



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA,
CONTABILIDADE, SECRETARIADO EXECUTIVO.
CURSO DE FINANÇAS

MARÍLIA RODRIGUES FIRMIANO

A RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA, EMISSÃO DE CO₂ E
CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL: ANÁLISES PARA O PERÍODO
DE 2000 A 2013.

FORTALEZA

2015

MARÍLIA RODRIGUES FIMIANO

**A RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA, EMISSÃO DE CO₂ E
CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL: ANÁLISES PARA O PERÍODO
DE 2000 A 2013.**

Monografia apresentada ao Curso de Finanças da Coordenação de Finanças da Universidade Federal do Ceará, como requisito para o título de Bacharel em Finanças.

Orientador: Prof. Guilherme Diniz Irffi

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós Graduação em Economia - CAEN

-
- F557r Firmiano, Marília Rodrigues
A relação entre consumo de energia, emissão de CO2 e crescimento econômico / Marília Rodrigues Firmiano. – 2015.
40f. il. color., enc. ; 30 cm.
- Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, FEAAC, Curso de Finanças, Fortaleza – CE, 2015.
Orientação: Prof. Dr. Guilherme Diniz Irffi
1. Crescimento econômico – Meio ambiente 2 Curva de Kuznets I. Título.

CDD 333

MARÍLIA RODRIGUES FIMIANO

**A RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA, EMISSÃO DE CO₂ E
CRESCIMENTO ECONÔMICO NO BRASIL: ANÁLISES PARA O PERÍODO
DE 2000 A 2013.**

Monografia apresentada ao Curso de Finanças da Coordenação de Finanças da Universidade Federal do Ceará, como requisito para o título de Bacharel em Finanças.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Guilherme Diniz Irffi (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Christiano Modesto Penna
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Diego Carneiro Fonseca
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai José Amauri Firmiano pelo apoio, carinho e oportunidade de seguir meu sonho. As minhas mães Fátima Maria Rodrigues Firmiano e Sandra Márcia Rodrigues Félix que me ensinaram a enfrentar os desafios. Ao meu filho Igor Rodrigues Firmiano pelo amor e compreensão. Aos irmãos Lilian Firmiano e Átila Firmiano e João Vitor Firmiano pelo apoio nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Guilherme Diniz Irffi, meu orientador, pela atenção, confiança, paciência, apoio e compreensão, obrigada pelas valiosas conversas acadêmicas.

Ao Prof. Christiano Modesto Penna pelas contribuições sobre modelos e métodos de estimação de convergência.

Aos Professores João Mário Santos de França, Manoel Bosco de Almeida, Henrique Félix e Neto Feitosa pela paciência, oportunidade e confiança dispensadas durante a minha vida acadêmica.

Aos Professores Expedito José de Sá Parente e Expedito José de Sá Parente Júnior pelo carinho e orientações para a vida.

Aos meus amigos de graduação Andressa Paiva, Delson Barros, Franklin Alves, Perivaldo Reis e Natália Carvalho pelas contribuições valorosas à minha formação acadêmica.

Cada um de nós tem o poder de construir nossa sociedade. A cada minuto, com cada ação, estamos decidindo construir, destruir, mostrar o certo ou perpetuar o errado.- Bel Pesce.

RESUMO

O presente trabalho avalia a relação entre consumo de energia, emissão de CO₂ e o nível econômico dos Estados brasileiros. Um fato estilizado é que o crescimento econômico provoca diversas transformações em uma sociedade, sejam elas sociais e/ou ambientais, tais impactos tem sido o foco de diversos estudos, dentre estes o proposto por Grossman e Krueger (1995) que trata da relação entre crescimento econômico e meio ambiente, esta seria representada por uma função na forma de U-invertido, tal hipótese ficou conhecida como Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Predizer o comportamento de tal relação em distintas sociedades para um longo período de tempo, significa avaliar a presença de convergência, através do nível de intensidade, que trata da razão entre emissão de CO₂ ou consumo de energia e crescimento econômico. Estudos como os de Sala-I-Martin (1991) que propôs a distinção entre Beta e Sigma convergência, cujo o primeiro trata se economias de baixo nível podem alcançar as economias de alto nível, devido a sua elevada taxa de crescimento da intensidade, já o segundo termo trata se tais sociedades tendem a convergir para um mesmo nível. Para analisar a relação entre o consumo de energia, emissão de CO₂ e o nível econômico dos Estados brasileiros fez-se necessário construir uma série de emissão de CO₂ e consumo de energia a partir dos derivados do petróleo para as Unidades da Federação, além de avaliar a relação entre emissão de CO₂ e crescimento econômico a partir da teoria da Curva de Kuznets Ambiental. Em termos de análise, propôs verificar a existência de convergência de emissão de CO₂ e consumo de energia no longo prazo.

Palavras Chave: Curva de Kuznets Ambiental, emissão de CO₂, intensidade energética.

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AC	Acre
AL	Alagoas
AM	Amazonas
AP	Amapá
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BA	Bahia
BEP	Barril equivalente de Petróleo
BEN	Balanco Energético Nacional
CE	Ceará
CKA	Curva de Kuznets Ambiental
CO ₂	Dióxido de Carbono
DEA	Análise Envoltória de dados
DF	Distrito Federal
EPPA	<i>Emissions Production and Policy Analysis</i>
ES	Espirito Santo
GEE	Gases geradores do efeito estufa.
Gg	Gigagrama
GO	Goiás
IGP-DI	Índice Geral de Preços ao consumidor
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
M ³	Metro Cúbico
MA	Maranhão
Mcal	Milhão de Calorias
MG	Minas Gerais
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
PA	Pará
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PIB	Produto Interno bruto
PNMC	Política Nacional sobre mudanças no clima
PR	Paraná
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte
RO	Rondônia
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SE	Sergipe
SP	São Paulo
SVA	Modelo estrutural de algoritmo vetorial
TO	Tocantins

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. AS RELAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO, CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÃO DE POLUENTES.....	14
2.1. MODELO TEÓRICO: A CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL (CKA).....	14
2.2. A RELAÇÃO ENTRE ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO	15
2.3. A RELAÇÃO ENTRE EMISSÃO DE POLUENTES E CRESCIMENTO ECONÔMICO	16
3. ASPECTOS METODOLÓGICOS	18
3.2 CONVERGÊNCIA: SIGMA, BETA E CLUBES.	22
3.3 CLUBES DE CONVERGÊNCIA: PHILLIPS E SUL (2007).	22
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	24
4.1. INTENSIDADE DE ENERGIA: RAZÃO ENTRE O CONSUMO DE ENERGIA E O PIB.....	31
4.1.1. SIGMA CONVERGÊNCIA.....	31
4.1.2. BETA CONVERGÊNCIA.....	31
4.2. INTENSIDADE DE EMISSÃO: RAZÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO ₂ E O PIB	34
4.2.1. ANÁLISE SIGMA CONVERGÊNCIA	34
4.2.2. ANÁLISE BETA CONVERGÊNCIA.....	34
4.3. A RELAÇÃO ENTRE OS CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE INTENSIDADE DE ENERGIA E INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO ₂	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
APÊNDICE.....	41

1. INTRODUÇÃO

A relação entre crescimento econômico e poluição ambiental pode ocorrer em menores ou maiores proporções, dependendo de diversos fatores, dentre estes se destacam o uso de tecnologia com baixa intensidade de energia e de emissão de poluentes.

De acordo com Oshiro (2015) no século XVIII, início da primeira revolução industrial na Inglaterra, ocorreu o desenvolvimento das máquinas e transportes a vapor, o que encadeou uma exploração em escala extraordinária do carvão mineral. Já na segunda revolução industrial, iniciada no século XIX na França, o advento do motor a combustão interna foi responsável pela função estratégica que o petróleo exerceria, sendo consumido como principal combustível.

Desde então o petróleo e seus derivados tem ocupado um papel importante na matriz energética global, os combustíveis fósseis são substâncias de origem mineral formada pelos compostos de carbonos provenientes da decomposição de materiais orgânicos e considerados recursos naturais não renováveis. A queima dos combustíveis ocorre de forma incompleta, ocasionando a emissão de diversos gases, dentre eles o dióxido de carbono (CO₂) principal responsável pelo efeito estufa (GEE).

Diante do cenário em que fontes energéticas não renováveis representam a força motriz do crescimento econômico, causando a emissão de gases geradores do efeito estufa, Andrade (2010) afirma que na busca para tal crescimento econômico de longo prazo começaram a surgir análises relacionadas aos impactos das restrições ambientais sobre o processo de crescimento econômico, segundo o autor o movimento teria emergido nos anos de 1950 por meio dos cientistas e a década de 1960 representou o ingresso das organizações não governamentais no debate, como o *World Wide Fund for Nature* (WWF) em 1961.

Em meados dos anos 1960, o conceito de desenvolvimento sustentável era uma preocupação do então Clube de Roma, fundado em 1968. Em seu primeiro relatório divulgado em 1972 e intitulado *The Limits to Growth*, analisava determinadas situações e afirmava que existia a opção para a sociedade de reconciliar o progresso sustentável dentro das limitações ambientais. Neste mesmo ano ocorreu a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, conhecida como Conferência de Estocolmo, cujo texto

base *Only on earth: the care and maintenance of a small planet* reforçava as conclusões do relatório do Clube de Roma.

Ainda de acordo com Andrade (2010) tal Conferência levou a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Segundo o autor a consolidação prossegue na década de 1980 com a criação da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), vinculada à ONU, e que foi responsável pela elaboração do relatório *Nosso Futuro Comum* publicado em 1987 que oficializou o termo Desenvolvimento Sustentável.

Posteriormente, foram realizadas diversas reuniões com a finalidade de estudar o impacto ambiental ocasionado pelo crescimento econômico. E, em 1990, com objetivo de divulgar relatórios da situação ambiental, surgiu o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC).

As primeiras metas de emissão para países industrializados foram definidas em 1992 durante a reunião Eco-92, realizada na cidade do Rio de Janeiro, no Brasil. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), tal reunião contou com 179 países participantes.

De acordo com Andrade (2010) o relatório do IPCC, divulgado em 1995, as mudanças climáticas eram provenientes de ações antrópicas¹. Em 1997 foi aberto o Protocolo de Quioto, no entanto o mesmo só foi ratificado em 1998 entrando em vigor em 2005 com 189 participantes, seu objetivo era garantir que os países desenvolvidos reduzissem a emissão de gases como dióxido de carbono entre outros. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente os países desenvolvidos se comprometeram a reduzir suas emissões totais de gases do efeito estufa em no mínimo 5% abaixo dos níveis de 1990, no período compreendido entre 2008 e 2012. Já países em desenvolvimento, inclusive o Brasil, foram estabelecidas medidas para que o crescimento necessário de suas emissões fosse limitado pela introdução de medidas apropriadas.

