

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Caroline Silva da Silva

INDUTORES DE IMPACTO AMBIENTAL: UM ESTUDO SOBRE A AMÉRICA
LATINA

Porto Alegre

2015

CAROLINE SILVA DA SILVA

INDUTORES DE IMPACTO AMBIENTAL: UM ESTUDO SOBRE A AMÉRICA
LATINA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia da PUCRS, como quesito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador: Dr. Ely José de Mattos

Porto Alegre
2015

Catálogo na Fonte

S586i Silva, Caroline Silva da
Indutores de impacto ambiental: um estudo sobre a América Latina. / Caroline Silva da Silva. – Porto Alegre, 2015.
60 f.

Diss. (Mestrado) – Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, PUCRS.

Orientador: Dr. Ely José de Mattos.

1. Impacto Ambiental - Aspectos Econômicos.
2. Economia - América Latina. 3. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico.
4. Desenvolvimento Econômico - América Latina. 5. Emissão de CO2. I. Mattos, Ely José de. II. Título.

CDD 333.7

Bibliotecário Responsável

Ginamara de Oliveira Lima
CRB 10/1204


Caroline Silva da Silva

Indutores de impacto ambiental: um estudo sobre a América Latina.

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia do Desenvolvimento, pelo Programa de Pós-Graduação em Economia, da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 28 de agosto de 2015.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Joly José de Mattos
Presidente da Sessão



Prof. Dr. Silvio Tai



Profª. Drª. Esmeralda Correa Macana

Prof. Dr. Osmar Tomaz de Souza
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

Dedico esse trabalho as pessoas mais importantes da minha vida que, sem elas, eu não estaria aqui e não estaria realizando os meus sonhos, aos meus pais, José Antonio e Marilene, muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são necessários quando estamos em uma etapa de nossa vida tão importante quanto a de se obter uma titulação em nossa profissão. Este momento é sem dúvida de muita alegria e satisfação, por isso é preciso agradecer àqueles que muito me incentivaram a estar aqui.

Foram 2 anos e meio de estudos, inquietações, aprendizado, amizades, e experiências nas quais talvez nunca pudesse ter vivenciado se não tivesse arriscado. Foram muitos dias nos quais os únicos pensamentos eram as provas e trabalhos, e a mais difícil das tarefas, a difícil e desafiadora dissertação, processo este de muito aprendizado e enriquecimento pessoal.

Durante este período surgiram muitas trocas, ideias que eram imediatamente rabiscadas para não “fugirem” do pensamento, momentos engraçados com os colegas, momentos muitas vezes de um querer mais para mim e para aqueles que me cercavam, enfim, um mundo novo foi surgindo durante o curso e principalmente um mundo no qual decidi arriscar, participar e buscar sempre novos desafios.

É preciso agradecer a todos que fizeram parte desta trajetória, que aqui fecha um ciclo. Dizer obrigado é pouco para demonstrar meu reconhecimento a todo o esforço daqueles que estiveram mesmo que por um curto período, mas de muita importância em minha vida.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação de Ciências Econômicas que fizeram parte desta caminhada, ao apoio, a dedicação, a humildade, ao desprendimento de seus conhecimentos, a ajuda em momentos nos quais o conhecimento muitas vezes me parecia muito distante. Faço um agradecimento especial ao Professor Dr. Ely José de Mattos, pela paciência, dedicação e orientação durante este trabalho.

Agradeço a minha amiga Marivia Nunes a qual me estimulou e me ajudou muito para que eu conseguisse concluir o Mestrado, amiga muito obrigada, sem palavras para ti.

Um agradecimento especial ao meu parceiro Tiago Bertacco, o qual por muitos momentos me ajudou com palavras de incentivo. Te amo meu amor.

Agradeço aos meus pais que muito me incentivaram a continuar os estudos, que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, em todas as minhas decisões, torcendo, vibrando, e principalmente me apoiando. As minhas irmãs Kátia e

Carla que também sempre me apoiaram para a realização do mestrado e sem me estimularam a aprimorar meus estudos. Ao Banco Banrisul ao qual financiou parte do meu Mestrado.

E, por último, porém não menos importante, gostaria de fazer um agradecimento muito especial ao meu amigo e anjo de quatro patas - FRED - que muitas e muitas noites esteve ao meu lado, me fazendo companhia enquanto realizava a dissertação. Te amo meu filho. Muito obrigada. Amo vocês.

RESUMO

A presente pesquisa estimou através do modelo STIRPAT e dados em painel quais os indutores da emissão total de CO₂ para a América Latina, no período de 1970 a 2010. Para tanto, a opção escolhida foi a estimação de quatro modelos, um sem efeitos fixos e os demais com efeitos fixos para países, anos e países e anos. Como resultado obtivemos que população total e população urbana são os principais indutores da emissão total de CO₂, enquanto que a população economicamente ativa possui efeito negativo sobre a emissão de CO₂.

Palavras-chave: emissão de CO₂; indutores de impacto ambiental; STIRPAT; América Latina.

ABSTRACT

This survey estimated through STIRPAT model and panel data which inductors of the total CO₂ emissions for Latin America, from 1970 to 2010. Therefore, the option chosen was the estimation of four models, one without fixed effects and others with fixed effects for countries, years and years and countries. As a result we obtained that the total population and urban population are the main drivers of total CO₂ emissions, while the economically active population has a negative effect on CO₂ emissions.

Keywords: CO₂ emissions; environmental impact inductors; STIRPAT; Latin America.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 BREVE HISTÓRICO: DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E IMPACTO AMBIENTAL.....	15
2.2 OS MODELOS CLÁSSICOS IPAT E STIRPAT.....	20
2.3 ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL	23
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 ESTRATÉGIA DE ESTIMAÇÃO DO MODELO	36
3.2 PAÍSES E VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO	40
4 RESULTADOS	43
4.1 RESULTADOS DOS MODELOS.....	48
4.1.1 Modelo sem efeitos fixos.....	48
4.1.2 Modelo com efeitos fixos para países	49
4.1.3 Modelo com efeitos fixos para anos	51
4.1.4 Modelo com efeitos fixos para países e anos	52
5 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	56

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - Multiplicador de tecnologia para as emissões nacionais de CO ₂	59
TABELA 2: Modelos STIRPAT das ameaças ambientais antrópicas	26
TABELA 3: Resultados da estimação a partir do modelo de Efeitos Aleatórios	29
TABELA 4 – População, consumo e as emissões de carbono na China (1978-2008) ...	60
TABELA 5: Variáveis utilizadas na pesquisa	41
TABELA 6 – Decomposição de variância para cada variável	47
TABELA 7 – Modelo sem Efeitos Fixos	49
TABELA 8 – Modelo com Efeitos Fixos para países	50
TABELA 9 – Modelo com Efeitos Fixos para anos	51
TABELA 10 – Modelo com Efeitos Fixos para países e anos	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – Emissão de CO ₂ na América Latina entre 1970 – 2010	44
FIGURA 2 – População total dos países da América Latina entre 1970 e 2010	45
FIGURA 3 – Área agrícola dos países da América Latina entre 1970 e 2010	46

1 INTRODUÇÃO

Entende-se por impacto ambiental uma alteração no meio ambiente ou em algum de seus componentes seja por uma determinada ação ou atividade humana. Há muito tempo se fala que a intensificação da atividade econômica, principalmente em países em desenvolvimento geram maiores emissão de gases poluentes, como o CO₂, e com isso cada vez mais o meio ambiente está sendo degradado pela sociedade.

A partir da década de 1970, pesquisadores começaram a aprofundar seus estudos verificando quais seriam os indutores de impacto ambiental, ou seja, quais variáveis auxiliavam no aumento da emissão de gases poluentes e conseqüentemente degradação ambiental.

Os pioneiros deste assunto foram Paul Ehrlich e John Holdren que criaram o modelo IPAT (*Impacts by Population, Affluence and Technology*) o qual media o impacto gerado pela população, afluência (renda) e tecnologia sobre o meio ambiente, porém segundo Dietz e Rosa (1994), este modelo era apenas contábil não sendo possível testar hipóteses.

Portanto, em meados de 1990, Dietz e Rosa (1997) criaram um modelo denominando-o de STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*), ou seja, uma versão estocástica do modelo IPAT no qual era possível efetuar o teste hipóteses e aplicar métodos estatísticos para a análise dos resultados. Diversos pesquisadores tomaram este modelo como ponto de partida para efetuar suas pesquisas em diferentes países e regiões e em sua grande maioria concluíram que a população e a renda (PIB) são os maiores indutores de impacto ambiental (YORK et al, 2003; DIETZ et al, 2007; SILVA et al, 2011).

Na grande maioria dos estudos o CO₂ é utilizado como medida de impacto, pois segundo SILVA et al (2011) este é o principal gás responsável pelas mudanças climáticas. Para Dietz e Rosa (1997), o CO₂ está entre uma das forças motrizes mais importantes e também seus dados estão disponíveis para uma variedade maior de países.

Para Dietz et al (2007), pouco esforço tem sido feito para determinar a relação exata entre os indutores e os impactos, este vazio constitui em um empecilho importante para identificar políticas que possuam maior potencial para reduzir o impacto ambiental ocasionado pela atividade econômica.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é verificar e analisar através da utilização do modelo STIRPAT se a população total, população urbana, população economicamente ativa, PIB *per capita* e área agrícola podem ser consideradas indutores de impacto ambiental, isto é, estimuladoras da emissão total CO₂ para os países da América Latina, no período de 1970 a 2010. Para tanto, foram estimados quatro modelos sendo um sem efeitos fixos e os demais com efeitos fixos para países, para anos e para países e anos.

Além desta introdução e da conclusão, o trabalho é composto por mais três capítulos: o próximo no qual é apresentado o referencial teórico dando embasamento teórico a pesquisa, posteriormente é apresentada a metodologia que foi utilizada para estimação dos modelos e, por último, são apresentados os resultados gerados com a estimação dos quatro modelos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho foi dividido em três seções. Na primeira seção é realizado um breve histórico sobre o debate sobre os temas desenvolvimento econômico e impacto ambiental. A segunda seção aborda os dois principais modelos clássicos de cálculo de impacto ambiental, IPAT e STIRPAT. E, a terceira seção, apresenta estudos realizados aplicando os modelos apresentados na segunda sessão de modo a avaliar os indutores de impacto ambiental.

2.1 BREVE HISTÓRICO: DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E IMPACTO AMBIENTAL

A noção que o crescimento populacional afeta os recursos naturais disponíveis e o bem-estar social é tão antiga quanto a civilização e talvez que a história escrita em si. Heroditus escreveu no século 5 a.C., a respeito da população dos Lídios que ficou conhecida como a que ultrapassou a produção ocasionando uma fome prolongada que durou 18 anos. Seneca, nas primeiras décadas da era cristã, observou uma relação entre a população e a poluição em Roma. O autor relacionou a poluição ao crescimento de fogos de cozinha doméstica, ao aumento do tráfego nas ruas da cidade e a queima de corpos nos limites da cidade. Porém, apesar disso, as relações entre população e meio ambiente eram informais e incipientes (DIETZ; ROSA, 1994).

O entendimento da relação entre população e recursos foi desenvolvida de forma mais concreta a partir do século XVIII com publicações de economistas clássicos, como Thomas Malthus. Malthus fez alguns questionamentos que deram estrutura a uma ideia mais concreta: “What effects does population growth have on the availability of resources needed for human welfare?”, sua resposta foi que o crescimento geométrico da população acabaria por ultrapassar o crescimento aritmético dos recursos disponíveis, ou seja, o resultado seria a miséria e a pobreza extrema.

No século XIX e principalmente no século XX, a disciplina ecologia levou as relações entre o homem e o meio ambiente como foco de suas investigações

acrescentando uma nova visão às ciências sociais e biológicas, a ecologia humana¹. Porém a investigação dessas inter-relações foi ignorada. Esta história preparou o terreno para a reacender um antigo debate: o aumento da preocupação com as mudanças no meio ambiente ocasionadas pelo homem (DIETZ; ROSA, 1994).

No início da década de 1970, a afirmação de que o crescimento populacional teria forte efeito negativo sobre o bem-estar humano ganhou força com as publicações de diversos autores como, Ehrlich (1968), Catton (1982), Holdren (1991). Enquanto o crescimento da população não parece ter tido efeitos desastrosos sobre o bem-estar como sugeriu Malthus, os efeitos do crescimento populacional e econômico não foram exaustivamente estudados. Segundo Dietz e Rosa (1994), apenas alguns trabalhos oferecem análises empíricas ou conceituais das forças motrizes humanas das mudanças ambientais.

Para os autores, existiam quatro diferentes posições dos efeitos de crescimento populacional e econômico sobre o meio ambiente. O primeiro ponto de vista utilizado por Ehrlich (1968), Holdren (1991), entre outros autores trazia como base a Teoria Malthusiana a qual afirmava que o crescimento populacional traria efeitos catastróficos sobre o meio ambiente e bem-estar humano. Ehrlich (1968), alertou para a fome em massa devido à superpopulação e defendeu medidas imediatas como, aumentar a cobrança de impostos para famílias que possuíam mais crianças, incentivar os homens a fazerem a vasectomia, entre outras medidas para limitar o crescimento da população.

A segunda posição reconheceu que o crescimento populacional e econômico criaria uma maior demanda por recursos, porém presumiu que a escassez resultante impulsionaria o progresso tecnológico e com ele a busca por substitutos aumentaria a eficiência e assim o efeito líquido da população e do crescimento econômico sobre a escassez de recursos e bem-estar humano seria neutro ou até positivo. Segundo Simon (1981), o efeito do crescimento seria invariavelmente positivo.

A terceira posição sugeriu que as tecnologias utilizadas para estimular o crescimento eram muitas vezes selecionadas sem levar em conta o seu impacto ambiental. Logo, os impactos ambientais estariam mais relacionados como uma função da economia política da escolha tecnológica do que da população ou o crescimento econômico e com isso a população teria um efeito indireto que poderia ser mitigado através de uma

¹ Entende –se por ecologia humana o estudo científico das relações entre o homem e o meio ambiente, incluindo as condições naturais, as interações e os aspectos econômicos, psicológicos, sociais e culturais.

mudança institucional ou tecnológica. Alguns defensores desta posição foram Barkin (1991), Commoner (1992), O'Connor (1988) entre outros.

