primeira fase da CKA.
Lau, Choong e Ng (2018)	100 países divididos em grupos de renda	2002-2014	Emissões de CO ₂ per capita	Painel GMM ¹⁰	Foram encontradas evidências da CKA apenas para o grupo de países de alta renda. Para os demais não foram encontradas evidências que reforcem a CKA.

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹ Material Particulado Suspenso no Ar

² RE: Modelo de Efeitos Aleatório

³ FE: Modelo de Efeitos Fixos

⁴ GARCH: Modelo de Heterocedasticidade condicional Autorregressiva Generalizado

⁵ ARDL: Modelos Autorregressivos de Defasagens Distribuídas

⁶ VEC: Vetor de Correção de Erros

⁷ OLS: Mínimos Quadrados Ordinários

⁸ FMOLS: Mínimos Quadrados Ordinários Totalmente Modificados

⁹ DOLS: Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos

¹⁰ GMM: Método dos Momentos Generalizado

Em relação aos aspectos metodológicos, predominam as análises que utilizam a estrutura de dados em painel, ante a análises de cortes transversais ou séries de tempo. Nesse contexto, as análises iniciais utilizavam principalmente Painel Agrupado (POOLED), Efeitos Fixos (FE) e Efeitos Aleatórios (RE). Já para as análises mais recentes – sobretudo na última década – observa-se a aplicação da metodologia da estimação de vetores de cointegração em painel, sejam os modelos Autorregressivos de Defasagens Distribuídas (ARDL), Mínimos Quadrados Totalmente Modificados (FMOLS) ou Mínimos Quadrados Dinâmicos (DOLS).

Nota-se divergências relevantes no que diz respeito às conclusões dos estudos em relação aos diferentes cortes transversais. Nos trabalhos mais recentes em cuja dimensão *cross-section* constava, sobretudo, países desenvolvidos (BILGILI; KOÇAK; BULUT, 2016; JEBLI; YOUSSEF; OZTURK, 2016) há uma maior presença de trabalhos que confirma a hipótese da CKA. Quando considerados, entretanto, países de estágios diferentes de desenvolvimento (ÁVILA; DINIZ, 2015; BIAGE; ALMEIDA, 2015; CARVALHO; ALMEIDA, 2010; CATALÁN, 2014; SOUSA; SOUSA; SANTOS, 2016) os resultados indicam, em geral, uma CKA em formato de “N”. Nesse ponto, é preciso ressaltar os resultados de Stern e Common (2001) que apontam para pontos críticos muito mais elevados para os países em geral quando comparado ao *turning point* dos países pertencentes à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD).

Para o Brasil, destacam-se os resultados de uma CKA em forma de “N” (CARVALHO; ALMEIDA, 2010; PIRES, 2017), a não existência de uma CKA (LUCENA, 2005) e a relação monotônica entre crescimento econômico e degradação ambiental (CUNHA; SCALCO, 2013).

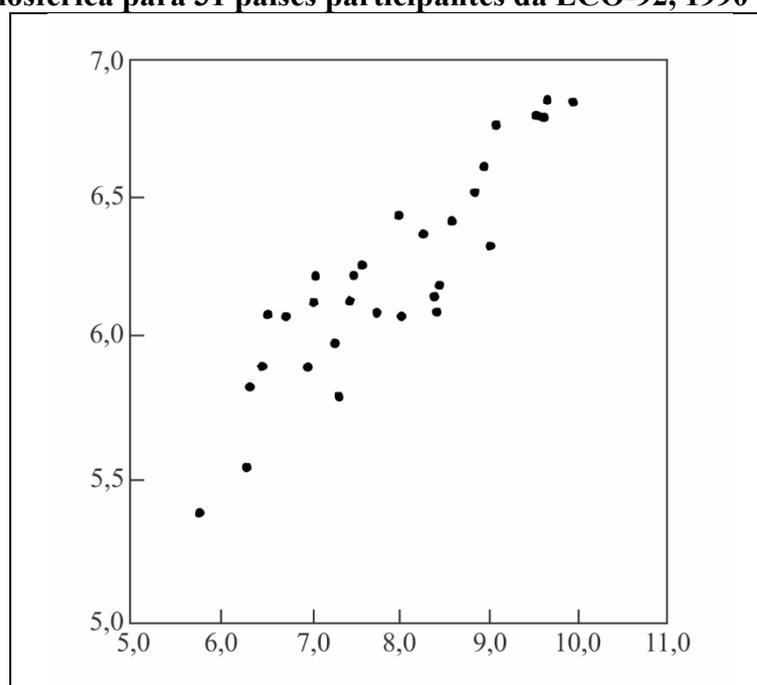
2.2.3 Críticas à Hipótese da CKA

Há que se considerar, finalmente, as críticas que a literatura registra acerca da hipótese do “U” invertido, especialmente considerando que “há sérias razões, entretanto, para não aceitar essa visão otimista”(MUELLER, 2004, p. 25). O parecer crítico inicial acerca da CKA diz respeito à escolha das variáveis de mensuração para a degradação ambiental. Sobre os trabalhos iniciais(COLE; RAYNER; BATES, 1997; GROSSMAN; KRUEGER, 1991, 1995; KAUFMANN et al., 1998; PANAYOTOU, 1993; SELDEN; SONG, 1994; SHAFIK, 1994; SHAFIK; BANDYOPADHYAY, 1992; STERN; COMMON, 2001), Mueller (2004, p. 22) alerta que “a relação sugerida pela teoria do U invertido foi estabelecida empiricamente apenas

para o caso de alguns poluentes de impacto local muito visível, como as emissões de particulados, de dióxido de enxofre e de monóxido de carbono”.

Dessa forma, é plausível deduzir que o crescimento nas taxas de tais poluentes, sobretudo dada sua concentração urbana, tendem a provocar reações crescentes de desagrado nas populações que são atingidas (MUELLER, 2004). Assim sendo, para esse grupo reduzido de compostos a pressão popular para uma maior regulação por parte do Estado se faz muito mais intensa quando comparado à poluição não visível, como a emissão de outros GEE. Dasgupta et al. (2002) apontam ainda que os dados utilizados para os diversos estudos sobre a CKA foram retirados do *Global Environmental Monitoring System* (GEMS), e que esta base de dados contém informações sobre poluentes atmosféricos urbanos controlados e não possui dados sobre GEE. Isto posto, não é possível obter evidências de que estas verificações empíricas da CKA representem a realidade dado o viés de escolha da variável independente dos trabalhos.

Figura 6 – Log da Renda per capita e Índice composto de regulação de poluição atmosférica para 31 países participantes da ECO-92, 1990



Fonte: Adaptado de Dasgupta et al. (2001)

De forma a corroborar a suposição de que inicialmente a CKA se verifica dado o controle ambiental por parte do Estado (forçado pela população), Dasgupta et al. (2002) investigaram a correlação entre renda per capita e regulação de poluentes atmosféricos, usualmente considerados como variável dependente nas análises iniciais da CKA. A conclusão

dos autores aponta para uma alta correlação positiva entre ambos (Figura 6), o que evidencia a tendência de maior controle da poluição visível para níveis superiores de renda.

Isso explica porque tão logo um país atinge certo nível de renda per capita, surgem pressões para a introdução de políticas que combatam, ou pelo menos amenizem, esses tipos de degradação ambiental. Passam-se leis, emitem-se decretos, adotam-se medidas que penalizam os poluidores e que incentivam a contenção da poluição. Em resposta, os agentes poluidores são induzidos (senão forçados) a adotar medidas para diminuir a degradação que causam e a investir em mudança tecnológica e na substituição de processos que degradam fortemente o meio ambiente por outros menos agressivos (MUELLER, 2004, p. 25)

Uma segunda crítica acerca da escolha das variáveis de mensuração da degradação ambiental se refere à percepção do impacto ambiental dos poluentes selecionados em termos de tempo e espaço. Mueller (2004) argumenta que a hipótese da CKA se verifica normalmente apenas a alguns poluentes que em geral são de curto prazo e de impacto geograficamente reduzido. Ou seja, em análises que levem em conta dados de poluição em determinadas cidades não é possível verificar que a sugerida redução ao longo do crescimento econômico não está relacionada ao crescimento das emissões em outra região. Dessa forma, não é viável concluir que essa redução localizada na degradação se verifique em aspecto global.

Adicionalmente, o aspecto temporal não pode ser desprezado, tendo em vista que a ação dos diversos poluentes atmosféricos varia ao longo do tempo (ALMEIDA, 2016). Portanto, a redução da poluição a partir de determinado ponto no tempo não é necessariamente suficiente para anular os efeitos adversos do aumento prévio na degradação. Sobretudo analisando tanto que não há indícios de que as concentrações dos poluentes retornem aos níveis originais (CUNHA; SCALCO, 2013) como que, para muitos trabalhos, os pontos de inflexão calculados são muito elevados (COLE; RAYNER; BATES, 1997), principalmente quando considerados separadamente os países não industrializados (STERN, 2004; STERN; COMMON, 2001).

Em suma, a hipótese – mesmo se verificada – não pode ser tida como uma panaceia, já que não existe qualquer tipo de consideração acerca da capacidade de absorção ecossistêmica para a emissão de poluentes (MUELLER, 2004). Em que pese o fato de que ainda não foi possível estabelecer os limites ambientais exatos para a absorção das emissões antrópicas de GEE, é conhecido que os efeitos dos gases perduram por vários anos após sua emissão (ALMEIDA, 2016). Ou seja, considerando a poluição acumulada previamente, a posterior redução nas taxas de emissão não traz garantias de que os impactos ambientais serão eliminados ou mitigados.

Registram-se, ainda, críticas sobre a generalização da CKA para o crescimento econômico dos países em desenvolvimento. Sobretudo em relação à sua hipótese básica de que o crescimento da deterioração ambiental nos países em desenvolvimento é apenas um fenômeno temporário dado o estágio do crescimento econômico (PANAYOTOU, 1993). De Bruyn; Van Den Bergh e Opschoor (1998) afirmam que as estimações da CKA não trazem evidências de que o aumento da degradação esteja relacionado a uma “fase” do desenvolvimento e, portanto, não há garantias de que os países não industrializados atinjam os níveis de reduzir as emissões.

Dinda (2004) acrescenta que a correlação entre uma poluição média inferior aos desenvolvidos não é garantia de que os países em desenvolvimento vão seguir o mesmo patamar. A respeito disso, para o Brasil, Cunha e Scalco (2013, p. 228) salientam que

Esse resultado se torna relevante, pois confirmou a hipótese do efeito escala em que o crescimento econômico gera aumentos da emissão de poluentes e também porque contradiz uma hipótese da teoria relacionada ao tema sobre o efeito composição. Segundo essa teoria, na medida em que a economia passa da produção de bens manufaturados para a produção de serviços, o ritmo de degradação ambiental reduz e esse fenômeno não foi observado nos resultados. O período analisado corresponde ao intervalo entre 1980 e 2006 e diversas evidências empíricas apontam que desde o final da década de 80 o Brasil encontra-se num processo de desindustrialização da economia e, conseqüente, aumento do setor de serviços.

Em termos globais, Selden e Song (1994) apontam que o crescimento da poluição, em geral, ainda iria aumentar muito com o crescimento econômico. Ou seja, ainda que os países não industrializados percorram caminhos de crescimento econômico semelhantes aos trilhados pelos desenvolvidos, para que esse processo ocorra é esperado um grande aumento na poluição. Novamente são desconsiderados na hipótese os limites da capacidade ecossistêmica de absorção do aumento das emissões de GEE. Se os níveis atuais de emissões são preocupantes (IPCC, 2008, 2014) e se é necessário que as taxas cresçam para que os países em estágios inferiores atinjam o patamar dos países desenvolvidos, as conseqüências tendem a ser catastróficas em nível global.

Dinda (2005) acrescenta que há sérios empecilhos para que os países não industrializados alcancem o nível de renda per capita necessário para que se verifique a redução na poluição preconizada pela CKA. O autor argumenta que a degradação ambiental nos países em desenvolvimento e não desenvolvidos está relacionada ao aumento da produção de commodities, principalmente para a exportação. Ou seja, a inserção no comércio internacional não se dá exclusiva ou prioritariamente com a industrialização, mas também através da produção de produtos primários, relacionada a práticas degradantes como desmatamento, queimadas e perda da qualidade do solo com a aplicação de defensivos agrícolas.

A conclusão de Dinda (2005) é que com a intensificação da atividade primária, tais países experimentam sucessivas reduções em seus estoques de capital natural. A redução do capital natural tem um efeito duplo sobre as concepções básicas da CKA. Em um primeiro momento, ao reduzir seu capital natural potencial os países não industrializados encontram maiores obstáculos para a industrialização, dada a menor disponibilidade de recursos para o avanço tecnológico. Além disso, o menor estoque de natural disponível faz com que países não desenvolvidos possuam maiores dificuldades em arcar com os custos da redução da poluição.

Por fim, as análises empíricas não são unânimes em declarar que a hipótese da CKA se adequa às informações disponíveis (DASGUPTA et al., 2002). Quando considerado o longo prazo, além dos efeitos no tempo da poluição, a curvatura da CKA em U invertido é discutível (DASGUPTA et al., 2002; DINDA, 2004), dado que vários estudos que acrescentaram o termo cúbico para a variável explicativa renda per capita encontraram uma CKA em formato em N (CARVALHO; ALMEIDA, 2010; CATALÁN, 2014; PIRES, 2017). Dinda (2004) sugere, sobre isso, a necessidade da adição de variáveis explicativas adicionais para compreender, por exemplo, como políticas de controle ambiental afetam a degradação.

A conclusão final de Mueller (2004) é que em nível global a hipótese do U invertido só teria validade em condições muito especiais, que requerem a manutenção do atual status quo em termos de distribuição de renda e riqueza entre países e regiões. Dessa forma, não seria possível aplicar os termos da CKA nas condições do desenvolvimento sustentável considerando que a conservação da atual organização mundial não inclui um desenvolvimento incluyente e socialmente responsável (SACHS, 2002; VEIGA, 2014).

3. PERFIL REGIONAL DAS EMISSÕES DE GEE NO BRASIL (2002 – 2015)

O presente capítulo tem por objetivo traçar o perfil regional das emissões de GEE no Brasil. Tal análise é justificada por três pontos: a) a extensa dimensão territorial brasileira; b) as desigualdades regionais marcantes e; c) a necessidade de cumprimento das metas de redução estabelecidas no Acordo de Paris (BRASIL, 2015). O reducionismo inerente a uma análise nacional agregada, invariavelmente, implicaria na continuidade da atual conjuntura na qual [...] a maior parte das decisões políticas envolvendo meio ambiente e a questão regional sempre foram tomadas de forma desarticulada o que não permite uma solução efetiva, mas apenas propostas paliativas e transitórias que não resolvem os seus graves problemas” (PORTUGAL JÚNIOR; REYDON; PORTUGAL, 2015, p. 3).

Nesse sentido, faz-se aqui uma discussão particularizada no que diz respeito ao comportamento das emissões de GEE para cada região entre os anos de 2002 e 2015. O foco central se dá nos principais setores de emissão regionais, tanto em termos de participação nas emissões totais quanto no que diz respeito à sua variação ao longo do tempo. Serão associadas a estas considerações apreciações acerca do desempenho das atividades econômicas correlatas. Por fim, pondera-se acerca dos apontamentos individuais em uma comparação final entre as regiões e setores de atividade, com a indicação de ações para o controle das emissões dos setores que se mostram preponderantes para cada região.

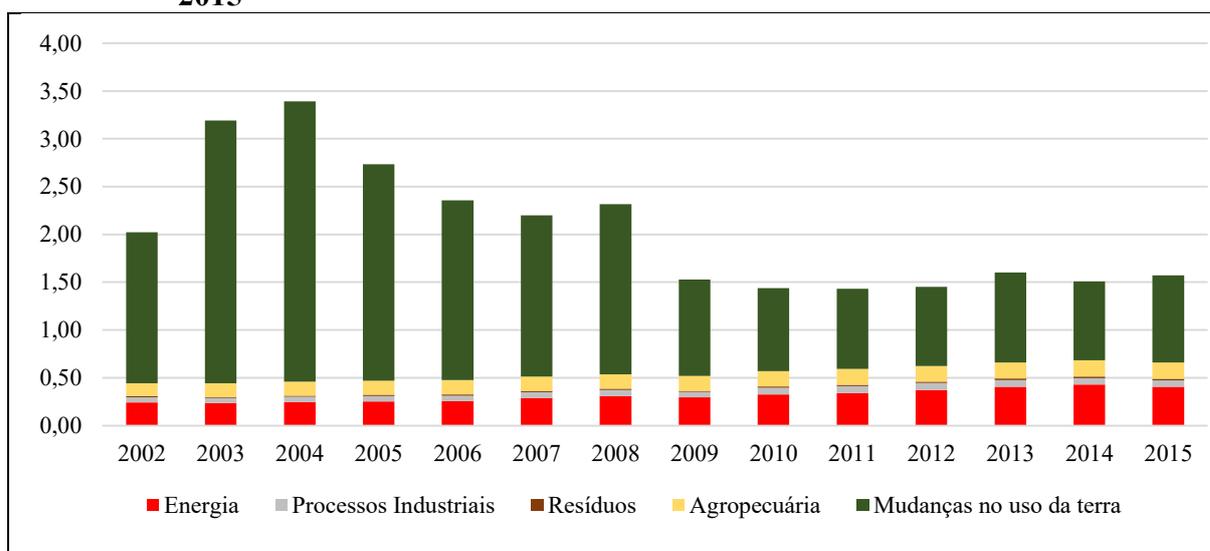
A escolha do período de análise é limitada pela disponibilidade dos dados de Produto Interno Bruto (PIB) para os estados brasileiros. Obtidos junto ao Sistema de Contas Regionais (SCR) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017b), os dados em conformidade com o manual *System of National Accounts 2008* (SNA 2008) só estavam disponíveis para período de 2002 a 2015 durante a execução do trabalho. Assim, ainda que os dados de emissões de GEE da quinta versão do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeitos Estufa (SEEG V5.0) do Observatório do Clima (OC, 2017) estejam disponíveis para todos os setores de atividade para o período entre 1990 e 2016, opta-se por analisar o período compreendido entre os anos de 2002 e 2015. Acrescenta-se, ainda, que para as estimativas de emissão de GEE será utilizada a unidade de toneladas de CO₂ equivalente GTP AR5¹⁵ (denominada simplesmente por tCO₂) que representa uma evolução do índice GWP utilizado na iNDC brasileira (BRASIL, 2015; EFCTC, 2014).

¹⁵ O índice CO_{2e} GTP AR5 agrupa as emissões de todos os GEE de acordo com o Potencial de Mudança de Temperatura Global (GTP 100) de cada gás em relação ao CO₂ (EFCTC, 2014; IPCC, 2014).

3.1 Emissões de GEE no Brasil: 2002 a 2015

Durante o início do século XXI, o Brasil se posicionou como um dos líderes mundiais na redução das emissões de GEE (EULER, 2016). As emissões nacionais absolutas (Gráfico 2), que eram da ordem de 2,02 bilhões de tCO₂e em 2002, chegaram ao patamar de 3,39 bilhões em 2004 e, ao fim da década, somavam 1,53 bilhões. Em 2015 os valores registrados de 1,57 bilhões de toneladas representaram uma queda total no período de 22,25%, ou 450 milhões de tCO₂e, ao mesmo tempo em que o Produto Interno Bruto Brasileiro cresceu 45,38% e a renda per capita aumentou 24,18% (IBGE, 2017b). O crescimento econômico e a redução da desigualdade social, assim, somaram-se a uma redução nas emissões tal que o país, pela primeira vez, atingiu um nível de emissão per capita inferior à média global entre os anos de 2010 e 2015 (OC, 2018).

Gráfico 2 – Emissões absolutas de GEE por setor de emissão (10⁹tCO₂e), Brasil, 2002 – 2015



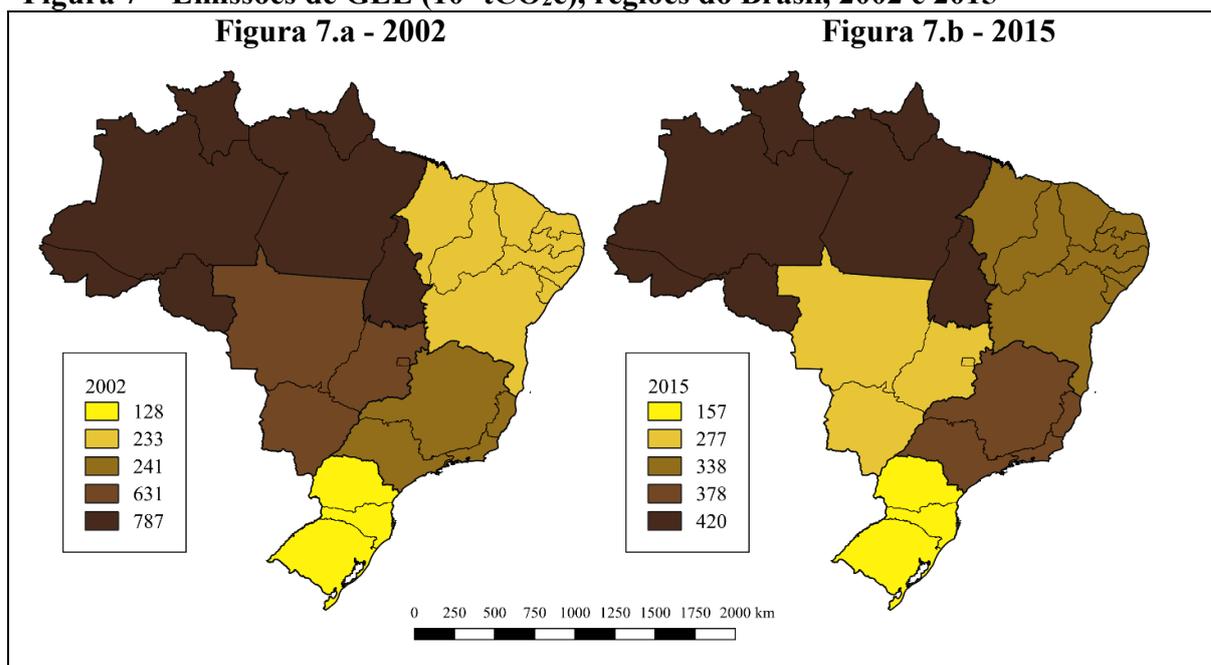
Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

No Gráfico 2 é possível perceber, ainda, que a redução nas emissões aconteceu devido à queda nas emissões do setor de Mudanças no uso da terra que aparece como principal setor de atividade das emissões nacionais no período. Concomitantemente à redução nacional as emissões regionais se tornaram mais homogêneas em números absolutos (Figura 7). As regiões Norte e Centro-Oeste, responsáveis pela parcela majoritária das emissões brasileiras em 2002 (70,19%), reduziram sua participação conjunta para 44,41% em 2015.

Mesmo que a região Norte continue respondendo pela maior parcela das emissões de GEE brasileiras em 2015 (26,76% das emissões totais), a participação relativa da região

decreceu em relação ao ano de 2002, quando 38,97% das emissões nacionais eram localizadas no norte do país. Por sua vez, a diminuição das emissões da região Centro-Oeste foi ainda mais significativa: de 31,21% em 2002 para 17,64% das emissões nacionais em 2015. Ressalta-se, ainda, que as regiões Norte e Centro-Oeste reduziram suas emissões absolutas em 46,61% e 56,06% entre 2002 e 2015, respectivamente.