Acordos internacionais como o Protocolo de Quioto que regulamentam cotas para emissão de CO₂ são tentativas de cooperação para redução do efeito estufa. No entanto, ainda existe uma controversa a respeito do grupo tratado, já que os países em

¹ Ações realizadas pelo homem. As externalidades negativas causadas pela ação do homem ao meio ambiente provocam mudanças no clima.

desenvolvimento deveriam incorrer em um tratamento diferente daqueles já desenvolvidos.

De acordo com Balanço Energético Nacional (BEN 2014), o Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 64,9% da oferta interna. As fontes renováveis representam 79,3% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referente à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. Assim a composição da oferta interna de energia elétrica por fonte é de 70,6% Hidráulica, 7,6% Biomassa, 1,1% eólica, 11,3% Gás natural, 4,4% Derivados de Petróleo, 2,4% nuclear e 2,6% de carvão e Derivados.

Diante das preocupações relacionadas às mudanças climáticas, fruto das externalidades negativas do crescimento econômico, o Governo brasileiro, segundo o Ministério do Meio Ambiente, instituiu a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei nº 12.187/2009 que define o compromisso nacional de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de GEE entre 36,1% e 38,9 % em relações às emissões projetadas até 2020.

Para estabelecer políticas climáticas tornou-se necessário avaliar as economias quanto ao seu nível de eficiência, ou seja, verificar o quanto é produzido para certa quantidade energia consumida. O conceito de intensidade de energia é amplamente utilizado como métrica de eficiência, ou seja, quanto maior o nível de intensidade menor será o nível de eficiência de certa economia. Ao avaliar a intensidade de energia, avalia-se o quanto de energia é consumida para cada unidade de produção numa economia, assim é possível verificar quais economias apresentam maiores níveis de consumo e analogamente emissão de poluentes em seu processo de crescimento econômico.

Neste sentido, essa pesquisa visa analisar a relação entre consumo de energia, emissão de CO₂ e crescimento econômico, além de avaliar se com o crescimento econômico das sociedades, neste caso os Estados brasileiros², tende a se comportar de forma a convergir ou divergir quanto a seu nível de intensidade energética (Sigma Convergência), bem como verificar a velocidade que esta ocorre, (Beta Convergência),

² Optou-se por denominar as Unidades da Federação, os 26 Estados mais o Distrito Federal, como estados brasileiros.

assim como identificar a presença de clubes de convergência de Estados com mesma característica quanto ao nível de intensidade.

Para isso, são utilizadas as séries históricas do consumo de energia obtida junto à Agência Nacional do Petróleo (ANP), do Produto Interno Bruto (PIB), a preços constantes de 1994, deflacionada de acordo com o índice geral de preços e disponibilidade interna (IGP-DI) obtido junto ao IBGE, a participação percentual anual das Unidades da Federação no PIB brasileiro obtido a partir das Contas Regionais do Brasil (2012).

A partir dessas series são construídas as medidas de intensidade de energia e intensidade de emissão de CO₂, por meio das razões Energia/PIB e Emissão de CO₂/PIB, respectivamente.

Para alcançar os objetivos, optou-se por estruturar o trabalho em cinco seções, incluindo esta introdução. A próxima se dedica ao arcabouço teórico a respeito da relação entre crescimento, consumo de energia e emissão de CO₂. A terceira consiste em apresentar a fonte e o tratamento dos dados, bem como os aspectos metodológicos utilizados para estimar as convergências. A quarta seção versa sobre a análise e discussão dos resultados. E, por fim são tecidas as considerações finais.

2. AS RELAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO, CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÃO DE POLUENTES

A energia é um fator fundamental para o alcance do crescimento econômico, seu fornecimento apresenta-se sob duas formas, as fontes de energia renováveis como a energia eólica e solar que são recursos não esgotáveis e as não renováveis como combustível fóssil, diante da crescente demanda por energia, ficou evidente a necessidade do uso da eficiência energética, ou seja, a utilizar da melhor forma energia.

Os impactos causados pelo crescimento econômico ao meio ambiente revelaram uma necessidade de conciliar crescimento e preservação ambiental, de forma que surgiu na literatura o termo desenvolvimento sustentável, onde o crescimento econômico permanece relevante, mas diante de uma sociedade preocupada em minimizar tais impactos negativos provocados pelo seu crescimento ao meio ambiente.

Assim é relevante entender através de um modelo teórico a relação entre crescimento econômico e meio ambiente ao longo do desenvolvimento de uma economia, assim este capítulo apresenta três subdivisões, onde a primeira aborda o modelo teórico amplamente discutido, a segunda trata de estudos relacionados a crescimento e energia e o terceiro trata da relação emissão de poluentes e crescimento.

2.1. MODELO TEÓRICO: A CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL (CKA)

O desenvolvimento sustentável tornou-se foco de estudos como em Grossman e Krueger (1991), Arraes (2006) e Irffi (2011), estes tratam do *trade off* crescimento econômico e preservação ambiental e externalidades negativas, ou seja, como o efeito estufa provocado pelo crescimento da economia mundial afeta o meio ambiente e por consequência o bem-estar global.

Grossman e Krueger (1991) ao analisarem a relação entre degradação ambiental e desenvolvimento econômico, verificaram que essa relação apresenta forma de U-invertido, denominando-a como Curva de Kuznets Ambiental.

De acordo com Irffi (2011) e Arraes et al (2006), a tentativa de estabelecer uma conexão teórica entre degradação ambiental e crescimento econômico levou Grossman e Krueger (1991), Shafik e Bandyopadhyay (1992) e Selden e Song (1994) a levantarem a hipótese que ficou conhecida como Curva Ambiental de Kuznets (CKA), que estabelece a relação entre renda *per capita* e poluição no formato de *U-invertido*, esta segundo

Irffi (2011), deriva de três estágios de desenvolvimento da economia em relação à degradação ambiental.

No estágio inicial a relação entre crescimento econômico e poluição é positiva, pois neste a sociedade anseia pelo aumento dos níveis de renda e de consumo sem grandes preocupações com o meio ambiente. No segundo estágio, após ter se tornado uma economia industrial com elevado nível de renda e maior nível de degradação ambiental, a sociedade já anseia por mudanças na regulamentação ambiental. Por fim, no último estágio, com uma economia pós-industrial, voltada para o setor de serviços, espera-se que o nível de poluição seja cada vez menor combinado com o elevado nível de renda.

2.2. A RELAÇÃO ENTRE ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO

De acordo com o desenvolvido por Souza (2012), a avaliação comparativa do desempenho energético entre países em desenvolvimento, em função do crescimento econômico, sustentabilidade e desenvolvimento humano, utilizando o método de Análise Envoltória de Dados (DEA), possibilita identificar os melhores resultados relativos às estratégias de políticas energéticas e verificar que diferentemente dos países desenvolvidos que buscam a otimização de processos produtivos, os países em desenvolvimento necessitam continuar seu processo de crescimento, fazendo uso das tecnologias e processos de uso racional de energia, criados pelos países desenvolvidos.

No contexto de crescimento econômico, consumo energético e suas consequências ao meio ambiente, Salazar (2012) propôs em seu estudo determinar os impactos que os ganhos de eficiência podem gerar na demanda de energia da indústria brasileira, utilizando-se de variáveis explicativas como PIB industrial, efeito intensidade como proxy para eficiência energética, formação líquida de capital fixo como proxy dos investimentos feitos pela indústria, concluiu-se que o aumento da taxa de investimento na economia, além de aumentar a eficiência energética na indústria, também é responsável por reduzir o consumo de energia e assim beneficiar tanto o setor industrial através da redução dos custos como a sociedade através de poupança dos recursos não renováveis.

Avaliando o impacto do programa de racionamento de energia, instituído no Brasil entre junho de 2001 e fevereiro de 2002, através da análise das relações entre a

demanda de energia elétrica do Brasil e seus principais determinantes (renda e tarifa) nas classes de consumo Residencial, Comercial e Industrial no período pós – racionamento, com vista a identificar novos padrões de consumo, Pais (2012) realizou uma análise da evolução do consumo de cada classe no período em questão, sendo, em seguida, estimadas as elasticidades-renda e preço da demanda a partir do modelo estrutural de Autorregressão Vetorial (SVAR), os resultados de tal estudo indicaram que houve uma queda da intensidade elétrica da economia, resultante de um ajuste no setor elétrico depois do racionamento, que levou ao aumento a eficiência no uso da eletricidade, além da indicação de não haver uma relação contemporânea entre consumo e tarifa de energia elétrica.

Segundo Miranda (2004), conhecer bem a demanda de energia elétrica, através de análises econométricas, é de fundamental importância para possibilitar que investidores privados supram a deficiência de investimentos do setor público. Utilizando como ferramenta econométrica o método dos mínimos quadrados e mínimos quadrados em dois estágios para sugerir modelos que expliquem o consumo de energia elétrica no Estado do Ceará, observou-se que algumas variáveis que inicialmente acreditava-se terem alta representatividade no consumo de energia elétrica, demonstraram-se pouco significativas em diversos modelos.

Tendo em vista a trajetória de demanda por energia como fonte necessária para o desenvolvimento econômico, Francelino (2008) investiga as variáveis significativas relacionadas ao consumo de energia elétrica e ao crescimento econômico para o Estado do Ceará, tal pesquisa propôs modelos econométricos e simulações de previsões que permitam analisar o comportamento da demanda por energia elétrica, assim como o potencial energético ante os cenários de crescimento econômico, tendo em vista a possibilidade de suprir com energia eólica seu diferencial.

2.3. A RELAÇÃO ENTRE EMISSÃO DE POLUENTES E CRESCIMENTO ECONÔMICO

A partir das evidências apontadas por Grossman e Krueger (1995,1996), onde a relação entre PIB *per capita* e emissão de poluentes toma a forma de um U- invertido, Arraes *et. al.*(2006), aponta para tal fato estilizado e a questão se o crescimento econômico gera por si só uma proteção automática ao meio ambiente, *vis à vis* ao desenvolvimento sustentável, utilizando-se de dados em painel para países, verificou-se que as variáveis que denotam desenvolvimento sustentável apresentam uma relação

fraca com o PIB *per capita*, quanto a sua representação para uma Curva Ambiental de Kuznets, há evidências para uma curva em formato cúbico o que evidencia a presença de fenômenos cíclicos.

Nesta mesma área de pesquisa Alves (2011) avalia se há evidências para a existência da curva Ambiental de Kuznets para a América do Sul, neste, a partir de estatísticas descritivas, verificou-se que a renda (PIB *per capita*) é a variável de controle que apresenta uma maior correlação com a emissão de CO₂ *per capita*, o que pode ser considerado tanto causa quanto solução para o problema ambiental, para tal estimou-se quatro modelos dentre os quais apenas um apresentou uma relação entre renda e emissão de CO₂ em formato de U- invertido, de tal forma concluiu-se que a curva Ambiental de Kuznets não é verificada para a América do Sul.