A quarta e última posição foi vista como o meio termo, pois para ela a população não era a força motriz dominante dos impactos ambientais, mas um contribuinte atuando juntamente com a renda e a tecnologia. Keyfitz (1991), Ridker (1972, 1979 e 1992) e Ridker e Cecelski (1979) são os defensores desta posição.

Porém, como foi dito anteriormente, havia pouco trabalho empírico sobre os impactos da população sobre o meio ambiente. Em 1962, foi publicado por Rachel Carson o livro "Primavera Silenciosa" que fez uma abordagem sobre os problemas ocasionados pelas substâncias tóxicas utilizadas na agricultura alertando para os efeitos dessa utilização sobre os recursos ambientais. (GOMES, 2011; CARSON, 2002; JACOBI, 2005)

Em meados da década de 1970, surgiu o Clube de Roma formado por cientistas, industriais e políticos que tinha por objetivo debater e analisar os limites do crescimento econômico levando em conta o uso crescente dos recursos naturais. Em 1972, o grupo de pesquisadores liderado por Dennis L. Meadows publicou um relatório chamado "Os limites do crescimento". No estudo, os pesquisadores fizeram uma projeção para cem anos o qual apontou que, para atingir a estabilidade econômica e respeitar a disponibilidade dos recursos naturais, seria necessário paralisar o crescimento da população global e do capital industrial.

Esta projeção levou a uma rediscussão das teses de Malthus sobre os perigos do crescimento da população mundial. A tese do crescimento zero foi considerado um ataque às teorias de crescimento econômico contínuo propostos pelas teorias econômicas. Este relatório foi importante, pois influenciou as discussões ocorridas na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente em Estocolmo, em 1972 (GODOY, 2007).

A literatura mais extensa sobre o assunto foi encontrada em documentos elaborados em 1972 para a Comissão dos Estados Unidos. A conclusão da Comissão foi que o crescimento populacional é geralmente menor do que o impacto do crescimento econômico. Ridker (1972), observou também que os efeitos de crescimento podem ser apaziguados através de escolhas de políticas, tecnologias e instituições apropriadas.

A partir deste ano a questão ambiental é inserida de forma contundente no debate de desenvolvimento econômico. A inclusão da variável ecológica nas decisões econômicas tem uma grande importância para a formação do conceito de desenvolvimento sustentável, pois colocou o desenvolvimento como uma forma de

modificação da natureza, ou seja, as decisões de políticas econômicas devem reconhecer as consequências ambientais da utilização dos recursos e que eles estão diretamente associados ao desenvolvimento econômico (LAZZAROTTI, 2013).

Segundo Gomes (2011), estes acontecimentos marcaram a percepção da importância em estabelecer a diferença entre crescimento econômico associado à degradação ambiental e uma nova proposta, de um modelo de desenvolvimento que equilibrasse o crescimento econômico com o aspecto social e que fosse condizente com a percepção da escassez dos recursos naturais.

Na Conferência de Estocolmo, em 1973, o termo ecodesenvolvimento foi proposto e ampliado pelo economista Ignacy Sachs que, além da preocupação com o meio ambiente, agrupou as questões sociais, econômicas, culturais, de gestão participativa e ética. A década de 1980 ficou marcada por duas tragédias ambientais, Bhopal, em 1984 e Chernobyl, em 1986 que acabaram reafirmando a necessidade de atenção às ações realizadas pelo homem sobre o meio ambiente sem mensuração de impacto ambiental.

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), adotou o conceito de Desenvolvimento Sustentável no Relatório Brundtland. A definição de desenvolvimento sustentável, segundo o Relatório de Brundtland (1987),

“O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais”.

Este novo conceito foi definitivamente incorporado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - a Cúpula da Terra de 1992 (Eco-92) - no Rio de Janeiro. O objetivo da conferência foi procurar meios para reduzir as diferenças entre os países desenvolvidos e os subdesenvolvidos através da utilização de ações e atividades com o foco na preservação de recursos naturais (MALHEIROS, 2008).

A Curva Ambiental de Kuznets (CAK) criada em 1955 por Simon Kuznets foi utilizada por diversos autores em seus estudos a partir da década de 1990. Resumidamente, a curva possuía o formato de “U invertido” e apresentava a relação entre crescimento econômico e distribuição de renda, ou seja, conforme o crescimento

econômico aumentava, a concentração de renda também aumentava, porém chegaria um ponto em que esta relação se invertia.

Mesmo alvo de muitas críticas por parte da academia, a CAK serviu de inspiração para diversos estudos realizados na década de 1990 que, segundo Dinda (2004), estes tinham por objetivo demonstrar que nos estágios iniciais de crescimento a pressão sobre o meio ambiente é maior do que a renda.

A exemplo disso temos a pesquisa de Grossman e Krueger (1995), que examinou a relação entre renda per capita e vários indicadores ambientais. Seu estudo abrangeu quatro tipos de indicadores: poluição do ar urbano, o estado do regime de oxigênio em bacias hidrográficas, a contaminação fecal de bacias hidrográficas e contaminação das bacias hidrográficas por metais pesados.

Os autores não encontraram nenhuma evidência de que a qualidade do meio ambiente se deteriorasse com o crescimento econômico. Pelo contrário, para a maioria dos indicadores, o crescimento econômico acarreta em uma deterioração em uma fase inicial seguida por uma fase de melhoria, confirmando o comportamento da CAK.

Selden e Song (1994), utilizaram quatro tipos de poluentes com o objetivo de verificar a relação de U invertido entre as emissões e a renda. Os autores encontraram evidências sobre a existência da CAK para os quatro tipos de poluentes utilizando como variáveis as emissões, PIB e PIB ao quadrado.

Hilton e Levinson (1998), descreveram a relação entre as emissões de chumbo automotivo e o PIB e chega a três conclusões: em primeiro lugar, as emissões de chumbo apresentaram um formato de U invertido assim como a CAK em relação ao PIB. Em segundo lugar, o pico da curva é sensível a forma funcional estimada e ao período de tempo considerado. E, em terceiro lugar, a poluição de chumbo automotivo é o produto de dois fatores, quantidade de chumbo por galão de gasolina e consumo de gasolina. A porção em declínio da curva depende da redução do teor de chumbo da gasolina e não do uso de gasolina.

Porém, a partir do momento em que surgiram trabalhos que não apresentaram o resultado proposto pela CAK, as críticas surgiram. A exemplo disso temos Dinda et al (2000), que encontraram uma relação com formato de U para a concentração de dióxido de enxofre, ou seja, as emissões de poluentes declinam à medida que a renda aumenta num primeiro momento, e posteriormente passam para uma trajetória de crescimento conjunto. Caviglia Harris et al (2009) utilizaram a Pegada Ecológica para validar a CAK e não encontraram nenhuma evidência empírica de uma relação entre o desenvolvimento

econômico, a CAK e a Pegada Ecológica. Os autores descobriram que a energia é, em grande parte, responsável pela falta de uma relação com a CAK e que os níveis de consumo de energia teriam que ser cortados em mais de 50% a fim de estabelecer uma relação estatisticamente significativa com a Curva.

Segundo Avila (2011), a grande variedade de resultados que, em alguns casos confirmam a hipótese na qual as CAK se fundamenta e, em outros a contradizem, pode estar associada a técnica econométrica por trás dos resultados obtidos.

Ao longo desta seção foi apresentado um breve histórico a respeito da relação entre o desenvolvimento/crescimento econômico e impactos ambientais. Pode ser observado que ao longo do século XX a população foi considerada a principal causadora da degradação ambiental. Na próxima seção serão apresentados os modelos clássicos criados para a mensuração de impacto ambiental, IPAT e STIRPAT.

2.2 OS MODELOS CLÁSSICOS IPAT E STIRPAT

O desenvolvimento sustentável tem se destacado no contexto mundial, onde diversas ações e políticas estão sendo direcionadas à preservação do meio ambiente. A sociedade está compreendendo que não é mais possível ignorar as questões ambientais em decorrência do crescimento econômico, sendo necessário garantir que as próximas gerações também possam usufruir das mesmas condições que a geração atual.

A partir da década de 1970, foram realizados diversos estudos com o objetivo de mensurar o impacto causado sobre o meio ambiente em consequência do crescimento econômico. Os pesquisadores Paul Ehrlich e John Holdren foram os primeiros a desenvolver um modelo em que fosse possível mensurar o impacto gerado por três variáveis que, nesta época, eram consideradas as principais ocasionadoras de impacto ambiental. Surge então o modelo IPAT que estimava o impacto ambiental através da multiplicação da população, afluência (renda) e tecnologia.

Para Dietz e Rosa (1994), o modelo IPAT *“has appealing features. It has structure much of the debate about the effects of population, affluence and technology on the environment, and has been a widely adopted perspective in ecology”*.

O modelo IPAT pode ser considerado um modelo simples, sistemático e robusto. Simples, por que incorpora as principais forças motrizes antropogênicas com parcimônia,

sistemático por que especifica a relação matemática entre as forças motrizes e seus impactos, e robusto, pois é aplicável a uma grande variedade de impactos. (DIETZ; ROSA, 1997).

O modelo é representado pela seguinte equação:

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

Onde, I é o impacto ambiental, P é a população, A é a afluência, entenda-se como riqueza ou atividade econômica por pessoa e T é o impacto ambiental por unidade de atividade econômica que é determinada através da tecnologia utilizada para a produção de bens e serviços. Segundo Zhu e Peng (2012), a identidade IPAT pode ser considerada um modelo de contabilidade, em que um termo era derivado a partir dos valores dos outros três termos.

O IPAT é uma identidade matemática e foi utilizada como uma equação contábil em que os valores conhecidos para I, P e A são utilizados para resolver T. A afluência é determinada como o PIB *per capita*, de modo que $PA = P \text{ (PIB/P)} = \text{PIB}$. Assim, por definição, $T = I / (PA)$ ou $T = I / \text{PIB}$ (YORK et.al, 2003).

Os principais pontos fortes do IPAT, segundo York et.al (2003), tratam o modelo como uma especificação parcimoniosa das forças motrizes por trás da mudança ambiental, e além disso, identifica com precisão a relação entre essas forças e os impactos. A especificação deixa claro que P, A e T não influenciam os impactos de forma independente um do outro desde que as mudanças em um fator sejam multiplicadas pelos demais fatores.

Uma implicação importante desta especificação é que nenhum dos fatores pode ser considerado o único responsável pelos impactos ambientais, ou seja, se em um país P e T permanecem constantes ao longo de um período enquanto A aumenta, não seria correto afirmar que os impactos foram causados somente por A, uma vez em que P e T mesmo que inalterados, dimensionam os efeitos das mudanças no A (YORK et.al, 2002).

Uma das limitações que o modelo IPAT apresentou, segundo Dietz e Rosa (1994), é que os dados para o IPAT eram coletados para população e afluência, sendo a equação resolvida para tecnologia $T = I/(P*A)$. Com isso, uma vez que o impacto ambiental, a população e a afluência eram fixas, a variável tecnologia também seria fixa e esta característica do modelo fez com que os impactos da população e da renda ficassem subestimados frente à tecnologia.

Outras limitações foram observadas por Dietz e Rosa (1994): o fato de o modelo IPAT ser contábil e por isso não é possível testar hipóteses; o IPAT não incorpora os

efeitos da taxa de crescimento, distribuição e composição da população; não possui alternativas para o PIB nacional e doméstico bruto; não ser possível aplicar uma variedade de indicadores de impacto ambiental e considerar a possibilidade de criação de índices gerais; o fato de a tecnologia ser avaliada como resíduo ao invés de ser avaliada diretamente; e, a impossibilidade de utilizar modelos com sistema de equações.

Dadas essas limitações, Dietz e Rosa (1997) desenvolveram então uma adaptação ao modelo IPAT em que fosse possível entender melhor as relações da população, dos recursos disponíveis e dos impactos ambientais. Este novo modelo recebeu o nome de STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*) e foi formulado da seguinte maneira:

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (2)$$

Na equação acima, I, P, A e T continuam sendo impacto ambiental, população, afluência e impacto por atividade econômica. Os coeficientes “a”, “b”, “c” e “d” são parâmetros e “e” o termo residual. O i subscrito indica as quantidades de I, P, A, T e e, e variam de acordo com o número de observações. Os dados sobre I, P, A e T podem se unir para estimar “a”, “b”, “c”, “d” e “e” utilizando métodos estatísticos padrão, tais como a análise de regressão (YORK et.al, 2003; ZHU E PENG, 2012).

A reformulação do modelo requer múltiplas observações sobre I, P, A e T. Uma importante diferença em relação ao modelo IPAT onde um termo é derivado dos valores dos outros três e que requer apenas dados sobre três das quatro variáveis para um ou algumas observações, a vantagem da formulação do STIRPAT é que o mesmo converte o modelo contábil IPAT para uma formulação padrão para a pesquisa social quantitativa – o modelo linear geral. Como resultado, a matriz substancial de ferramentas estatísticas utilizadas na investigação social quantitativa podem ser aplicadas ao problema de avaliação da importância de cada uma das forças motrizes de impacto ambiental.

A versão estocástica preserva o modelo IPAT, pois o modelo contábil nada mais é do que um caso especial em que os parâmetros a=b=c=d=e=1. Os primeiros testes do STIRPAT puderam ser realizados por operacionalizar os componentes com indicadores facilmente disponíveis para as unidades sociais bem definidas, como os países (DIETZ; ROSA, 1994).

Segundo, Dietz e Rosa (1994), uma consideração importante da aplicação do novo modelo que o diferencia para o primeiro, fala a respeito das unidades de análise. Enquanto no IPAT usavam-se os dados de um único país em dois ou três períodos de tempo, no STIRPAT é possível aumentar as unidades de análise.

De acordo com Mattos (2012), um ponto adicional na evolução destes modelos e que merece ser destacado é a diversificação da variável dependente, pois ao mesmo tempo em que a maioria dos estudos realizados, desde a formulação do IPAT até o surgimento do STIRPAT, utilizou principalmente a emissão de poluentes como variável dependente, alguns estudos já questionaram estas variáveis e ofereceram outras alternativas.

Na próxima seção serão apresentados trabalhos realizadas com a aplicação do modelo descritos acima.