Figura 7 – Emissões de GEE (10^6 tCO₂e), regiões do Brasil, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

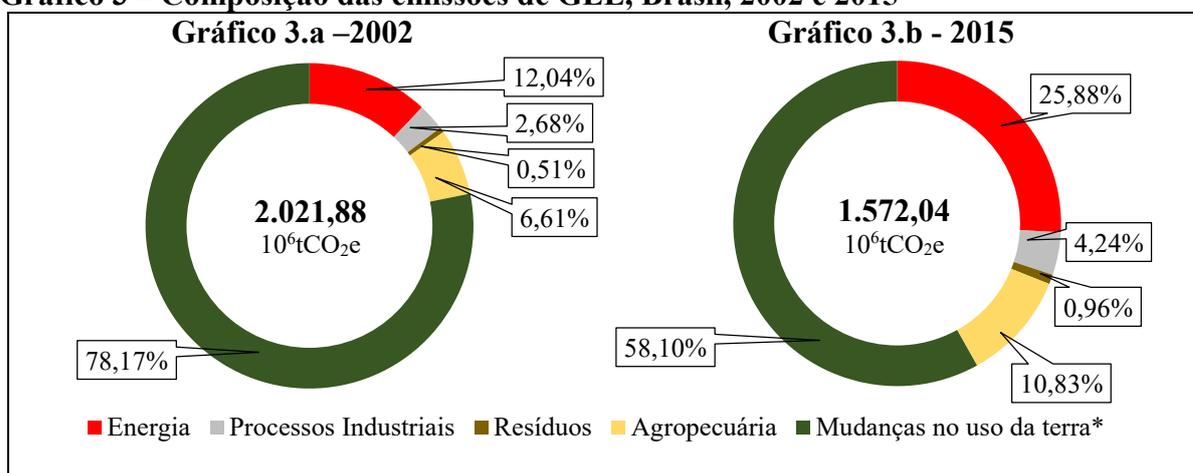
Já as regiões Nordeste e Sudeste, que respondiam conjuntamente por 23,47% das emissões totais em 2002, viram suas emissões atingirem 45,56% das emissões brasileiras no ano de 2015. O crescimento absoluto das emissões GEE nestas regiões (de 56,67% para o Sudeste e 44,97% para o Nordeste) agiu no sentido contrário aos esforços nacionais para redução das emissões totais.

Dessa forma, a redução de 22,25% no nível das emissões brasileiras entre os anos de 2002 e 2015 foi resultado, sobretudo, da drástica redução das emissões nas duas regiões brasileiras mais poluidoras no início do período (Norte e Centro-Oeste). Considerando as alterações na composição das emissões brasileiras no período (Gráfico 3), ratifica-se que a redução nas emissões totais foi ainda acompanhada de uma queda da importância relativa (assim como da diminuição absoluta) das emissões do setor de mudanças de uso da terra. O setor engloba as estimativas de emissões referentes aos “processos de conversão dos estoques de biomassa e matéria orgânica existentes acima e abaixo do solo”(OC, 2017b, p. 3) e, apesar

da redução entre 2002 e 2015, mostra-se como o setor predominante para as emissões nacionais (Gráfico 3)

Destaca-se nesse ínterim a redução de cerca 84% do desmatamento na região amazônica brasileira entre 2004 e 2012 (FEARNSIDE, 2017, p. 2). Assim, é possível avaliar que a queda no desmatamento esteja diretamente relacionada às menores taxas de emissão das regiões Norte e Centro-oeste que, por sua vez, se refletiram no desempenho brasileiro. A evidente função que a diminuição do desmatamento teve para a queda nas emissões totais revela a importância da institucionalização de políticas de preservação ambiental como Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm) instituído em 2004 (MELLO; ARTAXO, 2017).

Gráfico 3 – Composição das emissões de GEE, Brasil, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Em que pese os resultados positivos para o setor de mudanças no uso da terra e florestas, todos os demais setores experimentaram crescimento nas emissões, tanto em termos de participação nas emissões totais (Gráfico 3), quanto para as emissões absolutas (Gráfico 4). Destacam-se, nesse intervalo, as emissões referentes ao setor de energia que observaram um crescimento de 67,17% no nível das emissões de 2015 em relação a 2002. Isso se relaciona, em síntese, ao fato de que não foram verificadas melhorias estruturais relevantes no consumo e geração de energia no país no período.

De acordo com o Relatório Nacional de Monitorização da Eficiência Energética do Brasil, “a intensidade energética [no Brasil] nas últimas décadas cresceu e que o consumo de energia vem crescendo de maneira significativa nesse período” (CEPAL, 2015, p. 89). Sereno e Caixeta (2018) apontam ainda que, para o período entre 1970 e 2016, não foram observados aumentos de eficiência energética para a produção industrial brasileira. Os autores apontam que

a quantidade de energia necessária para a produção de bens manufaturados aumentou em quase todo o período, não obtendo indícios de introduções de melhorias técnicas relevantes a nível nacional.

As perspectivas brasileiras, no que diz respeito às emissões de GEE do setor energético, tornam-se pessimistas ao notar que desde 2010 se perpetua uma tendência de maior penetração de combustíveis de origem fóssil na matriz energética nacional (LUCENA et al., 2014). Nesse contexto, acentua-se o menor incentivo ao consumo de biodiesel e etanol como bem substitutos ao diesel e gasolina, respectivamente. Ainda que o país possua atualmente uma matriz mais limpa que o restante do mundo, a maior importância dos combustíveis fósseis observada desde 2010 faz com que Lucena et al. (2014) concluam sobre a urgência de políticas públicas voltadas ao setor de energia para que o país possa alcançar as metas de redução de GEE firmadas no acordo de Paris (BRASIL, 2015).

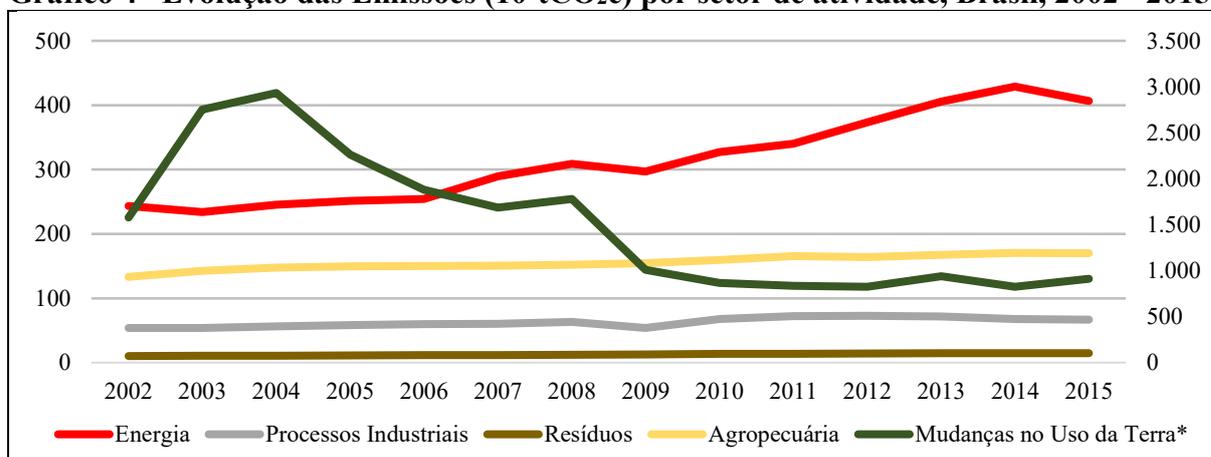
O argumento é reforçado pela greve nacional dos caminhoneiros vivenciada no Brasil em maio de 2018. A presença dos combustíveis fósseis na matriz energética do transporte nacional é tamanha que o subsídio no diesel de R\$ 0,46 por litro, negociado pelo governo para cessar a greve, representou um déficit de R\$ 13,5 bilhões (PINTO; DAMASCENO, 2018). Além disso, a medida resultou em um contexto no qual “o ambiente macroeconômico no Brasil experimentou deterioração. O prêmio de risco país ganhou impulso altista adicional, com reflexos generalizados sobre os preços dos ativos nacionais, com destaque para a cotação do dólar” (SENNA, 2018, p. 12)

Em se tratando da prospectiva do cumprimento da INDC, as emissões relativas às mudanças no uso da terra são relevantes, mesmo com os resultados positivos obtidos na década passada. O Brasil possui uma das cinco maiores áreas de produção agrícola no planeta e é também um dos maiores produtores agrícolas mundiais (OC, 2017a). A disparidade entre o setor e os demais é tamanha que, ainda que as emissões totais do setor fiquem próximas a 900 milhões de tCO₂e depois de 2010 (contra valores que se aproximavam de 3 bilhões na década anterior), nenhum outro setor apresentou estimativas superiores a 450 milhões de toneladas ao em toda a série (Gráfico 4).

Fearnside (2017) alerta para um enfraquecimento na política ambiental brasileira que resultou em um crescimento de 29% do desmatamento entre 2012 e 2016. Como consequência, as emissões relativas ao setor de mudanças no uso da terra apresetam tendência de aumento ao final da série. Dado isso, Rochedo et al. (2018) advertem para os altos custos de se contrabalancear o crescimento das emissões relacionadas à terra com a redução da emissão dos outros setores. Os autores apontam que, em um cenário de política ambiental intermediária, os

custos para a redução das emissões dos demais setores dobram atingindo a cifra de 2 trilhões de dólares de 2010¹⁶.

Gráfico 4– Evolução das Emissões (10⁶tCO₂e) por setor de atividade, Brasil, 2002 - 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Notas: * Setor de Mudanças no uso da terra no eixo secundário dada a disparidade entre o setor e os demais

No que diz respeito às emissões de GEE, os avanços ambientais no Brasil observam-se exclusivamente no setor de Mudanças no uso da terra. Os crescimentos das estimativas para os setores de Energia (67,16%), Processos Industriais (23,23%), Resíduos (45,39%) e Agropecuária (27,41%) alertam para um cenário futuro preocupante. Nesse sentido, para atingir as metas de redução estabelecidas no Acordo de Paris (BRASIL, 2015) serão necessários investimentos amplos, setorialmente diversificados e regionalmente estabelecidos, o que apesar de prometido para o ano de 2018 não foi anunciado pelo governo federal até então de acordo com o Observatório do Clima (2018).

3.2 Região Norte

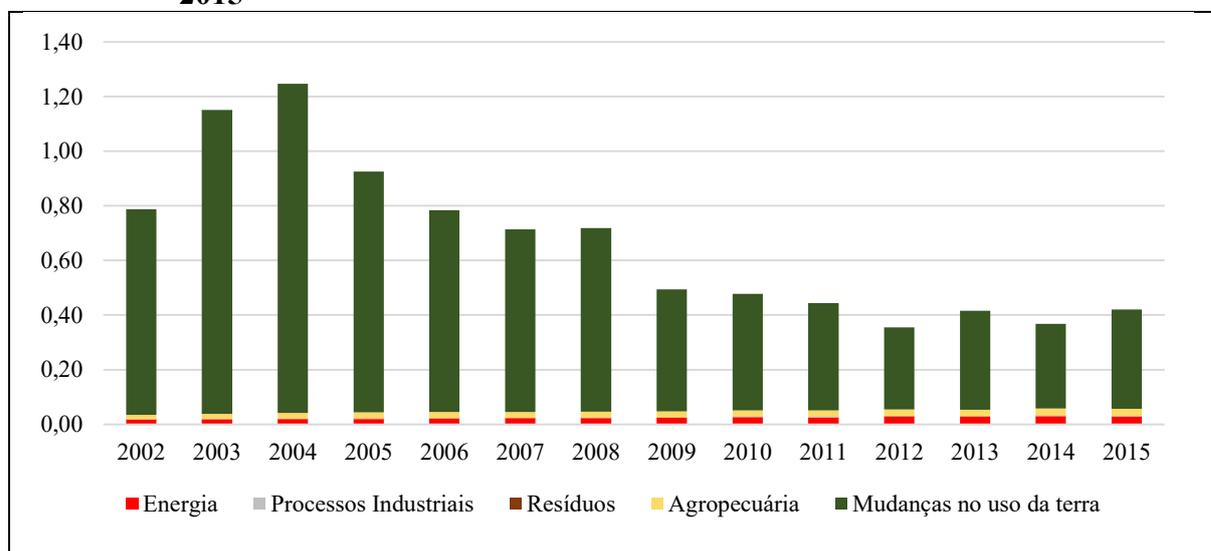
A região Norte foi a mais proeminente nas emissões totais brasileiras entre os anos de 2002 e 2015. No ano de 2002 as emissões absolutas da região (Gráfico 5) somavam 787 milhões de tCO₂e e, em 2015, estavam no patamar de 420 milhões de toneladas, representando a maior redução em termos absolutos dentre as regiões brasileiras. O valor da redução nas emissões da região (367 milhões de toneladas) é tamanho que se aproxima das emissões totais da região Sudeste (378 milhões) em 2015, sendo ainda, superior às emissões de todas as demais regiões

¹⁶ Em relação a um cenário de política ambiental forte.

no ano final da série. A redução observada nas emissões da região Norte, de 46,61%, foram acompanhadas, ainda, de um crescimento de 28,04% na renda per capita (IBGE, 2017a, 2017b).

A importância das emissões de GEE da região Norte são verificadas, ainda, pelo pico de emissões no período de 1,25 bilhões de tCO₂e, registrado em 2004. O valor é o mais alto observado para apenas uma região no período e, ainda, próximo ao valor médio das emissões brasileiras totais entre 2010 e 2015 (da ordem de 1,50 bilhões de toneladas). De forma mais evidente que para o Brasil nota-se desmedida relevância para as emissões do setor de Mudanças no uso da terra para a região (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Emissões absolutas de GEE (10⁹tCO₂e) por setor de emissão, Norte, 2002 – 2015



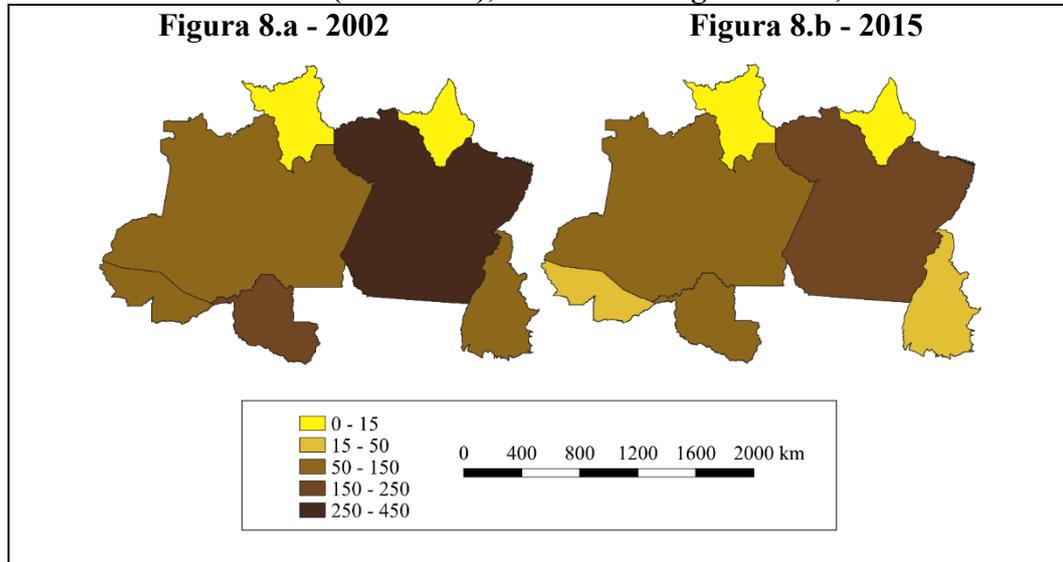
Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

O desempenho da região é justificado, principalmente, pela redução das emissões dos estados do Pará (58,23%), Rondônia (52,61%) e Acre (58,09%) (Figura 8). Considerando isoladamente o estado do Pará (responsável, em 2002, por 55,99% das emissões da região e 21,8% das emissões nacionais), as emissões registradas foram de aproximadamente 441 milhões de tCO₂e em 2002 para aproximadamente 184 milhões de tCO₂e em 2015. Dessa forma, a expressiva redução de 257 milhões de tCO₂e deste estado corresponde a 69,95% da redução total da região norte e 57,11% da queda nas emissões de GEE brasileiras.

Ainda que de forma menos sensível quando comparada ao Brasil, percebe-se também uma redução na participação das emissões relativas ao setor de mudanças no uso da terra para a região (Gráfico 6). As emissões totais do setor diminuíram de 1,2 bilhões de toneladas em 2004, ano de pico nas emissões para o setor, para aproximadamente um quarto disso em 2012 (355 milhões de toneladas), quando o setor apresentou as menores emissões na região. Ressalta-

se, todavia, que os valores de 2015 (420 milhões) já correspondiam a mais de um terço do nível inicial (Gráfico 7), indicando um crescimento nas emissões relativas à Mudanças no uso da terra para a região Norte nos últimos anos da análise.

Figura 8 – Emissões de GEE (10^6 tCO₂e), estados da Região Norte, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

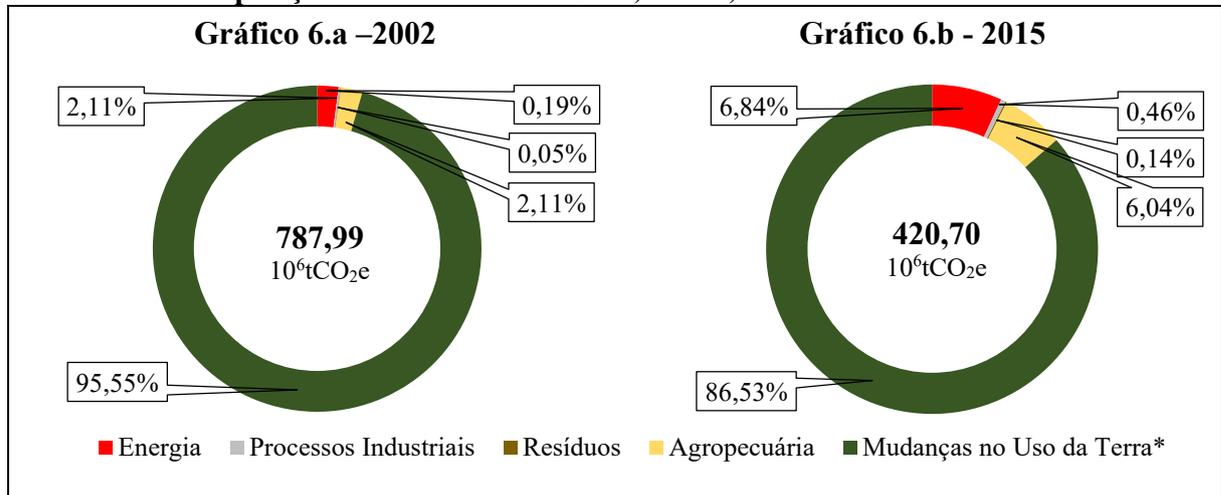
Evidencia-se aqui, portanto, a importância das emissões relativas ao desmatamento e degeneração das florestas tanto para as emissões da região como para as emissões totais brasileiras. Entretanto, é preciso ressaltar que, além dos esforços de proteção governamental, boa parte da redução ocorrida entre 2004 e 2012 pode ser explicada por fatores externos ao fortalecimento da legislação ambiental como a redução no preço das commodities primárias: soja e carne bovina (FEARNSSIDE, 2017).

Tal consideração, ao lançar dúvidas acerca do quanto se deve da redução das emissões brasileiras às políticas públicas de prevenção do desmatamento, alerta para o fato de que as emissões podem voltar a crescer dada uma mudança nos fatores externos. Como as emissões do setor de mudanças do uso da terra e florestas se associam diretamente à expansão das atividades agropecuárias, e a produção de tais atividades em geral são commodities, variações na quantidade demandada externamente destes produtos seriam fatores relevantes para a determinação nas emissões da região norte e, conseqüentemente, brasileiras em geral.

Na evolução da composição das emissões da região norte (Gráfico 7) é notável, assim como para o Brasil, um forte declínio nas emissões do setor de mudanças no uso da terra entre os anos de 2005 e 2012. Tal comportamento pode ser relacionado a três fatores: a) o intenso

crescimento da atividade pecuária na região no período imediatamente inferior; b) a legislação ambiental mais severa e; c) o desaquetamento da demanda externa por commodities agrícolas.

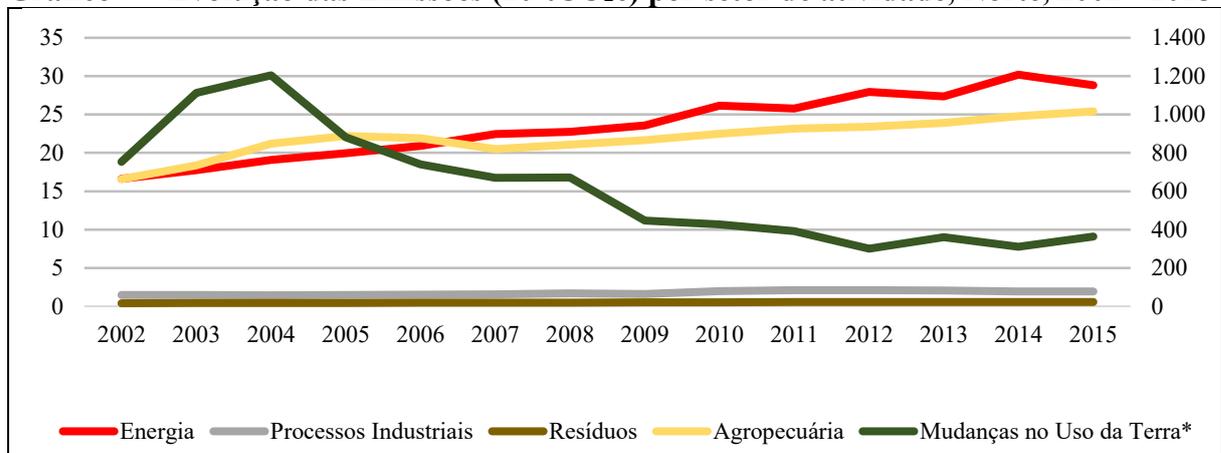
Gráfico 6 – Composição das emissões de GEE, Norte, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

A intensa expansão da atividade pecuária entre 1990 e 2006, - no período o rebanho bovino da região amazônica brasileira cresceu a uma taxa dez vezes superiores ao do resto do país (GIRARDI, 2016) - resultou em taxas desproporcionais de desmatamento e, portanto, emissões de GEE do setor de Mudanças no uso da terra (MELLO; ARTAXO, 2017). No que diz respeito à legislação ambiental se ressaltam os resultados do PPCDAm, implantando em 2004. Além disso, observa-se um declínio na demanda externa por commodities como soja e carne bovina após 2007 (FEARNSIDE, 2017).

Gráfico 7 – Evolução das Emissões (10⁶tCO₂e) por setor de atividade, Norte, 2002 - 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Notas: * Setor de Mudanças no uso da terra no eixo secundário dada a disparidade entre o setor e os demais

Os efeitos da ampliação da atividade pecuária são percebidos, também, pelo exponencial crescimento das emissões da Agropecuária (Gráfico 7). O setor teve suas emissões elevadas de 16,60 milhões de tCO₂e em 2002 para 25,39 milhões no ano de 2015. O acréscimo de mais de 50% nas emissões do setor fez que sua participação nas emissões da região (Gráfico 6) saltasse de 2,11% para 6,04% no período. Ainda superior ao crescimento do setor Agropecuário, apresenta-se o setor de Energia. As emissões relativas à produção e consumo de energia na região Norte cresceram 73,34% entre 2002 e 2015 (Gráfico 7), aumentando sua participação relativa nas emissões da região Gráfico 7, de 2,11% para 6,84% (Gráfico 6) no mesmo período.