Diante da preocupação com a preservação do meio ambiente e com aumento das externalidades negativas provocadas pelo crescimento econômico, tornam-se evidentes as necessidades de ações de políticas públicas que levem em consideração o desenvolvimento de forma sustentável. Assim estudos como o de Silva (2010) buscam avaliar os impactos econômicos de políticas de mudança climática na economia brasileira, neste, através de simulações e utilizando o modelo “*Emissions Prediction and Policy Analysis*” (EPPA) do MIT, modelo dinâmico e recursivo, multirregional que representa a economia mundial, revelou que a introdução de metas de redução de emissões a partir de 2015, possibilita uma redução expressiva das emissões de GEE do país, com destaque para a redução proveniente do desmatamento, quanto ao nível de atividade econômica verificou-se que o sacrifício a ser realizado em termos de perdas de PIB não se mostrou expressivo, o que pode ser explicado por uma matriz energética intensiva em fontes de energia limpa.

Da mesma forma Wills (2013) analisa o impacto de políticas climáticas abrangentes, como uma taxa de carbono ou um mercado de cota de emissões de GEE sobre a economia do Brasil, neste são analisados os efeitos das políticas sobre os indicadores macroeconômicos como PIB do país, além de avaliar os efeitos sobre a produção dos principais setores da economia brasileira, utilizando-se do modelo IMACLIM-S, desenvolvido pelo autor, resultados encontrados indicam que a forma que o governo utiliza as receitas de carbono influencia de forma importante o impacto da política climática na economia e nas emissões de GEE.

Segundo Irffi (2011), em seus ensaios sobre a relação entre as emissões de CO₂ e a Renda Global, conclui que para reduzir o nível de emissão de CO₂ e mitigar os efeitos do aquecimento global é preciso estabelecer um novo regime de cotas de emissão de CO₂ com mais países do que o acordo com o Protocolo de Quioto e, ainda, é preciso estabelecer um sistema de tributação para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), a fim de permitir alcançar os objetivos de estabilizar e, posteriormente, reduzir os níveis de emissão de maneira mais fácil. Além disso, é preciso que as cotas e tributação de emissão de CO₂ sejam definidas a partir do nível atual de emissão e da velocidade de convergência para clubes de maior nível de emissão, segundo o autor tais cotas deveriam seguir um regime diferenciado, pois os efeitos do aquecimento global alcançados pela sociedade contemporânea advêm de gases lançados na atmosfera terrestre no passado. Portanto faz-se necessário subsidiar fontes alternativas de energia com baixa intensidade de emissão, com o objetivo de alcançar eficiência energética a partir de energia limpa.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 FONTE E TRATAMENTO DOS DADOS.

Para analisar a relação entre o consumo de energia, crescimento econômico e a emissão de poluentes das Unidades da Federação, utiliza-se de informações mensais das séries de consumo de energia disponibilizadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), do Produto Interno Bruto (*proxy* do crescimento econômico) calculado pelo Banco Central do Brasil. Com a finalidade de evitar os efeitos da sazonalidade, tais séries foram dessazonalizadas através de média móvel.

O consumo de energia é construído a partir de diversas fontes de energia, como descrito no Quadro 1. Como o consumo de energia é aferido por metro cúbico (M³), optou-se por transformar as séries em uma unidade de energia comumente utilizada que é Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP).

Para tanto se faz necessário a conversão de M³ para Barris equivalente de Petróleo (BEP) e, posteriormente, de BEP para TEP, seguindo os critérios dos fatores de conversão estabelecidos pela ANP (valores médios para o ano de 2013) descritos nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

A partir da conversão em TEP e com base nos coeficientes da matriz de emissões, segundo o site Economia & Energia utilizam-se os fatores de conversão por fonte de energia descritos no Quadro 4 para transformar o consumo em emissão de poluentes por Unidade da Federação. Mais especificamente, em emissões de CO₂ Gg/1000 tep.

Para analisar o crescimento econômico foi utilizada como *proxy* a série do Produto Interno Bruto (PIB) calculado pelo Banco Central do Brasil, mensurada em milhões de reais a preços constante de 1994, deflacionada pelo índice geral de preços – disponibilidade interna (IGP-DI) do IBGE. Para a construção da série de PIB para cada Unidade da Federação utilizam-se como *proxy* a participação percentual das Unidades da Federação no PIB brasileiro disponível nas Contas Regionais do Brasil-2012.

Todavia, o PIB possui informação com periodicidade mensal e tal participação percentual é anual, sendo assim, adotou-se a participação anual como sendo fixa ao longo dos meses. Além disso, como no documento de Contas Regionais não possui informação disponíveis para os anos de 2000, 2001, 2002 e 2013, optou-se por considerar as informações de 2003 para o intervalo de 2000 a 2002, e as informações de 2012 para o ano de 2013.

A partir dessas séries (consumo de energia, emissões de CO₂ e crescimento econômico por UF) foram construídas as métricas de intensidades de energia e emissão de CO₂, as quais são expressas pela razão entre o consumo de energia e PIB e pela razão entre a emissão de CO₂ e k PIB, respectivamente.

De acordo com Oshiro (2015) a cadeia energética é conceituada como o conjunto sequencial de atividades necessária para que diversas formas de energia sejam transformadas desde a fonte até seu consumo final. Segundo o autor a intensidade energética é a razão entre a energia consumida e o valor adicionado produzido, ou seja, para cada unidade econômica produzida foi necessária certa quantidade de consumo de energia. Assim, tendo em vista a agregação dos valores energéticos na construção do indicador de intensidade energética, faz-se necessário a adoção de uma unidade de transformação dos diferentes insumos energéticos numa mesma base. Ou seja, é preciso estabelecer alguma forma de equivalência entre as diversas fontes energéticas consideradas.

A intensidade energética segundo Salazar (2012) trata da quantidade de energia por unidade de produto ou serviço, ainda segundo o autor o efeito intensidade é definido como percentual de ganho relativo de eficiência ao se adotar maior participação de uma dada fonte energética mais eficiente ou por substituição tecnológica, ou ainda através de mudanças de procedimento.

Por outro lado, segundo Filho (2012) o aumento de bem estar da sociedade em função do crescimento econômico mundial pode acarretar alterações climáticas, advindas de ações antrópicas. Assim mensurar as relações entre emissão de CO₂ e o indicador econômico (PIB) e energético do Brasil pode ser a base para ter um grau de intensidade dos danos ambientais causados pelo crescimento da economia do país.

Quadro 1 - Descrição das Fontes de Energia e unidades de medidas.

Fontes de energia	Descrição	Unidade de medida
Etanol hidratado (EHC)	Álcool etílico hidratado combustível ou etanol hidratado combustível destinado à venda no posto revendedor para o consumidor final, conforme especificação da ANP.	M ³
Gasolina c	Aquela constituída de gasolina A e etanol anidro combustível, nas proporções e especificações definidas pela legislação em vigor e que atenda ao regulamento técnico. PORTARIA ANP N° 309, DE 27/12/2001.	M ³
Gasolina de aviação. (GAV)	Derivado de petróleo utilizado como combustível em aeronaves com motores de ignição por centelha. Resolução ANP N° 18, DE 26/7/2006.	M ³
Gás liquefeito de petróleo (GLP)	Mistura de hidrocarbonetos com alta pressão de vapor, obtida do gás natural em unidades de processo especiais, que é mantida na fase líquida em condições especiais de armazenamento na superfície. Portaria ANP N° 9, DE 21/1/2000.	M ³
Óleo combustível	Óleos residuais de alta viscosidade, obtidos do refino do petróleo ou através da mistura de destilados pesados com óleos residuais de refinaria. São utilizados como combustível pela indústria, em equipamentos destinados a produzir trabalho a partir de uma fonte térmica. Portaria ANP N° 80, DE 30/4/1999.	M ³
Óleo diesel	Combustível produzido por processos de refino de petróleo, centrais de matérias-primas petroquímicas. A partir de 2008, a mistura de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel passou a ser obrigatória. Entre janeiro e junho de 2008, a mistura de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel foi de 2%, entre julho de 2008 e junho de 2009 foi de 3%, entre julho e dezembro de 2009 foi de 4% e entre janeiro de 2010 e junho de 2014 foi de 5%. Entre julho e outubro de 2014 o teor de mistura de biodiesel ao óleo diesel foi de 6% e a partir de novembro de 2014, passou a ser 7% em volume conforme lei 13.033/2014.	M ³
Querosene de aviação (qav-1 ou jet -1)	Derivado de petróleo utilizado como combustível em turbinas de aeronaves. Resolução ANP N° 37, DE 1/12/2009.	M ³
Querosene iluminante	Utilizado, em geral, como solvente e combustível de lâmparas.	M ³

Fonte: Glossário da Agência Nacional de Petróleo – ANP.

Quadro 2: Fator de Conversão das unidades em metro cúbico (M³) para “bep”

Energia	Fator de conversão
Querosene de aviação	5,978
Óleo diesel	6,104
Óleo combustível	6,989
Gasolina c	5,535
GLP	4,408
Querosene iluminante	5,978
Gasolina de aviação	5,536
Etanol hidratado	3,666

Fonte: Agência Nacional do Petróleo- ANP

Quadro 3: Relações entre unidades de medidas

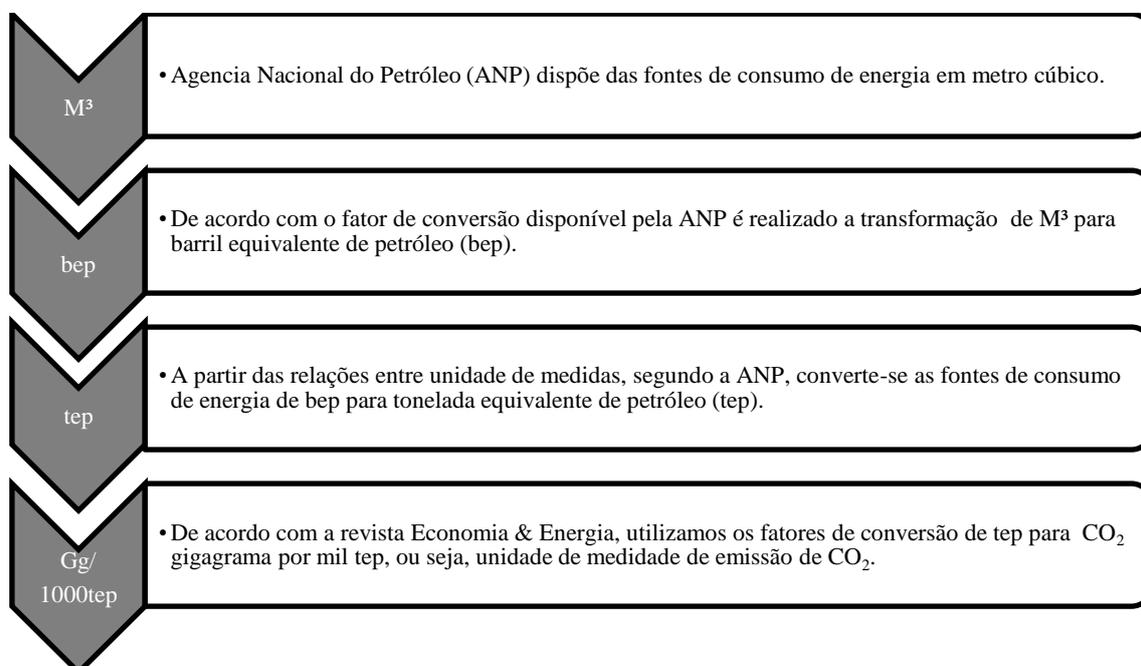
Unidade	Equivalência
BEP	1390 Mcal
TEP	10000 Mcal

Fonte: Agência Nacional do Petróleo- ANP

Quadro 4: Fator de Conversão das unidades em Tep para CO2 Gg/1000 tep

Energia	Fator de conversão
Gás natural	2,34
Óleo diesel	3,07
Óleo combustível	3,21
Gasolina	2,87
GLP	2,61
Querosene	2,98
Outras fontes secundárias de petróleo	3,07
Etanol	3,00

Fonte: http://ecen.com/matriz/eee24/tab_coef1.htm

Quadro 5: Processo de Transformação da Unidade de Medida das Fontes de Consumo de Energia.