2.3 ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Após o detalhamento dos modelos IPAT e STIRPAT, o foco desta seção é apresentar os estudos realizados com o objetivo de estimar os impactos ambientais causados pela população, afluência e tecnologia sobre o meio ambiente através da aplicação dos modelos clássicos.

Dietz e Rosa (1997), realizaram um estudo para estimar os efeitos da população e da renda na emissão de CO₂ através do modelo STIRPAT. Os autores utilizaram como impacto o CO₂, pois está entre uma das forças motrizes mais importantes e porque os dados para CO₂ estão disponíveis para uma variedade maior de países.

A análise dos autores contou com 111 países os quais foram disponibilizados 33 dados para o ano de 1989, pois este foi o ano mais recente que os autores encontraram todos os dados relevantes. Eles utilizaram o tamanho da população para P e o PIB per capita para A. No anexo encontra-se a tabela 1 com a lista de países utilizados para este estudo.

Para tornar a regressão factível, os autores estimaram um modelo aditivo em que os efeitos da log da população e log do PIB nas emissões de log CO₂ foram ajustados com um procedimento de regressão não paramétrico. Este método é uma forma de regressão múltipla que não faz suposições sobre as formas funcionais que apontam P e A à I. Os autores desenvolveram funções utilizando modelos com os termos do polinômio no registro da população e da riqueza que foram comparados com o modelo não paramétrico.

Os efeitos da riqueza sobre as emissões de CO₂ indicaram uma estabilidade e até mesmo uma redução nos níveis mais altos de PIB. Segundo Dietz e Rosa (1997), esta mudança é resultado de duas mudanças estruturais: mudança para uma economia baseada

em serviços e a capacidade das economias mais ricas para investir em eficiência energética. Porém, este declínio no impacto ocorre somente quando a riqueza per capita de um país está acima de USD 10.000 e apenas 25% da amostra avaliada encontra-se com a renda acima deste nível.

Os autores concluíram que, para a população de nações maiores existem deseconomias de escala². Estes resultados confirmaram o valor geral do modelo IPAT como ponto de partida para a compreensão das forças antropogênicas de mudança global e sugerem que a população e o crescimento econômico esperado ao longo do tempo irão agravar as emissões de CO₂. Os resultados também deram suporte a constante preocupação com o crescimento da população como um indutor de impacto ambiental.

Diferentemente de Dietz e Rosa (1997), a publicação de York et al (2003), teve o objetivo de avaliar as teorias de impacto ambiental sob a perspectiva da ecologia humana, economia política e modernização. Através do modelo STIRPAT foram testados dados do ano de 1996 para 142 países. A variável dependente utilizada foi a pegada ecológica e as variáveis independentes na perspectiva da ecologia humana utilizadas foram: o tamanho da população, percentual da população na faixa etária de 15 a 65 anos, área de terra per capita e latitude do país. Na perspectiva da economia política foram utilizadas o PIB per capita, nação capitalista e posição no Sistema Mundial. E na perspectiva da modernização foram utilizadas as variáveis PIB per capita, PIB per capita quadrático, percentual do PIB não relacionado ao setor de serviço, percentual da população urbana, percentual da população urbana quadrática, ambientalismo do estado, nação capitalista, direitos políticos e liberdades civis.

Os autores testaram 6 modelos através do Método dos Mínimos Quadrados (MQO). No 1º modelo foram utilizadas todas as variáveis; no 2º modelo foram incluídas somente as variáveis ligadas a modernização; no 3º modelo apenas as variáveis de economia política; no 4º modelo as variáveis de ecologia humana; no 5º modelo foi utilizado o STIRPAT quadrático e no último modelo foi utilizado os fatores básicos do modelo STIRPAT, ou seja, população e renda.

Os resultados destes testes apontaram que os impactos mudaram proporcionalmente de acordo com a população confirmando os argumentos da economia ecológica e dos Neomalthusianos que tinham como suposição básica o controle populacional de maneira a evitar crises que poderiam levar a extinção humana. Aumentos

² Deseconomia de escala: ocorre quando o aumento de custos é maior que o aumento da produção de modo que o custo médio por unidade aumenta.

constantes no PIB per capita também influenciam o impacto ambiental, porém não do mesmo modo como foi dito pelos economistas neoclássicos e apresentado na CAK. As variáveis como ambientalismo do Estado, desenvolvimento do setor de serviços, presença de um sistema capitalista, direitos políticos e liberdades civis não apresentaram impactos expressivos. De modo geral, pôde ser observado que maior parte do impacto humano causado ao meio ambiente foi explicado pelos fatos ecológicos (como as emissões de dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis fósseis) e econômicos.

A exemplo de York et al (2003), Dietz et al (2007) publicaram o artigo “*Driving the human ecological footprint*” no qual foi realizada uma projeção de pegada ecológica utilizando o modelo STIRPAT. Para isto, os autores avaliaram os impactos dos *drivers* amplamente postulados como os estressores ambientais.

Pouco progresso tem sido realizado para determinar a relação exata entre os *drivers* e os impactos. Segundo os autores, esta lacuna constitui uma barreira significativa para identificar políticas que possuam maior potencial para reduzir o impacto humano sobre o meio ambiente, projetando os impactos futuros e estimar o nível de esforço necessário para reduzir os efeitos adversos sobre o ambiente. Com isto, os autores avaliaram os impactos dos indutores amplamente postulados sobre o meio ambiente.

População e renda têm sido levantadas como os principais impulsionadores de impacto ambiental, porém existem alguns argumentos que contradizem esta expectativa em relação à renda. Observou-se uma relação curvilínea entre afluência e alguns tipos de impactos ambientais, particularmente os locais, como a poluição da água e do ar, com melhora nas condições ambientais nos níveis mais elevados de riqueza. Esta relação pode ser explicada pela Curva Ambiental de Kuznets, pois esta não linearidade pode ter sido ocasionada por mudanças na estrutura econômica, preferências e padrões de consumo, ou mudanças nos arranjos institucionais, como leis ou impostos destinados a proteger o meio ambiente (DIETZ et al, 2007).

Os autores citaram também três outros aspectos que podem ser indutores de impacto ambiental. Primeiramente países com uma maior proporção de adultos em uma população pode aumentar o impacto ao mesmo tempo em que o crescimento econômico aumenta. Em segundo lugar, o a elevação das taxas de urbanização em todo o mundo pode levar a uma maior eficiência ambiental ou de obstáculos a prestação de serviços ambientais. E, em terceiro lugar, a hipótese de que uma mudança na economia longe de indústrias extrativistas e de fabricação e para os serviços pode reduzir o impacto ambiental.

Dietz et. al (2007), estimaram por país o nível de importância relativa a cada um dos indutores hipotéticos de impacto ambiental. Após isso, os autores utilizaram resultados para efetuar a projeção para 2015. Os autores também examinaram a relação entre o estresse ambiental e duas medidas de bem-estar – a expectativa de vida e educação – com o objetivo de determinar a extensão em que o bem-estar pode aumentar sem elevar as ameaças ambientais.

Os autores utilizaram o modelo STIRPAT para testar as hipóteses. A tabela 2 apresenta as estimativas da regressão para o modelo STIRPAT (modelo a) que analisa os efeitos dos indutores abaixo descritos.

População tem elasticidade ligeiramente menor que um o que significa que uma mudança de 1% na população induz uma mudança percentual quase igual em impactos. O PIB per capita mostra uma relação curvilínea com impactos, no qual dentro da gama de observações, os níveis mais elevados de riqueza produzem pegadas maiores do que seria esperado de uma relação proporcional. A proporção do PIB no setor de serviços, a proporção da população urbana e a proporção da população nos grupos etários não possuem efeito líquido sobre o impacto ambiental. O montante de terra per capita tende a aumentar o impacto e países temperados e de latitudes árticas tendem a ter um impacto maior do que os trópicos (DIETZ et al, 2007).

TABELA 2: Modelos STIRPAT das ameaças ambientais antrópicas

Variáveis Independentes	Modelo Completo (modelo A)	Modelo Completo com Índices de Bem- Estar (modelo B)	Modelo reduzido para Projeções (modelo C)
População	0,934***	0,930***	0,931***
PIB <i>per capita</i> - termo linear	-0,863*	-0,901*	-0,661*
PIB <i>per capita</i> - termo quadrático	0,178***	0,183***	0,161***
PIB por cento não em seita serviço	-0,017	-0,020	na
% população urbana	0,069	0,060	na
% população com idade superior a 15 anos	0,422	0,400	na
Área do terreno	0,062**	0,065**	0,052*
Temperado	0,071*	0,069**	0,085**
Ártico	0,189**	0,188***	0,181**
Índice de Educação	Na	-0,050	na
Índice de esperança de vida	Na	0,082	na
Intercepto	1,098	1,189	0,562
R ² ajustado	0,971	0,971	0,966
N	128	128	135

*p < 0,05; **p < 0,01 ***p < 0,001 na = não aplicável

Fonte: adaptado de Dietz et. al (2007).

Para o modelo B, os autores acrescentaram os índices da ONU para instrução (educação) e para expectativa de vida a fim de investigar a relação entre o bem-estar humano e o impacto ambiental ao invés de apenas verificar a relação entre riqueza e meio ambiente. Os resultados mostraram que nenhum dos critérios acrescentados está relacionado com o impacto ambiental.

Com base no resultado parcimonioso do modelo C, os autores desenvolveram as projeções de Pegada Ecológica utilizando a média das projeções populacionais da ONU e um pressuposto de crescimento econômico moderado. A projeção produz uma pegada global estimada de cerca de 18,1 bilhões de hectares em 2015, ou seja, 34% maior do que a pegada atual de 13,5 bilhões de hectares segundo Loh e Wackernagel (2004). Este resultado coloca a pegada ecológica ao equivalente a 1,2 planetas e para 2015 os autores projetaram uma pegada de 1,6 planetas.

A análise realizada pelos pesquisadores mostrou que o tamanho da população e da riqueza são os principais indutores de impactos ambientais, enquanto outros *drivers* amplamente postulados como urbanização, distribuição etária e estrutura econômica tem pouca influência. A projeção realizada sugeriu que os aumentos da população e da renda provavelmente expandirão o impacto humano sobre o meio ambiente por mais de um terço (DIETZ et al, 2007).

Liddle e Lung (2010), utilizaram outra linha de pesquisa e avaliaram os impactos ambientais da emissão de gás carbônico pelo transporte, pelo consumo de eletricidade e pela energia residencial influenciados pela faixa etária da população. O estudo foi realizado em países desenvolvidos e a população foi dividida em três faixas: de 20 a 34 anos, de 35 a 49 anos e de 50 a 64 anos.

Os resultados apontaram que a primeira faixa etária influencia positivamente o impacto ambiental, porém nem sempre significativamente. Já a segunda, obteve significância e influência negativa e a terceira faixa exerce um efeito positivo no consumo de energia residencial.

Na mesma linha de pesquisa, Liddle (2011) publicou um artigo com o objetivo de estudar o impacto ambiental das emissões de carbono dos transportes e consumo de energia elétrica residencial, os quais a população tem demonstrando grande influência.

Para isso, o autor também dividiu a população dos países membros da OECD em grupos de acordo com a faixa etária: 20 – 34, 35 – 49, 50 – 69 e 70 e mais velhos. O autor utilizou séries temporais de dados de *cross-section* de 22 países da OECD abrangendo o

período de 1960-2007. O autor explica que os painéis não são equilibrados, pois os dados para energia começaram a ser publicados em 1973 para a Dinamarca e os dados de população em 1971 para a Grécia e em 1976 para o Canadá. Como variáveis dependentes Liddle (2011) utilizou CO₂ dos transportes e a eletricidade residencial. Como variáveis independentes ele utilizou o mercado elétrico e a população dividida conforme explicado anteriormente.

Como resultado, Liddle (2011) obteve que a população entre 20 e 34 anos possui coeficientes positivos para a emissão de gás carbônico de transporte, o que não acontece nas demais faixas. O consumo residencial de energia elétrica, apresentou um impacto em formato de U, onde as faixas mais novas e mais velhas apresentaram coeficientes positivos e, as intermediárias, coeficientes negativos. A estrutura etária é importante, pois (i) as pessoas em fases diferentes da vida têm diferentes níveis de atividade econômica; (ii) a idade do chefe de família está associada ao tamanho da mesma, e as famílias maiores consomem menos por pessoa do que os conjuntos familiares menores. Este artigo baseou-se em Liddle e Lung (2010) por também focar os impactos ambientais baseados no consumo e sobre a influência de mudança da estrutura etária em um cenário empírico.

Silva et al (2011) realizaram um trabalho semelhante aos recém apresentados e analisou os determinantes da emissão de CO₂ devido ao uso de combustíveis fósseis para 12 países sul-americanos entre 1970 e 2005. Para isto, utilizaram o modelo STIRPAT através da aplicação de dados em painel não balanceado (devido à ausência de alguns dados para o Suriname), em modelos de Efeitos Aleatórios. Segundo Silva et al (2011 apud GREENE, 2008, p. 6), o modelo de efeitos aleatórios pressupõe que os efeitos omitidos ou o erro não observável são não correlacionados com as variáveis incluídas no modelo.

Os países analisados pelos autores foram: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Guyana, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela. A emissão de CO₂ foi utilizada como variável dependente e, como variáveis independentes foram utilizados o PIB *per capita*, a população total, desagregada e o percentual da população urbana e a intensidade energética.

Os pesquisadores estimaram 3 modelos a partir do modelo de efeitos aleatórios. O primeiro modelo, inseriu apenas uma variável para renda, população e tecnologia, assemelhando-se ao IPAT e como já era esperado, a população exerceu efeito positivo sobre a emissão de CO₂, ou seja, um aumento de 10% na população acarretou um aumento de 6,7% nas emissões de CO₂. No que refere-se a população total, um aumento de 10%

ocasionou um aumento de 8,9% nas emissões. Como pode ser observada na tabela 3, o percentual da população urbana e a intensidade energética também apresentaram efeito positivo sobre as emissões de carbono.