Destaca-se que, apesar da redução das emissões totais observada, o setor de Mudanças no uso da terra ainda representa quase a totalidade das emissões da região em 2015 (Gráfico 6). Assim, ao ter em vista que “as atividades pecuárias, a produção de soja, os investimentos em infraestrutura e a grilagem de terras ainda constituem os principais vetores diretos de desmatamento na Amazônia Legal” (MELLO; ARTAXO, 2017, p. 114), as emissões de Mudanças de uso da terra da região Norte ainda representam um desafio a ser enfrentado para a redução das emissões de GEE brasileiras.

A perspectiva não é mais animadora quando se nota que as emissões do setor voltaram a crescer entre 2012 e 2015 (Gráfico 7) e, em valores absolutos, as emissões do setor de Mudanças de uso da terra na região Norte são superiores às emissões totais de todas as demais regiões. Mello e Artaxo (2017, p. 114) relacionam esse aumento nas emissões no período a:

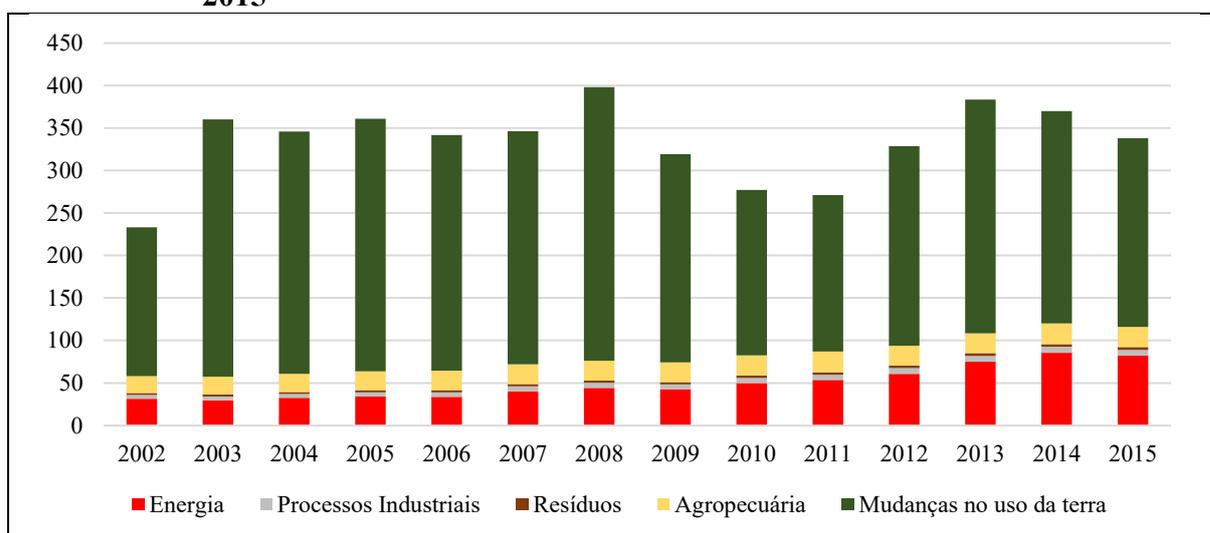
- 1) demandas internacionais crescentes por commodities agroindustriais e escassez de terras apropriadas à expansão agrícola nos EUA, Europa Ocidental, China e outros países ; 2) expansão do plantio de cana-de-açúcar para a produção de etanol no estado de São Paulo, o que provocou o deslocamento da produção de soja e rebanhos bovinos; 3) fragilidade das políticas ambientais brasileiras(MELLO; ARTAXO, 2017, p. 113)

Fearnside (2018) aponta que o enfraquecimento da legislação ambiental, sobretudo nos anos de 2015 e 2016, traz perspectivas desfavoráveis à preservação das florestas. O enfraquecimento do licenciamento ambiental através de uma etapa única (BRASIL. SENADO FEDERAL, 2016) é apontado pelo autor como mecanismo de facilitação à degradação ambiental. Ao promover o desregramento da expansão das atividades agropecuárias, a ação governamental permite o crescimento das emissões de GEE pertinente ao desmatamento, queimadas e degeneração das florestas.

3.3 Região Nordeste

As estimativas de emissões para a região Nordeste, na direção contrária aos resultados nacionais, apresentaram crescimento de 44,97% entre os anos de 2002 e 2015, valor superior a expansão de 35,76% na renda per capita da região para o mesmo período (IBGE, 2017a, 2017b). Ao aumentar suas emissões absolutas (Gráfico 8) de 233 milhões de tCO₂e em 2002 para 338 milhões em 2015, as emissões do Nordeste que respondiam por 11,34% das emissões brasileiras em 2002 passaram a representar 21,51% no final do período. Dessa forma, o Nordeste superou o Centro-Oeste e, em 2015, foi a terceira região mais proeminente em termos de emissão de GEE do país.

Gráfico 8 – Emissões absolutas de GEE (10⁶tCO₂e) por setor de emissão, Nordeste, 2002 – 2015



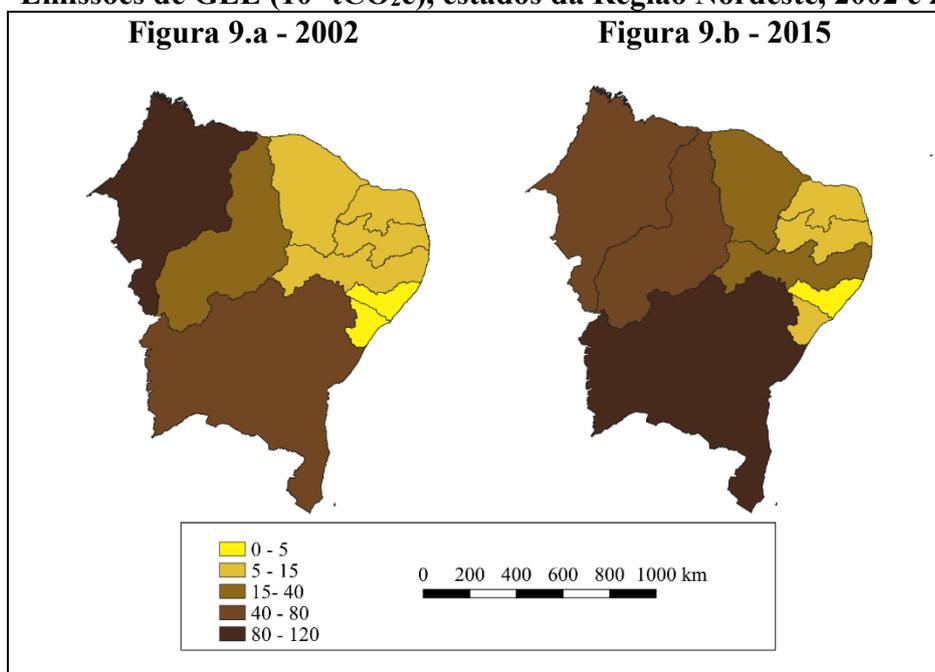
Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

O crescimento das emissões totais de GEE do Nordeste (Gráfico 8) – da ordem de 105 milhões de tCO₂e - se relaciona à intensificação das emissões de estados como Bahia, Pernambuco, Piauí, Ceará e Sergipe (Figura 9). Da mesma forma que o Brasil – e a região Norte – a região Nordeste apresentou homogeneização das emissões entre os estados. O Maranhão, estado mais significativo para as estimativas de 2002, reduziu em 30,33% suas emissões ao final da série. Tal desempenho foi influenciado, sobretudo, pela redução das emissões do setor de Mudanças no uso da terra no estado, da ordem de 43,46%.

Destaca-se, por outro lado, o crescimento das emissões totais do Piauí (285,87%) e da Bahia (81,12%), também impulsionados pelo acréscimo das estimativas relacionadas ao setor de Mudanças no uso da terra, da ordem de 333,22% e 95,64%, respectivamente. Em valores

absolutos, as emissões de GEE totais do Piauí e Bahia somaram, nesta ordem, 76,75 e 108,38 milhões de tCO₂e. Como resultado, os estados foram os dois maiores poluidores da região Nordeste ao final da série respondendo por 54,75% das emissões totais da região.

Figura 9 – Emissões de GEE (10⁶ tCO₂e), estados da Região Nordeste, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

No que diz respeito aos setores de atividade, o crescimento das emissões da região se relaciona, sobretudo, ao aumento nas emissões dos setores de energia e mudanças no uso da terra (Gráfico 10). Com exceção dos estados de Alagoas e Bahia, os estados restantes mais que dobraram suas emissões relativas à geração e consumo de energia entre 2002 e 2015. Destarte, a participação do setor energia nas emissões de GEE da região saltou de 13,41% em 2002 para 24,39% em 2015 (Gráfico 9). Destaca-se para o setor de energia, o desempenho negativo em termos relativos do Maranhão: único estado da região a reduzir suas emissões totais no período aumentou em mais de três vezes o nível das emissões do setor. As emissões de todo o período somadas (80,23 milhões de tCO₂e), contudo, foram inferiores às observadas nos estados da Bahia (242,93 milhões), Pernambuco (101,20 milhões) e Ceará (90,23 milhões).

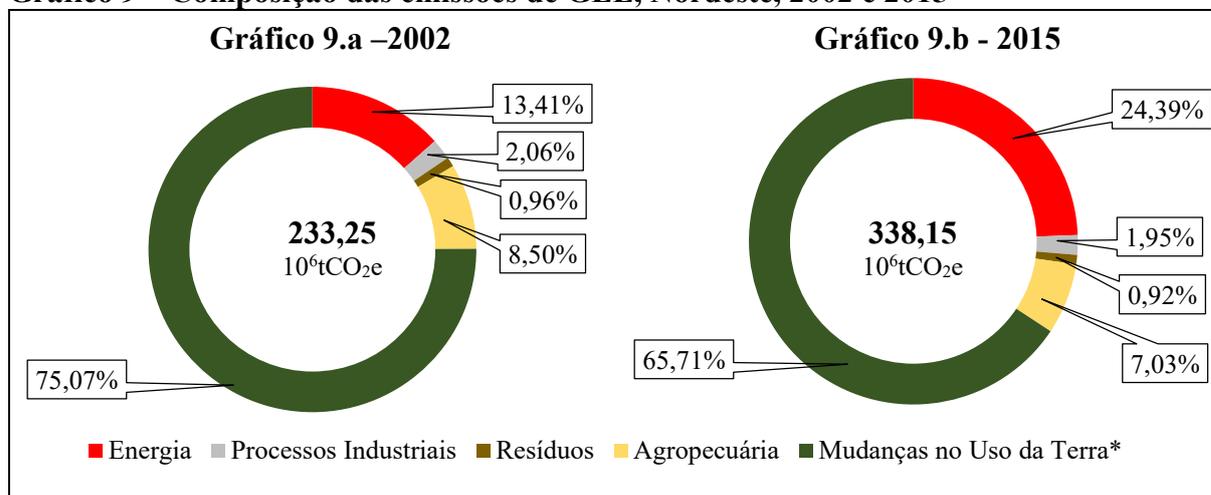
Sobressai-se para o aumento das emissões relacionadas à produção de energia a instalação das refinarias Potiguar Clara Camarão no Rio Grande do Norte e Abreu e Lima em Pernambuco em 2010 e 2014, respectivamente. As emissões de energia destas unidades federativas, após o início das operações, aumentaram a uma taxa média anual de aproximadamente 10% para ambos os estados. Ademais, Garlet, Canto e Oliveira (2018)

apontam a importância da utilização da lenha e carvão vegetal – que resultam em liberação de CO_2 - como fonte primária de energia na região da Caatinga, em especial para os setores comercial e industrial.

Além da emissão de GEE no processo de queima, a utilização de lenha e carvão vegetal como combustíveis também impacta no desmatamento da região, dado que “a região Nordeste predomina a produção de lenha de florestas nativas, pois existem grandes dificuldades para a implantação de reflorestamentos” (GARLET; CANTO; DE OLIVEIRA, 2018, p. 736). Assim, ainda que o setor de mudanças no uso da terra tenha perdido participação relativa (Gráfico 9), em valores absolutos a região registrou um crescimento de 26,90% no nível deste tipo de emissão, na direção contrária ao resultado nacional.

Soma-se a produção de lenha o crescimento da agricultura intensiva na região Matopiba¹⁷. Enquanto a expansão da fronteira agrícola na região costeira se deu, sobretudo, desde os anos 1970, a expansão região mais continental dos estados do Maranhão, Piauí e Bahia ocorreu em períodos mais recentes, principalmente nas décadas de 1990 e 2000 (VIERA FILHO, 2016).

Gráfico 9 – Composição das emissões de GEE, Nordeste, 2002 e 2015



Como resultado da expansão da agricultura intensiva, sobretudo soja, milho, café e algodão no oeste do estado (SANTOS; SANO; SANTOS, 2018), a Bahia registrou um crescimento de 95,6% nas emissões relativas ao desmatamento e queimadas entre 2002 e 2015. Ademais, o avanço das áreas plantadas de soja e algodão no Piauí, entre 1996 e 2006, ocasionou

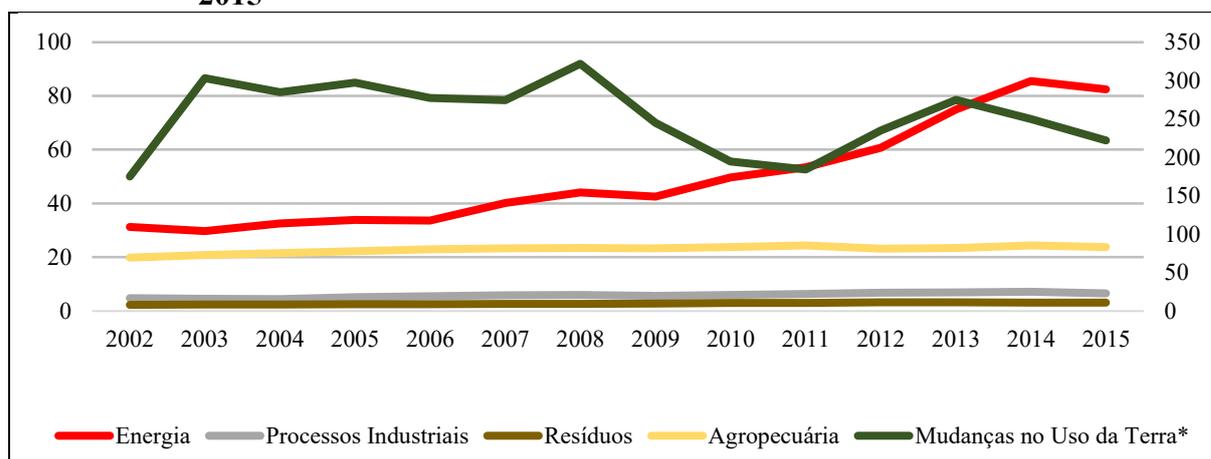
¹⁷ Região que compreende os estados Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (VIERA FILHO, 2016)

um crescimento da ordem de 333,22% nas emissões de mudanças de uso da terra entre 2002 e 2015.

Em termos absolutos (Gráfico 10), torna-se evidente a disparidade entre o comportamento das emissões do setor de mudanças no uso da terra em relação ao Brasil. Enquanto o Brasil, e a região Norte, reduziram substancialmente as emissões do setor a partir de 2004, a região Nordeste só experimentou decréscimo após 2008. Corrobora-se, portanto, o argumento de que a redução nacional – e na região Norte – esteja fortemente relacionada à instituição do PPCEDAm, considerando os dados de desmatamento na Amazônia (VIERA FILHO, 2016). Garlet, Canto e Oliveira (2018) alertam ainda para o “potencial” de desmatamento da Caatinga, dado que cerca de 54% da área de vegetação do bioma ainda estava preservada em 2015.

As emissões do setor Agropecuário (Gráfico 10) cresceram 19,91% entre os anos de 2002 e 2015. Apesar disso, o setor diminuiu sua participação relativa (Gráfico 9) de 8,50% para 6,73% no período e, as 23,78 milhões de tCO₂e relativas ao setor em 2015 representavam pouco mais de 10% das emissões do setor de Mudanças de uso da terra. Isso se verifica, sobretudo, devido ao fato de que o desmatamento na região se relaciona mais à expansão da atividade agrícola e produção de lenha do que com a ampliação da atividade pecuária.

Gráfico 10 – Evolução das Emissões (10⁶tCO₂e) por setor de atividade, Nordeste, 2002 - 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Notas: * Setor de Mudanças no uso da terra no eixo secundário dada a disparidade entre o setor e os demais

Também ganha força a hipótese de que as variações nos preços internacionais das commodities – no caso do Nordeste também o algodão – influenciam diretamente nas emissões do setor de mudanças no uso da terra pelo mecanismo de incentivo à expansão da fronteira agrícola. Nota-se, para o Nordeste, que o período de preços vantajosos de commodities

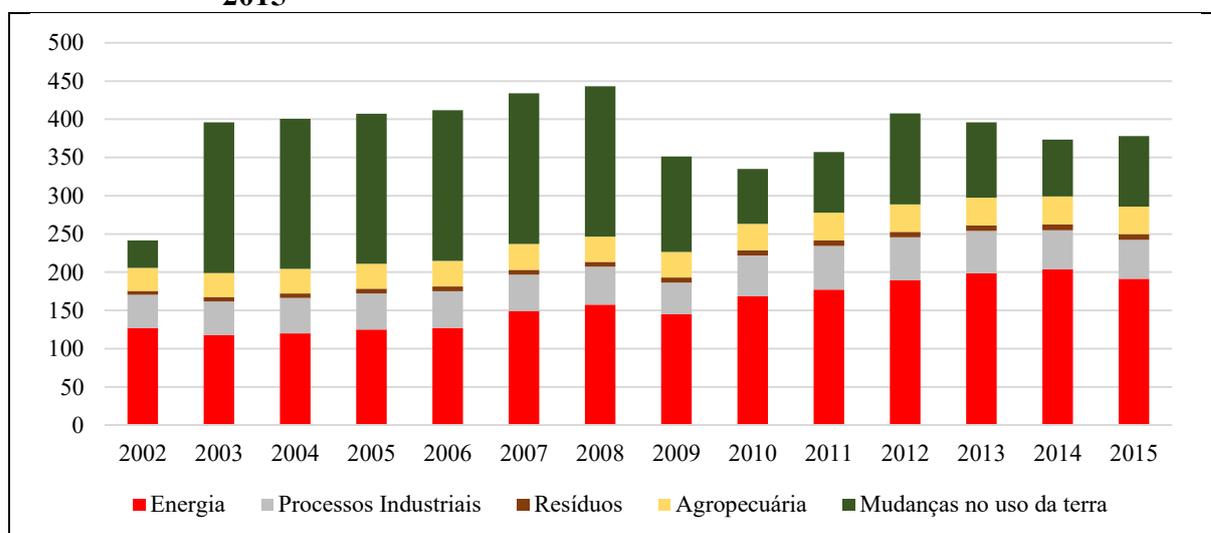
primárias (*boom* das commodities) foi acompanhado de altas taxas de emissões relacionadas à expansão das atividades agropecuárias, ao mesmo tempo que não é possível determinar uma tendência clara de redução nas emissões relacionadas à mecanismos de proteção ambiental. Assim sendo, as emissões parecem estar mais relacionadas a movimentos de mercado internacional que incentivam investimentos produtivos.

Acrescenta-se a isso que o crescimento da produção agrícola brasileira entre 1995 e 2006 – período de intensa incorporação das áreas interioranas do Nordeste – apresentou relação mais forte com a expansão da área cultivada (2,4% a.a.) do que por aumentos de produtividade (1,9% a.a.) (VIERA FILHO, 2016). É possível argumentar, assim, que a expansão da produção não foi necessariamente acompanhada de intensificação tecnológica.

3.4 Região Sudeste

Assim como o Nordeste, a região sudeste brasileira experimentou crescimento nas emissões absolutas de GEE no período analisado (Gráfico 11). As estimativas para a região saltaram de 241 milhões de tCO₂e em 2002 para 379 milhões de toneladas em 2015. Ressalta-se que, em relação ao pico de emissões de 443 milhões de tCO₂e registrado em 2008, ao final da série a região apresentou redução de 14,69% nas emissões totais. Analisando as emissões absolutas da região (Gráfico 11), torna-se perceptível que tal comportamento se deu, sobretudo, devido à alterações nas emissões do setor de Mudanças no uso da terra.

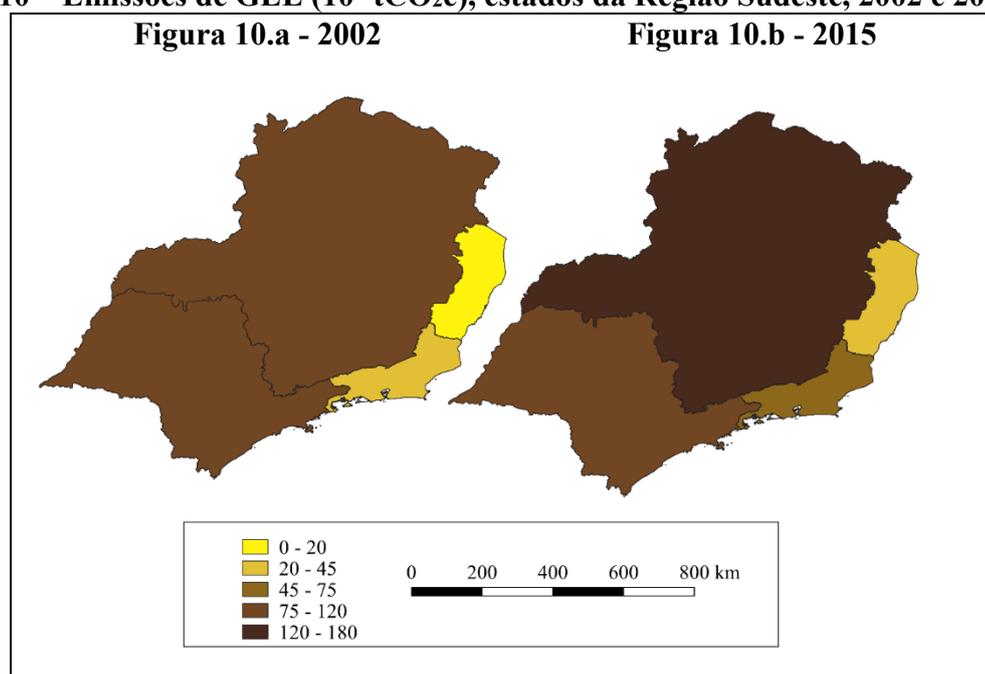
Gráfico 11 – Emissões absolutas de GEE (10⁶tCO₂e) por setor de emissão, Sudeste, 2002 – 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Em suma, as emissões da região em 2015 superaram em mais de 136 milhões de tCO₂e os níveis de 2002: um incremento da ordem de 56,07% e mais intenso que o crescimento de 18,82% registrado na renda per capita (IBGE, 2017a, 2017b). Tal comportamento se relaciona a observação de que todos os estados da região registraram aumento nas estimativas de emissões, ainda que este tenha sido mais relevante em termos percentuais para os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo (Figura 10). O crescimento verificado nestes estados entre 2002 e 2015 foi de 77,09%, 85,29% e 114,59%, nessa ordem. De forma distinta às demais regiões, não houve tendência de homogeneização do nível das emissões entre os estados. A bem da verdade, houve concentração das emissões para o estado de Minas Gerais, cuja participação nas emissões da região passou de 39,92% em 2002 para 45,13% em 2015 ao saltar de 96,33 milhões para 170,60 milhões de tCO₂e no período.