Fonte: Elaborada pela Autora.

3.2 CONVERGÊNCIA: SIGMA, BETA E CLUBES.

O conceito de convergência pode ser utilizado para avaliar o comportamento das economias quanto ao nível de eficiência energética. Assim como em Machado (2004) que analisou a convergência das séries de intensidade de energia e de intensidade de emissão de CO₂, utilizam-se das seguintes hipóteses de convergência:

- i) Convergência Absoluta: as emissões *per capita* das UFs convergiriam entre si no longo prazo, independentemente de suas condições iniciais; Convergência Condicional: as emissões *per capita* das UFs convergiriam em longo prazo entre as UFs de características estruturais idênticas, independente de suas condições iniciais; e,
- ii) Clubes de convergência: haveria a formação de grupos de UFs com as mesmas características estruturais e cada grupo teria um padrão próprio de crescimento.

Kamogawa (2008) afirma que o processo de convergência implica que no longo prazo as economias estarão crescendo a uma mesma taxa constante (também conhecido como convergência β). Ainda segundo o autor, um conceito alternativo de convergência leva em consideração a dispersão da renda e das produtividades. Se elas tenderem, no limite, a zero diz-se que ocorre convergência σ , ou, convergência absoluta.

De acordo com Machado (2004) o coeficiente β convergência está associado à velocidade de convergência, já o σ convergência está associada com uma redução no tempo da dispersão, ou seja, uma redução do desvio padrão ao longo do tempo, isso sugere que a disparidade diminui ao longo do tempo.

3.3 CLUBES DE CONVERGÊNCIA: PHILLIPS E SUL (2007).

A partir do painel de dados composto pela intensidade de energia ou emissão de CO₂ das Unidades Federativas ao longo do tempo, utiliza-se a estratégia empírica adotada por Phillips e Sul (2007) que consistem em modelar tais dados, tal que, os componentes comum e idiossincrático sejam distinguidos.

Com base nesta modelagem, Phillips e Sul (2007) desenvolveram uma análise de convergência baseada no que denominaram teste $\log t$. O qual reporta uma forma semiparamétrica de modelar os coeficientes de transição assumindo que os mesmos são

representados por tendências estocásticas lineares e, ainda, permite que haja heterogeneidade entre as economias ao longo do tempo.

Para aferir a formação dos clubes de convergência, o procedimento necessário é descrito em quatro passos segundo Penna e Linhares (2009):

- i) Ordenam-se os níveis de intensidade de acordo com o período final;
- ii) Selecionam-se as K primeiras economias com os maiores níveis de intensidade, formando um subgrupo G_k para algum $2 \leq k < N$. Estima-se a regressão $\log t$ e calcula-se a estatística de convergência $t_k = t(G_k)$ para este subgrupo. Seleciona-se um grupo formado por K^* economias, tal que, t_k seja maximizado sobre k de acordo com a condição: $k^* = \arg \text{Max} \{t_k\}$ sujeito a $\min \{t_k\} > -1,65^3$. Se a condição $\min \{t_k\} > -1,65$ não for válida para $k=2$, então a economia com a maior nível de intensidade é excluída da amostra e um novo subgrupo $G_{2j} = \{2, \dots, j\}$ para $3 \leq k < N$, é formado. Repete de maneira recursiva este passo, de tal maneira a formar a estatística $t_j = t(G_{2j})$. Se a condição $\min \{t_k\} > -1,65$ não for válida para todos os pares sequenciais de nível de intensidade, conclui-se que o painel não apresenta clubes de convergência;
- iii) Adiciona-se uma economia por vez ao grupo primário com k^* membros e estima-se a regressão $\log t$ novamente; sempre se inclui uma nova economia ao clube de convergência se a estatística t for maior do que o critério de fixação, c^* . Como o T empregado neste exercício consiste em 168 – jan: 2000 a dez: 2013 – optou-se por fixar, $c^* = 0$, de tal modo a assegurar uma seleção conservadora. Posteriormente, repete-se esse procedimento para todas as economias remanescentes e forma-se o primeiro subgrupo de convergência a partir do grupo primário G_{k^*} suplementado pelas economias que atendem ao critério de fixação; e,
- iv) Forma-se um segundo grupo com as economias cuja regra de fixação falha no passo 3; estima-se a regressão $\log t$ e se verifica se $t_\beta > -1,65$, que retrata o nível de significância do teste para a convergência. Se esta condição for atendida conclui-se que existem dois grupos de convergência distintos: o primeiro grupo, G_{k^*} , e o segundo grupo. De modo contrário, se a condição não for atendida, repete-se do passo 1 ao passo 3 para verificar se este

³ A condição $\min \{t_k\} > -1,65$ retrata o nível de significância da análise, 5%.

segundo grupo pode ser subdividido em um número maior de clubes de convergência. Não existindo um conjunto composto por $k \geq 2$ economias no passo 2 com $t_k > -1,65$, conclui-se que as economias remanescentes não podem ser subdivididas em subgrupos e, portanto, não convergem para um patamar comum.

Em síntese, de acordo com Irffi (2011) o primeiro procedimento é testar a hipótese nula de convergência global, sendo a hipótese alternativa a hipótese de uma divergência. Caso se rejeite o modelo com efeito a H_0 , existem evidências de que o processo de convergência ocorre sob a forma de clubes. Segundo o autor, para estimar os clubes de convergência, consideram-se as séries temporais, neste caso, dos níveis de intensidade de emissão de CO_2 ou intensidade de energia, assumindo que a tendência de crescimento de longo prazo de um dado clube é a média das tendências de crescimento individual de cada componente deste. Assim pode-se dizer que cada clube possui uma tendência de crescimento de longo prazo associada a um determinado padrão de intensidade de emissão de CO_2 ou intensidade de energia que é comum entre as unidades *cross-sections*.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com as informações transformadas respectivamente em tep e CO_2 Gg /1000 tep, é possível aferir tanto para o consumo de energia e emissão de CO_2 quanto para seus respectivos níveis de intensidade por Unidade da Federação, utilizando-se de uma série mensal com período de jan: 2000 a dez: 2013.

A tabela 6 trata do consumo total anual de energia, dispondo um *ranking* estadual para o período supracitado, assim podemos auferir alguns esclarecimentos a partir destas informações. Note que os Estados de São Paulo e Minas Gerais são os maiores consumidores de energia, uma vez que os mesmos mantêm suas posições para todo o período analisado. Já os Estados do Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul permutam entre as colocações de terceiro, quarto e quinto lugar ao longo da série. Observe que dentre os dez maiores consumidores de energia, oito destes pertencem às regiões Centro Oeste, Sul e Sudeste. Por outro lado, o Estado de Roraima apresenta o menor consumo de energia para todo o período, seguido por Acre e Amapá que invertem de posições ao longo da série. Perceba que os dez Estados que apresentam o menor consumo de energia para todo o período, pertencem às regiões Norte ou

Nordeste. Uma possível explicação para a distinção entre as macrorregiões seria a qualidade de vida da sociedade, nível de desenvolvimento econômico e industrial.

Para analisar a convergência utiliza-se informações anuais quanto ao nível de intensidade de energia por Unidades de Federação para o período de 2000 a 2013, obtida através da razão consumo de energia/PIB.

A tabela 7 descreve um ranking estadual, no que se refere à intensidade de energia, com base nas informações dispostas anteriormente. Observe que apenas dois Estados mantiveram suas colocações ao longo de todo o período, no caso Rio de Janeiro e Distrito Federal, em 26º e 27º posições, respectivamente. Vale ressaltar que nos anos de 2004 e/ou 2005, alguns Estados alteraram, de forma considerável, suas posições, neste caso os Estados do Acre, Amapá, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e Espírito Santo, exceto pelos dois últimos, a maioria deles pertencente à região Norte, sendo Tocantins o Estado que apresenta, em média, o maior nível de intensidade de energia dos últimos dez anos da série histórica.

Perceba que ao compararmos as tabelas 6 e 7, alguns Estados invertem suas colocações, neste caso, São Paulo que apresenta o maior consumo de energia, está entre os Estados com o menor nível de intensidade de energia. Já o inverso acontece para Tocantins.

Para analisar o nível de emissão total anual de CO₂ por Unidade de Federação, as informações transformadas em Gg/1000tep foram dispostas na tabela 8, onde é estabelecido um ranking estadual.

Note que ao longo da série de tempo, as três primeiras colocações quanto à emissão de CO₂, permutam entre os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Norte. Por outro lado os Estados do Acre, Alagoas, Rondônia e Tocantins alternam as quatro últimas colocações, ou seja, estão em média entre os Estados com menor nível de emissão de CO₂. Além disso, dentre os dez Estados com maiores níveis de emissão de CO₂, sete estão inseridos nas regiões Centro Oeste, Sul e Sudeste. Já os dez Estados com menores níveis de emissão de CO₂, oito dentre eles pertencem às regiões Norte e Nordeste.

Conforme discutido anteriormente, objetivando analisar a convergência para intensidade de emissão total de CO₂, a tabela 9 contempla um ranking estadual

considerando o período de 2000 a 2013. A partir desta, pode ser verificado que Rio Grande do Norte, Amapá e Roraima apresentam os maiores níveis de intensidade de emissão de CO₂. Observe que dentre os dez Estados com maiores níveis de intensidade de emissão de CO₂, oito destes pertencem às regiões Norte e Nordeste, já dentre os dez Estados com menores níveis de intensidade de emissão de CO₂, oito destes pertencem às regiões Sudeste, Sul e Centro Oeste, destacando São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Assim como verificado anteriormente, ao comparar as tabelas 8 e 9, percebe-se que há uma inversão de alguns Estados bem como as regiões, quanto à suas colocações no ranking de emissão de CO₂ e seu respectivo nível de intensidade.