O segundo modelo foi baseado no de York et. al. (2003) que incluiu a variável PIB *per capita* ao quadrado com o objetivo de avaliar se os países apresentavam um comportamento semelhante ao da Curva Ambiental de Kuznets, o qual dizia que a medida em que a renda aumenta, as emissões de carbono atingem um nível máximo passando a decrescer após vários aumentos de renda. Os resultados apontaram a existência da CAK dado que as variáveis tanto na forma linear como na quadrática apresentaram sinais positivos e negativos e são estatisticamente significativas. Segundo os autores, o ponto em que a emissão chegou ao seu auge e então passou a cair com aumentos constantes de renda de aproximadamente US\$ 464.211,00, isto é, é necessário um nível muito alto para que as emissões de carbono comecem a decrescer.

O terceiro modelo, apresentou a incorporação das variáveis que desagregaram a população em três faixas etárias, população de 20 a 34, de 35 a 49 e de 50 a 64 anos. Como pode ser observado na tabela abaixo, a variável população de 20 a 34 anos foi não significativa, já a população total e as faixas de 35 a 49 e 50 a 64 anos mostraram-se significativas.

TABELA 3: Resultados da estimação a partir do modelo de Efeitos Aleatórios

	Modelo (1)	Modelo (2)	Modelo (3)
PIB <i>per capita</i>	0.669 *** [0.11]	1.940 *** [0.60]	0.614 *** [0.11]
(PIB <i>per capita</i>) ²	-	- 0.074 ** [0.03]	-
População Total	0.899 *** [0.12]	0.937 *** [0.11]	0.830 *** [0.09]
População (20-34)	-	-	- 0.228 [0.27]
População (35-49)	-	-	0.822 *** [0.30]
População (50-64)	-	-	- 1.01 *** [0.32]
(%) população urbana	1.565 *** [0.36]	1.304 *** [0.32]	1.69 *** [0.35]
Intensidade Energética	0.419 ** [0.17]	0.47 ** [0.15]	0.421 ** [0.16]
Constante	- 11.30 *** [1.69]	- 15.90 *** [2.83]	- 12.06 *** [1.84]
R ²	0.8932	0.8967	0.9000
Países (unidades <i>cross-sections</i>)	12	12	12
Número de Observações	95	95	95

Nota: * p< 0.1; ** p< 0.05; e *** p<0.01

Fonte: adaptado de Silva et. al (2011).

Para Silva et.al. (2011), estes resultados confirmam a ideia proposta pelo modelo IPAT, no qual população, renda e tecnologia afetam positivamente as emissões de CO₂. Como um dos principais resultados, os autores apontaram que a população exerceu um efeito maior sobre as emissões de carbono que as demais variáveis e que as emissões apresentaram significativa sensibilidade à urbanização, confirmando a teoria de que países em estágio inicial de desenvolvimento/industrialização apresentam elevado potencial poluidor dado um nível tecnológico atrasado e ineficiente.

O artigo publicado por Zhu e Peng (2012) teve por objetivo analisar os impactos do tamanho e estrutura da população e nível de consumo sobre as emissões de carbono na China entre 1978 e 2008. Para os autores, *“Clearly identify the relationship between population and carbon emissions is highly challenging primarily because of the wide ranging effects of population on carbon emissions”*. Geralmente, esses efeitos exercem influência indireta sobre o consumo, produção, tecnologia, entre outros.

Atualmente, a China está em fase de transição demográfica, ou seja, passando de exploração agrícola para urbana, de uma sociedade nova para uma velha e de uma sociedade ligada a terra para uma mais flutuante. A dinâmica populacional e as mudanças nos padrões de consumo têm e continuarão influenciando o uso da energia da China e conseqüentemente as emissões de carbono. Para Zhu e Peng (2012) se estas questões forem examinadas, as melhorias na tomada de decisões para desenvolvimento de menores emissões de carbono serão facilitadas.

Para isso, os autores incorporaram a estrutura da população (estrutura etária, grau de urbanização e o tamanho da família) para o modelo STIRPAT para analisar os impactos do tamanho da população sobre as emissões de carbono. A tabela 4, constante no anexo, apresenta os resultados do modelo. Segundo Zhu e Peng (2012), mudanças no nível de consumo e na estrutura da população foram os dois principais fatores que afetaram as emissões de carbono. A China tem enfatizado longa conservação de energia e redução de emissões em campos industriais. As taxas de consumo residenciais continuaram a diminuir nas últimas décadas. Assim, o efeito do consumo residencial nas emissões de carbono parece não ter importância. Porém, este estudo mostrou que o impacto das mudanças no nível de consumo sobre as emissões de carbono na China foi maior do que os outros fatores considerados no modelo.

Com a implantação de políticas que estimulem a demanda doméstica como uma maneira de lidar com a crise financeira internacional, o impacto do consumo residencial nas emissões de carbono pode aumentar significativamente no futuro. Portanto, para os

autores, os políticos deverão encontrar uma maneira de controlar as emissões sem sacrifício dos padrões de vida.

Liddle (2013) analisou o papel da população urbana e da afluência (PIB per capita) sobre o impacto ambiental nos países desenvolvidos e em desenvolvimento através do modelo STIRPAT. Além de considerar os impactos ambientais particularmente influenciados pela população e afluência (as emissões de carbono oriundas do transporte e consumo de energia elétrica residencial) o artigo determina se, em caso afirmativo, como essas relações de impacto ambiental variam entre os diferentes níveis de desenvolvimento através da análise de painéis compostos por países ricos, médios e pobres. Por fim, o autor utiliza técnicas avançadas baseadas em séries temporais, como o painel de cointegração e painel totalmente modificado MQO (FMOLS) para estimar as elasticidades variáveis.

Foram utilizadas séries temporais de dados abrangendo o período de 1971 a 2007 para 31 países desenvolvidos da OCDE e 54 países em desenvolvimento ou que não fizessem parte da OCDE. As variáveis utilizadas no estudo foram: emissão de CO₂ através do transporte, consumo residencial total de energia elétrica, afluência (renda), população urbana e parcela do consumo residencial em energia.

De acordo com os resultados, as médias de todas as variáveis, exceto para a população urbana, decresceram com a renda, ou seja, o painel dos países ricos tem maiores médias de impacto ambiental (emissões de transporte de carbono e do consumo de eletricidade residencial) e eletrificação, o dos países médios tem as seguintes maiores médias e os pobres as menores médias. Além disso, para as variáveis que estão agregadas (os impactos e a população urbana), a dispersão é bastante elevada em todos os painéis. A dispersão é menor para a parte elétrica indicando uma forte associação entre eletrificação e nível de desenvolvimento (LIDDLE, 2013).

Liddle (2013), estimou as elasticidades de longo prazo para os dois impactos ocasionados pelo consumo: as emissões de carbono provenientes do transporte e consumo de energia elétrica residencial, respectivamente, para os quatro painéis. Para ambos os modelos as estimativas de elasticidade parecem diferir consideravelmente quando são estimados a partir de painéis de acordo com o nível de desenvolvimento em comparação com quando todos os países são agrupados. Para determinar se os coeficientes estimados para os vários painéis são de fato estatisticamente diferentes, intervalo de confiança de 99 por cento são exibidos também.

Se os intervalos de confiança apresentados de um coeficiente não se sobrepõem

por dois painéis, em seguida, os coeficientes devem ser estatisticamente diferente, pelo menos no nível de um por cento.

Para as emissões de carbono provenientes do transporte, os coeficientes riqueza e população urbana não são estatisticamente diferentes de unidade para o painel "todos os países". Da mesma forma, os coeficientes de afluência não são estatisticamente diferentes de unidade para os painéis de países pobres e médios. Afluência tem um maior impacto ambiental do que a população urbana em países pobres e médios; mas a afluência tem um impacto menor do que a população urbana para os países ricos, e elasticidade da riqueza para os países ricos é consideravelmente menor do que a elasticidade da riqueza estimada a partir do painel de "todos os países" (LIDDLE, 2013).

Segundo Liddle (2013), este resultado não é surpreendente, pois os países ricos provavelmente estão perto de saturação em aspectos como a propriedade do carro, assim que a renda adicional não aumentaria as emissões, tanto quanto a adição de uma outra pessoa de alto consumo. Além disso, ambos os intervalos de confiança e a diferença de meios testes mostram que a elasticidade da afluência para os países ricos é significativamente diferente da elasticidade da riqueza para os países pobres e médios. No entanto, as elasticidades de afluência para os painéis de países pobres e médios não são estatisticamente diferentes um do outro.

Para as emissões de carbono provenientes do transporte, a influência da população urbana sobre o impacto ambiental tem uma relação de U invertido em relação ao nível de desenvolvimento. O coeficiente para a população urbana é maior para os países do Oriente do que para os países pobres, e é maior para os países do Oriente do que para os países ricos. No entanto, essa diferença de impacto é estatisticamente significativa apenas para os painéis dos países ricos e meio e, em seguida, apenas no nível de dez por cento.

Tendo o consumo residencial de energia elétrica como variável dependente, podemos verificar que a influência da riqueza sobre o impacto ambiental é consideravelmente menor do que a população urbana ou o acesso a rede elétrica (*share electric*). Esse resultado pode indicar que os países pobres diferem substancialmente em relação a rede elétrica mesmo controlando o PIB per capita.

Para os países médios, a elasticidade do *share electric* é maior do que da afluência, e a elasticidade da população urbana é muito pequena. A elasticidade da riqueza é, certamente, enriquecida pela quota de energia elétrica residencial (*share electric*), uma variável que é altamente relacionada com, e, na verdade, provavelmente causada pela

afluência. Para os países ricos todas as três variáveis têm elasticidades bastante semelhantes.

Considerando as diferenças de elasticidade entre os diferentes níveis de desenvolvimento pôde ser observado a não-linearidade para as três variáveis. O impacto da riqueza tem uma relação de U invertido em relação ao desenvolvimento semelhante a Curva Ambiental de Kuznets. O *share electric* é uma parte importante do processo de desenvolvimento, e o coeficiente é inferior nos países ricos do que os países médios assim como acontece com a elasticidade da riqueza no que diz respeito às emissões de carbono do transporte. No entanto, para a riqueza, as diferenças entre os painéis de países ricos e pobres e entre os painéis de países médios e ricos não são estatisticamente significativas.

O *paper* escrito por Liddle abordou se as elasticidades de riqueza e população se alteravam de acordo com o desenvolvimento dos países e para isso o autor utilizou-se de painéis compostos por países ricos, médios e pobres. O artigo dirigiu uma crítica a Wagner (2008) que tratou sobre a literatura da Curva Ambiental de Kuznets onde as regressões envolvendo transformações não-lineares poderiam ser espúrias e testes de significância inválidos.

Assim como a sua publicação de 2013, Liddle (2015) realizou um estudo sobre quais são as elasticidades das emissões de carbono para a renda e população e se elas diferem entre os níveis de desenvolvimento ou renda da população. Para isso, utilizou o estudo de Kaya³ e o modelo STIRPAT.

Além disso, o artigo aborda uma questão empírica importante ao ambiente de desenvolvimento de pesquisa: a transformação não-linear de variáveis potencialmente integradas. Liddle (2015) faz uma crítica ao modelo STIRPAT e preenche a literatura com outros modelos socioeconômicos de impacto ambiental que colocam a variável dependente em termos per capita (por exemplo, Curva Ambiental de Kuznets).

Esta ligação é estabelecida pela demonstração de que a melhor prática sugere assumir que a elasticidade da população é a unidade pela qual as estimativas da elasticidade das emissões de carbono da população são: (i) não robustas, (ii) normalmente não estatisticamente significativamente diferente de um, e (iii) não variam sistematicamente de acordo com uma receita ou o tamanho da população.

Em contrapartida, as estimativas apresentadas demonstraram que a elasticidade das emissões de carbono para a renda são: (i) altamente robustas, (ii) significativamente

³ Kaya Identify: trata das emissões totais de carbono como um produto do PIB per capita da população, o consumo de energia por unidade do PIB, e as emissões de carbono por unidade de energia consumida.

menores do que um, mas positivas para os países da OCDE, e (iii) significativamente maior para os países não membros da OCDE do que para os países da OCDE. Além disso, a heterogeneidade que os avaliadores consideraram foi explorada para mostrar que essas elasticidades da renda caem com renda média, mas não se tornam negativas.

Além das variáveis independentes da população e da renda, Liddle (2015) considerou duas variáveis para tecnologia: a intensidade de carbono da energia e a intensidade energética do PIB. Como *proxy* a intensidade de carbono da energia, o autor considerou a parcela do consumo de energia primária, a partir de combustíveis não-fósseis, a mesma utilizada no trabalho de Liddle e Lung (2010). Em vez de incluir a relação agregada energética do PIB, considerou-se uma medida da intensidade energética industrial.

Os resultados da regressão apresentaram um painel contendo todos os países e com a amostra dividida entre os países da OCDE (26) e os 54 países não membros da OCDE. Para os três conjuntos, todos os coeficientes são estatisticamente significativos. Além disso, os diagnósticos são bons: os resíduos são sempre estacionários, e, ou independência transversal nos resíduos não podem ser rejeitadas ou dependência transversal é diminuída (pequenos coeficientes de correlação médios).

Os resultados do painel de todos os países sugerem que a elasticidade da população pode ser maior do que a da renda. Porém, a divisão da amostra em dois painéis pode ser justificada uma vez que, na comparação entre os intervalos de confiança para os dois painéis (comparando países não membros da OCDE e OCDE), a elasticidade da renda para as emissões de carbono é maior para os não-OCDE países do que para os países da OCDE em evidências de um efeito de saturação de renda.

Para os países da OCDE, a elasticidade de renda é inferior a um, ao passo que, a elasticidade para a população não é diferente de um ao nível de 5% de significância estatística. Para os países não membros da OCDE, a elasticidade de longo prazo para a renda não é significativamente diferente de um para o estimador de CMG. A elasticidade para a população é, para o painel de todos os países, maior do que um em média; ainda, apenas para o estimador de AMG é a elasticidade para população significativamente maior do que um ou possivelmente significativamente maior do que a elasticidade da renda.

Após a aplicação dos modelos, Liddle (2015) concluiu que a elasticidade das emissões de carbono para renda é bastante robusta. Para os países desenvolvidos/OCDE a elasticidade é significativamente inferior a um; para os menos desenvolvidos ou não

integrantes da OCDE a elasticidade da renda é significativamente maior do que a dos países mais desenvolvidos, mas não significativamente diferente de um, ou seja, as emissões de carbono e renda são relativamente proporcionais para os países fora da OCDE.