Figura 10 – Emissões de GEE (10⁶ tCO₂e), estados da Região Sudeste, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

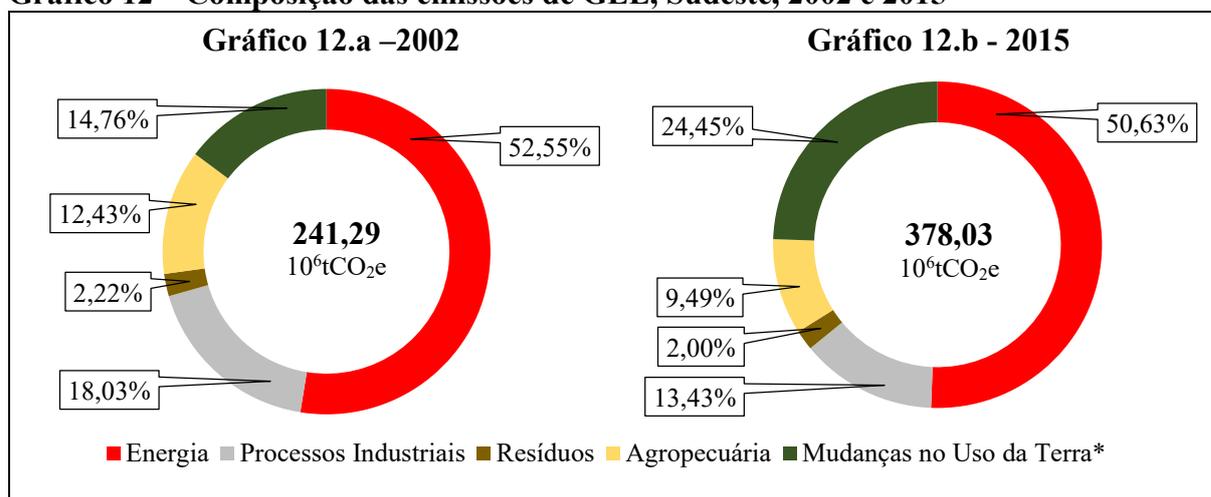
Ainda de forma contrária ao Brasil, a região Sudeste foi a única a experimentar crescimento na participação do setor de mudanças no uso da terra nas emissões totais (Gráfico 12). Isto se deve, mais uma vez, ao crescimento exponencial das emissões em Minas Gerais, o estado que teve maior aumento absoluto nas emissões totais da região. Considerando apenas o setor, em 2005 as emissões mineiras foram 57,83 milhões de toneladas superiores aos níveis de 2002: um crescimento de 186,67%. Sendo assim, o crescimento das emissões do setor de Mudanças no uso da terra só para o estado de Minas Gerais foi superior ao registrado para toda

a região Sudeste (da ordem de 56,81 milhões de tCO₂e). Em tempo, 42,23% do aumento das emissões totais da região Sudeste no período se relacionam exclusivamente ao crescimento das emissões mineiras relativas ao desmatamento e queimadas.

O significativo incremento das emissões oriundas do setor de mudanças do uso da terra em Minas Gerais certamente tem relação com o aumento da degradação dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, presentes majoritariamente neste estado. Dados da Fundação SOS Mata Atlântica e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) mostram que o estado foi o que mais desmatou áreas do bioma Mata Atlântica entre 2000 e 2015 (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2009, 2011, 2016). Dados do INPE (2018) mostram ainda que o estado respondeu por 15,96% do desmatamento do Cerrado no período, ficando atrás apenas do Mato Grosso que foi responsável por 16,43% do total.

Além disso, destaca-se a participação do setor de energia para as emissões do Sudeste (Gráfico 12). O setor é responsável por pelo menos metade das emissões de GEE da região ao início e final da série. Isso se relaciona, sobretudo, ao fato de que “os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo são especializados em produtos intensivos em recursos minerais, com ênfase em minério de ferro e petróleo”(VERÍSSIMO, 2016, p. 78), tendo em vista que tais atividades são intensivas em uso de energia.

Gráfico 12 – Composição das emissões de GEE, Sudeste, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

É preciso considerar ainda que as emissões energéticas da indústria são computadas no setor de energia e não no setor de processos industriais¹⁸. Dessa forma, o estado de São Paulo, como principal polo industrial do país, tem grande relevância para as emissões

¹⁸ Ver Anexo A

relacionadas à utilização de energia em atividades industriais. Acrescenta-se a isso o fato de que as emissões relativas a geração e consumo de energia no estado somaram 1,70 bilhões de tCO₂e entre 2002 e 2015, ou 51,63% as emissões do setor para a região em todo o período.

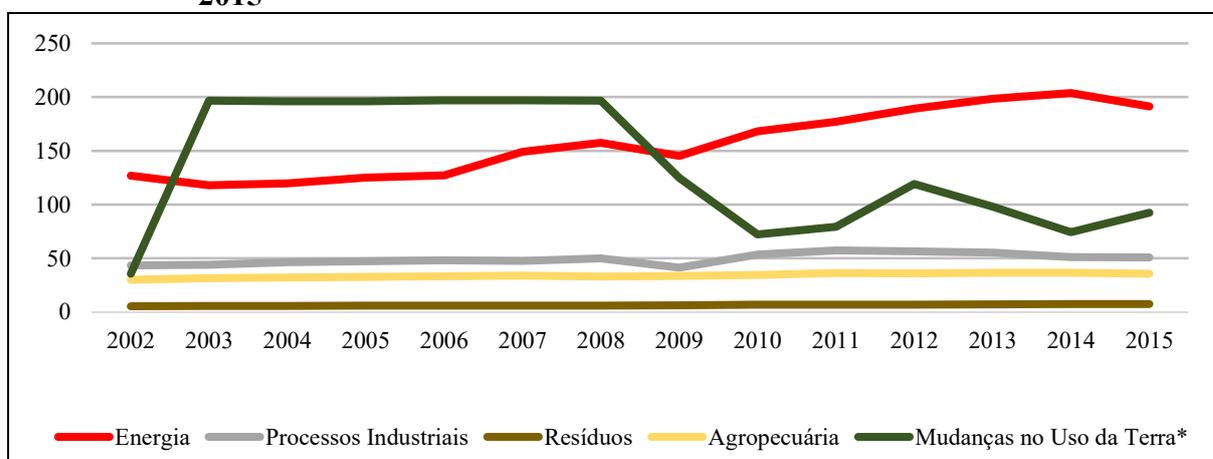
Além do destacado crescimento na participação do setor de mudanças no uso da terra para o período, quando se observa a evolução das emissões de cada setor para a região (Gráfico 13), salta aos olhos o crescimento das estimativas para o setor entre 2002 e 2003. Percebe-se, portanto, que as emissões do setor para a região não se relacionam às emissões nacionais, assim como a região Nordeste. Nota-se ainda que o crescimento das emissões do setor de energia – sobretudo após 2006 – resulta em um nível de emissões relacionadas à produção e consumo de energia superior ao nível das emissões relacionadas à expansão da atividade agropecuária.

O crescimento do setor de energia no período se relaciona diretamente à atividade de extração e refino de petróleo nos estados de Rio de Janeiro e Espírito Santo. Os estados, que são os maiores produtores de petróleo do Brasil, observaram um crescimento de 176,78% e 113,47% nas emissões relacionadas à energia entre os anos de 2002 e 2015. Como resultado, as emissões do setor de energia do Sudeste em 2015, da ordem de 191 milhões de tCO₂e, correspondem a aproximadamente metade de todas as emissões brasileiras para o setor.

Ressalta-se ainda que na região Sudeste se localizam cerca de 60% dos estabelecimentos relacionados a extração petróleo entre 2003 e 2015 e entre 45% e 50% dos estabelecimentos de refino de petróleo no mesmo período (HASENCLEVER; AZEVEDO FILHO; PIQUET, 2017). Com a exceção do estado de São Paulo, entretanto, as emissões de energia não compreendem processos industriais de maior complexidade tecnológica. Haja vista que a pauta exportadora relacionada ao setor compreende, em geral, produtos de baixa ou nenhuma transformação tecnológica. No ano de 2014, cerca de 57% das exportações do estado do Rio de Janeiro eram compostas de óleos brutos de petróleo e em Minas Gerais, aproximadamente 40% das exportações eram de Minério de ferro aglomerado (VERÍSSIMO, 2016). Para o Espírito Santo, 42% das exportações eram de minério de ferro (aglomerado e não aglomerado) e 16% correspondentes a óleo bruto petróleo (VERÍSSIMO, 2016).

É preciso levar em conta que, segundo Sereno e Andrade (2018), não foram observados avanços técnicos que resultassem em melhorias de eficiência energética para a indústria brasileira neste período. Nesse sentido, é esperado que o aumento no consumo de energia industrial não se verifique em termos de incremento de valor de produção. Somando-se isso à perspectiva de aumento da participação de combustíveis fósseis na matriz energética, têm-se que o cenário que se coloca para o setor de energia na região Sudeste não aponte expectativas de melhorias.

Gráfico 13 – Evolução das Emissões (10⁶tCO₂e) por setor de atividade, Sudeste, 2002 a 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Notas: * Setor de Mudanças no uso da terra no eixo secundário dada a disparidade entre o setor e os demais

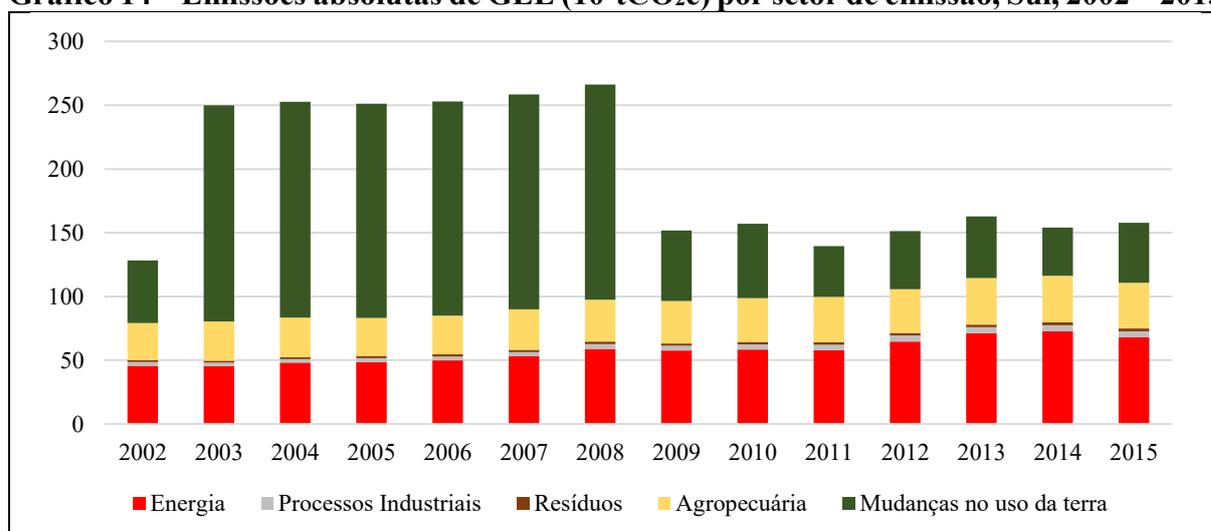
O Sudeste é ainda preponderante para os setores menos representativos nas emissões brasileiras. As emissões da região relacionadas aos processos industriais não energético somaram cerca de 50 milhões de tCO₂e em 2015, correspondente a três quartos das emissões brasileiras do setor. O crescimento das emissões do setor para o Sudeste (16,75%), contudo, foi ainda inferior ao nacional (23,23%), destacando-se os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, cujas emissões de processos industriais não energéticos respondem por 68,28% das emissões do Sudeste e 52,02% das emissões brasileiras totais. Fato explicado, sobretudo, pelas atividades de extração e transformação de minério de ferro e minerais não ferrosos como cimento.

Já para o setor de resíduos, que apresenta os menores níveis de emissões para o Brasil em todo o período, a região Sudeste foi responsável pela emissão de 7,5 milhões de tCO₂e ao final do período (metade das emissões brasileiras). O destaque para o setor é São Paulo, de onde se originam 55,78% das emissões da região e 28,06% das emissões nacionais. Isto se deve, no geral, ao tamanho da população e à concentração industrial brasileira no estado. Os resíduos urbanos e de saúde se relacionam diretamente ao tamanho da população urbana do estado que, em 2015, correspondia a 24,47% da população nacional. Além disso, os resíduos industriais do estado, 27,27% do total nacional em 2015, estão ligados à produção industrial paulista, que concentra as principais atividades industriais do país.

3.5 Região Sul

A região sul apresenta os menores índices de emissões de GEE em todo o período analisado e se assemelha mais ao Sudeste do que às demais regiões brasileiras. O crescimento de 23,01% nas estimativas de 2015 em relação a 2002 (Gráfico 14) fez com que as emissões da região correspondessem a cerca de um décimo das emissões brasileiras em 2015. Salienta-se que o crescimento nas estimativas de emissão do Sul foi inferior ao crescimento da renda per capita da região no período, da ordem de 32,62% (IBGE, 2017a, 2017b). Assim como o Sudeste, a região observa estimativas mais altas para as emissões entre os anos de 2003 e 2008, com pico de 266,25 milhões de tCO₂e no ano de 2008. Ainda assim, a região Sul é a que apresenta os menores montantes de emissão no Brasil: o valor registrado em 2015, de 157,78 milhões de tCO₂e, é 43,12% inferior às emissões do Centro-Oeste, segunda região com menor índice de emissões ao final no período.

Gráfico 14 – Emissões absolutas de GEE (10⁶tCO₂e) por setor de emissão, Sul, 2002 – 2015

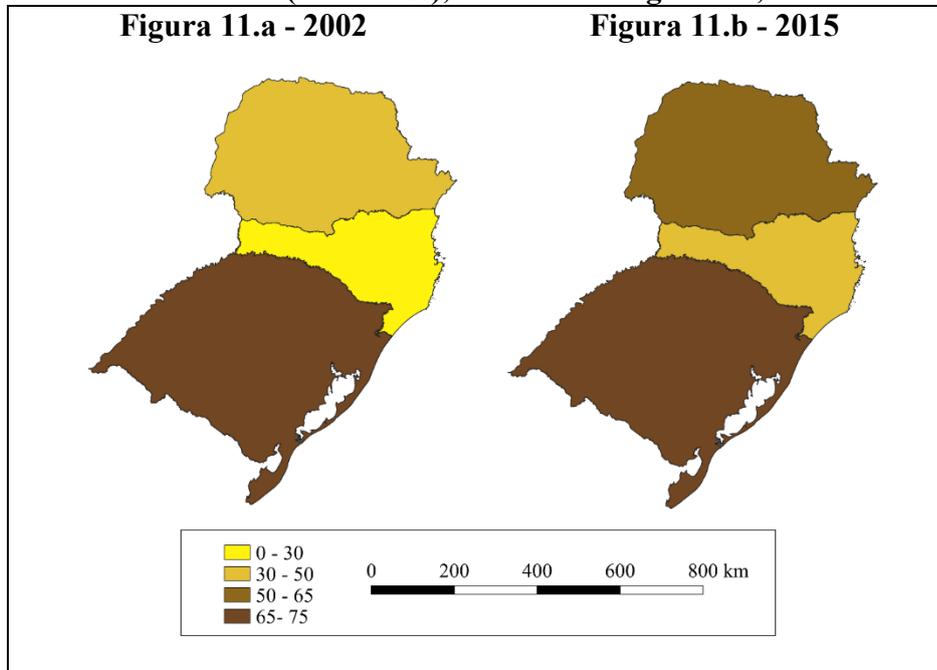


Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Da mesma forma que o Brasil, a região Sul também apresentou tendência de homogeneização nas estimativas de emissões (Figura 11). Enquanto o Rio Grande do Sul, estado proeminente nas emissões em todo o período, reduziu suas emissões em 5,71 milhões de tCO₂e (ou 7,81%), os estados do Paraná e Santa Catarina cresceram em 81,40% (26,46 milhões) e 38,59% (8,77 milhões), respectivamente. O crescimento das estimativas para a região, em sua quase totalidade, se relaciona ainda ao aumento das emissões dos setores de Energia e Agropecuária no período. Os setores expandiram suas emissões de GEE em 29,09

milhões de tCO₂e no ano de 2015 em relação a 2002, sendo responsáveis por 98,56% da expansão total das emissões da região sul no período.

Figura 11 – Emissões de GEE (10⁶ tCO₂e), estados da Região Sul, 2002 e 2015

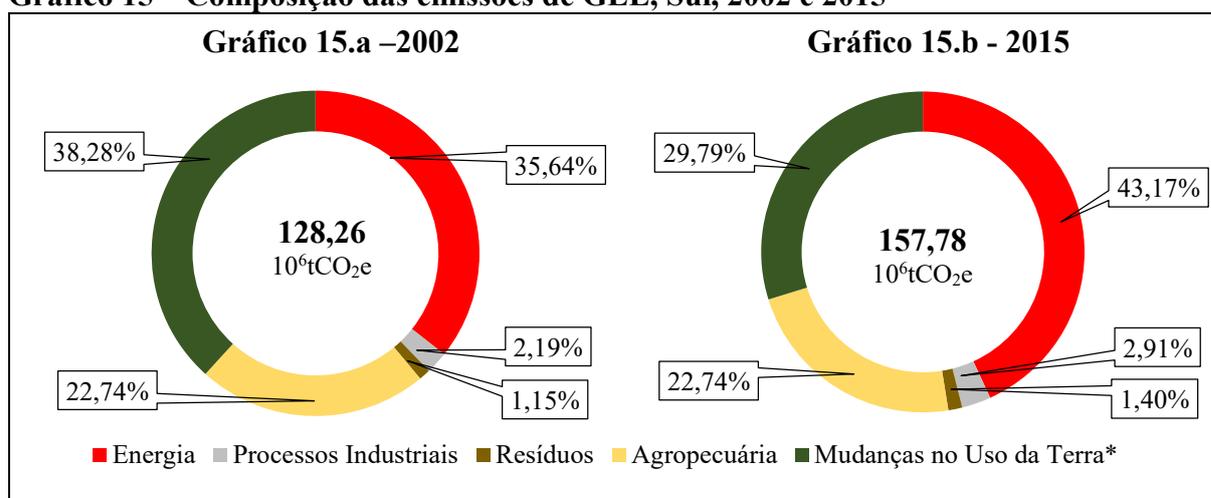


Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Na mesma direção brasileira, as emissões relativas ao setor de mudanças no uso da terra perderam importância relativa para a região sul no período. (Gráfico 15). Assim como para o Sudeste, o setor preponderante para as emissões foi o relacionado às emissões de produção e consumo de energia. Destaca-se, também, o setor agropecuário para as estimativas de emissões da região. Tendo em conta as emissões totais para 2015, a região responde por 10,04% das emissões brasileiras. Mas ao se considerar apenas as emissões das atividades agropecuárias, a participação da região no total nacional chega a 21,08% no mesmo ano.

Se, em termos relativos, o setor de Mudanças no Uso na terra perdeu importância para a região Sul, o mesmo não necessariamente é válido para o comportamento em números absolutos. Assim como para o Nordeste e Sudeste, o comportamento das estimativas emissões de mudanças no uso da terra para a região Sul (Gráfico 16) se diferencia substancialmente do Brasil. Para a região, a queda observada após 2008 reforça os indícios de que a diminuição na taxa de desmatamento e queimadas se relaciona ao fim do período de valorização dos preços das commodities, que leva a um menor incentivo à expansão das atividades agropecuárias.

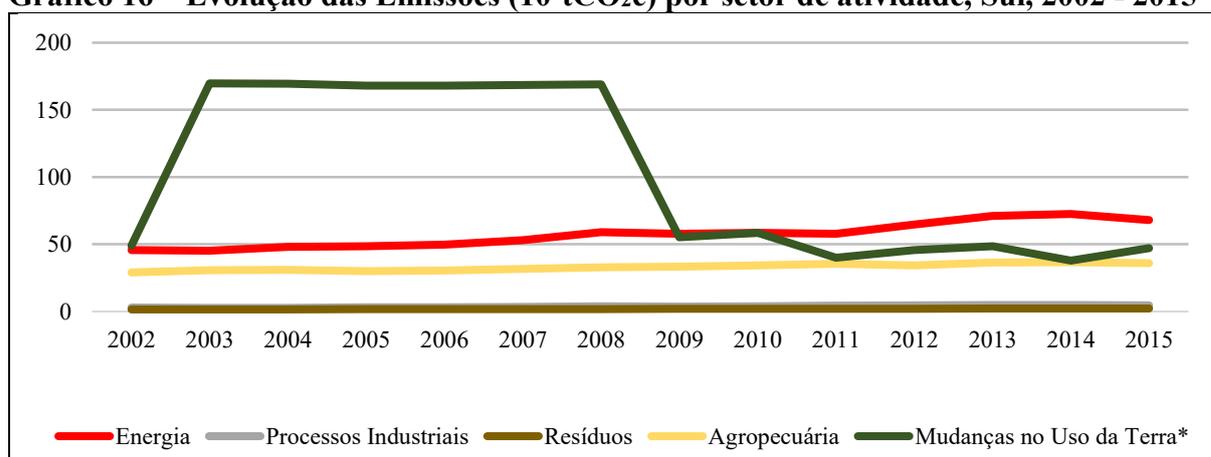
Gráfico 15 – Composição das emissões de GEE, Sul, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Dessa forma, após 2010, verifica-se que o setor de emissões preponderante volta a ser o de energia, ao passo que os níveis das emissões agropecuárias e de mudanças no uso da terra apresentam estimativas próximas. Ainda que de forma menos significativa nacionalmente do que para as regiões Nordeste e Sudeste, as atividades relacionadas ao petróleo tem peso significativo para as emissões de energia do Sul. A região aparece como a terceira em número de estabelecimentos e postos de trabalho para a extração e refino de petróleo no Brasil, com destaque para os estados do Paraná e Rio Grande do Sul (HASENCLEVER; AZEVEDO FILHO; PIQUET, 2017).

Gráfico 16 – Evolução das Emissões (10⁶tCO₂e) por setor de atividade, Sul, 2002 - 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Além disso, verifica-se ainda a tendência de uma maior emissão do setor de energia em regiões com maiores populações urbanas e setor de serviços mais desenvolvido. Isto

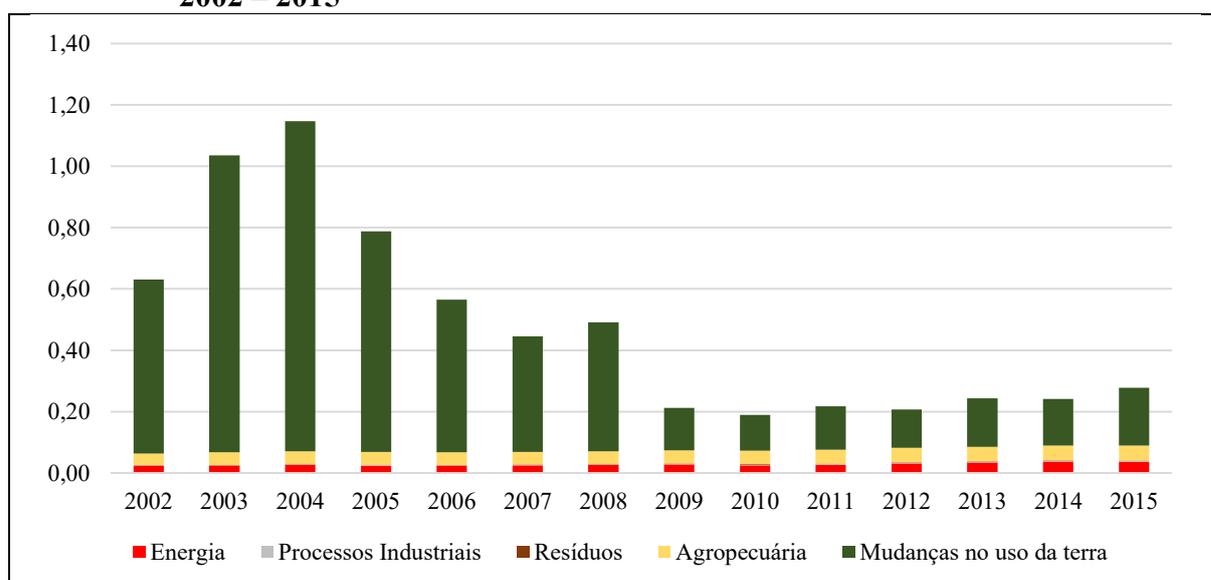
considerando para as emissões de energia, no que diz respeito ao consumo energético, tem peso preponderante as emissões dos serviços de transportes¹⁹.