TABELA 6 - RANKING - CONSUMO ANUAL DE ENERGIA EM TEP

ESTADO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
AC	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
AL	21	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23
AP	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
AM	16	16	16	13	12	13	13	10	11	10	10	12	12	14
BA	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CE	13	13	15	16	16	14	14	14	14	14	13	13	13	12
DF	15	14	14	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17
ES	12	12	12	12	13	12	12	13	13	13	15	15	15	15
GO	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7
MA	17	17	17	17	17	17	16	15	15	15	14	14	14	13
MT	10	10	10	10	10	10	10	11	10	11	12	11	11	11
MS	14	15	13	14	14	16	17	17	17	17	17	16	16	16
MG	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PA	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
PB	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18
PR	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
PE	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	11	10	10	10
PI	22	22	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22
RJ	3	3	3	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4
RN	19	19	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
RS	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5
RO	18	18	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	20	20
RR	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
SC	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8
SP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SE	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
TO	24	23	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Fonte: Elaborada pela Autora.

TABELA 7 – RANKING - INTENSIDADE DE ENERGIA.

ESTADO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
AC	3	2	2	5	9	8	14	14	15	14	11	11	9	14
AL	20	18	19	19	19	20	19	20	17	20	20	17	18	20
AP	13	17	15	9	4	4	4	3	3	3	3	2	1	1
AM	18	15	14	11	12	11	10	4	5	4	4	8	8	12
BA	14	11	13	13	14	15	12	12	10	12	12	12	12	10
CE	25	24	23	23	24	24	23	22	21	21	22	21	20	18
DF	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
ES	10	13	11	15	23	21	18	21	23	22	24	25	25	24
GO	7	7	7	7	7	6	6	6	7	7	8	6	6	6
MA	8	9	8	8	8	10	9	8	9	9	7	5	4	5
MT	2	3	1	1	6	7	5	7	4	5	5	3	3	3
MS	5	5	4	4	3	5	7	9	8	8	10	9	10	8
MG	9	10	9	12	13	12	11	11	12	11	14	14	16	16
PA	4	4	5	2	2	2	1	2	2	6	6	4	5	4
PB	22	20	18	18	18	18	16	15	16	17	15	16	13	9
PR	12	12	12	14	16	13	13	13	13	13	13	13	14	13
PE	19	19	20	20	20	19	20	18	18	18	19	19	19	17
PI	11	8	10	10	10	9	8	10	11	10	9	10	7	7
RJ	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
RN	15	14	16	17	17	17	17	16	14	15	17	15	15	15
RS	23	22	22	22	21	23	22	23	22	23	23	22	22	22
RO	1	1	3	6	5	3	3	5	6	1	2	7	11	11
RR	17	25	25	25	11	14	25	25	25	24	16	23	23	23
SC	16	16	17	16	15	16	15	17	20	19	21	20	21	21
SP	24	23	24	24	25	25	24	24	24	25	25	24	24	25
SE	21	21	21	21	22	22	21	19	19	16	18	18	17	19
TO	6	6	6	3	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2

Fonte: Elaborada pela Autora.

TABELA 8: RANKING DE EMISSÃO DE CO₂

ESTADO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
AC	27	27	26	24	26	27	27	27	27	27	27	26	25	25
AL	25	24	24	25	25	25	25	26	26	25	25	23	23	23
AP	22	21	20	20	18	23	23	24	24	22	22	20	20	20
AM	12	12	12	11	11	16	14	11	12	9	9	14	14	15
BA	9	9	10	9	8	8	8	8	8	7	7	6	5	6
CE	13	13	13	13	13	14	15	15	15	13	14	13	13	11
DF	7	7	6	6	7	6	6	7	7	5	5	5	6	5
ES	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4
GO	11	11	11	12	12	12	13	14	13	12	10	8	8	8
MA	15	15	15	14	14	15	16	16	16	14	13	12	11	9
MT	8	8	8	7	6	10	11	13	11	11	12	11	10	14
MS	23	22	22	21	22	24	24	23	23	23	23	24	24	22
MG	6	6	7	8	9	7	7	6	6	8	8	9	12	10
PA	10	10	9	10	10	9	9	9	9	10	11	10	9	12
PB	14	14	14	15	15	13	12	12	14	15	15	15	15	13
PR	5	5	5	5	5	5	5	5	4	6	6	7	7	7
PE	17	18	18	18	20	18	18	19	18	17	16	17	16	16
PI	21	20	21	22	21	20	21	21	21	19	19	19	19	19
RJ	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
RN	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
RS	16	16	16	17	17	19	19	20	20	18	18	18	18	18
RO	26	26	25	26	24	26	26	25	25	24	24	27	26	26
RR	19	17	17	16	16	11	10	10	10	16	17	16	17	17
SC	18	19	19	19	19	17	17	17	17	20	20	22	22	24
SP	1	1	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SE	20	23	23	23	23	21	20	18	19	21	21	21	21	21
TO	24	25	27	27	27	22	22	22	22	26	26	25	27	27

Fonte: Elaborada pela Autora.

TABELA 9: RANKING DE INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂

ESTADO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
AC	4	4	4	4	4	7	7	8	7	4	4	4	4	4
AL	17	17	17	17	16	16	15	16	15	16	15	14	13	13
AP	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
AM	13	13	13	9	11	13	13	11	10	10	10	12	11	11
BA	20	20	20	20	20	21	21	21	21	20	19	18	17	17
CE	15	16	15	15	14	15	16	15	16	15	16	15	15	14
DF	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18	17	18	18
ES	5	5	5	5	5	9	9	10	11	6	8	8	8	9
GO	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	16	16	16
MA	11	9	9	11	8	10	10	9	12	11	6	6	6	6
MT	8	8	8	8	9	12	11	13	9	8	11	10	9	10
MS	16	15	16	16	17	18	18	18	18	18	20	20	20	20
MG	24	24	24	25	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24
PA	12	12	12	13	12	11	12	12	13	13	14	13	14	15
PB	6	7	6	6	6	4	5	5	5	5	5	5	5	5
PR	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23
PE	21	21	21	21	21	20	20	20	20	21	21	21	22	21
PI	7	6	7	7	7	6	6	7	8	7	7	7	7	7
RJ	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	21	22
RN	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
RS	27	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27
RO	14	14	14	14	15	14	14	14	14	14	13	19	19	19
RR	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SC	25	25	25	24	24	24	24	24	24	25	26	26	25	26
SP	26	27	27	27	27	27	27	27	26	26	25	25	26	25
SE	9	11	11	12	13	8	8	6	6	9	9	9	10	8
TO	10	10	10	10	10	5	4	4	4	12	12	11	12	12

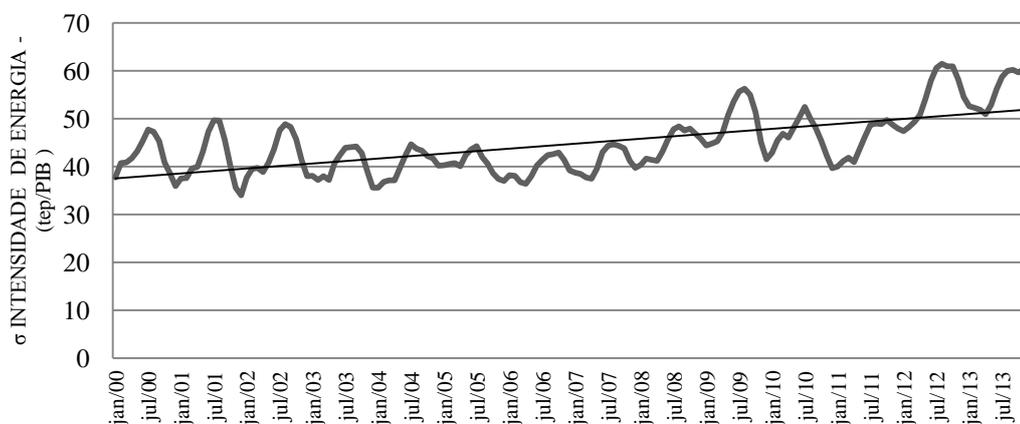
Fonte: Elaborada pela Autora

4.1. INTENSIDADE DE ENERGIA: RAZÃO ENTRE O CONSUMO DE ENERGIA E O PIB

4.1.1. SIGMA CONVERGÊNCIA

Ao analisarmos o comportamento da dispersão de uma variável ao longo do tempo, neste caso, o comportamento do desvio padrão médio da intensidade energética, observou-se, plotando os dados em um gráfico, o crescimento do desvio padrão médio ao longo da série temporal, o que sugere uma elevação da dispersão entre os Estados brasileiros quanto à intensidade energética. O desvio padrão médio em Janeiro de 2000 e 2006 e Dezembro de 2013 são respectivamente, 37,69; 38,21; 57,76 podemos perceber que com o passar do tempo há uma crescente dispersão entre os Estados brasileiros quanto ao nível de intensidade de energia. Assim podemos concluir que durante a trajetória de crescimento econômico dos Estados, estes apresentam uma crescente dispersão quanto aos seus níveis de eficiência energética, possivelmente explicado por características intrínsecas e avanços tecnológicos dos Estados.

Gráfico 1: Desvio padrão médio da intensidade energia no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013.



Fonte: Elaborada pela Autora.

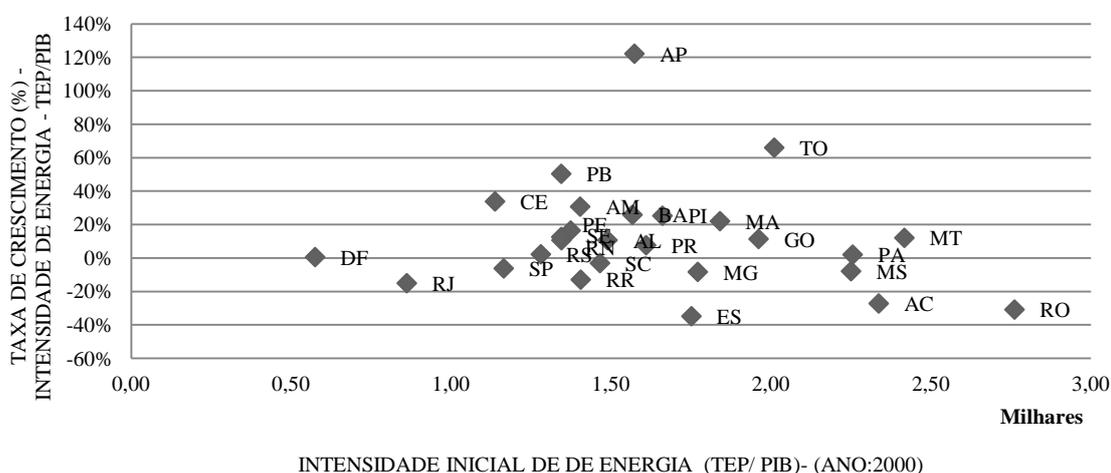
4.1.2. BETA CONVERGÊNCIA

Neste analisamos a relação entre a taxa de crescimento da intensidade energética e seu nível inicial de intensidade, podemos avaliar se o Estado com maior nível inicial de intensidade energética tende a ser alcançado pelo Estado de menor nível. Observando as taxas de crescimento de cada Estado, ou seja, sua velocidade de convergência.