Em contraste com a renda, a elasticidade das emissões de carbono para a população não é de todo robusto e isso pode ser justificado por dois motivos: primeiro por que a elasticidade da população provavelmente não é significativamente diferente de um - mesmo que sua média estimada é muitas vezes maior do que um (os intervalos de confiança que a acompanham são tipicamente muito grandes); e por que elasticidade população não variou de acordo com a da renda.

Como pôde ser observado, existem diversos artigos publicados sobre impactos ambientais e quais seriam seus impulsionadores. A maioria dos estudos chegou à conclusão de que renda e população são os principais indutores do impacto ambiental e que juntos geram grande pressão ambiental.

No próximo capítulo, será explicada a metodologia escolhida para realizar a estimação dos modelos para os países da América Latina no período de 1970 a 2010.

3 METODOLOGIA

Como foi visto no capítulo anterior, o problema da degradação ambiental ocasionada em virtude da atividade econômica atinge o mundo a muito mais tempo do que imaginávamos (século 5 a.C). A intensificação de estudos com o objetivo de medir o impacto causado sobre o meio ambiente e encontrar seus indutores começou a partir da década de 1970 com Paul Ehrlich e John Holdren, os criadores do modelo IPAT.

Em 1994, Dietz e Rosa desenvolveram uma adaptação ao modelo IPAT justificando que este modelo era limitado, utilizando como principal argumento não ser possível realizar teste de hipóteses. Com isso, surgiu o modelo STIRPAT no qual foi possível aumentar as unidades de análise e realizar teste de hipóteses.

Este modelo foi utilizado por diversos autores para estimar os efeitos de algumas variáveis sobre a produção de indutores de impacto ambiental como o dióxido de carbono. A exemplo disso estão: York et al (2003), Dietz et al (2007), Liddle e Lung (2010), Liddle (2011, 2013, 2015), Silva et al (2011), Zhu e Peng (2012), entre outros.

Este capítulo propõe-se, na primeira seção, a apresentar a estratégia de estimação dos modelos adotada para avaliar o impacto de determinadas variáveis sobre a emissão total de CO₂ através da aplicação do modelo STIRPAT em conjunto aos dados em painel e serão apresentados os modelos estimados. Na segunda seção serão apresentados os países e as variáveis que foram utilizados para estimar os modelos e as justificativas para suas utilizações.

3.1 ESTRATÉGIA DE ESTIMAÇÃO DO MODELO

De acordo com o que foi abordado na seção inicial deste capítulo, o modelo STIRPAT será utilizado como base para a estimação do modelo desta pesquisa, o qual tem por objetivo analisar os efeitos do PIB *per capita*, da população total, urbana e economicamente ativa e da área agrícola como indutores do impacto ambiental possuem sobre a emissão de CO₂ para os países da América Latina.

Para aplicação dos modelos estimados será utilizado um conjunto de dados em painel. Segundo Wooldridge (2010), na análise econométrica de dados em painel não

podemos supor que as observações sejam independentemente distribuídas ao longo do tempo, pois existem fatores não observados que afetam os dados ao longo do período estudado e por este motivo modelos e métodos especiais foram desenvolvidos para analisar dados em painel.

Segundo Sonaglio et al (2010), o objetivo dos dados em painel é obter estimadores consistentes de β com propriedades desejadas de eficiência, sendo realizadas hipóteses sobre a correlação entre os termos aleatórios e os regressores, o que determina a forma de estimação não tendenciosa dos parâmetros.

Os dados em painel separaram os fatores não observados que afetam a variável dependente em dois tipos: os que são constantes e os que variam ao longo do tempo (WOOLDRIDGE, 2010).

O modelo de dados em painel com uma variável explicativa observada pode ser representado da seguinte forma:

$$y_{it} = \beta_0 + \delta_0 d2_t + \beta_1 x_{it} + \alpha_i + u_{it} \quad t = 1, 2 \quad (4)$$

Em y_{it} , i representa a unidade observada (pessoa, país, cidade, etc) e t o período de tempo. A variável $d2$ é uma variável *dummy* igual a zero quando $t=1$ e um quando $t=2$, portanto o intercepto é β_0 quando $t=1$ e $\beta_0 + \delta_0$ quando $t=2$. A variável α_i capta todos os fatores não observados, constantes no tempo, que afetam y_{it} por isso é chamado de efeito não observado. O erro u_{it} é chamado de erro idiossincrático, pois representa os fatores não observados que mudam ao longo do período e afetam y_{it} .

Do modelo de dados em painel temos dois modelos, um de efeitos fixos e outro de efeitos aleatórios. Para estimarmos o modelo de efeitos fixos devemos considerar um modelo com uma única variável explicativa:

$$y_{it} = \beta_1 x_{it} + \alpha_i + u_{it} \quad t = 1, 2, \dots T \quad (5)$$

Para cada i , calculamos a média da equação acima ao longo do tempo, obtendo:

$$\bar{y}_i = \beta_1 \bar{x}_i + \alpha_i + \bar{u}_i \quad (6)$$

Diminuindo a equação (6) de (5) teremos a equação do modelo de efeitos fixos o qual efeito não observado é removido do modelo:

$$y_{it} - \bar{y}_i = \beta_1 (x_{it} - \bar{x}_i) + u_{it} - \bar{u}_i \quad t = 1, 2, \dots T \quad (7)$$

O modelo de efeitos fixos é utilizado para analisar o impacto das variáveis que variam ao longo do tempo ou entre as unidades observadas. Este modelo explora a relação entre a previsão e a variável de resultado entre uma entidade (ex: país, empresa, pessoas, etc.). Cada entidade possui suas características individuais que podem ou não influenciar

as variáveis de previsão (ex: ser do sexo masculino ou feminino, pode inclusive influenciar a opinião sobre determinado assunto ou sistema político de um país, poderia ter efeito sobre o comércio ou o PIB de um país). (REYNA, 2007).

Quando utilizamos o modelo de efeitos fixos, assumimos que algo no indivíduo pode afetar ou influenciar as variáveis de previsão ou de resultados e isso precisa ser controlado. Os efeitos fixos removem os efeitos que sofrem alteração ao longo do tempo característicos das variáveis de previsão para que seja possível avaliar o efeito líquido das variáveis explicativas (REYNA, 2007).

Para estimar o modelo de efeitos aleatórios, começamos com a equação abaixo:

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{it1} + \dots + \beta_k x_{itk} + \alpha_i + u_{it} \quad (8)$$

Podemos observar que o intercepto β_0 é incluído de modo que é possível supor que o efeito não observado α_i , tem média zero. O modelo de efeitos fixos tem por objetivo retirar α_i , pois ele possivelmente está correlacionado com um ou mais dos x_{itj} . Caso entenda-se que α_i é não correlacionado com as variáveis explicativas, o uso de uma transformação para retirá-lo pode resultar em estimadores ineficientes (WOOLDRIDGE, 2010).

No modelo de efeitos aleatórios, pressupõe-se que o efeito não observado (α_i) é não correlacionado com cada variável explicativa, ou seja, $Cov(x_{it}, \alpha_i) = 0$, $t = 1, 2, \dots, T$; $j = 1, 2, \dots, k$. As hipóteses de efeitos aleatórios incluem todas as hipóteses de efeitos fixos mais o requisito de que α_i seja independente de todas as variáveis explicativas, em todos os períodos de tempo. Para esta pesquisa foi utilizado o modelo de efeitos fixos, pois acredita-se que existem fatores não observados que podem afetar a variável explicativa, distorcendo os resultados.

A utilização de dados em painel através do modelo STIRPAT já foi utilizado por Liddle e Lung (2010) que estimaram seus modelos usando modelo de efeitos fixos, isto é, utilizaram variáveis dummies para os países e para os períodos, o que segundo os autores é uma prática comum para estudos que empregam STIRPAT com dados em painel. Os efeitos fixos para os países levam em conta as diferenças individuais que são comuns para todo o intervalo de tempo. Os efeitos fixos para os períodos levam em conta as diferenças individuais que são específicas para cada período, mas são comuns para todos os países.

Zhu e Peng (2012) analisaram os impactos do tamanho da população, estrutura da população e nível de consumo sobre as emissões de carbono na China no período entre

1978 e 2008. Liddle (2013) analisou como a população urbana e o PIB *per capita* influenciaram sobre o impacto ambiental nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Além de considerar os impactos ambientais particularmente influenciados pela população e a renda, o estudo determinou como essas relações de impacto variaram entre os diferentes níveis de desenvolvimento através da análise de painéis compostos de países pobres, médios e ricos.

Assim como já foi apresentado no referencial teórico, o modelo STIRPAT foi desenvolvido por Dietz e Rosa (1997) como uma adaptação ao modelo IPAT em que fosse possível entender as relações da população, dos recursos e dos impactos ambientais. Este modelo foi formulado da seguinte maneira:

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (3)$$

Onde I, P, A e T foram definidos como impacto ambiental, população, afluência e impacto por atividade econômica, respectivamente. Os coeficientes “a”, “b”, “c” e “d” são parâmetros e “e” o termo residual. O *i* subscrito indica as quantidades de I, P, A, T e e, e variam de acordo com o número de observações (YORK et.al, 2003).

O modelo STIRPAT permite a estimação através das variáveis em logaritmos naturais, conforme abaixo:

$$\ln(I) = \alpha + b [\ln(P)] + c [\ln(A)] + e \quad (4)$$

Podemos observar que a tecnologia (T) é agregada ao termo de erro, pois assim como no modelo original do IPAT, T é determinado endogenamente pelo PIB, pois não existem variáveis que estimem a tecnologia de forma adequada. Neste modelo, os coeficientes b e c são medidas de elasticidade, ou seja, eles informam o percentual de variação em I quando da variação de 1% em P e A.

Os modelos estimados utilizaram a equação tradicional do STIRPAT para analisar as relações entre a variável dependente e as independentes para os países integrantes da América Latina no período de 1970 a 2010.

Os 4 modelos estimados foram:

1. Modelo sem efeitos fixos:

$$\ln(CO2)_{it} = \alpha_0 + \alpha_2(\ln pibpc_{it}) + \alpha_3(\ln opt_{it}) + \alpha_4(\ln popea_{it}) + \alpha_5(\ln urbp_{it}) + \alpha_6(\ln areaagric_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

2. Modelo com efeitos fixos para países:

$$\ln(CO2)_{it} = \alpha_0 + \alpha_2(\ln pibpc_{it}) + \alpha_3(\ln opt_{it}) + \alpha_4(\ln popea_{it}) + \alpha_5(\ln urbp_{it}) + \alpha_6(\ln areaagric_{it}) + \beta_i + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

3. Modelo com efeitos fixos para anos:

$$\ln(CO2)_{it} = \alpha_0 + \alpha_2(\ln pibpc_{it}) + \alpha_3(\ln popt_{it}) + \alpha_4(\ln popea_{it}) + \alpha_5(\ln urbp_{it}) + \alpha_6(\ln areaagric_{it}) + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

4. Modelo com efeitos fixos para países e anos:

$$\ln(CO2)_{it} = \alpha_0 + \alpha_2(\ln pibpc_{it}) + \alpha_3(\ln popt_{it}) + \alpha_4(\ln popea_{it}) + \alpha_5(\ln urbp_{it}) + \alpha_6(\ln areaagric_{it}) + \beta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

Onde i denota país e t tempo, $pibpc$ é PIB *per capita*, $popt$ população total, $popea$ população economicamente ativa, $urbp$ população urbana e $areaagric$ área agrícola.

3.2 PAÍSES E VARIÁVEIS UTILIZADAS NO MODELO

Para a estimação do modelo foram utilizados 19⁴ dos 20 países componentes da América Latina: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Uruguai e Venezuela.

A escolha dos países ocorreu, pois verificou-se a ausência de estudos que utilizem estes países para mensuração dos indutores de impacto ambiental. A grande maioria dos autores apresentados no capítulo anterior pesquisaram sobre países da OCDE, países desenvolvidos e subdesenvolvidos, países ricos ou pobres. Os autores que chegaram numa região mais próxima a deste trabalho foram Silva et al (2011) que realizaram um estudo no qual analisaram os determinantes da emissão de CO₂ para 12 países sul americanos entre o período de 1970 e 2005 utilizando o modelo STIRPAT. Quanto ao período, a pesquisa abrangeu os anos de 1970 a 2010, pois foi o período em que os dados foram encontrados para todos os países o que dá consistência a estimação dos modelos.

As variáveis escolhidas como indutoras de impacto ambiental para esta pesquisa foram: o PIB *per capita*, a população total, o percentual da população entre 15 e 64 anos,

⁴ O Haiti foi retirado da relação de países por apresentar poucos dados para as variáveis entre 1970-2010. O país também passa por uma situação econômica delicada que pode ocasionar distorções nos resultados.

conhecida também como população economicamente ativa, a população urbana e a área agrícola total. A tabela 5 mostra as variáveis bem como a fonte da qual foram obtidas.

TABELA 5: Variáveis utilizadas na pesquisa

Símbolo	Definição	Fonte
pibpc	PIB <i>per capita</i>	The World Bank Data
popt	População total	The World Bank Data
popea	Percentual da população entre 15 e 64 anos em relação a população total	The World Bank Data
Urbp	População urbana	The World Bank Data
Areaagr	Área agrícola total	The World Bank Data

Fonte: elaboração própria.

A escolha das variáveis tomou como base outros estudos (LIDDLE E LUNG, 2010; LIDDLE 2011; ZHU e PENG, 2012; LIDDLE 2015), pois a maioria dos pesquisadores que aplicaram o modelo STIRPAT com estas variáveis obtiveram como resultado que a população e a renda são os principais indutores de impacto ambiental. Como o objetivo deste trabalho não é apresentar novos indutores e sim estimá-los para um grupo de países que ainda não possui pesquisas, resolveu-se então utilizar também estas variáveis para medir o impacto na emissão de CO₂. A única diferença neste estudo é que foi incluída o percentual da população economicamente ativa e a área agrícola para mensurar e analisar o impacto gerado sobre a emissão de dióxido de carbono.