Em relação às emissões agropecuárias, a região foi a segunda mais representativa para o Brasil em 2015, com níveis inferiores apenas à região Centro-Oeste. Sobressaem-se as emissões do estado do Rio Grande do Sul, com terceiro maior nível de emissões entre os estados brasileiros para o setor e que responde sozinho por 10,38% das emissões nacionais. Tais números se relacionam diretamente ao tamanho do rebanho bovino dadas as emissões de metano resultantes da fermentação entérica dos bovinos.

3.6 Região Centro-Oeste

A região Centro-Oeste, dentre as regiões brasileiras, é a que mais se assemelha à região Norte. As duas regiões formaram o grupo predominantes nas emissões nacionais em 2002, ambas caracterizadas por uma presença intensa das emissões relativas às mudanças no uso da terra. Ainda de forma similar ao Norte, o Centro-Oeste reduziu suas emissões totais no período (Gráfico 17) de 631,08 milhões de tCO₂e para 277,38 milhões entre 2002 e 2015. A redução de 56,05% nas emissões ocorreu, pari passu, a um incremento de 27,97% na renda per capita (IBGE, 2017a, 2017b) e fica mais expressiva ao evidenciar que o pico de emissões da região (de 1,15 bilhões de tCO₂e em 2004) foi mais de quatro vezes superior aos números de 2015.

Gráfico 17 - Emissões absolutas de GEE (10⁹tCO₂e) por setor de emissão, Centro-Oeste, 2002 – 2015

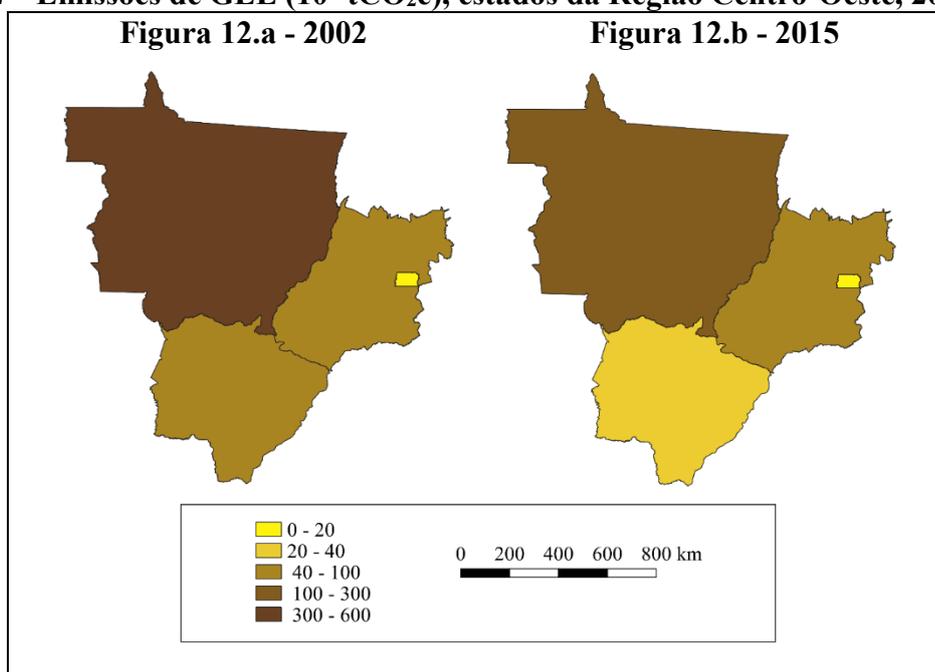


Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

¹⁹ Cerca de 47% das emissões de energia no Brasil dizem respeito ao setor de transportes (OC, 2017).

Ainda em paralelo com o Norte, a redução nas emissões totais do Centro-Oeste observada no período também se relaciona à queda expressiva nas estimativas para o estado proeminente nas emissões da região no início da série. Tal como o Pará na região Norte, o Mato Grosso reduziu em 65,89% suas emissões de GEE entre 2002 e 2015 (Figura 12). A redução do estado, da ordem de 350,60 milhões de tCO₂e, representou 99,12% da redução total nas estimativas para a região. Dessa forma, em 2015 o estado respondeu por 65,44% das emissões da região ante 84,32% no primeiro ano do período.

Figura 12 – Emissões de GEE (10⁶ tCO₂e), estados da Região Centro-Oeste, 2002 e 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

As semelhanças observadas entre o Norte e o Centro-Oeste são essencialmente explicadas pelo fato de serem as duas regiões principais nas quais se localiza a área da floresta amazônica brasileira. Mais de 500 mil km² da floresta estão no Mato Grosso, em especial na região norte do estado (FEARNSIDE; BARBOSA, 2003). Nesse ponto, de certo modo a expansão da agropecuária no Centro-Oeste se assemelha à da região Norte do país posto que

As pastagens brasileiras diminuiram 6% (-10,7 milhões de hectares) no período 1996-2006, mas a Amazônia Legal teve aumento interno de 10% (5,3 milhões de hectares) nas pastagens e Mato Grosso teve aumento de 689,1 mil hectares, correspondendo a um acréscimo de 3,2% no estado e 13,3% do acréscimo verificado na Amazônia Legal, já indicando a transposição do avanço mais intenso da pecuária para Rondônia e o Pará (GIRARDI, 2016, p. 23)

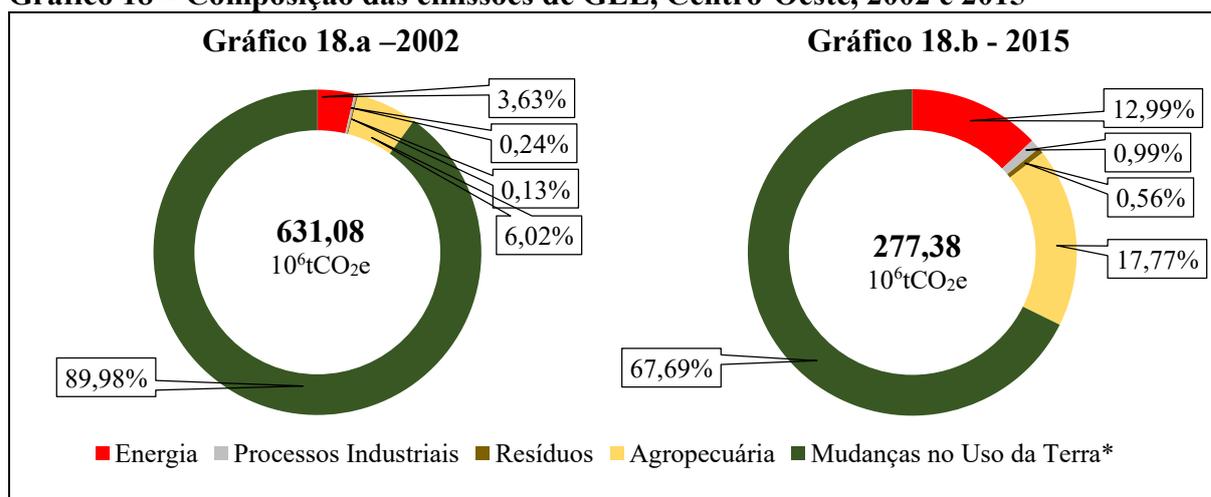
Dessa forma, é ainda justificável o decréscimo das emissões relativas ao desmatamento, queimadas e degeneração das florestas na região não só pelas ações do

PPCDAm, dada a intensa expansão ocorrida no período imediatamente anterior à implementação do programa.

De forma análoga ao Brasil – e ainda guardando semelhanças com a região Norte - todos os estados lograram redução nas emissões do setor de mudanças no uso da terra. Em 2015, os níveis de emissão para o setor foram 66,9% inferiores a 2002, destacando-se a queda nas emissões da ordem de 70,64% para o estado de Mato Grosso. Como resultado, a importância das emissões do setor reduziram-se significativamente para a região (Gráfico 18).

Salta aos olhos, entretanto, o crescimento da participação das emissões agropecuárias e de energia. A participação das emissões agropecuárias se relaciona à anteriormente citada expansão das áreas das pastagens, e considerando que um dos principais produtos do Mato Grosso é a carne bovina pelas variáveis climáticas e características do solo (WEIHS; SAYAGO; TOURRAND, 2017).

Gráfico 18 – Composição das emissões de GEE, Centro-Oeste, 2002 e 2015



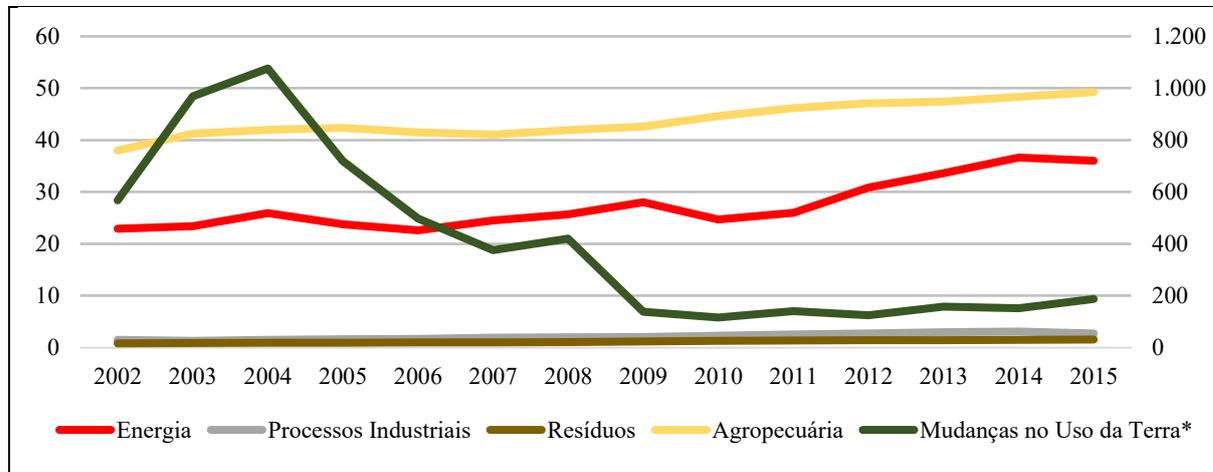
Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Ainda que tenha se reduzido ao final do período, observando a evolução da composição das emissões (Gráfico 19), nota-se que as emissões de mudanças de uso da terra cresceram notoriamente entre 2002 e 2004. Nesse ponto, a relação entre o desmatamento para expansão agropecuária e as emissões do setor é evidente dado que “O desmatamento voltou a crescer de forma mais expressiva a partir de 2002, acompanhando o aumento de preços das commodities agrícolas, especialmente a soja, apresentando outro pico em 2004. A partir de 2005, o preço da soja caiu, reduzindo o desmatamento[...]” (FERREIRA et al., 2015, p. 94). Novamente, além do PPCDAm, evidenciam-se fatores externos como relevantes para a explicação das taxas de desmatamento e suas emissões decorrentes.

O desempenho do setor agropecuário aparece para o Centro-Oeste de forma mais relevante do que para o restante do país. A região é a principal emissora de GEE relacionados às atividades agropecuárias, respondendo por 28,9% das emissões nacionais. Com um crescimento total de 29,76% para a região - e 57,17% para o estado do Mato Grosso - é plausível supor que tal evolução esteja relacionada à expansão das pastagens (sobretudo entre 1996 e 2016). Isto dado que “a produção agropecuária brasileira ainda passa por um processo de expansão para novas fronteiras, e é responsável por ou beneficiária direta da maior parte do desmatamento que ocorre no país” (OC - OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2017a, p. 4).

Explica-se ainda que, para as emissões agropecuárias, a emissão de metano resultante da fermentação entérica dos rebanhos bovinos tem peso relevante. Dessa forma, a importância das emissões da atividade pecuária para a região podem ser elucidadas pelo fato de que o rebanho de gado de corte do Centro-Oeste corresponde a quase de 40% do rebanho do Brasil no período (OC, 2017). Considerando a agricultura, destaca-se que a produção de soja somente do estado de Mato Grosso representa aproximadamente 50% do total brasileiro (OC, 2017).

Gráfico 19 – Evolução das Emissões ($10^6\text{tCO}_2\text{e}$) por setor de atividade, Centro-Oeste, 2002 - 2015



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Notas: * Setor de Mudanças no uso da terra no eixo secundário dada a disparidade entre o setor e os demais

Por fim, como nas demais regiões, observou-se ainda um crescimento substancial para as emissões do setor de energia (57,08%). Para o setor o se destaca, além da intensificação dos transportes, o crescimento da indústria do álcool. A produção industrial de álcool na região cresceu 481,66% entre 2002 e 2015 (OC, 2017), saltando sua participação nacional de 11,75% para 26,69% em 2015. Esta também está relacionada à expansão agrícola, dado que a produção de cana de açúcar na região triplicou no período (OC, 2017).

3.7 Síntese

Como forma de sintetizar as informações dispostas ao longo deste capítulo, os dados foram sumarizados nas Tabela 1, Tabela 3 e Tabela 2 e no Quadro 2, que traz a relação dos cinco estados brasileiros que mais poluem, tendo-se como referência as emissões acumuladas no período analisado.

Tabela 1 – Participação relativa das emissões de GEE (%) no Brasil e regiões brasileiras por setor de atividade, 2015

Setor	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
Energia	6,84	24,39	50,63	43,17	12,99	25,88
Processos Industriais	0,46	1,95	13,43	2,91	0,99	4,24
Resíduos	0,14	0,92	2,00	1,40	0,56	0,96
Agropecuária	6,04	7,03	9,49	22,74	17,77	10,83
Mudanças no Uso da Terra	86,53	65,71	24,45	29,79	67,69	58,10
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Notas: Maiores valores em negrito

As emissões oriundas das Mudanças no uso da terra - preponderantes para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, bem como para o Brasil (Tabela 1) – se devem, em grande parte, vinculadas à expansão da atividade agropecuária. Assim sendo, é possível relacionar a redução observada nas emissões do setor – sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste (Tabela 2) – com o fortalecimento da regulação ambiental, especialmente para as áreas da Amazônia Legal com a criação do PPCDAM. O mesmo não se verifica, entretanto, para a Mata Atlântica e o Cerrado em Minas e a Caatinga, dado que as regiões Nordeste e, principalmente, Sudeste registraram crescimento expressivo no período. É viável, ainda, associar a redução das emissões brasileiras do setor à fatores externos como a variações negativas na demanda externa por commodities como soja e carne bovina

Já o setor de energia aparece como de maior crescimento no período para o Brasil (Tabela 2). Os fatores que se mostram mais relevantes para a explicação do crescimento das emissões do setor no período são: I. O crescimento das atividades de transporte -em todas as regiões - e, principalmente; II. A produção de energia e o consumo energético em processos industriais. Dentre todas as regiões, destaca-se o considerável crescimento para o Nordeste. Além disso, o setor é preponderante para as emissões das regiões Sudeste e Sul (Tabela 1): dos cinco estados com maior emissão para o setor em todo o período, três são da região sudeste e dois da região Sul (Quadro 2).

Tabela 2 – Taxas de variação acumuladas (%) das emissões de GEE no Brasil e Regiões brasileiras por setor de atividade, 2002 - 2015

Setor	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
Energia	73,34	163,63	50,93	48,98	57,08	67,16
Processos Industriais	31,06	37,05	16,75	63,95	82,89	23,23
Resíduos	38,55	39,44	40,71	50,01	86,63	45,39
Agropecuária	52,96	19,91	19,58	22,98	29,76	27,41
Mudanças no Uso da Terra	-51,65	26,90	159,48	-4,29	-66,93	-42,21
Total	-46,61	44,97	56,67	23,01	-56,05	-22,25

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Em sendo assim, é preciso ressaltar que emissões relativas à produção de energia destas três regiões – hegemônicas nacionalmente na produção de petróleo - se verificam a grosso modo derivadas da produção de óleo cru de petróleo. Carecendo, assim, de uma participação relevante da indústria de lubrificantes e combustíveis refinados, de maior intensidade tecnológica e valor agregado. Análise semelhante pode ser aplicada para as emissões de energia relacionadas aos processos energéticos de extração e beneficiamento mineral, sobretudo dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. As emissões se relacionam, sobretudo, à produção para exportação de minério de ferro sem transformações tecnológicas mais complexas, resultando em produtos de menor valor agregado e alta intensidade poluidora.

Destaca-se ainda, que a região Sudeste aparece como proeminente para as emissões brasileiras acumuladas no período para os setores de Energia, Processos Industriais e Resíduos (Tabela 3). Para os três setores os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro aparecem como os três maiores emissores totais no período (Quadro 2). Em contrapartida, as regiões Centro-Oeste e Norte são foram as mais relevantes para as emissões dos setores de Agropecuária e Mudanças no uso da terra, respectivamente. Torna-se claro, portanto, que as políticas destinadas as emissões nessas regiões devem se regionalmente específicas.

Tabela 3 – Participação relativa das emissões de GEE brasileiras (%) do Brasil

	Energia	Processos Industriais	Resíduos	Agropecuária	Mudanças no uso da Terra	Total
Norte	7,08	2,89	3,85	14,92	39,85	26,76
Nordeste	20,27	9,89	20,80	13,97	24,32	21,51
Sudeste	47,05	76,19	50,30	21,07	10,12	24,05
Sul	16,74	6,90	14,69	21,08	5,15	10,04
Centro-Oeste	8,86	4,13	10,37	28,96	20,56	17,64
Brasil	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Notas: Maiores valores em negrito

Nota-se ainda, a interdependência regional do setor agropecuário: apesar dos maiores rebanhos brasileiros se localizarem nos estados de Mato Grosso e Rio Grande do Sul, o estado com a maior produção industrial de carne bovina é São Paulo (OC, 2017). Por outro lado, o estado que registrou a maior estimativa de emissões para o setor no período foi Minas Gerais (Quadro 2). Portanto, além da desigualdade nos processos industriais do país, verifica-se que as emissões agropecuárias nas regiões também se relacionam a processos produtivos de menor complexidade tecnológica.

Quadro 2 – Cinco maiores Estados brasileiros emissores de GEE por setor de atividade (emissões acumuladas no período 2002 – 2005 em 10⁹tCO₂e)

Energia	Processos Industriais	Resíduos	Agropecuária	Mudanças no Uso da Terra	Total
SP (1,081)	MG (301)	SP (51)	MG (245)	MT (4,793)	MT (5,157)
MG (515)	SP (152)	RJ (19)	MT (237)	PA (4,764)	PA (5,043)
RJ (491)	RJ (123)	MG (18)	RS (230)	RO (1,732)	MG (2,714)
RS (304)	ES (116)	PR (11)	GO (193)	MG (1,635)	RO (1,851)
PR (268)	PR (38)	BA (10)	SP (188)	MA (1,384)	BA (1,618)

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SEEG V5.0 (OC, 2017)

Por fim, ainda se observa que a redução das emissões do setor de mudanças de uso da terra para o Brasil direciona o país para uma composição de emissões de GEE mais próxima aos países industrializados, nos quais o setor preponderante é o setor de energia (IPCC, 2014). Contudo, salienta-se que as emissões das atividades agropecuárias para o país – em crescimento – destoam dos países desenvolvidos. Considerando, enfim, que as principais atividades poluidoras para o Brasil se concentram na produção para a exportação de produtos de baixa complexidade industrial, é plausível supor que os efeitos positivos do crescimento de renda para o bem-estar da população advindo de tais processos são substancialmente inferiores aos impactos ambientais resultantes.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordados os assuntos metodológicos referentes ao exercício empírico de teste da validade da hipótese da CKA para os estados brasileiros. Para tanto, além das considerações iniciais relativas às dificuldades enfrentadas pela literatura empírica da CKA – e os procedimentos técnicos para sua superação –, são evidenciadas as variáveis utilizadas, as fontes dos dados e os respectivos detalhes técnicos. São, ainda, apresentadas as técnicas de estimação de vetores de cointegração por Mínimos Quadrados Totalmente Modificados (FMOLS) e Mínimos Quadrados Dinâmicos (DOLS) e introduzidos os testes de raiz unitária e de cointegração para dados em painel. Por fim, são indicadas as equações a serem estimadas.

4.1 Considerações iniciais

Uma das dificuldades para o teste da CKA é a usual presença de raiz unitária em séries de tempo. A presença de raiz unitária conduz a resultados viesados dado que viola o pressuposto do Modelo Clássico de Regressão Linear (MCRL) de que a média e a variância de y_t são constantes no tempo c . Em linhas gerais, Phillips e Perron (1988) e Davidson e MacKinnon (1995) salientam que as séries econômicas usualmente podem ser descritas por um processo de passeio aleatório com deslocamento dado por:

$$y_t = \mu + \rho y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

ou então por um processo com tendência estacionária escrito como:

$$y_t = \mu + \beta_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Em ambos os casos, ainda que ε_t seja um ruído branco, os processos serão fortemente tendenciosos e não estacionários. Em (1), caso não haja deslocamento ($\mu = 0$) e $\rho < 1$, temos um processo estacionário dado que $E(\varepsilon_t) = 0$ e $E(\varepsilon_t \varepsilon_t') = 0$. Contudo, quando $\rho = 1$, a variância de y_t não será estacionária (GUJARATI; PORTER, 2011). Já em (2), mesmo que $\mu = 0$, a média de y_t – dada por $\mu + \beta_t$ – não é constante posto que β_t varia ao longo do tempo em uma única direção.

Em resumo, Greene (2012) argumenta que o processo gerador de dados (DGP) dos processos anteriormente descritos pode ser representado como:

$$(1 - L)z_t = \alpha + v_t \quad (3)$$

em que v_t é um processo estacionário e α pode assumir os valores de μ , β_t e 0 para os processos de raiz unitária de passeio aleatório com deslocamento, processo de tendência estacionária e

processo estacionário, respectivamente. Em todos os casos, o processo de diferenciação deve remover a tendência. Seja removendo a tendência estocástica do primeiro caso ou a tendência determinística do segundo, uma série pode ser diferenciada d vezes até se tornar estacionária. Diz-se, então, que a série contém d raízes unitárias e será integrada de ordem d ou $I(d)$. Uma série estacionária em nível não possui raiz unitária, logo é $I(0)$ (GUJARATI; PORTER, 2011).

Entretanto, a existência de raiz unitária implica que as flutuações de uma série temporal são o resultado de choques não somente no componente transitório ou cíclico, mas também no componente de tendência. Sendo assim, ao considerar a série composta pelas primeiras diferenças como Serrano, Loureiro e Nogueira (2014), apesar de atender aos pressupostos do MCRL, os resultados poderão estar viesados por não considerarem a relação de longo prazo entre as variáveis dada pela tendência de variação da séries.

Além da remoção da tendência de longo prazo das séries, outro obstáculo para análise dos resultados da literatura empírica da CKA é o fato de que usualmente as variáveis são transformadas em logaritmo natural. Tal procedimento, como aponta Maia (2017), é uma alternativa para satisfazer a hipótese de linearidade nos parâmetros do MCRL. Dessa forma o autor demonstra que relações não lineares entre as variáveis podem ser transformadas em relações lineares. Ou seja, a anamorfose feita com logaritmos naturais permite a estimação de coeficientes lineares para uma relação não linear entre as variáveis.