Verifica-se que os Estados Paraíba, Ceará, Sergipe e Pernambuco estão classificados simultaneamente entre os dez Estados com maior taxa de crescimento em intensidade energética e menor nível inicial de intensidade energética, todos

pertencentes á região Nordeste. O inverso acontece para os Estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Acre, Rondônia e Espírito Santo, ou seja, tais Estados apresentam os maiores níveis de intensidade energética para o ano de 2000 e as menores taxas de crescimento em intensidade energética. Desta forma não se verifica a hipótese de beta convergência que trata que Estados de menores níveis de intensidade estão crescendo mais rápido que os Estados com maiores níveis. Assim Estados com maiores níveis de eficiência energética não apresentam taxa de crescimento, quanto ao nível de intensidade, suficiente para alcançar os Estados com menor nível de eficiência energética.

Gráfico 2: Beta Convergência para Intensidade de energia. Taxa de crescimento da intensidade de energia em relação nível de intensidade energética no ano de 2000.



Fonte: Elaborada pela Autora

4.1.3. CLUBES DE CONVERGÊNCIA.

Seguindo Phillips e Sul (2007), primeiro testa-se a convergência global do nível de intensidade de energia, de acordo com os resultados da estimativa β_1 igual a -1.443 e sua estatística t_{β_1} de -209.317, sendo esta menor que -1.65, verifica-se a rejeição da hipótese nula de convergência global. Assim pode-se dizer que os níveis de intensidade de energia das Unidades Federativas não estão convergindo para um nível de intensidade comum. No entanto é possível que um grupo de estados esteja convergindo e, para identificar os possíveis clubes de convergência, buscou-se uma maior parcimônia na determinação dos clubes fixando $C^*=0$. O passo seguinte é adicionar Unidades Federativas ao núcleo e identificar o primeiro grupo, sendo este composto por Amapá, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Paraná, São Paulo.

Posteriormente testa-se a hipótese de que as economias remanescentes formam um segundo grupo de convergência e, como se obtém $t_{\beta_1} = -125.146 < -1.65$, rejeita-se a hipótese de convergência global entre as Unidades Federativas restantes. Assim pode-se dizer que existem outros clubes de convergência de intensidade de energia, formados a partir das economias remanescentes. Tal procedimento é repetido sucessivamente até a formação de todos os grupos, reportados no quadro 10.

QUADRO 10. TESTE LOG-T- PHILLIPS E SUL (2007), CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE INTENSIDADE DE ENERGIA.

UF	Const	t-const	Log-t	t-Logt	T -Rest*
Clube 1: AP, BA, CE, GO, MA, MG, PB, PE, PR, SP.	-3.829	-10.153	0.170	2.114	-125.146
Clube 2: AC, AL, DF, MS, MT, PA, PI, RJ, RN, RO, RR, SC, SE.	-4.574	-40.837	0.093	3.874	-70.691

Fonte: Elaborada pela Autora

- Os estados AM, ES, RS, TO não convergem.

A formação dos clubes é feita com base no ordenamento do nível de intensidade de energia, ou seja, os Estados do Grupo 1 apresentam maior nível de intensidade de energia do que o segundo grupo e este apresenta maior nível de intensidade que o segundo. A dinâmica de transição para o estado estacionário de cada Unidade Federativa que compõe determinado clube não necessita de variáveis de controle, por estar condicionada ao próprio nível de intensidade dos Estados.

Com relação à análise dos parâmetros, verifica-se que a velocidade de convergência do grupo 2 é inferior ao grupo 1, tornando evidente a ausência do efeito *Catch up* em relação ao grupo 2 para o grupo 1.

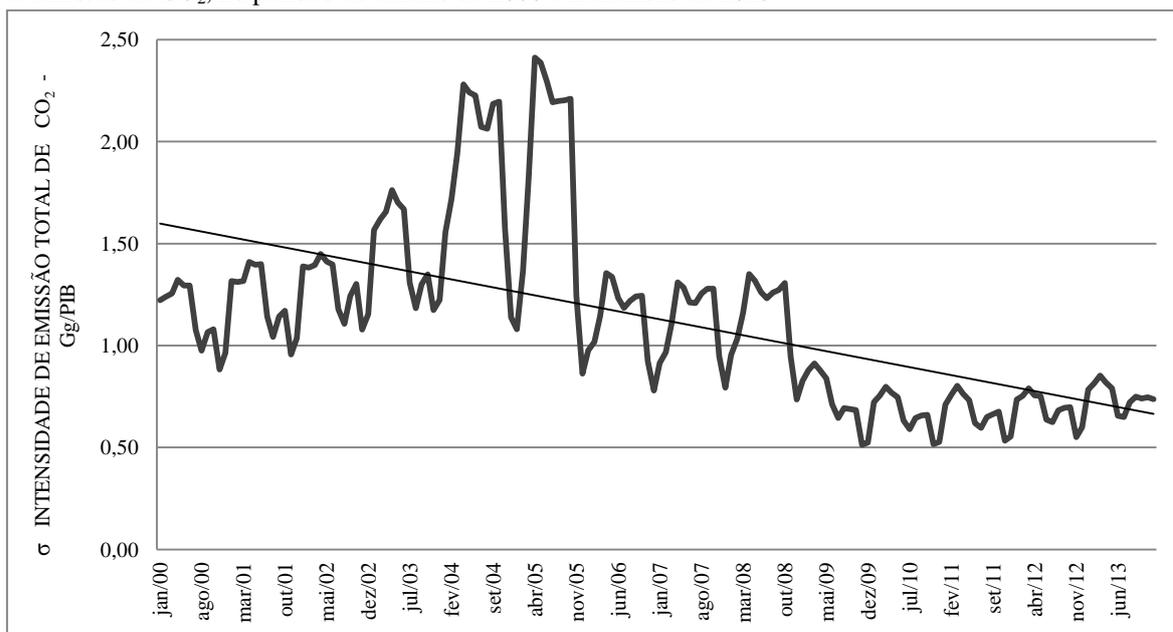
Segundo Irffi (2011), o procedimento empírico para estimar os clubes de convergência permite acomodar a possibilidade conjunta de diversos tipos de heterogeneidade entre as economias e, em particular, a hipótese de heterogeneidade no progresso tecnológico. O que pode ser observado no quadro acima, já que na formação dos dois clubes tem-se a presença de estados do Nordeste e Sudeste conjuntamente, ou seja, pertencem ao mesmo clube estados maiores como São Paulo e menores como Ceará, quanto aspecto desenvolvimento econômico.

4.2. INTENSIDADE DE EMISSÃO: RAZÃO ENTRE A EMISSÃO DE CO₂ E O PIB

4.2.1. ANÁLISE SIGMA CONVERGÊNCIA

Verifica-se pelo Gráfico 3 a hipótese de Sigma convergência, ou seja, há uma redução do desvio padrão médio da intensidade de emissão de CO₂ ao longo da série de tempo, o que sugere que a disparidade na intensidade de emissão de CO₂, entre os Estados brasileiros, vem diminuindo ao longo do tempo. Ao plotar um gráfico, pode-se verificar que sua linha de tendência decresce com passar do tempo e observando os dados para Janeiro de 2000 e 2006 e dezembro de 2013, temos os seguintes valores 1,22; 0,98; 0,74, respectivamente, percebemos tal convergência. Observa-se que a dispersão entre os Estados, quanto ao nível de intensidade diminui ao longo do tempo, ou seja, estes tendem a convergir para um mesmo nível de intensidade. De tal forma que Estados convergindo para um mesmo nível de eficiência.

Gráfico 3: Sigma Convergência para intensidade de emissão de CO₂. Desvio padrão médio da intensidade de emissão de CO₂, no período de Janeiro de 2000 à Dezembro de 2013.



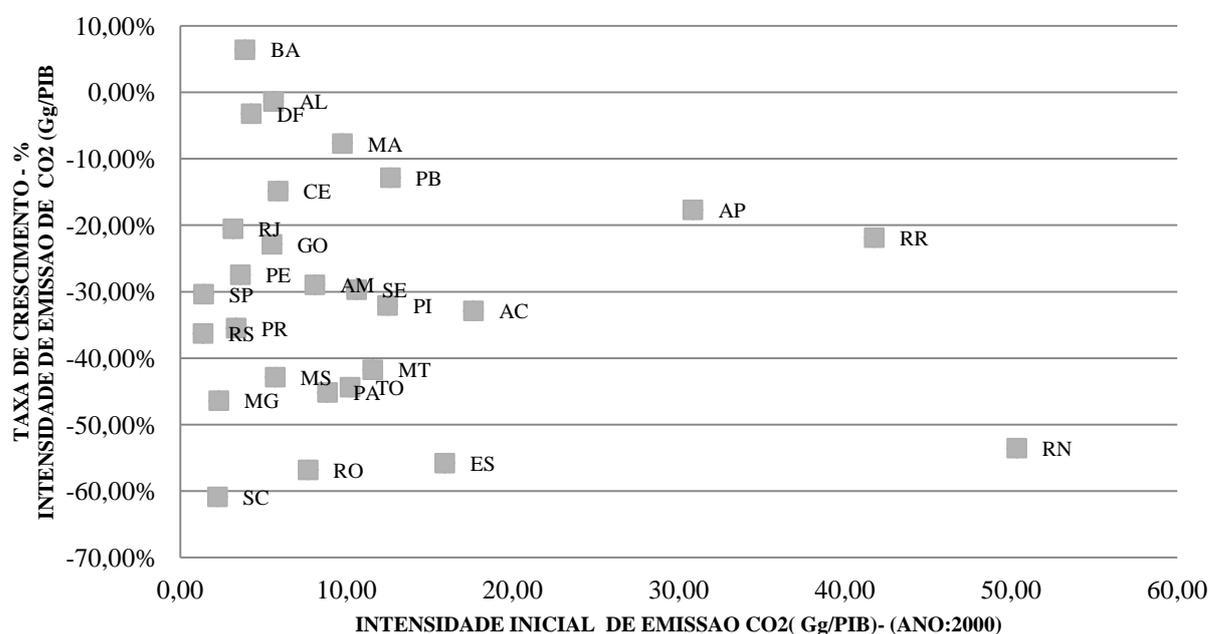
Fonte: Elaborada pela Autora

4.2.2. ANÁLISE BETA CONVERGÊNCIA.

Verificamos a presença de uma relação negativa entre taxa de crescimento de intensidade de emissão de CO₂ e seu nível de intensidade inicial, ou seja, Estados com maiores níveis de intensidade inicial apresentaram uma taxa de crescimento menor que aqueles com menor nível de intensidade, podemos ainda argumentar que, os Estados com maior nível de intensidade inicial tendem a ser alcançados pelos aqueles de menores níveis de intensidade.