Na pesquisa de Liddle e Lung (2010), os autores desagregaram a população em três faixas etárias, 20-34, 35-49 e 50-64 anos para verificar se o impacto ambiental da população sobre a emissão de gás carbônico pelo transporte, pelo consumo de eletricidade e pela energia residencial era diferente para cada grupo. Os autores concluíram que a primeira faixa etária quase sempre teve uma influência positiva no impacto ambiental, embora esse impacto não foi sempre significativo, enquanto a porcentagem de pessoas entre 35-64 anos teve uma influência significativa, negativa em todas as regressões; e o percentual de pessoas entre 65-79 anos exerceu um efeito positivo sobre o consumo de energia residencial.

Liddle (2011) também dividiu a população por faixas etárias, porém em quatro grupos, 20-34, 35-49, 50-69 e acima dos 70 anos, de modo a analisar o impacto sobre a O autor concluiu que a influência da estrutura etária da população foi significativa e

variada nos cortes, e seu perfil foi diferente para duas variáveis dependentes. Para o transporte, os jovens adultos (20-34) foram intensivos, enquanto que nas outras faixas todas tiveram coeficientes negativos. A estrutura etária teve um impacto em forma de U no consumo de eletricidade residencial desde os coeficientes positivos para os mais jovens e os mais velhos (20-34 e 70 e mais velhos), enquanto que os cortes médios (35-49 e 50-69) tiveram coeficientes negativos.

A variável de impacto escolhida para esta pesquisa foi a emissão total de CO₂. O dióxido de carbono é considerado um gás nocivo e, a falta de políticas públicas para mitigar a sua emissão pode ser prejudicial para o futuro das próximas gerações. Alguns mecanismos de controle da emissão de CO₂ e de outros gases poluentes foram criados, a exemplo disso temos o Protocolo de Kyoto assinado em 1997, onde os países membros se comprometeram em reduzir, pelo menos em 5,2% a emissão de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990 no período de 2008 a 2012.

Existem também os Créditos de Carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE), que surgiram junto ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), são certificados emitidos para uma pessoa ou empresa que reduziu sua emissão de gases de efeitos estufa, entre eles o CO₂. Cada tonelada de CO₂ que deixa de ser produzida pela empresa classificada como poluidora é convertida em uma unidade de crédito de carbono, que é negociada em dólar no mercado mundial.

Autores como Dietz e Rosa (1997), York et al (2003), Liddle (2011 e 2015), Zhu e Peng (2012), utilizaram o CO₂ como variável dependente para realizar suas pesquisas. Segundo Dietz e Rosa (1997), a emissão de gases como o CO₂ no meio ambiente vem aumentando gradativamente e isto pode levar a grandes mudanças climáticas no futuro.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados da estimação dos modelos, buscando analisar o resultado da estimação para a América Latina.

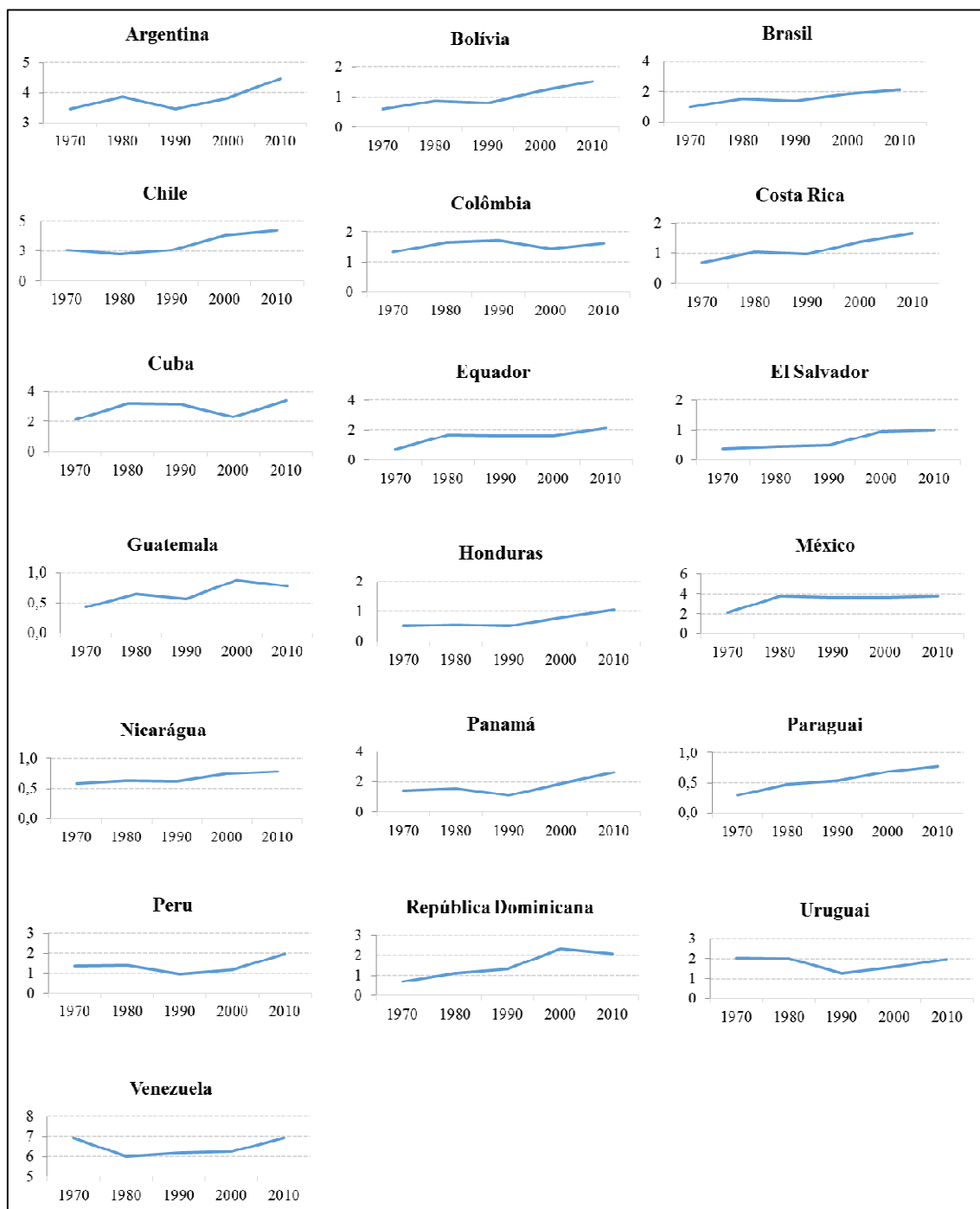
4 RESULTADOS

Conforme foi abordado no final do capítulo anterior, foram estimados 4 modelos para analisarmos o quanto as variáveis escolhidas induzem a emissão total de CO₂ para os países da América Latina: o 1º sem efeitos fixos, o 2º com efeitos fixos para os países, o 3º com efeitos fixos para os anos e, por último, o modelo com efeitos fixos para anos e países. Antes de verificarmos os resultados encontrados para cada um dos modelos, realizaremos uma análise descritiva dos dados presentes nesta pesquisa para os países da América Latina.

Como pode ser observado na Figura 1, ao longo das últimas cinco décadas a emissão de CO₂ apresentou crescimento para a maioria dos países. Este comportamento pode estar associado ao processo de industrialização e urbanização crescente pelo qual esses países passaram e que acaba acarretando em uma maior emissão de gases poluentes como o dióxido de carbono. Podemos observar também que, especificamente na década de 1990, alguns países tiveram uma redução na emissão do gás, esta redução pode estar associada a assinatura do Protocolo de Kyoto⁵ que pode ter estimulado os países a reduzirem suas emissões de gases poluentes, infelizmente a emissão acaba crescendo novamente na década de 2000 e 2010.

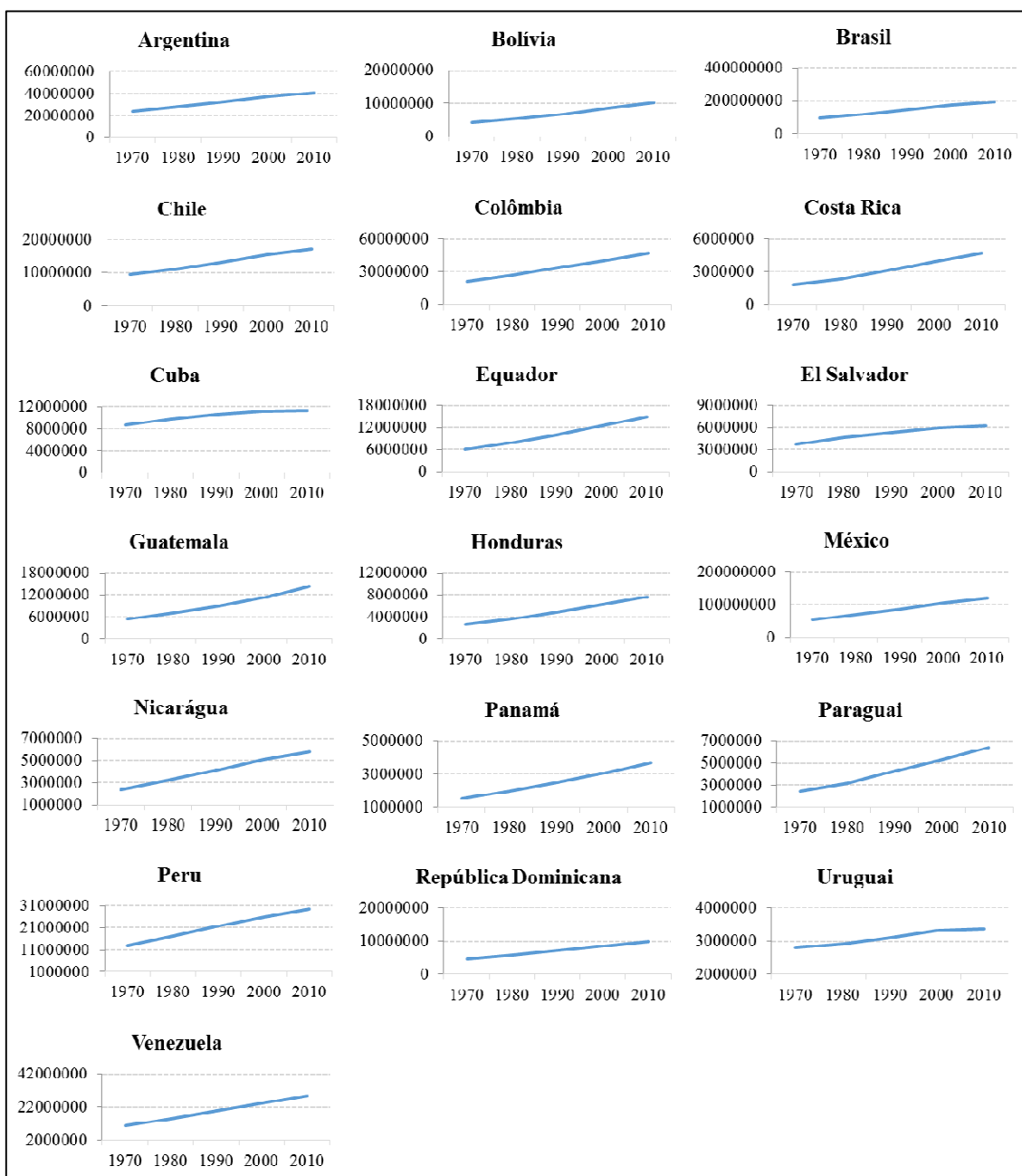
Na Figura 2, temos a evolução da população da América Latina para o mesmo período e como podemos observar todos os países apresentaram tendência de crescimento o que é característico em países em desenvolvimento. Os países em destaque são o Brasil e o México que apresentaram aumento médio significativo em suas populações ao longo desses 50 anos.

⁵ Protocolo de Kyoto: instrumento internacional, ratificado em 15 de março de 1998, que visa reduzir as emissões de gases poluentes.

Figura 1 – Emissão de CO₂ na América Latina entre 1970 – 2010

Fonte: elaboração própria

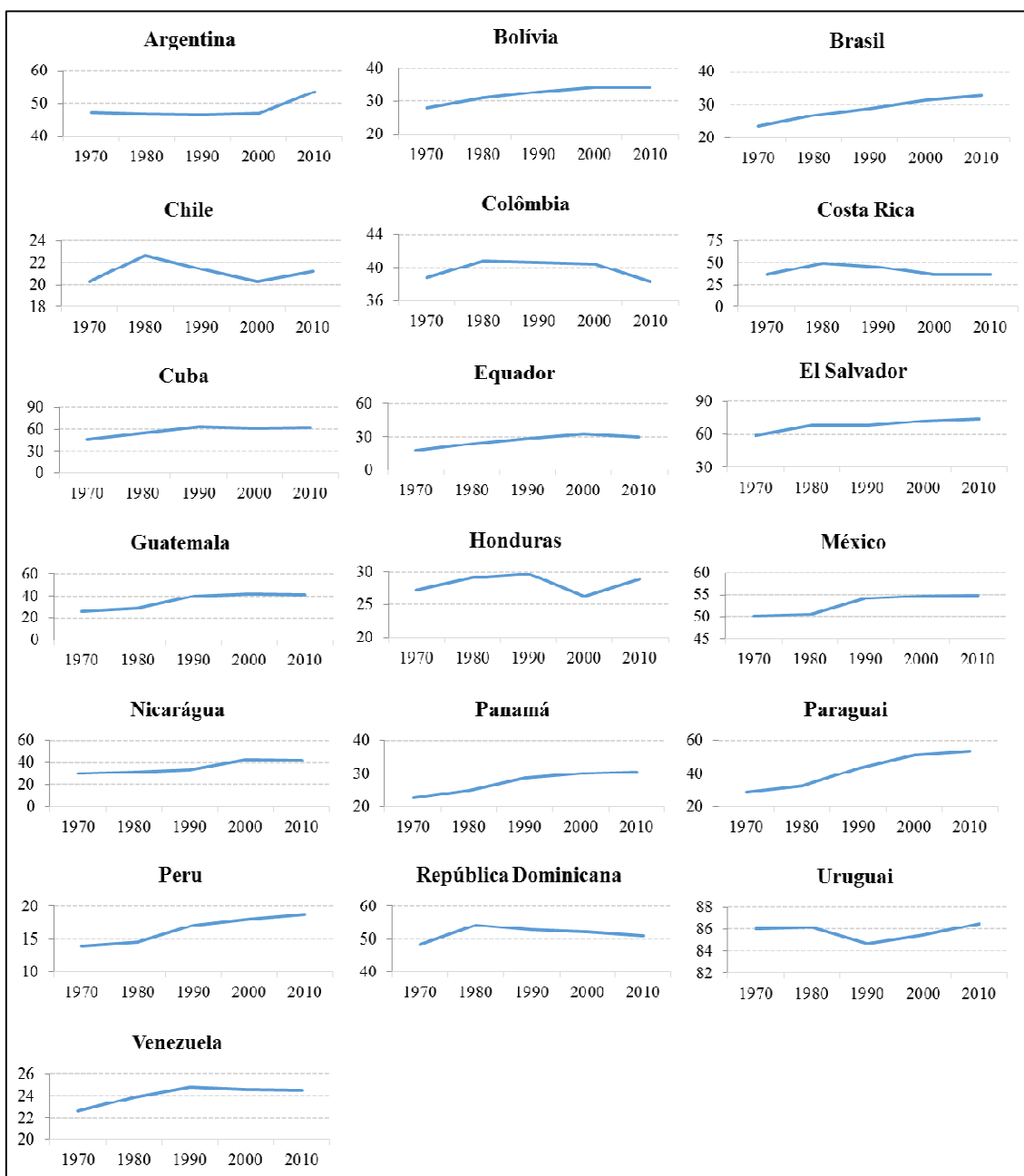
Figura 2 – População total dos países da América Latina entre 1970 e 2010



Fonte: elaboração própria

A Figura 3 apresenta a evolução da área agrícola para os países da América Latina. Podemos observar que mesmo com o processo de urbanização acontecendo nesses países de forma intensa, o que poderia acarretar em uma redução da área agrícola, a mesma apresentou crescimento para diversos países. O país que possui em média a maior área é o Uruguai seguido de El Salvador e Cuba.