A consequência principal aqui, no entanto, é que os coeficientes estimados para variáveis transformadas em logaritmo natural, conhecido como modelo log-log (BILGILI; KOÇAK; BULUT, 2016; IWATA; OKADA; SAMRETH, 2012; PIRES, 2017; STERN; COMMON, 2001), retornam a elasticidade entre as variáveis. Em suma, a elasticidade é definida como a variação relativa em determinada variável dada pela variação relativa em outra variável (MAIA, 2017). Ou seja, representa a sensibilidade de determinada função sobre mudanças em uma variável explicativa, descrevendo a inclinação da curva que define a relação linear entre as variáveis. Por se tratar de uma relação linear, a elasticidade é adimensional, ou seja, pressupõe uma relação fixa entre x_t e y_t , independente de t (MAIA, 2017).

No que diz respeito à utilização ao caso das variáveis em primeira diferença do log (SERRANO; LOUREIRO; NOGUEIRA, 2014), a relação estimada pelo coeficiente é entre as mudanças nas variações, tendo em vista que a primeira diferença do log é uma aproximação para variação relativa (GUJARATI; PORTER, 2011). Em ambos os casos, a estimação da elasticidade entre a degradação ambiental e a renda diz respeito à relação entre as variações das taxas de variação, sem levar em conta, necessariamente o nível de renda e o tempo.

Para a hipótese da CKA, entretanto, a mudança da relação ao longo de t é essencial e, assim, adiciona-se um termo quadrático para renda que torna possível estimar a relação para grandes variações nesta. Assume-se para tanto que no decorrer do tempo a renda irá aumentar continuamente. Contudo, não há garantias de que as taxas de variação relativa serão maiores. Em tempo, no decorrer do crescimento econômico, uma mesma variação relativa na renda representará variações absolutas crescentes e, portanto, a relação entre degradação ambiental e renda deve considerar não apenas as variações da renda, como também o nível da renda.

4.2 Dados e variáveis

Como o objetivo do trabalho se concentra em investigar a relação entre as emissões de GEE e crescimento econômico dos estados brasileiros entre 2002 e 2015, foi construído um painel de dados balanceado e de frequência anual com as séries de todas as unidades federativas. Como observado, o período de análise (2002 – 2015) foi estipulada de acordo com a disponibilidade de dados referentes aos PIB estaduais junto ao SCR (IBGE, 2017b) em conformidade com o SNA 2008 na época da elaboração do trabalho. Um resumo das variáveis consideradas para a construção dos modelos pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo das variáveis do modelo

Variável	Descrição	Unidade	Fonte	Sinal esperado
GTP	Emissões per capita de GEE em carbono equivalente GTP per capita	Toneladas por habitante	SEEG/IBGE	
PIB	Produto Interno Bruto per capita	1.000 ¹ R\$ 2010	IBGE/IPEADATA	+
PIB2	Produto Interno Bruto per capita ao quadrado	1.000 R\$ 2010	IBGE/IPEADATA	-
PIB3	Produto Interno Bruto per capita ao cubo	1.000 R\$ 2010	IBGE/IPEADATA	*
logPIB	Logaritmo natural do Produto Interno Bruto per capita	R\$ 2010	IBGE/IPEADATA	+
logPIB2	Logaritmo natural do Produto Interno Bruto per capita ao quadrado	R\$ 2010	IBGE/IPEADATA	-
logPIB3	Logaritmo natural do Produto Interno Bruto per capita ao cubo	R\$ 2010	IBGE/IPEADATA	*
logDENS	Logaritmo natural da densidade populacional	Habitantes por km ²	IBGE	*
logINSIIT	Logaritmo natural da razão de produtos exportados com transformação industrial sobre o total	Proporção	MDIC	+
PIBX	PIB per capita médio dos principais importadores	US\$ 2010	WDI	+

Fonte: Elaboração própria

Notas: ¹ Para o PIB per capita em nível, adotou-se a medida de PIB em milhares de reais

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 valores absolutos foram transformados em per capita a partir das estimativas de população residente total em cada unidade federativa, obtidas junto ao IBGE (2017a).

Para mensurar o crescimento econômico dos estados, como sugere a literatura, será utilizada a renda per capita medida pelo Produto Interno Bruto (PIB) per capita. Os dados referentes aos PIB estaduais foram obtidos junto ao Sistema de Contas Regionais do IBGE (2017b) e convertidos em valores reais pelo deflator implícito do PIB com referência ao ano de 2010 obtido do IPEADATA (2018). Para o cálculo dos PIB per capita estaduais foram utilizadas as estimativas de população residente total dos estados, conforme acima descritas.

Assim como Shafik e Bandyopadhyay (1992), Selden e Song (1994), Rupasingha et al. (2004) e Apergis e Ozturk (2015), optou-se aqui por adicionar também uma variável de densidade populacional (DENS). 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, logo o sinal esperado para o coeficiente é positivo. Para o cálculo da densidade populacional foram novamente consideradas as estimativas de população residente total em cada estado, bem como as áreas territoriais de cada estado, extraídas dos dados de Estrutura Territorial do IBGE (2016).

Tendo em vista a importância das atividades poluidoras para as exportações dos estados brasileiros, optou-se por incluir na análise uma variável que busque captar os efeitos da proporção de produtos com transformação tecnológica nas exportações 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 crescimento econômico é a mudança tecnológica (MUELLER, 2004).

Para mensurar o impacto da presença de bens de transformação tecnológica nas exportações propõe-se um índice de proporção dos produtos exportados pelas indústrias de transformação em relação ao total de produtos exportados (INSIIT). Espera-se, para o coeficiente estimado para essa variável um sinal positivo, dado que se acredita que uma maior presença de bens industrializados reduza as emissões de GEE. 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), de acordo com a metodologia proposta no *The OECD STAN Bilateral Trade by Industry and End-use* (OECD, 2017), baseado na 4ª versão do *International Standard 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)²⁰.

Por fim, acrescentou-se também ao modelo a variável de Renda per capita do resto do mundo (PIBX) acreditando, para tanto, que o crescimento econômico mundial seja relevante para a determinação das emissões de GEE brasileiras. Tal hipótese se justifica pelo fato de que os principais estados emissores de GEE são notáveis produtores de commodities, com foco sobretudo em exportações. Dada a hipótese de que aumentos na demanda externa por commodities aumentam as emissões de GEE, o sinal esperado para o coeficiente desta variável é positivo. A variável foi criada a partir da razão entre o PIB mundial – excluído o brasileiro – e a população mundial – menos a brasileira. Os dados foram obtidos junto a base de dados do *World Development Indicators* (WDI) do Banco Mundial (2018a, b).

4.3 Cointegração (FMOLS E DOLS)

Uma alternativa utilizada pela literatura recente da CKA para não incluir na análise a tendência de longo prazo – não diferenciar as séries - é a estimação de vetores de cointegração como realizado em Ávila e Diniz (2015), Apergis e Ozturk (2015), Jebli, Youssef e Ozturk (2016), Bilgili, Koçak e Bulut (2016) e Zoundi (2017). A cointegração foi introduzida por Engle e Granger (1987) para séries temporais e, de acordo com Choi (2015), vários trabalhos recentes tem avançado significativamente nos estudos de sua aplicação para dados em painel.

Kao (1999a) explica a regressão de cointegração em painel partindo do modelo de Efeitos Fixos (FE) denotado como:

$$y_{it} = \alpha_{it} + x'_{it}\beta + \mu_{it} \quad (4)$$

no qual y_{it} é uma sequência de escalares 1×1 , β é um vetor $k \times 1$ de parâmetros, α_{it} são os interceptos de cada unidade individual do corte transversal e μ_{it} é um termo de erro estacionário.

²⁰ Ver Anexo B

O autor demonstra que se tomarmos x_{it} como um processo integrado de ordem I(1) para todo i definido como:

$$x_{it} = x_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

e considerarmos ε_{it} como ruído branco, (4) descreve um sistema de equações cointegradas no qual y_{it} é cointegrado com x_{it} .

O estimador do coeficiente de cointegração para dados em painel por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) dado por:

$$\hat{\beta} = (\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_i) (x_{it} - \bar{x}_i)')^{-1} (\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_i) (y_{it} - y_i)') \quad (6)$$

é inconsistente quando os erros e os regressores estão correlacionados (KAO; CHIANG, 2000), em contraste com a propriedade de consistência do estimador OLS para séries de tempo.

Para eliminar o viés do estimador OLS, Kao e Chiang (2000) propõem a estimação pelo método dos Mínimos Quadrados Modificados (FMOLS) cujo estimador

$$\hat{\beta}_{FM} = (\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_i) (x_{it} - \bar{x}_i)')^{-1} (\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (x_{it} - \bar{x}_i) \hat{y}_{it}^+ - NT \hat{\Delta}_{\varepsilon\mu}^+) \quad (7)$$

corrige os problemas de endogenia e autocorrelação serial do estimador OLS (CHOI, 2015).

Assim, o estimador $\hat{\beta}_{FM}$ converge para um vetor de parâmetro verdadeiro, consistente e de distribuição limitada para dados em painel. Entretanto, a consistência do estimador de FMOLS depende da diferença entre a matriz de covariância estimada e a matriz de covariância real, o que deve ser levado em conta quando se tratam de análises com amostras finitas.

Neste caso, Kao e Chiang (2000) sugerem a utilização do estimador $\hat{\beta}_D$ de Mínimos Quadrados Dinâmicos (DOLS) obtido por meio de:

$$y_{it} = \alpha_1 + x'_{it}\beta + \sum_{j=-q}^q c_{ij}\Delta x_{it+j} + \hat{v}_{it} \quad (8)$$

que acrescenta valores futuros e defasados de Δx como repressores adicionais (CHOI, 2015).

De acordo com os autores, o estimador DOLS possui a mesma distribuição limitada que o estimador FMOLS e, no mínimo, é tão consistente quanto. Além disso, mostra-se mais eficaz para amostras finitas, e Kao (1999a) 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 deste trabalho foram realizadas por meio dos métodos FMOLS e DOLS para todos os modelos.

4.4 Testes de RU e Cointegração

4.4.1 Testes de raiz unitária em painel

Posto que é essencial para os modelos de cointegração que as todas as variáveis utilizadas sejam $I(1)$, é preciso verificar se as séries tem raiz unitária em nível e são estacionárias em primeira diferença. Para tanto, são realizados testes de raiz unitária para as variáveis em nível e em primeira diferença. Segundo Baltagi (2005), os testes de raiz unitária para dados em painel surgiram a partir dos testes para séries temporais. A diferença essencial 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 . O ponto de partida dos testes em geral, portanto, é verificar se na série dada por:

$$y_t = \mu + \rho y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (9)$$

$\rho = 1$, ou seja há presença de raiz unitária ou se $\rho < 1$, ou seja, a série é estacionária.

Para este trabalho, são considerados e realizados os testes de Levin, Lin e Chu (LLC) (2002), Im, Pesaran e Shin (IPS) (2003) e os testes de Fisher–Augmented Dickey-Fuller (Fisher-ADF) e Fisher-Philips-Perron (Fisher-PP) de Maddala e Wu (1999). Todos os testes assumem como Hipótese nula (H_0) a presença de raiz unitária nas séries. Entretanto, enquanto a hipótese alternativa (H_1) do teste LLC é de que não há presença de raiz unitária em todas as séries, os testes de IPS, Fisher-ADF e Fisher-PP tem por H_1 que algumas séries *cross-section* não tem presença de raiz unitária.

Isto devido ao fato de que o primeiro testa a existência de processos de raiz unitária comuns enquanto os demais consideram a possibilidade de coeficientes autorregressivos específicos para cada N . A diferença entre os métodos Fisher-ADF e Fisher PP se dá no método de correção de auto correlação serial que no ADF – assim como no LLC e IPS - se dá pelo método de defasagens enquanto a estatística PP é gerada pelo método de Kernel. Por fim, Baltagi (2005) aponta que os testes de IPS e Fisher possuem maior poder de análise em relação ao LLC quando a dimensão *cross-section* é pequena

4.4.2 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 (1999b) e Pedroni (1999, 2004) e as defasagens foram selecionadas pelo Critério de Informação de Akaike (AIC). A H_0 de todos os testes é a não cointegração. Entretanto, o teste de Pedroni inclui estatísticas PP e ADF para duas H_1 distintas, o teste para o painel como um todo considera como H_1 que as séries possuem coeficientes AR comuns, enquanto o teste para os grupos tem por H_1 que possuem coeficientes AR individuais.

4.5 Descrição dos modelos

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 (Y) pode ser denotada inicialmente por:

$$DA_{it} = \beta_{it} + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 (Y_{it})^2 + \beta_3 (Y_{it})^3 + \mu_{it} \quad (10)$$

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

A hipótese nula (H_0) da CKA requer que os estimadores sejam significantes, que β_1 seja positivo e β_2 seja negativo. Portanto, para não rejeitar a hipótese é necessário que $\beta_1 > 0$ e $\beta_2 < 0$. A adição do estimador β_3 , para a renda per capita ao cubo, permite verificar a possibilidade da ocorrência uma curva em forma de “N”, tal como Grossman e Krueger (1991).

Como citado, os estudos empíricos da CKA se valem tanto da forma funcional log-lin (JEBLI; YOUSSEF; OZTURK, 2016; SHAHBAZ; LEAN; SHABBIR, 2012; ZOUNDI, 2017) como da forma funcional log-log (BILGILI; KOÇAK; BULUT, 2016; IWATA; OKADA; SAMRETH, 2012; PIRES, 2017; STERN; COMMON, 2001). Dado que a primeira alternativa estima variações nas emissões dadas alterações absolutas na renda (semi-elasticidade) a segunda retorna as variações nas emissões dadas variações relativas na renda per capita (elasticidade), neste estudo os modelos serão estimados para as duas formas funcionais, quais sejam log-log e log-lin.

Os modelos a serem estimados incluem o modelo original, o modelo com adição das variáveis de densidade populacional e de exportações e o modelo com adição da renda externa per capita. Os três modelos serão acrescidos, ainda, da variável cúbica da renda e testados nas formas funcionais log-log e log-lin.

Portanto, os modelos de semi-elasticidade podem ser descritos como:

$$\text{Modelo 1} - \log(GTP_{it}) = \beta_1 Y_{it} + \beta_2 (Y_{it})^2 + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 2 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 Y_{it} + \beta_2 (Y_{it})^2 + \beta_3 \log(dens_{it}) + \beta_4 \log(insiit_{it}) + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 3 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 Y_{it} + \beta_2 (Y_{it})^2 + \beta_3 \log(dens_{it}) + \beta_4 \log(insiit_{it}) + \beta_5 Yx_{it} + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 4 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 Y_{it} + \beta_2 (Y_{it})^2 + \beta_3 (Y_{it})^3 + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 5 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 Y_{it} + \beta_2 (Y_{it})^2 + \beta_3 (Y_{it})^3 + \beta_4 \log(dens_{it}) + \beta_5 \log(insiit_{it}) + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 6 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 Y_{it} + \beta_2 (Y_{it})^2 + \beta_3 (Y_{it})^3 + \beta_4 \log(dens_{it}) + \beta_5 \log(insiit_{it}) + \beta_6 Yx_{it} + \mu_{it}$$

E os modelos de elasticidade podem, por sua vez:

$$\text{Modelo 7 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 \log(Y)_{it} + \beta_2 \log(Y_{it}^2) + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 8 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 \log(Y)_{it} + \beta_2 \log(Y_{it}^2) + \beta_3 \log(dens_{it}) + \beta_4 \log(insiit_{it}) + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 9 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 \log(Y)_{it} + \beta_2 \log(Y_{it}^2) + \beta_3 \log(dens_{it}) + \beta_4 \log(insiit_{it}) + \beta_5 \log(Yx_{it}) + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 10 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 \log(Y)_{it} + \beta_2 \log(Y_{it}^2) + \beta_3 \log(Y_{it}^3) + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 11 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 \log(Y)_{it} + \beta_2 \log(Y_{it}^2) + \beta_3 \log(Y_{it}^3) + \beta_4 \log(dens_{it}) + \beta_5 \log(insiit_{it}) + \mu_{it}$$

$$\text{Modelo 12 - } \log(GTP_{it}) = \beta_1 \log(Y)_{it} + \beta_2 \log(Y_{it}^2) + \beta_3 \log(Y_{it}^3) + \beta_4 \log(dens_{it}) + \beta_5 \log(insiit_{it}) + \beta_6 \log(Yx_{it}) + \mu_{it}$$

Para que a hipótese da CKA não seja rejeitada, portanto, é necessário que os coeficientes de longo prazo β_1 e β_2 sejam estatisticamente significantes e possuam sinais positivo e negativo, respectivamente, tanto para os modelos de elasticidade quanto para os modelos de semi-elasticidade. Caso isto seja verdadeiro, é necessário, ainda, que o coeficiente β_3 não seja estatisticamente significativo ou apresente sinal negativo. Em caso contrário, verifica-se a existência de uma curva em formato de “N” e não de “U” invertido.

5. RESULTADOS

5.1 Testes de Raiz Unitária

Os testes de raiz unitária realizados para as variáveis do modelo estão reportados na Tabela 5. Para as variáveis de renda per capita foram considerados os valores em nível e transformados em logaritmo natural, bem como as variações quadrática e cúbica. Ressalta-se ainda que H_0 de todos os testes é de que há presença de raiz unitária nas séries. Portanto, para verificar se as séries são integradas de ordem $I(1)$ é necessário que a hipótese nula não seja rejeitada para a variável em nível e rejeitada para as séries em primeira diferença.

Tabela 5 – Testes de Raiz Unitária

Variável	LLC	IPS	ADF	PP	Conclusão
H1					
logGTP	-1.14256	-0.4494	52.6804	114.1470***	I(1)
1ª dif	-5.4566***	-6.2729***	133.4480***	356.8720***	
PIB	-3.8738***	0.9138	36.1014	23.5922	I(1)
1ª dif	-4.7110***	-4.2990***	103.2391***	183.4360***	
PIB2	-2.7767***	1.5809	31.7297	20.7198	I(1)
1ª dif	-4.1391***	-4.1487***	101.0420***	171.9420***	
PIB3	-1.8501**	2.1534	29.0122	19.1200	I(1)
1ª dif	-3.1300***	-3.9017***	97.3555***	162.2460***	
logPIB	-5.1672***	0.0344	45.7254	29.8376	I(1)
1ª dif	-4.4043***	-4.2889***	105.4080***	193.4940***	
logPIB2	-5.0251***	0.1242	44.8009	29.1252	I(1)
1ª dif	-4.3619***	-4.2944***	105.5030***	193.4200***	
logPIB3	-4.9129***	0.2127	43.9157	28.4561	I(1)
1ª dif	-4.3552***	-4.2990***	105.5960***	193.2730***	
INSIIT	-0.3738	1.5927	37.8284	70.3227	I(1)
1ª dif	-4.6939***	-5.9188***	127.7560***	296.0940***	
log INSIIT	0.4915	2.1441	36.4357	65.5492	I(1)
1ª dif	-4.4542***	-5.5058***	122.1270***	290.7410***	
DENS	4.6513	11.5884	1.9725	16.2055	I(1)
1ª dif	-14.6533***	-6.9281***	142.3130***	158.2940***	
log DENS	-0.0235	7.2546	6.0142	39.5109	I(1)
1ª dif	-18.915***	-11.4464***	212.1510***	277.2710***	
PIBX	-4.3657***	1.9432	19.7031	18.4149	I(1)
1ª dif	-11.7784***	-5.4863***	115.2640***	139.1140***	
logPIBX	-5.6175***	0.8312	29.1635	36.0466	I(1)
1ª dif	-11.5786***	-5.1732***	112.4990***	135.9420***	

Fonte: Elaboração própria

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

Os resultados dos testes apontam, para todas as variáveis consideradas, a não rejeição da hipótese nula quando as séries são consideradas em nível. Ainda que o teste LLC rejeite a hipótese de presença de raiz unitária para as variáveis de renda per capita dos estados e renda per capita do resto do mundo, os testes IPC, FISHER-ADF e FISHER-PP não rejeitam a hipótese nula. Sendo assim, o pressuposto da presença de raiz unitária nas variáveis em nível.

Em relação às séries em primeira diferença, tanto em logaritmo natural quanto em números absolutos, os resultados dos testes são unânimes em rejeitar a presença de raiz unitária. À vista disso, conclui-se que todas as variáveis consideradas para a construção do modelo apresentam raiz unitária em nível e são estacionárias em primeira diferença, ou seja, são integradas de ordem $I(1)$.

5.2 Testes de Cointegração

Tendo em vista que todas as variáveis são de ordem $I(1)$ e, portanto, atendem aos pressupostos do modelo, foram realizados os testes de cointegração de Pedroni (1999, 2004) para Painel e grupo e de Kao (1999b) para averiguar a existência de correlação de longo prazo entre as variáveis. Salienta-se que a hipótese nula de ambos os testes é a não cointegração, portanto, para que a relação a ser estimada não seja espúria é necessário rejeitar a hipótese nula para o conjunto de variáveis designado.

Para os testes foram estabelecidos quatro grupos em conformidade com as especificações dos modelos (Quadro 3). Os grupos 1 e 3 incluem as variáveis dos modelos de semi-elasticidade e elasticidade, respectivamente. Para os grupos 2 e 4 são adicionadas as variáveis quadrática e cúbica da renda per capita dos estados aos modelos 1 e 3, respectivamente. Dessa forma, além de testar a correlação de longo prazo entre as variáveis estruturais dos modelos, também são avaliadas as correlações de longo prazo para maiores variações na renda.

Quadro 3- Grupos de variáveis para os testes de cointegração

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
logGTP	logGTP	logGTP	logGTP
PIB	PIB	logPIB	logPIB
logINSIIT	PIB2	logINSIIT	logPIB2
logDENS	PIB3	logDENS	logPIB3
PIBXpc	logINSIIT	logPIBX	logINSIIT
	logDENS		logDENS
	PIBX		logPIBX

Fonte: Elaboração própria

Os resultados dos testes de cointegração (Tabela 6) conduzem à existência de correlação de longo prazo entre as variáveis para todos os quatro grupos testados. Tanto quando testados contra a existência de coeficientes autorregressivos (AR) comuns (Painel) quanto contra a presença de coeficientes AR individuais (Grupo), os valores das estatísticas PP e ADF rejeitam a não existência de correlação de longo prazo para os testes de Pedroni à 1% de significância.

Tabela 6 – Testes de Cointegração

Grupo	Pedroni Panel		Pedroni Group		Kao ADF
	H ₁ = coef AR comuns		H ₁ = coef AR individuais		
	PP	ADF	PP	ADF	
1	-6.5994***	-5.1896***	-8.0724***	-7.0296***	-6.6856***
2	-9.1564***	-7.7937***	-15.4284***	-11.2386***	-4.4903***
3	-7.1990***	-5.9350***	-8.1374***	-7.2955***	-5.8914***
4	-2.3506***	-2.7026***	-2.8593***	-2.8911***	-4.2468***

Fonte: Elaboração própria

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

Do mesmo modo, as estatísticas ADF do teste de Kao indicam a rejeição da não existência de correlação de longo prazo entre as variáveis de todos os grupos. Assim, os indícios dos testes realizados permitem afirmar, de forma consoante, a existência de correlação de longo prazo entre todas as variáveis, ou seja, pode-se considerar que as séries são cointegradas.

5.3 Modelos

Posto que as variáveis selecionadas são integradas de ordem I(1) e verificada a correlação de longo prazo, foram estimados os modelos anteriormente especificados. Ressalta-se inicialmente que as estimações pelo método FMOLS apresentaram resultados, em geral, mais consistentes do que as realizadas por DOLS, com maior poder de explicação e menor erro padrão das regressões em geral. Acredita-se que isso se deve ao fato de que como $N > T$, a construção da matriz de defasagens e valores futuros de Δx fique bastante limitada. O que não representa, entretanto, obstáculos para a inferência dos resultados, dado que os valores e os sinais dos coeficientes dos distintos métodos de estimação foram semelhantes.