Observamos que Estados como Alagoas, Bahia, Distrito Federal, Goiás e Rio de Janeiro estão classificados entre os dez Estados com maior taxa de crescimento em intensidade de emissão de CO₂ e menor nível de intensidade no ano de 2000. O inverso acontece para Espírito Santo, Rio Grande do Norte, Tocantins e Mato Grosso, ou seja, tais Estados apresentam os maiores níveis de intensidade de emissão de CO₂ no ano de 2000 e as menores taxas de crescimento em intensidade. Assim estados com maiores níveis de eficiência podem alcançar os Estados com menores níveis de eficiência através da taxa de crescimento do nível de intensidade.

Gráfico 4: Beta Convergência para intensidade de emissão de CO₂. Taxa de crescimento da intensidade de emissão de CO₂ em relação ao nível de intensidade de emissão de CO₂ no ano de 2000.



Fonte: Elaborada pela Autora.

4.2.3. CLUBES DE CONVERGÊNCIA.

Fazendo a análise para o nível de intensidade de emissão de CO₂, testa-se a hipótese de convergência global, que resulta em um β_1 estimado igual a -0.982, com respectiva estatística t_{β_1} de -12.619, representando que a hipótese nula de convergência global é rejeitada, pois tal estatística é menor que -1.65. Ao aplicar o procedimento para estimar os clubes de convergência, constatou-se a existência de seis clubes de convergência, como demonstrados no quadro 11.

Ao analisar a velocidade de convergência a partir dos parâmetros estimados, verifica-se que clube 2 possui velocidade mais alta que o clube 1 assim é possível que os estados brasileiros do grupo 2 transitem para o grupo 1, ou seja é possível o efeito

Catch up. Como o ordenamento dos clubes é feito com base no nível de intensidade de emissão de CO₂, verifica-se que o nível de intensidade de emissão de CO₂ dos estados brasileiros do Grupo 2 estão crescendo mais rapidamente que o nível do grupo 1. O mesmo não é percebido para o grupo 3 em relação ao grupo 2 e para os grupos 4 e 5 em relação ao grupo 3.

Quadro 11: Teste Log-T Phillips e Sul (2007), Clubes de Convergência de Intensidade de CO₂.

UF	Constante	t- constante	Log-t	t-Logt	T-Rest
Clube 1: MA, PR, SP, TO	-6.224	-9.362	0.457	3.226	-8.367
Clube 2: DF, PB, RS	-4.984	-11.407	0.805	8.643	-13.082
Clube 3: AL, AM, BA, MT, PI, RJ, RO, RR, SC, SE	-5.083	-5.591	0.006	0.029	-90.858
Clube 4: AC, AP, CE, GO, PE	-3.040	-19.453	-0.315	-9.464	-21.070
Clube 5: MS, PA	10.352	0.894	-2.656	-1.076	-16.509

Fonte: Elaborada pela Autora.

- Os estados ES, MG, RN não convergem.

Da mesma forma que no quadro 10, percebe-se que as Unidades Federativas que compõem os clubes de convergência do quadro 11, são distintas quanto ao aspecto desenvolvimento. Uma possibilidade para tal diversidade, na formação de tais clubes seja que tal procedimento para formação dos clubes acomode a hipótese de heterogeneidade no progresso tecnológico.

4.3. A RELAÇÃO ENTRE OS CLUBES DE CONVERGÊNCIA DE INTENSIDADE DE ENERGIA E INTENSIDADE DE EMISSÃO DE CO₂

Com a finalidade de analisar conjuntamente a convergência de intensidade de energia e emissão de CO₂ elaborou-se o quadro 12, a partir deste, podemos observar que a maioria das Unidades Federativas que compõe o 1º clube de CO₂ fazem parte do 1º clube de energia, além de que, este clube possui estados que estão entre os primeiros clubes de CO₂, assim pode-se entender que há uma convergência tanto no nível de intensidade de energia como CO₂.

Em relação ao 2º clube de energia, temos que a maioria dos Estados que o compõe estão inseridos no 3º clube de emissão de CO₂. Ressaltando a ausência do efeito *Catch up* do 3º clube em relação ao 2º quanto à intensidade de CO₂ e do 2º clube quanto ao 1º quanto à intensidade de energia.

Em suma, pode-se dizer que há uma relação positiva entre convergência quanto ao nível de intensidade de CO₂ e energia, ou seja, aqueles estados que pertencem aos clubes com maior nível de intensidade de energia também estão inseridos nos clubes

com maior nível de emissão de CO₂. Assim como quanto em relação presença ou ausência do efeito *Catch up* para ambos os grupos.

Quadro 12: Comparação entre os clubes de convergência de intensidade de CO₂ e intensidade de energia.

Intensidade CO ₂ :	Intensidade de energia.		
	CLUBES	1°	2°
1°		MA, PR, SP	
2°		PB	DF
3°		BA	AL, MT, PI, RJ, RO, RR, SC, SE
4°		AP, CE, GO, PE	AC
5°			MS, PA,

Fonte: Elaborada pela Autora.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Lidar com o desenvolvimento de forma sustentável tornou-se um desafio para humanidade, principalmente, pelas mudanças climáticas e os seus impactos ao bem estar social. Deve-se ressaltar que as ações antrópicas são apontadas como possíveis causa e consequências de tais mudanças.

Neste contexto reuniões e acordos foram propostos entre diversos países, dentre estes o Brasil que se comprometeu a estabelecer metas para redução de emissão dos gases geradores do efeito estufa.

Portanto, essa pesquisa se pautou em analisar a eficiência energética brasileira a partir de critério quantitativo e, para isso, foram empregadas duas medidas de intensidade, a energética e a de emissão de CO₂ para as Unidades da Federação. Em outros termos, pode-se dizer que essa análise consiste em avaliar o quanto de consumo de energia ou emissão de CO₂ por unidade de produção. Além disso, ainda foram analisados a possibilidades de convergência a partir das medidas sigma, beta e da formação de clubes pelo procedimento desenvolvido por Phillips e Sul (2007).

De acordo com os resultados, percebe-se que a hipótese de Sigma e Beta convergência não são verificadas para o nível de intensidade de energia, o que implica que ao longo do tempo é crescente a distinção entre os níveis de eficiência dos Estados e que aqueles que apresentam maiores níveis de eficiência apresentam taxa de crescimento do nível de intensidade inferior aqueles com menor nível de eficiência. Assim podemos entender que os Estados em seu processo de crescimento econômico se distanciam uns dos outros quando avaliamos sua eficiência, evidenciando a necessidade de um mecanismo que permita uma aproximação dos Estados para um mesmo nível de eficiência, sendo este um ótimo do processo de crescimento econômico.

Quanto à intensidade de emissão de CO₂, verifica-se a hipótese de Sigma e Beta convergência, ou seja, ao longo do período analisado ocorreu uma aproximação dos níveis de eficiência dos Estados, no entanto, ao analisar a taxas de crescimento das series de intensidade de emissão, verifica-se que os Estados com maiores níveis de eficiência estão caminhando para menores níveis de eficiência. Diante disso, evidencia-se a necessidade de reversão deste processo através da implementação de políticas públicas, na busca de melhores níveis de eficiência durante o processo de crescimento econômico entre os diversos Estados.

Em relação a convergência global, verifica-se a partir do teste Log – T, desenvolvido por Phillips e Sul (2007), que existem evidências empíricas que sustentem a formação de dois clubes de nível de intensidade de energia e cinco de intensidade de emissão de CO₂.

De uma maneira geral, pode-se dizer que esses clubes apresentam certa heterogeneidade em relação aos seus componentes, haja vista que estados Nordeste e Sudeste, figuram no mesmo grupo. Ou seja, estados com diferentes níveis de desenvolvimento e crescimento, *a priori*, pertencem ao mesmo clube de convergência de intensidade de energia e/ou de emissão de CO₂.

Ao realizar uma avaliação conjunta dos clubes percebe-se que a presença de uma relação positiva entre clubes de nível de intensidade de energia e nível de intensidade de emissão de CO₂. Diante disso, torna-se necessário fazer uma análise em busca de evidências quanto a heterogeneidade intragrupo, em função da acomodação de diferentes economias.

Todavia, de uma maneira geral, espera-se que esses resultados sejam utilizados para estabelecer políticas públicas para redução da emissão de CO₂ e do consumo de energia a partir dos níveis de intensidade e das velocidades de convergência aferidas pela pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, José Reinaldo de Sousa. **Existe uma curva de Kuznets ambiental para a América do Sul?** Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2011.

ARRAES, R. A.; Diniz, M. B.; Diniz, M. J. T. **Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável.** Revista de Economia e Sociologia Rural-RER, Rio de Janeiro, v.44, n.º. 3, p. 525-547, jul/set 2006- impressa em setembro 2006.

CARVALHO, Terciane Sabadini; Almeida, Eduardo. **A hipótese da Curva de Kuznets Ambiental Global: Uma Perspectiva Econométrico- Espacial.** Estudos Econômicos, v.40.nº3, p.587-615, Jul-Set 2010.

FILHO, Francisco Dorival Fernandes Farias. **Análise dos indicadores determinantes do avanço da emissão de CO2 no Brasil.** Monografia (Graduação em Economia), Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Sobral-CE, 2012.

FRANCELINO, Diego Alfonso Ribeiro. **O potencial da energia eólica ante cenários de crescimento econômico no Estado do Ceará.** Dissertação (Mestrado Profissional) – Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2008.

IRFFI, Guilherme Diniz; **Ensaio sobre a relação entre emissão de CO2 e a renda global.** Tese (Doutorado em Economia), Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2011.

MACHADO, Guilherme Couto. **Convergência, crescimento e Progresso Tecnológico.** Dissertação (Mestrado em Economia), Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2004.

MIRANDA, Luiz Antônio Trotta. **Determinantes do consumo de energia elétrica no Estado do Ceará.** Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade, Atuária, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2004.

OSHIRO, André Hideki Furukawa. **Análise da Intensidade Energética: Um estudo de caso para o Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo- SP, 2015.

PAIS, Paloma Santana Moreira. **Demanda de energia elétrica no Brasil no período pós-rationamento.** Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- M G, 2012.

PENNA, C. M.; Linhares, F. C. **Convergência e Formação de Clubes no Brasil sob a Hipótese de Heterogeneidade no Desenvolvimento Tecnológico.** Revista Econômica do Nordeste, v. 40, n. 4, 2009.

PHILLIPS, P. C. B.; Sul, D. **Transition modelling and econometric convergence tests.** *Econometrica*, vol. 75, n. 6, p. 1771-1855, 2007.

SALAZAR, Marlon Bruno. **Demanda de energia da Indústria brasileira: efeitos da eficiência energética.** Tese (Doutorado em Economia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba -SP, 2012.

SANTOS, Jamilsen de Freitas. **Crescimento Econômico e emissão de CO2 por combustíveis fósseis: Uma análise da Hipótese da Curva de Kuznets Ambiental,** *Análise Econômica*, Porto Alegre, ano 30, nº 57, p.287-312, mar.2012.