Figura 3 – Área agrícola dos países da América Latina entre 1970 e 2010



Fonte: elaboração própria

Na tabela 6 temos a decomposição de variância para cada uma das variáveis. Podemos verificar que a coluna observações apresenta o número total de observações (779), o número total de países (19) e o número total de períodos (41).

Segundo Fávero et al (2014), a variável dependente e os regressores podem variar simultaneamente ao longo do tempo e entre os indivíduos. A variação ao longo do tempo e entre indivíduos é conhecida como *Within Variance*, a variação entre indivíduos é

conhecida como *Between Variance* e a variação entre todo o conjunto de dados é conhecida como *Overall*.

TABELA 6 – Decomposição de variância para cada variável

	Variável	Média	Desvio Padrão	Mín	Máx	Observações
Id	Overall	110	5,480745	101	119	N = 779
	Between		5,627314	101	119	n = 19
	Within		0	110	110	T = 41
Year	Overall	1990	11,83976	1970	2010	N = 779
	Between		0	1990	1190	n = 19
	Within		11,83976	1970	2010	T = 41
Co	Overall	1,870847	1,411784	0,25	7,63	N = 779
	Between		1,389751	0,563415	6,036341	n = 19
	Within		0,4012806	0,184506	3,464506	T = 41
Pop	Overall	2,25E+07	3,63E+07	1525683	1,95E+08	N = 779
	Between		3,61E+07	2531248	1,48E+08	n = 19
	Within		8797770	-2,95E+07	6,97E+07	T = 41
Pippc	Overall	2456,477	2161,201	220,85	13559,13	N = 779
	Between		1278,557	791,1749	4861,399	n = 19
	Within		1766,388	-1087,732	11894,47	T = 41
Popea	Overall	57,87838	5,075552	49,15	70,25	N = 779
	Between		3,749988	51,9578	64,82415	n = 19
	Within		3,52446	48,54082	66,55082	T = 41
Areaagr	Overall	40,38772	17,35829	13,99	87,28	N = 779
	Between		17,39388	16,18415	85,33122	n = 19
	Within		3,783944	27,61284	52,31284	T = 41
Urbp	Overall	0,628909	0,1607325	0,29	0,94	N = 779
	Between		0,1510739	0,402683	0,886585	n = 19
	Within		0,0646918	0,461836	0,830372	T = 41

Fonte: elaboração própria

Podemos verificar que a variável *id* (país) não varia ao longo do tempo e nem entre indivíduos e, por este motivo, *Within Variance* é igual a zero. Já a variável *year*

(ano) é invariável ao longo do tempo, mas pode variar entre os indivíduos, logo *Between Variance* é zero.

Para as demais variáveis, podemos observar que tanto *Within* quanto *Between Variance* são diferentes de zero, apresentando variações ao longo do tempo e entre os países. No caso da variável CO, o desvio padrão é mais elevado entre os países do que para cada país ao longo do tempo. Já na variável de área agrícola ocorre o contrário, ou seja, o desvio padrão é mais elevado em cada país ao longo do tempo do que entre os países, o que pode trazer uma homogeneidade, pois a distância dos dados é menor, eles estão mais próximos e menos dispersos.

Na próxima seção serão apresentados os resultados obtidos para cada um dos modelos estimados.

4.1 RESULTADOS DOS MODELOS

O objetivo desta seção é apresentar e analisar e comparar os resultados obtidos através da estimação dos quatro modelos, para tanto esta seção foi dividida em 4 subseções.

4.1.1 Modelo sem efeitos fixos

Na tabela 7 podemos verificar os resultados obtidos para o modelo sem efeitos fixos. Podemos observar que todas as variáveis são estatisticamente significativas ao nível de 1%. População economicamente ativa e área agrícola exercem um papel de não estimuladores de emissão de CO₂, pois um aumento de 1% no valor dessas variáveis faz a emissão cair em 1,58 e 0,155% respectivamente. Silva et al e Liddle (2011), que estimaram um modelo sem efeitos fixos em sua pesquisa, também obtiveram um resultado negativo para a população, porém os autores a dividiram em 3 faixas e na faixa intermediária (35 a 49 anos) houve influência positiva sobre a emissão de CO₂.

As variáveis população total e população urbana foram as que apresentaram os mais resultados, já a renda é estatisticamente significativa, porém sua variação não ocasiona grandes aumentos na emissão de CO₂.

Na pesquisa de Silva et al (2011), a população urbana também se destacou como um dos principais indutores de emissão de CO₂ por utilização de combustíveis fósseis para os países sul-americanos, confirmando a ideia de que países em desenvolvimento apresentam elevado potencial poluidor dado um nível tecnológico atrasado e ineficiente.

TABELA 7 – Modelo sem Efeitos Fixos

Source	SS	df	MS			
Model	1894,1317	5	378,826			
Residual	124,029402	773	0,16045			
Total	2018,1611	778	2,59404			
Lcot	coef.	Std. Err.	T	P > t	[95% Conf. Interval]	
Lpibpc	0,278089	0,03031	9,17	0,000	0,2185851	0,33759
Lpopt	1,047448	0,01567	66,84	0,000	1,016684	1,07821
Lpopea	-1,581567	0,31547	-5,01	0,000	-2,200846	-0,9623
Lurbp	1,819622	0,10025	18,15	0,000	1,622828	2,01642
Lareaagr	-0,1553082	0,03555	-4,37	0,000	-0,2251028	-0,0855
_cons	5,409167	1,28991	4,19	0,000	2,877019	7,94132
R ²	0,9385					
R ² ajustado	0,9381					
Observações	779					

Fonte: elaboração própria

4.1.2 Modelo com efeitos fixos para países

Ao fixarmos os efeitos para os países podemos verificar através da tabela 8 que, as variáveis PIB *per capita* e população economicamente ativa tiveram uma redução significativa em seus coeficientes em comparação com o primeiro modelo, o que pode indicar que, no modelo de efeitos fixos para os países, são levadas em consideração as diferenças individuais dos países que são comuns para todo o período, como por exemplo a geografia, o que não é captado no 1º modelo.

No modelo de efeitos fixos estimado por Liddle e Lung (2010), os autores também verificaram que, ao dividirmos a população em faixas etárias podemos verificar que

alguns grupos podem influenciar negativamente na emissão de CO₂. Em seu estudo, os autores dividiram a população dos países integrantes da OCDE em faixas etárias (20-34, 35-49, 50-69 e acima de 70 anos) e através do STIRPAT testaram quais faixas influenciavam positiva e negativamente na emissão de CO₂ proveniente do transporte e consumo de energia elétrica.

O resultado encontrado para o transporte foi que somente a primeira faixa etária influenciou positivamente sobre a emissão de CO₂ as demais influenciaram negativa, isto é, quanto maior a população com idade superior a 34 anos menor a emissão de CO₂ para o transporte. No consumo de energia elétrica residencial a estrutura etária apresentou formato de U onde os mais jovens e os mais velhos consomem mais e os de meia idade consomem menos contribuindo para uma menor emissão de CO₂.

Assim como no 1^a modelo, as variáveis população e população urbana foram as maiores e mais significativas do modelo e como visto anteriormente nos gráficos expostos, a população dos países da América Latina tem crescido nos últimos anos o que também corrobora para uma maior emissão CO₂.

TABELA 8 – Modelo com Efeitos Fixos para países

Source	SS	df	MS			
Model	1994,441	23	86,7148			
Residual	23,720077	755	0,03142			
Total	2018,1611	778	2,59404			
Lcot	coef.	Std. Err.	t	P > t	[95% Conf. Interval]	
Lpibpc	0,1210927	0,01916	6,32	0,000	0,08348	0,15871
Lpopt	0,7041796	0,08312	8,47	0,000	0,54101	0,86735
Lpopea	-0,7417052	0,21634	-3,43	0,001	-1,1664	-0,317
Lurbp	1,755972	0,14462	12,14	0,000	1,47207	2,03987
Lareaagr	0,1330969	0,07615	1,75	0,081	-0,0164	0,28259
_cons	8,242884	1,32103	6,24	0,000	5,64955	10,8362
R ²	0,9882					
R ² ajustado	0,9872					
Observações	779					

Fonte: elaboração própria

4.1.3 Modelo com efeitos fixos para anos

Ao compararmos os resultados obtidos na tabela 9 com os da tabela 7, podemos observar que o coeficiente de PIB *per capita* apresentou significativa elevação em comparação com o modelo sem efeitos fixos, pois o modelo de efeitos fixos para o tempo leva em conta as diferenças individuais que são específicas em cada período, mas que são comuns para todo os países, um exemplo disso são as crises.

A crise do Petróleo ocorreu ao longo das décadas de 1970 e 1980 e, em resumo, foi quando descobriu-se que o recurso era escasso e poderia esgotar-se, com isso a oferta diminuiu e o preço aumentou significativamente, pode ter afetado os resultados deste modelo. Outra crise que afetou a América Latina na década de 1980 e que pode ter influenciado nos resultados é a Crise da Dívida Externa que começou com a moratória do México em 1982 e se espalhou para os demais países do grupo devido ao alto grau de endividamento. Logo, acontecimentos como esses podem afetar modelos de efeitos fixos para o tempo.

Novamente população total e população urbana apresentam os maiores resultados, estes permaneceram praticamente constantes em comparação ao primeiro modelo.

TABELA 9 – Modelo com Efeitos Fixos para anos

Source	SS	df	MS			
Model	1924,8422	45	42,7743			
Residual	93,318889	733	0,12731			
Total	2018,1611	778	2,59404			
Lcot	coef.	Std. Err.	t	P > t	[95% Conf. Interval]	
Lpibpc	0,5433966	0,03366	16,14	0,000	0,47732	0,60947
Lpopt	1,055856	0,01399	75,46	0,000	1,02839	1,08333
Lpopea	-0,6163371	0,29723	-2,07	0,038	-1,1999	-0,0328
Lurpb	1,360587	0,95499	14,25	0,000	1,1731	1,54807
Lareaagr	-0,1334488	0,03174	-4,2	0,000	-0,1958	-0,0711
_cons	-0,3107322	1,24855	-0,25	0,804	-2,7619	2,14043
R ²	0,9538					
R ² ajustado	0,9509					
Observações	779					

Fonte: elaboração própria

4.1.4 Modelo com efeitos fixos para países e anos

Assim como no modelo sem efeitos fixos, no quarto modelo, onde fixamos os efeitos para países e anos, temos como resultado que a população total e população urbana exercem um grande impacto sobre a emissão de CO₂. Segundo Cole e Neumayer (2004), o processo de urbanização presente nos países em desenvolvimento requer que haja uma relação positiva com a emissão de gases poluentes uma vez que os países ainda não possuem infraestrutura eficiente e pouco emissora de CO₂.

Assim como no 2º modelo, a área agrícola apresentou efeito positivo, embora pequeno, sobre a emissão de dióxido de carbono, ou seja, um aumento de 1% na área agrícola ocasiona um aumento de 0,34% na emissão de CO₂. Já a variável população economicamente ativa apresentou uma queda em relação ao primeiro modelo o que pode significar que alguma característica individual dos países não foi levada em consideração no modelo sem efeitos fixos.

Podemos observar também através do R² que este modelo é o que melhor explica a relação entre a emissão total de CO₂ e as variáveis explicativas com o coeficiente de 99,12%.

TABELA 10 – Modelo com Efeitos Fixos para países e anos

Source	SS	Df	MS			
Model	2000,37	63	31,7519			
Residual	17,7912	715	0,02488			
Total	2018,16	778	2,59404			
Lcot	coef.	Std. Err.	T	P > t	[95% Conf. Interval]	
Lpibpc	0,23086	0,2526	9,14	0,000	0,18127	0,28046
Lpopt	1,21242	0,09415	12,88	0,000	1,02757	1,39727
Lpopea	-0,5835	0,20118	-2,9	0,004	-0,9785	-0,1885
Lurbp	1,88139	0,12952	14,53	0,000	1,6271	2,13568
Lareaagr	0,34339	0,69916	4,91	0,000	0,20613	0,48066
_cons	-2,4411	1,73401	-1,41	0,160	-5,8455	0,96327
R ²	0,9912					
R ² ajustado	0,9904					
Observações	779					

Fonte: elaboração própria

O último modelo pode ser considerado o melhor para verificarmos a relação existente entre a variável dependente e as variáveis independentes, pois os fatores não observados ao longo do tempo e para os países que poderiam acarretar em conclusões errôneas para a emissão total de CO₂ foram removidos através da utilização do método de efeitos fixos.