Os resultados para o modelos de semi-elasticidade (Tabela 7) indicam, em geral, uma curva em formato de U e não uma curva em formato de “U” invertido. Isso é verificado para o modelo inicial (1) e para o modelo com todas as variáveis (3), que se mostrou o modelo mais ajustado e com menor desvio dos estimadores, ou seja, menor erro-padrão da estimação. Os coeficientes das variáveis de densidade populacional e de razão dos produtos da indústria nas

exportações apresentaram sinal negativo e foram, em geral, significantes a 1%. É importante ressaltar que quando tais variáveis foram acrescentadas (2) a variável quadrática da renda perdeu significância estatística e a variável de renda em nível foi significativa apenas para a estimação por DOLS.

Tabela 7 – Vetores de cointegração de longo prazo da semi-elasticidade

	1		2		3	
	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²
PIB	-0,1933*** (0,0484)	-0,1358*** (0,0244)	-0,0803 (0,0551)	-0,0616* (0,0358)	-0,1922*** (0,0587)	-0,1497*** (0,0297)
PIB2	0,0026** (0,0013)	0,0024*** (0,0006)	0,0009 (0,0013)	0,0010 (0,0008)	0,0023* (0,0013)	0,0022*** (0,0006)
logINSIIT			-0,3018*** (0,0951)	-0,1260 (0,0853)	-0,3475*** (0,0924)	-0,1673** (0,0828)
logDENS			-1,8730*** (0,4279)	-0,8936*** (0,3086)	-2,9220*** (0,5493)	-2,8437*** (0,3605)
PIBX					0,3821*** (0,0496)	0,4383*** (0,1097)
R ² ajustado	0,92091	0,90888	0,92994	0,91305	0,93225	0,91973
Erro Padrão	0,34210	0,37390	0,32199	0,36526	0,31663	0,35094

Fonte: Elaboração própria

Notas: ¹Pooled FMOLS

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

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

Erros padrão entre parêntesis

O formato em “U” encontrado para a relação entre emissões de GEE e nível de renda per capita sugere que o crescimento do da renda per capita tende, em um primeiro momento, a reduzir as emissões de GEE per capita. Contudo, a partir de determinado momento o crescimento da renda per capita em nível faz com que as emissões de GEE aumentem. Tal resultado, em um primeiro momento, não corrobora a hipótese do formato de “U” invertido da CKA para os estados brasileiros.

O sinal negativo encontrado para os estimadores da variável de densidade populacional foi contrário ao inicialmente esperado. Trabalhos precedentes encontraram relações positivas entre poluição do ar e densidade populacional (APERGIS; OZTURK, 2015; RUPASINGHA et al., 2004; SELDEN; SONG, 1994; SHAFIK; BANDYOPADHYAY, 1992) o que se deve, sobretudo, ao aumento da poluição com o crescimento dos grandes centros urbanos. A relação

encontrada aqui, tal como em Sereno, Simões e Andrade (2018), contrapõe tais resultados quando são levadas em conta regiões de países não desenvolvidos.

Diferentemente dos países desenvolvidos, as emissões de GEE dos países emergentes e subdesenvolvidos não se concentra nos setores de energia e processos industriais, mas sim no setor de mudanças de uso da terra. Dessa forma, o aumento da poluição decorrente do crescimento dos centros urbanos tem menor impacto sobre as emissões totais do que as derivadas da expansão das atividades do primeiro setor.

Soma-se a isso o fato de que estados com maior área territorial tem maior potencial para o alargamento da atividade agropecuária por meio da ampliação da área utilizada que se dá, usualmente, mediante desmatamento e queimadas. Em outras palavras, para o caso dos estados brasileiros, uma maior área territorial ao mesmo tempo significa ao mesmo tempo uma menor densidade populacional e um maior potencial de degradação.

No que diz respeito a variável de razão dos produtos industrializados nas exportações, o sinal negativo dos estimadores está de acordo com o esperado e corrobora a hipótese de mudança tecnológica da CKA. Isto é, se uma maior quantidade de bens de transformação tecnológica nas exportações tende a diminuir as emissões per capita de GEE, o progresso técnico tende a reduzir a degradação ambiental.

Ademais, ao analisar especificamente a composição das exportações, esse resultado traz considerações relevantes no que diz respeito à formulação de políticas públicas para redução das emissões de GEE. Nesse sentido, políticas de incentivo ao crescimento via exportações de commodities, por exemplo, guardam uma relação indireta com o aumento das emissões de GEE. Por outro lado, estímulos para a pesquisa e o progresso tecnológico impactam indiretamente a redução nas emissões.

Por fim, a significância estatística dos coeficientes da variável de renda externa confirmam a suposição da importância da renda mundial para a determinação das emissões domésticas de GEE. Ao mesmo tempo, o sinal positivo dos estimadores evidencia a relevância da composição da pauta exportadora para esse resultado. Ou seja, na posição de exportadores de produtos primários - em geral - os estados brasileiros veem suas emissões de GEE se ampliarem em função de aumentos da demanda externa derivados de crescimentos na renda mundial.

Adicionando aos modelos anteriores a variável cúbica de renda (Tabela 8) os resultados levam a uma curva em formato de “N” para a relação entre degradação ambiental e crescimento econômico. Assim como nos modelos anteriores as variáveis de densidade populacional e de produtos industrializados nas exportações apresentaram sinal negativo e

foram significativas a 1%, exceto para a variável de exportações no modelo 6, para o qual a estimação via DOLS mostrou significância estatística de 5%. A renda do resto do mundo, similarmemente, apresentou sinal positivo e significância estatística a 1% tanto para a estimação via FMOLS quanto DOLS.

Tabela 8 – Vetores de cointegração de longo prazo da semi-elasticidade com variável de renda cúbica

	4		5		6	
	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²
PIB	0.2705** (0.1159)	0.2059*** (0.0629)	0.3886*** (0.1130)	0.2843*** (0.0690)	0.2662** (0.1235)	0.1366** (0.0557)
PIB2	-0.0269*** (0.0068)	-0.0173*** (0.0036)	-0.0286*** (0.0064)	-0.0184*** (0.0036)	-0.0244*** (0.0066)	-0.0132*** (0.0027)
IPIB3	0.0006*** (0.0001)	0.0003*** (6.35E-05)	0.0006*** (0.0001)	0.0003*** (6.08E-05)	0.0005*** (0.0001)	0.0003*** (4.46E-05)
logINSIIT	0 0	0 0	-0.2641*** (0.0889)	-0.2218*** (0.0821)	-0.2997*** (0.0887)	-0.1877** (0.0730)
logDENS	0 0	0 0	-1.9170*** (0.3999)	-1.1184*** (0.2964)	-2.4998*** (0.5314)	-2.6140*** (0.3461)
PIBX	0 0	0 0	0 0	0 0	0.2267** (0.1089)	0.3335*** (0.0448)
R ² ajustado	0.92745	0.91260	0.93702	0.91663	0.93763	0.92204
Erro Padrão	0.32767	0.36620	0.30529	0.35767	0.30380	0.34586

Fonte: Elaboração própria

Notas: ¹Pooled FMOLS

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

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

Erros padrão entre parêntesis

Em geral, os modelos com a variável cúbica para a renda se mostram ligeiramente melhor ajustados, com maior poder de explicação e menor desvio-padrão dos estimados em relação aos valores reais em comparação aos modelos iniciais. Sendo assim, é possível inferir que a curva em formato de “N” seja mais adequada do que a curva em formato de “U” para explicar a relação entre as emissões e de GEE e o crescimento econômico dos estados brasileiros.

O formato de “N”, também encontrado em trabalhos precedentes (ÁVILA; DINIZ, 2015; BIAGE; ALMEIDA, 2015; CARVALHO; ALMEIDA, 2010; CATALÁN, 2014; PIRES, 2017; SOUSA; SOUSA; SANTOS, 2016), sugere que a hipótese da CKA em formato de “U” invertido não seja válida para o longo prazo. As divergências nos sinais dos coeficientes e a

verificação do formato em “N”, como argumentam Arraes, Diniz e Diniz (2006), apontam que a relação de “U” invertido se dá apenas para determinadas regiões em pontos específicos do tempo e, no longo prazo, é mais razoável supor que a relação seja cíclica.

Por sua vez, os resultados dos modelos com as variáveis dependentes de renda em logaritmo natural (Tabela 9) trazem indícios da existência de uma CKA para os estados brasileiros. A proporção de produtos industrializados nas exportações e a densidade de populacional apresentaram significância estatística a 1% ou 5% e sinal negativo, tal como nos modelos anteriores. De similar modo, a renda externa per capita também apresentou sinal positivo e significância estatística a 1% quando transformada em logaritmo natural.

Tabela 9 – Vetores de cointegração de longo prazo da elasticidade

	7		8		9	
	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²
logPIB	16.6293*** (4.8808)	10.0441*** (2.7938)	14.0596*** (4.5317)	9.6379*** (2.7426)	13.7309*** (4.4444)	8.8273*** (2.3076)
logPIB2	-0.9554*** (0.2593)	-0.5632*** (0.1478)	-0.7722*** (0.2417)	-0.5156*** (0.1445)	-0.7930*** (0.2367)	-0.5162*** (0.1223)
logINSIIT			-0.2721*** (0.0941)	-0.1979** (0.0847)	-0.3181*** (0.0930)	-0.1851** (0.0789)
logDENS			-2.0529*** (0.4152)	-1.1552*** (0.3093)	-2.8107*** (0.5438)	-2.6094*** (0.3480)
logPIBX					2.7328** (1.0576)	3.3740*** (0.4474)
logINSIIT						
R ² ajustado	0.92118	0.90839	0.93185	0.91363	0.93285	0.91995
Erro Padrão	0.34153	0.37492	0.31756	0.36403	0.31522	0.35046

Fonte: Elaboração própria

Notas: ¹Pooled FMOLS

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

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

Erros padrão entre parêntesis

Tanto no modelo inicial (7) quanto nos modelos com as variáveis de exportações e densidade populacional (8) e renda externa (9), os coeficientes de renda per capita em nível e ao quadrado apresentaram significância estatística a 1% e sinais positivo e negativo, respectivamente. Nota-se, inicialmente, que a relação entre as emissões e as variações da renda apresenta comportamento contrário à relação entre as emissões e o nível de renda per capita. Ao contrário de quando considerado a renda em nível, o coeficiente estimado para a renda em

log assinala que alterações positivas na renda estão associadas a variações positivas mais que proporcionais nas emissões de GEE.

Por outro lado, o coeficiente da renda ao quadrado revela que para maiores variações na renda a relação se inverte. Nesse caso, grandes mudanças positivas na renda per capita estão associadas a variações negativas nas emissões; entretanto, a sensibilidade é significativamente inferior para a variável quadrática de renda. Dessa forma, as relações estabelecidas pelos dois parâmetros de elasticidade corroboram, a priori, a hipótese do formato de “U” invertido da CKA.

Os coeficientes estimados para a densidade populacional e proporção de produtos industrializados nas exportações reafirmam os resultados dos modelos anteriores. Isto é, ambas as variáveis continuam com impacto negativo sobre as emissões. A variável de renda externa, agora também utilizada em log, manteve o sinal positivo dos modelos anteriores com significância estatística de 5% e 1% nas estimações por FMOLS e DOLS, respectivamente. Como o valor do coeficiente foi maior que 1, conclui-se ainda que variações na renda externa têm impacto positivo mais que proporcional nas emissões de GEE.

Por fim, quando adicionada aos modelos de elasticidade a variável cúbica para a renda per capita dos estados (Tabela 10), os resultados convergem para uma curva em formato de N, assim como nos modelos cúbicos anteriores (4, 5 e 6). As demais variáveis dependentes também mantiveram os sinais embora a variável de exportações não tenha apresentado significância estatística nos modelos 11 e 12 pelo método de DOLS.

Assim como para os modelos de semi-elasticidade, os modelos de elasticidade com a variável cúbica para a renda per capita exibem maior poder de explicação e menor erro-padrão quando comparados aos modelos que contam apenas com a renda per capita em nível e quadrática. Portanto, depreende-se novamente que a curva em formato de “N” seja mais adequada para explicar a relação entre degradação ambiental e crescimento econômico para os estados brasileiros. Isso indica que, apesar de uma redução nas emissões de GEE em determinado momento, a expectativa é que a relação apresente comportamento cíclico com uma propensão de que o crescimento econômico seja positivamente relacionado às emissões no longo prazo.

Em resumo, nota-se que dentre os modelos estimados os que se mostram mais adequados para explicar as emissões de GEE dos estados brasileiros são os que consideram a variável cúbica para a renda, bem como as variáveis explicativas de densidade populacional, proporção de produtos industrializados nas exportações e renda externa per capita. Tanto nos modelos log-log quanto log-lin existem indícios que sinalizam a existência de uma curva em

formato de “N” no que diz respeito à relação entre as emissões de GEE e o crescimento econômico para os estados brasileiros.

Tabela 10 – Vetores de cointegração de longo prazo da elasticidade com variável de renda cúbica

	10		11		12	
	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²	FMOLS ¹	DOLS ²
logPIB	485.7094*** (101.9330)	384.9328*** (45.4117)	366.5112*** (102.2520)	361.3793*** (59.7766)	332.7076*** (99.1777)	269.9758*** (58.0929)
logPIB2	-50.8977*** (10.8141)	-40.2719*** (4.7030)	-38.2804*** (10.8441)	-37.7888*** (6.2636)	-34.7329*** (10.5127)	-28.2318*** (6.0953)
logPIB3	1.7685*** (0.3818)	1.3991*** (0.1620)	1.3267*** (0.3825)	1.3135*** (0.2184)	1.2012*** (0.3708)	0.9789*** (0.2128)
logINSIIT			-0.1807** (0.0911)	-0.1105 (0.0833)	-0.2228** (0.0872)	-0.1254 (0.0827)
logDENS			-1.4747*** (0.4129)	-0.7851*** (0.2807)	-2.0056*** (0.5354)	-2.1827*** (0.3669)
logPIBX					1.7975* (0.9994)	2.8053 (0.4689)
R ² ajustado	0.92936	0.91534	0.93555	0.91718	0.93562	0.92173
Erro Padrão	0.32331	0.36042	0.30883	0.35648	0.30866	0.34653

Fonte: Elaboração própria

Notas: ¹Pooled FMOLS

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

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

Erros padrão entre parêntesis

O coeficiente relacionado à densidade populacional, que apresentou sinal contrário ao inicialmente esperado em todos os modelos, é um importante indicador da disparidade da situação dos estados brasileiros em relação à hipótese da CKA. Como pontuado, a relação negativa entre densidade populacional e emissões de GEE marca a relevância do desmatamento para as emissões. Nesse sentido, é importante ressaltar a importância da legislação ambiental para o controle do desmatamento e degeneração das florestas bem como aumento das áreas de preservação ambiental.

Tal argumento é reforçado pela relevância do PPCDAM para o comportamento das emissões nos estados de Pará e Mato Grosso, cuja redução liderou a contração das emissões brasileiras de GEE na última década. Faz-se necessário o incentivo ao aumento da produtividade da terra em contraposição ao crescimento da produção pela apropriação de novas terras, sobretudo em regiões de expansão mais recente da fronteira agrícola.

Já os sinais negativos dos estimadores da variável de produtos industrializados nas exportações corroboram a hipótese de que uma pauta exportadora de maior intensidade tecnológica tende a reduzir emissões de GEE. Seja nos estados em que existe preponderância de commodities agrícolas - como o Mato Grosso - para os exportadores de Minério - Minas Gerais - e petróleo cru - Espírito Santo e Rio de Janeiro – a intensificação tecnológica da produção voltada para a exportação traria resultados positivos para a redução das emissões. Há que se ressaltar ainda a relação entre esse resultado e o impacto verificado na renda externa às emissões domésticas de GEE. A hipótese de que a expansão da renda externa tende a crescer as emissões dos estados brasileiros se mostrou verdadeira. Isto é, enquanto exportadores de produtos primários, uma maior renda externa implica em maior demanda externas por produtos intensos em poluição exportados pelos estados brasileiros.

Mesmo que muitas vezes a renda obtida das exportações não seja o fator preponderante para a definição da renda per capita dos estados, sugere-se que é mais vantajoso para os estados brasileiros se aproveitarem do aumento da demanda interna por produtos de maior transformação tecnológica do que pelo aumento da procura externa por produtos primários, dado o crescimento da economia mundial. Dessa forma, mostram-se necessárias políticas de incentivo ao progresso técnico e maior incorporação tecnológica em contraposição ao estímulo à produção de menor intensidade tecnológica para exportação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou analisar a relação entre crescimento econômico e emissões de GEE nos estados brasileiros entre os anos de 2002 e 2015, sobretudo, na necessidade de reduzir as emissões de GEE, dados os efeitos perversos do crescimento das concentrações de GEE na atmosfera no contexto das mudanças climáticas. Além deste exercício econométrico, esta dissertação se ocupou primeiramente em realizar uma análise do perfil regional e setorial das emissões de GEE nas regiões brasileiras. Portanto, o presente trabalho teve um duplo objetivo.

A pressuposição inicial para uma análise das emissões desagregada das emissões para as regiões brasileiras foi de que é preciso um conhecimento mais detalhado sobre as dinâmicas das emissões nas diferentes regiões, dada a heterogeneidade intrínseca em termos de territórios e atividades econômicas em país com dimensões continentais como o Brasil.

Foram encontradas disparidades relevantes no tocante à composição das emissões das regiões brasileiras e em seu comportamento ao longo do período analisado. Ressalta-se a diminuição das emissões das regiões Norte e Centro-Oeste que, guiadas pelas reduções dos estados do Pará e Mato Grosso, lideraram a contração das emissões nacionais de GEE. Em contraposição, as regiões Sul, Sudeste e Nordeste observaram aumentos nas suas emissões no mesmo período.

Destaca-se que o comportamento das emissões do setor de mudanças de uso da terra foi essencial para o resultado nacional, enquanto o setor de energia apresentou intenso crescimento no período, sobretudo nos estados da região Sudeste. Nesse sentido, conclui-se sobre a importância de políticas públicas focadas no combate ao desmatamento, em especial o PPCDAM, para a contenção do desmatamento na região amazônica e, por conseguinte, a redução nas emissões relacionadas. Dessa forma, o fortalecimento da legislação ambiental se mostra como crucial para a redução das emissões de GEE relacionadas ao desmatamento e queimadas, ainda preponderante para o Brasil.

Já em relação às emissões relacionadas à geração e utilização de energia, ressalta-se que, apesar de ter uma matriz energética mais limpa do que a média mundial, o país não apresentou avanços significativos em emissões no período. Do contrário, os estados em estágios mais avançados de crescimento econômico, como São Paulo, apresentam emissões mais elevadas que o restante. Portanto, alerta-se para o prognóstico de que as reduções brasileiras se basearam apenas na diminuição do desmatamento. Para o futuro é imprescindível que sejam

efetivados os planos de conversão para uma matriz livre de CO₂, como previsto em na iNDC(BRASIL, 2015).

A constatação acima se baseia no fato de que ao longo do período analisado a participação relativa das emissões oriundas deste setor mais que dobrou (de 12,04% para 25,88%). Isto é mais importante, ainda, para a região Sudeste, dada relevância das emissões originadas no setor de energia. Embora na região Sudeste tenha havido uma pequena queda neste tipo de emissão, no ano de 2015 ela era responsável por 50,63% do total de emissões da região.

Lembrando ainda que no Sudeste houve aumento da participação relativa das emissões do setor de mudanças no uso da terra, resultado este que destoa das demais regiões brasileiras. Uma análise mais aprofundada mostrou que Minas Gerais foi o grande responsável por este aumento, certamente em função da devastação dos grandes biomas preponderantes neste estado: a Mata Atlântica e o Cerrado. Tal fato sugere que, além de ser importante desenhar políticas que considerem a diversidade inter-regional brasileira, é também preciso reconhecer as especificidades intra-regionais como forma de se reduzir as emissões mais eficazmente. São necessárias políticas bem articuladas em seus dois eixos principais: o combate ao deflorestamento e retirada da cobertura vegetal original dos biomas. O peso maior a cada um destes componentes se daria em função do diagnóstico dado para determinada região ou estado. A título de exemplo, no Nordeste, a despeito de seu potencial para geração de energia eólica, verificou-se um aumento expressivo das emissões de energia (de cerca de 14% para aproximadamente um quarto do total emitido na região).

Quando se olha para os principais emissores por setor de atividade, fica ainda mais nítida a necessidade de políticas regionalmente referenciadas: enquanto o Sudeste se mostra preponderante para as emissões de Energia, Processos Industriais e Resíduos, as regiões Centro-Oeste e Norte se mostram as mais relevantes para os setores de Agropecuária e Mudanças no uso da terra. Ademais a heterogeneidade entre os estados também é relevante: para as emissões de Mudanças no uso da terra os estados de Minas Gerais e Maranhão foram os quarto e quinto maiores estados emissores no período. Da mesma forma, para as emissões Agropecuárias, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo também aparecem entre os cinco maiores poluidores sem, no entanto, pertencerem a principal região de emissão.

No geral das emissões, as emissões dos três maiores estados poluidores no período (Mato Grosso, Pará e Minas Gerais) estão também entre os cinco maiores emissores do setor de Mudanças de uso da terra. Portanto, mesmo com reduções observadas no período, o setor ainda se mostra o mais relevante. É preciso, portanto, reverter a tendência de enfraquecimento

da legislação ambiental dos últimos anos. Fortalecendo, no entanto, os escassos esforços para a redução das emissões no consumo e produção de energia.

Já para a parte econométrica do estudo, o ponto de partida é que é necessário conhecer as relações entre crescimento econômico e emissões. O Brasil vem se esforçando para retomar sua capacidade de crescimento, perdida desde pelo menos o fim de 2014, quando se iniciou a atual crise econômica. É legítimo, pois, assumir que o país direcionará suas energias para a retomada da expansão econômica. Se o país for bem-sucedido neste quesito e as economias dos estados iniciarem um processo de expansão da atividade econômica, o que presumivelmente acontecerá com a trajetória das emissões? É uma preocupação importante, haja vista o contexto de mudanças climáticas e os compromissos assumidos pelo Brasil.

Os modelos econométricos que buscaram testar a existência de uma CKA para os estados brasileiros, por sua vez, encontraram resultados que apontam para a existência de uma curva em formato de “N”. Em concordância com Arraes, Diniz e Diniz (2006), tende-se a acreditar que a relação entre crescimento econômico e emissões de GEE presente, no longo prazo, uma relação cíclica com tendência de crescimento. Tal resultado se verificou tanto nas estimações com forma funcional log-log quanto log-lin. Em sendo assim, a relação encontrada é válida tanto para o nível da renda quanto para as variações relativas das rendas per capita dos estados.

Os coeficientes da variável de densidade populacional demonstraram diferenças significativas dos estados brasileiros em relação a regiões de países desenvolvidos. Isso se dá, sobretudo, devido às disparidades de dimensão territorial do Brasil, o que acaba por ocasionar grandes áreas disponíveis para o avanço da fronteira agrícolas através do desmatamento. Assim, fica claro mais uma vez o protagonismo que o fortalecimento da legislação ambiental de controle do desmatamento, bem como incentivo ao crescimento da produtividade da terra, para políticas de redução das emissões brasileiras.

A composição da pauta exportadora também se mostrou relevante no sentido de que uma maior presença de produtos de transformação industrial nas exportações está relacionada a uma menor emissão de GEE. E, dada a posição geral primário-exportadora do país, o crescimento da economia mundial se relaciona com o aumento das emissões domésticas. Sendo assim, mostram-se necessários incentivos à intensificação tecnológica das exportações, sobretudo nos estados de maior exportação de produtos primários como Mato Grosso, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Nestes casos, acredita-se que uma maior incorporação tecnológica nas exportações se refletiria em redução nas emissões de GEE.