SILVA, Jonathan Gonçalves da. **Impactos econômicos de Políticas de mudança climática na economia brasileira: um estudo a partir de um modelo de equilíbrio geral computável.** Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP, 2010.

SOUZA, Maria Goretti Zago Nunes de. **Avaliação da eficiência energética usando análise envoltória de dados: aplicação aos países em desenvolvimento.** Tese (Doutorado em Economia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Wills, William. **Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil.** Tese (Doutorado em Economia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ,2013.

APÊNDICE

Autor(es)	Amostra	Fonte dos dados	Modelo Método	Variável dependente	Variáveis explicativas	Resultados
Alves (2011)	Países da América do Sul	Agência Internacional de Energia (EIA), Penn World Table (PWT 7.0, United Nations Statistics Division(UNSD), (1980-2008)	Modelo com dados em painel com efeitos fixo.	CO ₂ pc (emissão per capita de dióxido de carbono a partir do consumo de energia).	PIBpc (PIB real per capita a valores de 2005), PIBpc ² (o quadrado da variável PIBpc), PIBpc ³ (o cubo da variável PIBpc), Abertura Econômica (grau de abertura, razão entre “importação+exportação” sobre o PIB), Efeito Escala (PIB real a valores de 2005 por Km ²), Densidade (Razão entre População e Km ²), Progresso Tecnológico (tendência de tempo).	No caso dos países sul-americanos, não corrobora com a formulação de Grossman e Krueger (1991) de que a relação entre poluição e crescimento econômico se processa na forma de “U-invertido”. Todavia este resultado não pode ser generalizado, em função da escolha do poluente (emissão CO ₂) e do período em tela.
Arraes <i>et.al.</i> (2006)		Human Development Report do PNUD E World Development Indicators do Banco Mundial.	Modelo de dados em painel com efeitos fixos e efeito aleatório.	GINI (Coeficiente de Gini)	PIBC (PIB per capita expresso na paridade do poder de compra), DR (dummy regional, assumindo o valor “0” para países da África- Subsaara e “1” para os demais)	As variáveis que denotam desenvolvimento sustentável (definido no trabalho), apresentam uma relação com renda per capita dos países que pouco se aproximam do que é descrito na literatura como Curva Ambiental de Kuznets.
Carvalho (2010)	187 países	Divisão de Estatísticas das Nações Unidas (United Nations	Modelo econométrico especial com uso Variáveis	E (Razão das emissões totais de dióxido de carbono (CO ₂) de	Y (razão do produto interno bruto de cada país pela sua população), PK (dummy, assume valor “1” para países	Os resultados sugerem que existem evidências de uma CKA na forma de “U” invertido, isto é, o crescimento reduz o impacto

		Statistics Division – UNSD (2004)	instrumentais e Método de máxima verossimilhança.	um país pela sua população.	que ratificaram o Protocolo de Kyoto e “0” caso contrário, EX (razão das exportações de cada país pela população, CE (Razão do consumo de energia medido em mil toneladas equivalentes de petróleo, pela população.	ambiental da atividade econômica. Porém, a incorporação do termo cúbico para a renda revela que as emissões eventualmente voltam a aumentar em níveis muito elevados de crescimento, fazendo com que a CKA apresente forma de N.
Filho (2012)	Brasil	EIA, Banco Mundial	Revisão teórica, análise gráfica.	Emissão de CO2	PIB (PIB real a preços constantes de 2005, expresso em dólares), Energia (Consumo de energia primária, medido em toneladas equivalentes de petróleo.)	o PIB, as emissões de dióxido de carbono e o consumo de energia primária, se apresentam de forma ascendente, pode-se afirmar que a intensidade energética (E/PIB) brasileira está aumentando.
Francelino (2008)	Ceará	IBGE, IPEA, FGV, ANEEL, IPECE, COELCE, (1985a 2004)	ARMA estimado com erros robustos, baseado na matriz de Newey-West, e outros dois modelos vetoriais autorregressivos- um primeiro que incorpora o ARMA e outro uma segunda especificação que controla os possíveis períodos de quebra estrutural.	CEECE (Consumo de Energia Elétrica do estado do Ceará).	PIBCE (PIB do Ceará), Tarifa Média Total Brasileira, DOM (quantidade de domicílio ao longo dos anos), POPCE (população), Dummy (para os anos 1992,1995e 2001, devido plano Collor, plano Real e apagão elétrico, respectivamente.	Efeitos fixos: gênero masculino, urbano, maior nível de educação e morar na região sudeste são positivamente relacionados para a categoria sem-religião.
Irffi (2011)	151 países	EIA, PWT 7.0, UNSD, Lantz e Feng (2006), He e Richard (2010)	Modelo painel não dinâmico com efeito threshold.	CO ₂ (emissão per capita de dióxido de carbono a partir do consumo de energia).	Y (PIB real <i>per capita</i> PIBpc), Y/KM ² (PIB real a valores de 2005 por Km ² , Abertura (grau de abertura, razão entre “importação+ exportação” sobre o PIB), Energia (razão do consumo de energia primaria),	Observou-se que à medida que o progresso tecnológico aumenta, diminui a emissão de CO ₂ pc, quanto maior a intensidade do comercio maior a emissão de CO ₂ pc. Percebe-se que quanto maior a renda, menor a

					Progresso tecnológico (tendência tempo), Densidade (quantidade de pessoas por km ²).	intensidade energética sobre a emissão de poluentes. Valida a hipótese do “U” – invertido para países mais ricos.
	57 países	. CDIAC (Carbon Dioxide Information Analisys Center), PWT 7.0 (Penn World table)	Modelo de dados em painel, método Mínimo quadrado generalizado quase factível	Taxa de crescimento da intensidade da emissão	CO ₂ (emissão de dióxido de carbono), PIB (a valores de 2005).	Conclui-se que países industrializados estão diminuindo a intensidade da emissão de CO ₂ , enquanto que os países em desenvolvimento estão no sentido contrário, isto é, aumentando a taxa de intensidade de emissão de CO ₂ da economia. Os resultados ainda corroboram que as economias desenvolvidas estariam no terceiro estagio descrito pela CKA
	135 países	CDIAC e PWT 7.0	Phillips e Sul (2007).	Convergência de CO ₂	Emissão de CO ₂ (log) e PIB (log).	Existe heterogeneidade entre as nações e a necessidade de um novo regime de cotas de emissão de CO ₂ .
Machado (2004)	Países da América Latina e do Caribe.	World development indicator 2003, Barro e Lee (2000) e Park e Ginarte (1997) - (1970 a 2000)	Modelos de dados em painel com efeito fixo.	PTF (Produto Total dos fatores) e renda per capita.	PIB <i>per capita</i> , Investimento (%PIB), poupança (%PIB), crescimento da força de trabalho, densidade populacional, mortalidade infantil, expectativa de vida ao nascer, população urbana, taxa de fecundidade, analfabetismo, comercio (%PIB), entrada liquida de investimento direto (%PIB), escolaridade média, índice de propriedade intelectual.	Verificada a presença de beta convergência e rejeitada a hipótese de sigma convergência.

Miranda (2004)	Ceara	COELCE, IPECE	Modelo loglinearizado, método de estimação simultânea e MQO	Consumo de energia	Domicílios, PIB, Tarifa	Como observado na literatura econômica, ratificou-se o uso de consumo de energia elétrica como <i>proxy</i> do investimento em capital para explicar crescimento econômico, ao tempo que se verificou uma elasticidade de 0,52 da mesma sobre o PIB brasileiro.
Oshiro (2015)	São Paulo	BEESP (Balanço energético de São Paulo), SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados-base de dados do estado de SP), World Bank.	LMDI I-Logarithmic mean Dvisia Index I	Intensidade de energia	Consumo de energia e (CTEF) e PIB.	A intensidade energética do ESP, embora inferior à média mundial, não diminuiu muito sensivelmente. O setor secundário tem experimentam um aumento significativo em sua intensidade energética, apesar da melhoria da eficiência nos outros setores (primário e terciário).
Pais (2012)	Brasil	ANEEL, Eletrobrás, IPEADATA.	VAR estrutural (SVAR)	Demanda por energia	PIB, tarifas, ICMS, dummie (mês)	Com relação a previsão para 2012-2016, a partir das elasticidades rendas estimadas, se as previsões de crescimento do PIB se confirmarem, tanto no cenário alto como baixo a demanda por energia elétrica irá crescer a uma taxa inferior a oferta.
Salazar (2012)	Brasil	BEM (Balanço Energético Nacional), IPEADATA.	Método de Laspeyers refinado (Sun 1998) e Modelo de cointegração	E (demanda agregada de energia pela indústria)	Y (produto industrial agregado), P ^E (índice ponderado dos preços dos diferentes insumos energéticos utilizados pela indústria, P ^S (nível de salário médio da indústria), IIE _t (índice de eficiência energética resultante da decomposição da intensidade energética), T	Verificou-se que o aumento da intensidade energética deve-se principalmente ao aumento de participação de setores energia-intensivo na indústria brasileira. O método de decomposição da Intensidade Energética mostrou claramente que o aumento da intensidade energética se deve a

					(tendência).	perda de eficiência na utilização da energia.
Santos (2012)	13 países (1956 a 1998)	Carbon Dioxide Information Analysis Center, Penn World table, Goldman e Sachs, U.S Census Bureau (2009)	MQGF (Mínimos Quadrados Generalizados Factíveis)	CO ₂ (quantidade de emissão de gás carbônico)	PIB (produto interno bruto per capita), POP (população).	O crescimento econômico, por si só, não é capaz de promover um desenvolvimento sustentável em termos de emissões de dióxido de carbono.
Silva (2010)	16 regiões do mundo	EIA (Agencia Internacional de Energia), IBGE, IPEA, MME	Modelo EPPA, dinâmico e recursivo			Os principais resultados mostraram que os custos de controlar as emissões de GEE no país são relativamente modestos diante do potencial de redução de emissões, devido, em parte, à disponibilidade de fontes de energia renovável no país como o etanol de cana-de-açúcar.
Souza (2012)	BRICS e G20	World Bank (2011)	Análise Envoltória de Dados (DEA) de janela	PIB	Consumo de energia primaria, força de trabalho, capital.	A maioria dos países do grupo G-20 da OMC, têm seus valores de TFEE (fator total de eficiência energética) mais ou menos estabilizados em torno de um mesmo valor. Brasil, Índia e Rússia estão entre estes países. Neste contexto, a Índia surge como uma economia onde está ocorrendo a substituição da força de trabalho pelo capital em pró de uma redução na intensidade energética, inicialmente elevada. As práticas indianas indicam um caminho eficaz, porém com muito potencial de evolução. Já a Rússia,

						Avaliação da eficiência energética usando Análise Envoltória de Dados: Aplicação aos países em desenvolvimento 130 apresenta um cenário de muitas oportunidades, em função da idade média de sua infraestrutura.
--	--	--	--	--	--	--

Fonte: Elaborado pela autora.