Confrontando os quatro modelos, podemos observar que as variáveis população total e população urbana podem ser consideradas as principais indutoras de impacto ambiental para os países da América Latina. Já a variável população economicamente ativa exerce um impacto negativo na emissão de CO₂ para esses países, o que de certa forma é um ponto positivo, pois grande parte da população destes países encontra-se nessa faixa etária.

Em comparação aos resultados de outros pesquisadores, e ao fato de que não existem estudos para a região abordada neste estudo, podemos considerar os resultados desta pesquisa satisfatórios, uma vez que os países da América Latina passam por processo de desenvolvimento econômico e isso acarreta em emissões de CO₂ superiores.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa utilizou o modelo STIRPAT para verificar quais são os principais indutores de impacto ambiental para os países da América Latina no período de 1970 a 2010. O modelo STIRPAT foi escolhido por ter sido utilizado por diversos pesquisadores para efetuar a análise de indutores de impacto ambiental e também por ser possível através dele estimar elasticidades, ou seja, quanto da variação percentual do impacto ambiental é explicado pelos indutores.

Para realização desta pesquisa, foram estimados quatro modelos para verificação de quais variáveis poderiam ser consideradas indutoras de emissão total de CO₂ para o grupo de países da América Latina. Um aspecto inovador deste estudo foi a região escolhida, pois não haviam estudos publicados sobre indutores de impacto ambiental para esta região.

Após a estimação dos quatro modelos propostos foi possível verificar que população total e urbana podem ser considerados os principais indutores de impacto ambiental para os países da América Latina.

Países em desenvolvimento, que é o caso dos países presentes neste estudo, passam por um processo de urbanização o que acarreta na maior geração de impactos ambientais, já que neste primeiro momento o foco está no crescimento econômico sem a medição dos impactos ambientais que as ações poderão ocasionar, diferentemente daqueles países que já são desenvolvidos e com uma economia sólida e que podem realizar ações para preservação do meio ambiente.

Um dos resultados que chamou atenção neste estudo foi, que diferentemente do que se imaginava, a população economicamente ativa apresentou comportamento negativo como indutor de impacto ambiental, ou seja, uma elevação dessa variável gerou uma redução na emissão de CO₂. De modo geral este estudo alcançou seu objetivo que era verificar e analisar através da utilização do modelo STIRPAT se, de acordo com o comportamento das variáveis escolhidas poderíamos considera-las indutores de impacto ambiental, ou seja, estimuladoras da emissão total CO₂.

Para pesquisas futuras, o objetivo é realizar uma análise dos países individualmente e fazer uma análise comparativa com outros países como os da OCDE, com países desenvolvidos e em desenvolvimento, entre outros. É conveniente também o uso de outros métodos que possam auxiliar no debate dos indutores de impacto ambiental,

pois estes estudos poderão ser utilizados para a elaboração de políticas públicas de longo prazo que tenham como objetivo diminuir os impactos da atividade humana sobre o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ÁVILA, E. S. **Evidências sobre a curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões**. Universidade de São Paulo, Dissertação (Mestrado), Ribeirão Preto, 2011.
- BARKIN, D. State control of the environment: politics and degradation in Mexico. **Capitalism Nature Socialism**. v.2, p. 86-108, 1991.
- BIGOSSI, A. **Ecologia humana: enfoque das relações homem-ambiente**. p. 121-132, 1993. Disponível em:
http://www.ppgcb.unimontes.br/file.php/1/DocsSelecao/Ana_Th%C3%A9-5.pdf.
 Acesso em: 27.08.2015.
- CARSON, R. **Silent Spring**. New York, Mariner Books.2002
- CAVIGLIA- HARRIS, J. L; CHAMBERS, D;KAHN, J. R. **Taking the “U” out of Kuznets: A comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation**. *Ecological Economics*, v. 69, p. 1149 – 1159, fev.2009.
- COLE, M., Neumayer, E., 2004. **Examining the impact of demographic factors on air pollution**. *Population and Environment* 26 (1), 5e21.
- COMMONER, B. The environmental cost of economic growth. **Resources and the Environment**, Washington DC, p. 339-63, 1972.
- DIETZ, T; ROSA, E.A. Effects of population and affluence on CO2 emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA** v.94, n.1, p. 175-9, 7.jan.1997.
- DIETZ, T; ROSA, E.A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. **Human Ecology Review**, v.1, p. 277-300, 1994.
- DIETZ, T; ROSA, E.A; YORK, R. Driving the human ecological footprint. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington DC, v.5, p. 13-8, 2007.
- DINDA, S; COONDOO, D; PAL M. **Air quality and economic growth: an empirical study**. *Ecological Economics*, v. 3, p. 409-433, set.2000.
- EHRlich, P.R.; HOLDREN, J.P. **Impact of population growth**. *Science*, v.171, n.3977, p. 1212-17, 26 mar.1971.
- FÁVERO, L (org.). et al. **Métodos quantitativos com Stata**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 223 – 242.
- GODOY, A.M.G. **O Clube de Roma - Evolução histórica**. Disponível em:
www.cefetsp.br/edu/geo/cluberoma.doc. Acesso em: 27.08.2015.

GOMES, P.R. **Indicadores ambientais na discussão da sustentabilidade: uma proposta de análise estratégica no contexto do etanol de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.** Universidade de São Paulo, Dissertação (Mestrado), São Carlos, 2011.

GROSSMAN, G.M., KRUEGER, A.B. **Economic growth and the environment.** The Quarterly Journal of Economics, vol. 110, n. 2, p. 353-377, maio.1995.

HILTON, F.G.H; LEVINSON,A. **Factoring the Environmental Kuznets Curve: Evidence from Automotive Lead Emissions.** Journal of Environmental Economics and Management, p. 125-141, 1998.

JACOBI, P.R. **Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo.** Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 233-250, maio/ago. 2005

KEYFITZ, N. Population and development within the ecosphere: one view of the literature. **Population Index**, vol. 57, p. 5-22, 1991.

LIDDLE, B. Consumption-driven environmental impact and age structure change in OECD countries: A cointegration-STIRPAT analysis. **Demographic Research**. V.23, p. 749-768, 2011.

LIDDLE, B. Population, affluence, and environmental impact across development: Evidence from panel cointegration modeling. **Environmental Modelling & Software**. V. 40, p. 255-266, 2013.

LIDDLE, B. What are the carbon emissions elasticities for income and population? Bridging STIRPAT and EKC via robust heterogeneous panel estimates. **Global Environmental Change**. V. 31, p. 62-73, 2015.

LIDDLE, B., Lung, S., 2010. **Age structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts.** Population and Environment, 31, 317 e 343.

MALHEIROS, T.F. et al. **Agenda 21 Nacional e Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: contexto brasileiro.** São Paulo: Saúde Sociedade São Paulo. V.17, n.1, p. 7-20, 2008.

MATTOS, E.J. Desenvolvimento e meio ambiente: o papel dos indutores de impacto. Porto Alegre: PPE/UFRGS, 2012. (Dissertação de Doutorado)

O' CONNOR, J. Capitalism, nature, socialism: a theoretical introduction. **Capitalism Nature Socialism**. v.1, p. 11-38, 1988.

RIDKER, R.G. Population, resources and the environment. Washington DC, 377 p, 1972.

_____. Resource and environmental consequences of population and economic growth. **World population and development: challenges and prospects**, p 99-123, 1979

_____. Population Issues. **Resources Winter**, p. 11-14, 1992.

RIDKER, R.G.; CECELSKI, E.W. Resources, environment and population: the nature of future limits. **Population Bulletin**, v.34, ed. 3, p. 1-43, 1979.

SILVA, F.F. et al. Determinantes da emissão de CO₂ por uso de combustíveis fósseis para países sul-americanos, a partir da abordagem STIRPAT. **IX Encontro da sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. Brasília, 2011.

SIMON, J.L. The ultimate resource. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1981.

THE WORLD BANK. Disponível em: <http://data.worldbank.org/>. Acesso em: 07.05.2015.

WOOLDRIDGE, M. J. Introdução à econometria: uma abordagem moderna. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

World Commission On Environment and Development. Our common future. Oxford, Oxford Press, 1987.

YORK, R; ROSA, E.A; DIETZ, T. Bridging environmental Science with environmental policy: plasticity of population, affluence, and technology. **Social Science Quarterly**, v.83, p. 18-34, 2002.

YORK, R; ROSA, E.A; DIETZ, T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the Driving forces of environmental impacts. **Ecological Economics**, v.46, p. 351-365, 2003.

ZHU, Q; PENG, X. The impacts of population change on carbon emissions in China during 1978 - 2008. **Environmental Impact Assessment Review**. V. 36, p. 1-8, 2012.

ANEXO

TABELA 1 - Multiplicador de tecnologia para as emissões nacionais de CO₂

País	Multiplicador de Tecnologia	País	Multiplicador de Tecnologia	País	Multiplicador de Tecnologia
Argélia	0,87	Grécia	1,22	Paquistão	1,78
Angola	0,81	Guatemala	0,56	Panamá	0,48
Argentina	1,54	Guiné	0,63	Papua Nova Guiné	0,76
Austrália	1,60	Haiti	0,59	Paraguai	0,47
Austria	0,77	Honduras	0,58	Peru	0,62
Bangladesh	0,84	Hungria	1,56	Filipinas	0,81
Bélgica	1,07	India	1,14	Polónia	4,11
Benin	0,90	Indonésia	1,05	Portugal	0,63
Butão	0,47	Irã	0,56	Ruanda	0,27
Bolívia	1,62	Irlanda	0,86	Arábia Saudita	1,58
Botswana	0,46	Israel	0,76	Senegal	0,99
Brasil	0,24	Itália	0,50	Serra Leoa	2,01
Bulgária	5,75	Jamaica	1,08	Singapura	1,36
Burkina Faso	0,56	Japão	0,62	Somália	2,19
Burundi	0,58	Jordânia	2,74	África do Sul	2,11
Camarões	0,59	Quênia	1,46	Espanha	0,41
Canadá	1,75	Coreia do Sul	0,56	Sri Lanka	1,05
República Centro-Africana	0,41	Kuweit	1,57	Suécia	0,86
Chade	0,56	República Popular do Laos	1,22	Suíça	0,98
Chile	0,97	Líbia	1,22	República Árabe Síria	2,75
China	1,74	Madagáscar	0,84	Tanzânia	1,47
Colombia	1,09	Malavi	1,06	Tailândia	0,78
Congo	0,85	Malásia	0,93	Togo	0,92
Costa Rica	0,37	Mali	0,37	Trinidad	2,96
Cote d'Ivoire	1,55	Mauritânia	5,36	Tunísia	1,66
Tchecoslováquia	2,94	Mauritius	0,47	Turquia	1,19
Dinamarca	1,07	México	0,70	Uganda	0,32
República Dominicana	1,16	Marrocos	2,07	Emirados Árabes Unidos	3,72
Equador	1,59	Moçambique	1,02	Reino Unido	0,70
Egito	2,62	Nepal	0,62	Estados Unidos	0,95
El Salvador	0,40	Netherland	0,85	Uruguai	0,51
Etiópia	0,68	Nova Zelândia	0,81	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas	0,61
Finlândia	1,33	Nicarágua	0,76	Venezuela	1,49
França	0,50	Níger	1,24	Jugoslávia	1,14
Gabão	1,40	Nigéria	3,78	Zaire	0,70
Alemanha	0,85	Noruega	1,50	Zâmbia	0,83
Gana	1,33	Oman	0,93	Zimbábue	4,87

Fonte: adaptado de Dietz e Rosa (1997)

TABELA 4 – População, consumo e as emissões de carbono na China (1978-2008).

Ano	Emissão de Carbono (MtC)*	Tamanho da População (mi)	Taxa de Urbanização (%)	Proporção de população em idade ativa (%)	Tamanho da família (nº de pessoas)	Despesa <i>per capita</i>
1978	40,768.9	96,259	17.92	59.50	4.66	740
1979	41,648.9	97,542	18.96	60.00	4.65	791
1980	40,698.6	98,705	19.39	60.50	4.61	862
1981	40,292.5	100,072	20.16	61.00	4.54	934
1982	43,122.8	101,654	21.13	61.50	4.51	997
1983	45,468.6	103,008	21.62	62.37	4.46	1079
1984	49,433.6	104,357	23.01	63.24	4.41	1207
1985	53,587.3	105,851	23.71	64.12	4.33	1370
1986	56,348.0	107,507	24.52	64.99	4.24	1435
1987	60,123.0	109,300	25.32	65.86	4.15	1520
1988	64,445.3	111,026	25.81	66.15	4.05	1638
1989	65,473.6	112,704	26.21	66.45	3.97	1635
1990	65,855.4	114,333	26.41	66.74	3.93	1695
1991	69,147.7	115,823	26.94	66.30	3.89	1842
1992	72,143.5	117,171	27.46	66.20	3.85	2086
1993	77,019.8	118,517	27.99	66.70	3.81	2262
1994	81,807.1	119,850	28.51	66.60	3.78	2367
1995	88,471.7	121,121	29.04	67.20	3.74	2553
1996	92,597.1	122,389	30.48	67.20	3.72	2793
1997	91,486.8	123,626	31.91	67.50	3.64	2919
1998	86,614.1	124,761	33.35	67.60	3.63	3091
1999	90,501.7	125,786	34.78	67.70	3.58	3346
2000	92,886.8	126,743	36.22	70.15	3.44	3632
2001	95,144.0	127,627	37.66	70.40	3.42	3855
2002	100,957.7	128,45	39.09	70.30	3.39	4125
2003	118,724.4	129,22	40.53	70.40	3.38	4415
2004	139,067.5	129,98	41.76	70.92	3.31	4773
2005	153,424.4	130,75	42.99	72.04	3.24	5142
2006	166,458.9	131,44	43.90	72.32	3.17	5636
2007	180,165.9	132,12	44.94	72.53	3.17	6239
2008	192,268.7	132,80	45.68	72.80	3.16	6782

*MtC refere-se a milhões de toneladas de carbono

Fonte: adaptado de Zhu e Peng (2012)