As recomendações acima não são desprezíveis. Apesar de ser frequente na literatura o tema da reprimarização da pauta exportadora brasileira, este trabalho teve o mérito de demonstrar empiricamente o quão deletério é esta trajetória em termos de incrementos nas emissões brasileiras. Fica evidenciada, portanto, a incompatibilidade entre uma política de redução de emissões de GEE com vistas ao alcance das metas internacionalmente estabelecidas pelo Brasil e a continuidade de opções político-econômicas que privilegiam a condição externa de exportador de commodities.

Conclui-se, enfim, que não é possível confirmar a hipótese de que o crescimento econômico por si só é capaz de resolver os problemas ambientais dos estados brasileiros. Portanto, considerando o longo prazo, para que o país busque cumprir os objetivos do Acordo de Paris (BRASIL, 2015) é necessário um planejamento que ao mesmo tempo inclua ferramentas efetivas de incentivo ao crescimento econômico com aumentos de produtividade e maior incorporação tecnológica, bem como considere as características regionais na elaboração de tais políticas. Ao fim e ao cabo, os resultados econométricos encontrados permitem dizer que, ao mesmo tempo em que o Brasil pode e deve perseguir a retomada de crescimento econômico, uma vez que sua ausência causa instabilidade social (desemprego persistente e aumento da violência, por exemplo), deve-se repensar qualitativamente o tipo de crescimento econômico que deve ser almejado. Não se pode perder de vista que expansão econômica contínua não é condizente com um planeta materialmente finito e com sérias restrições na absorção de resíduos emanados do sistema econômico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVITZ, M. **Thinking about growth: and other essays on economic growth and welfare**. New York: Cambridge University Press, 1989. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/CBO9780511664656>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (BRASIL). **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília: ANA,, GGES, 2016.

ALMEIDA, H. A. de. Capítulo 1: A Atmosfera Terrestre. **Climatol. Apl. a Geogr.** Campina Grande: EDUPB, 2016. p. 19–60.

ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente : aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, n. 14, p. 1–31, 2008. Disponível em: <<http://revistalep.com.br/index.php/lep/article/view/50>>.

APERGIS, N.; OZTURK, I. Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Asian countries. **Ecological Indicators**, v. 52, p. 16–22, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.11.026>>.

ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T. Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **Revista de Economia Rural**, v. 44, n. 03, p. 525–547, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032006000300008>>.

ÁVILA, E. S. de; DINIZ, E. M. Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 45, n. 1, p. 97–126, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0101-4161201545197ese>>.

BALTAGI, B. H. **Econometric Analysis of Panel Data**. 3^a ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.

BANCO MUNDIAL. WORLD DEVELOPMENT INDICATORS (WDI). **GDP (constant 2010 US\$)**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>>. , 2018a

_____. **Population, total**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>>. , 2018b

BECKERMAN, W. Economic growth and the environment: Whose growth? whose environment? **World Development**, 1992. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90038-W](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90038-W)>.

BIAGE, M.; ALMEIDA, H. J. F. Desenvolvimento e impacto ambiental: uma análise da Curva Ambiental De Kuznets. **Pesquisa e Planejamento econômico**, v. 45, n. 3, p. 506–556, 2015. Disponível em: <<http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/issue/view/140>>.

BILGILI, F.; KOÇAK, E.; BULUT, Ü. The dynamic impact of renewable energy consumption on CO2emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 838–845, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>>.

BÖLÜK, G.; MERT, M. The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in

Turkey: An ARDL approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 587–595, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.138>>.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas Anuais de Emissão de Gases de Efeito Estufa**. . [S.l.]: MCTI. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/Estimativasd.pdf/0abe2683-e0a8-4563-b2cb-4c5cc536c336>>. , 2014

BRASIL. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Base de Dados do Comércio Exterior Brasileiro**. . [S.l: s.n.]. 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>>. , 2018

_____. **Classificação da Secretaria de Comércio Exterior: Classificação por Intensidade Tecnológica**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/balanca/metodologia/Nota_ISIC.pdf>. , 2017

BRASIL. SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei do Senado nº 564, de 2015**. . Brasília: [s.n.], 2016

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (Indc) Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. [S.l: s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL_iNDC_portugues_FINAL.pdf>.

CARSON, R. **Silent Spring**. New York: Houghton Mifflin, 1962.

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. A Hipótese da Curva de Kuznets Ambiental Global. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 3, p. 587–615, 2010. Disponível em: <<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. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0185084914721723>>.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 53–67, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/07.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

CDIAC - CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER. **Global CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2014**. . Berkeley: CDIAC. , 2017

CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 3, p. 438–454, set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31572010000300005&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 15 ago. 2018.

CEPAL - COMISSÃO ECONÔMICA PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE. **Relatório Nacional de Monitorização da Eficiência Energética do Brasil**. . Santiago: [s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38864/S1500677_pt.pdf?sequence=1&i>

sAllowed=y>. Acesso em: 17 ago. 2018. , 2015

CHOI, I. Panel Cointegration. In: BALTAGI, B. H. (Org.). . **Oxford Handb. Panel Data**. 1ª ed. Oxford, New York: Oxford University Press, 2015. p. 46–75.

COLE, M. A.; RAYNER, A. J.; BATES, J. M. The environmental Kuznets curve: An empirical analysis. **Environment and Development Economics**, v. 2, n. 4, p. 401–416, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.356.6342.1000>>.

CORNWALL, W. Can U.S. states and cities overcome Paris exit? **Science**, v. 356, n. 6342, p. 1000, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/1980509832086>>.

COSTANZA, E. R.; DALY, H. E. Toward an Ecological economics. **Ecological Modelling**, v. 38, n. 1–2, p. 1–190, 1987. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0023519780&partnerID=40>>.

CUNHA, C. A.; SCALCO, P. R. Crescimento Econômico e Emissão de CO2. **Revista Desenvolvimento Regional**, v. 18, n. 2, p. 214–230, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17058/redes.v18i2.2584>>.

DASGUPTA, S. et al. Confronting the Environmental Kuznets Curve. **Journal of Economic Perspectives**, v. 16, n. 1, p. 147–168, 2002. Disponível em: <<http://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/0895330027157>>.

_____. Environmental Regulation and Development: A Cross-country Empirical Analysis. **Oxford Development Studies**, v. 29, n. 2, p. 173–187, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/13600810125568>>.

DAVIDSON, R.; MACKINNON, J. G. Estimation and Inference in Econometrics. **Econometric Theory**, v. 11, n. 3, p. 631–635, 1995.

DE BRUYN, S. M.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; OPSCHOOR, J. B. Economic growth and emissions: Reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. **Ecological Economics**, v. 25, n. 2, p. 161–175, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00178-X)>.

DE SOUZA JÚNIOR, E. et al. Consequências das rápidas mudanças ambientais no Ártico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 1137–1156, 2016. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/index>>.

DINDA, S. A theoretical basis for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 53, n. 3, p. 403–413, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.007>>.

_____. Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. **Ecological Economics**, v. 49, n. 4, p. 431–455, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>>.

EFCTC - EUROPEAN FLUOROCARBONS TECHNICAL COMMITTEE. **Global Temperature change Potential compared to Global Warming Potential**. [Factsheet]. [Bruxelas]: EFCTC, 2014. Disponível em: <https://www.fluorocarbons.org/wp-content/uploads/2014/06/efctc-factsheet_gtp.pdf>.

EHRlich, P. R. **The Population Bomb**. New York: Balantines Books, 1968.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. **Econometrica**, v. 55, n. 2, p. 251–276, 1987. Disponível em: <www.jstor.org/stable/1913236>.

EULER, A. M. C. O acordo de Paris e o futuro do REDD+ no Brasil. **Cadernos Adenauer**, v. 2, n. 17, p. 85–104, 2016.

FEARNSIDE, P. M. Business as Usual: A resurgence of deforestation in the Brazilian Amazon. **Yale Environment** 360, p. 6, 2017. Disponível em: <<https://e360.yale.edu/features/business-as-usual-a-resurgence-of-deforestation-in-the-brazilian-amazon>>.

_____. Challenges for sustainable development in Brazilian Amazonia. **Sustainable Development**, v. 26, n. 2, p. 141–149, 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/sd.1725>>.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Avoided deforestation in Amazonia as a global warming mitigation measure: The case of Mato Grosso. **World Resource Review**, v. 15, n. 3, p. 352–361, 2003.

FERREIRA, M. D. P. et al. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 91–108, mar. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005301005>>. Acesso em: 4 out. 2018.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/ INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2005 - 2008**. . São Paulo: SOS Mata Atlântica/INPE. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_mata_atlantica-relatorio2005-2008.pdf>. , 2009

_____. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2008 - 2010**. . São Paulo: SOS Mata Atlântica/INPE. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_2008-10_relatorio_final_versao2_julho2011.pdf>. , 2011

_____. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2014 - 2015**. Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto de Pesquisas Espaciais. São Paulo: SOS Mata Atlântica/INPE. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_2014-2015_relatorio_tecnico_2016.pdf>. , 2016

GARLET, A.; CANTO, J. L.; DE OLIVEIRA, P. R. S. O manejo florestal comunitário da caatinga em assentamentos rurais no estado da Paraíba. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 2, p. 735–745, 2018.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. [S.l.]: Harvard University Press, 1971. Disponível em: <<https://doi.org/10.4159/harvard.9780674281653>>.

GIRARDI, E. P. Mato Grosso: expressão aguda da questão agrária brasileira. **Confins**, v. 27, 2016. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/10898>>.

GREENE, W. H. . **Econometric analysis**. 7a. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2012.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic Growth and the Environment. **Source: The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353–377, 1995.

_____. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement**. , n° 3914. Cambridge: [s.n.], 1991.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HANSEN, J. et al. Earth's energy imbalance and implications. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 11, n. 24, p. 13421–13449, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/acp-11-13421-2011>>.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science**, v. 162, n. 3859, p. 1243–1248, 1968. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>>.

HASENCLEVER, L.; AZEVEDO FILHO, E. T.; PIQUET, R. P. da S. Distribuição territorial das ocupações geradas pela atividade de petróleo e gás (P&G) e suas qualificações no Brasil, 2003-13. **Revista Brasileira de Gestao e Desenvolvimento Regional**, v. 13, n. 3, p. 223–251, 2017. Disponível em: <<http://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/3246>>.

HE, J.; RICHARD, P. Environmental Kuznets curve for CO₂ in Canada. **Ecological Economics**, v. 69, n. 5, p. 1083–1093, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.030>>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Organização do Território: Área dos Municípios**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios>>. , 2016

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html?=&t=downloads>>. , 2017a

_____. **Sistema de Contas Regionais (SCR)**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=resultados>>. , 2017b

IM, K. S.; PESARAN, M. H.; SHIN, Y. Testing for unit roots in heterogeneous panels. **Journal of Econometrics**, v. 115, n. 1, p. 53–74, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)>.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. **Incremento anual de área desmatada no Cerrado Brasileiro**. . [São José dos Campos]: INPE. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/cerrado>>. , 2018

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 1995: Second Assessment Report**. . Genebra: IPCC. , 1995

_____. **Climate Change 2007 Synthesis Report**. . Genebra: IPCC. , 2007

_____. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. . Genebra: IPCC. , 2014

_____. **Special report: Global Warming of 1,5°C**. . Genebra: IPCC. , 2018

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

ISA - INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **O que muda (ou sobra) no Meio Ambiente com a reforma de Bolsonaro? Notícias Socioambientais**. [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/o-que-muda-ou-resta-no-meio-ambiente-com-a-reforma-de-bolsonaro>>. , 2019

IWATA, H.; OKADA, K.; SAMRETH, S. Subplasmalemmal Ca²⁺stores of probable relevance for exocytosis in Paramecium. Alveolar sacs share some but not all characteristics with sarcoplasmic reticulum. **Applied Economics**, v. 44, n. 27, p. 3513–3519, 2012.

JACOBI, P. R. Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 2, p. 233–250, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v31n2/a07v31n2.pdf>>.

JEBLI, M. Ben; YOUSSEF, S. Ben; OZTURK, I. Testing environmental Kuznets curve hypothesis in G7 countries: the role of renewable energy consumption and trade. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 824–831, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.031>>.

KAO, C. **On the Estimation and Inference of a Cointegrated Regression in Panel Data**. . New York: Center for Policy Research. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1807931>>. , 1999a

_____. Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. **Journal of Econometrics**, v. 90, n. 1, p. 1–44, 1999b. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)>.

KAO, C.; CHIANG, M.-H. On the Estimation and Inference of a Cointegrated Regression in Panel Data. In: BALTAGI, B. H. (Org.). **Nonstationary Panels, Panel Cointegration Dyn. Panels**. 1^a ed. New York: JAI Press, 2000. p. 179–222. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0731-9053\(00\)15007-8](https://doi.org/10.1016/S0731-9053(00)15007-8)>.

KAUFMANN, R. K. et al. The determinants of atmospheric SO₂ concentrations: Reconsidering the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, n. 2, p. 209–220, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00181-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00181-X)>.

KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **The American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1–28, 1955. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1811581>>.

LAU, L.-S.; CHOONG, C.-K.; NG, C.-F. Role of Institutional Quality on Environmental Kuznets Curve: A Comparative Study in Developed and Developing Countries. **Advances in Pacific Basin Business, Economics and Finance**, v. 6, p. 223–247, 2018. Disponível em: <<https://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/S2514-465020180000006007>>.

LEVIN, A.; LIN, C.; CHU, C. J. Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. **Journal of Econometrics**, v. 108, n. 1, p. 1–24, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)>.

LUCENA, A. F. P. et al. Climate policy scenarios in Brazil: A multi-model comparison for energy. **Energy Economics**, v. 56, p. 564–574, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.02.005>>.

_____. **Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental Aplicada ao Uso de Energia e suas Implicações para as Emissões de Carbono no Brasil**. 2005. 124 f. Tese (Doutorado em Economia) - PPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)>.

MADDALA, G. S.; WU, S. A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 61, n. s1, p. 631–652, 1999. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/1468-0084.0610s1631>>.

MAIA, A. G. **Econometria - Conceitos e aplicações**. São Paulo: Saint Paul, 2017.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo século XXI**. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/_arquivos/livro_completo.pdf>.

MEADOWS, D. H. et al. **The Limits to Growth**. [S.l.: s.n.], 1972.

MELLO, N. G. R. de; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, v. 66, p. 108–127, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i66p108-129>>.

MUELLER, C. C. Economia e meio ambiente na perspectiva do mundo industrializado: uma avaliação da economia ambiental neoclássica. **Economia**, v. 26, n. 2, p. 261–304, 1996. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ee/article/view/116670/114249>>.

_____. **Os Economistas e as Inter-relações entre o Sistema Econômico e o Meio-Ambiente**. Brasília: NEPAMA, 2004.

MYERS, C. A.; SLACK, T.; SINGELMANN, J. Social vulnerability and migration in the wake of disaster: the case of Hurricanes Katrina and Rita. **Population and Environment**, v. 29, n. 6, p. 271–291, 16 jul. 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11111-008-0072-y>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

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://www.thesolutionsjournal.com/node/569>>.

OC - OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões de GEE no Brasil de 1970 a 2016**. . [S.l.]: OC. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-Sintese-FINAL-v1.pdf>>. , 2018

_____. **Nota Metodológica: Setor Agropecuário (SEEG)**. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/10/Nota-Methodologica-SEEG-5-Agropecuaria>>.

2017-10-20.pdf>. , 2017a

_____. **Nota Metodológica: Setor Mudança de uso do solo e floresta (SEEG)**. . [S.l.: s.n.], 2017b

_____. **Sistema de Estimativas de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**. . [S.l.]: OC. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/>>. , 2017c

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **OECD Bilateral Trade Database by Industry and End-use Category (BTDIxE)**. . [S.l.]: OECD. Disponível em: <www.oecd.org/trade/valueadded/>. , 2017

PANAYOTOU, T. **Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. , [Working Paper 238]., n° s. Genebra: International Labor Office, 1993. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/ilo/ilowps/292778.html>>.

PEDRONI, P. Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 61, n. Special Issue Nov., p. 653–670, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/1468-0084.61.s1.14>>.

_____. Panel Cointegration; Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an application to the PPP Hypothesis. **Econometric Theory**, v. 20, p. 597–625, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0266466604203073>>.

PHILLIPS, P. C. B.; PERRON, P. Testing for a Unit Root in Time Series Regression. **Biometrika**, v. 75, n. 2, p. 335–346, 1988. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/pdf/2336182.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

PIGOU, A. C. **the Economics of Welfare**. 4ª ed. London: MacMillan and Co, 1932. Disponível em: <<http://oll.libertyfund.org/Home3/EBook.php?recordID=0316>>.

PINTO, V.; DAMASCENO, J. Política Fiscal. In: IBRE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA (Org.). **Bol. Macro**. [S.l.]: FGV, 2018. p. 14–15. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/24514/BoletimMacroIbre_1806.pdf>.

PIRES, G. N. Crescimento econômico e emissões de dióxido de carbono: a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para o Brasil (1970 – 2011). **Observatório de la Economía Latinoamericana**, p. 1–11, 2017. Disponível em: <<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/17/kuznets.html>>.

PORTUGAL JÚNIOR, P. dos S.; REYDON, B. P.; PORTUGAL, N. dos S. A questão ambiental e regional sob o enfoque espacial- sistêmico-integrado : uma proposta para o desenvolvimento sustentável. **Leituras de Economia Política**, v. 23, p. 1–28, 2015. Disponível em: <<http://www.revistalep.com.br/index.php/lep/article/view/123>>.

ROCHEDO, P. R. R. et al. The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 8, p. 695–698, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0213-y>>.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica.

Estudos Avançados, v. 26, n. 74, p. 65–92, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100006&lng=pt&tlng=pt>.

RONIOU DU PONT, Y. **The Paris Agreement global goals: What does a fair share for G20 countries look like?** Melbourne: Australian-German Climate & Energy College - The University of Melbourne, 2017. Disponível em: <[http://climatecollege.unimelb.edu.au/files/site1/docs/9834/Paris Agreement - Fair share for G20 countries.pdf](http://climatecollege.unimelb.edu.au/files/site1/docs/9834/Paris%20Agreement%20-%20Fair%20share%20for%20G20%20countries.pdf)>.

RUPASINGHA, A. et al. The environmental Kuznets curve for US counties: A spatial econometric analysis with extensions. **Papers in Regional Science**, v. 83, n. 2, p. 407–424, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10110-004-0199-x>>.

SABOORI, B.; SULAIMAN, J.; MOHD, S. Economic growth and CO₂ emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve. **Energy Policy**, v. 51, p. 184–191, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.065>>.

SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SANTOS, C. A. P. dos; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. Fronteira Agrícola e a Dinâmica de uso e Ocupação dos solos no Oeste da Bahia. **ACTA Geográfica**, v. 12, n. 28, p. 17–32, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5654/acta.v12i28.4385>>.

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental quality and development: Is there a kuznets curve for air pollution emissions? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 27, n. 2, p. 147–162, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1006/jeeem.1994.1031>>.

SENNA, J. J. Política Monetária. In: IBRE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA (Org.). **Bol. Macro**. [S.l.]: FGV, 2018. p. 12–14. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/24514/BoletimMacroIbre_1806.pdf>.

SERENO, L. G. F.; ANDRADE, D. C. Intensidade energética e poluidora da indústria brasileira de 1970 a 2016. 2018, Uberlândia: Blucher Engineering Proceedings, 2018. p. 708–727. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/enei2018-40>>.

SERENO, L. G. F.; SIMÕES, M. S.; ANDRADE, D. C. Crescimento Econômico, Exportações e Emissões de GEE na Região Sudeste: Uma análise de Cointegração em Painel. 2018, Rio de Janeiro: ANPEC, 2018. Disponível em: <<https://en.anpec.org.br/>>.

SERRANO, A. L. M.; LOUREIRO, P. R. A.; NOGUEIRA, J. M. Evidência da curva de kuznets ambiental no Brasil: Uma análise do crescimento econômico e poluição. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, p. 304–314, 2014.

SHAFIK, N. Economic Development and Environmental Quality : an Econometric Analysis. **Oxford Economic Papers New Series**, v. 46, p. 757–773, 1994. Disponível em: <<http://www.jstor.org.proxy-remote.galib.uga.edu/stable/2663498>>.

SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence. **Policy Research Working Paper Series**, v. 18, n. 5, p. 55,

1992.

SHAHBAZ, M.; LEAN, H. H.; SHABBIR, M. S. Environmental Kuznets Curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2947–2953, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.015>>.

SILVA, M. S. da. Albedo Terrestre. **Ciência elementar**, v. 3, n. 3, p. 36–38, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.24927/rce2015.042>>.

SOLOW, R. M. Reply - Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, n. 3, p. 267–268, 1997. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00081-5)>.

_____. The Economics of Resources or the Resources of Economics Robert M. **The American Economic Review**, v. 64, n. 2, p. 1–14, 1974. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1816009>>.

SOUSA, L. C. R.; SOUSA, D. S. P.; SANTOS, R. B. N. Curva Ambiental De Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010. **R. gest. sust. ambient.**, v. 5, n. 2, p. 227–246, 2016.

STERN, D. I. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. **World Development**, v. 32, n. 8, p. 1149–1439, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>>.

STERN, D. I.; COMMON, M. S. Is There and Environmental Kuznets Curve for Sulfur? **Journal of Environme**, v. 41, n. 2, p. 162–178, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1006/jeem.2000.1132>>.

TANIMOTO, A. H.; PEREIRA LINDOSO, D.; DEBORTOLI, N. As Emissões Antropogênicas Pré-Revolução Industrial Afetando o Clima do Planeta. 2008, Brasília: ANPPAS, 2008. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT15-408-299-20080511163608.pdf>>.

VEIGA, J. E. da. O amago da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 7–24, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300002>>.

VERÍSSIMO, M. P. Perfil exportador e Crescimento Econômico dos estados da região sudeste brasileira. **Revista de Economia do Nordeste**, v. 47, n. 1, p. 65–80, 2016. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/projwebren/Exec/artigoRenPDF.aspx?cd_artigo_ren=1651>.

VIERA FILHO, J. E. R. A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafios estruturais logísticos. **Agric. Transform. Prod. e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, 2016. p. 89–108. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=28219>.

WCED - UNITED NATIONS WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Brundtland Report: Our Common Future. **United Nations**, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>.

WEIHS, M.; SAYAGO, D.; TOURRAND, J.-F. Dinâmica da fronteira agrícola do Mato

Grosso e implicações para a saúde. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 323–338, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890024>>.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. **Report of the World Commission on Environment and Development “Our common future”**. . Oxford, New York: Oxford University Press. , 1987

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. A Análise do Efeito Estufa em textos para-didáticos e periódicos jornalísticos. **Cad. Bras. Ens. Fís**, v. 21, n. 3, p. 325–349, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/10.5007/10.5007/10.5007>>.

ZOUNDI, Z. CO2 emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. February 2016, p. 1067–1075, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.018>>.

ANEXO A - SETORES E ATIVIDADES DE EMISSÃO DE GEE JUNTO AO IPCC

Setor	Atividades
Mudanças no Uso da Terra	Varição na quantidade de carbono de biomassa vegetal e do solo Emissão de CO ₂ por aplicação de Calcário em solos agrícolas Emissões de CH ₄ e N ₂ O pela queima de biomassa nos solos Remoção de CO ₂ 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 SF ₆
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 B – SIIT: INTENSIDADE TECNOLÓGICA E SETORES DE ATIVIDADE

SITT	Nível de tecnologia da Indústria de Transformação	Setores de Atividade por grupo do SH4
9000	Não Classificado na Indústria da Transformação (N.C.I.T.)	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 1. Produtos farmoquímicos e farmacêuticos 2. Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos 3. Aeronaves
2000	Média alta	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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

Fonte: Brasil (2017)

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