

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Johannes Scharmann Niederauer

Poluição, Tecnologia e Desenvolvimento

Florianópolis

2022

Johannes Scharmann Niederauer

Poluição, Tecnologia e Desenvolvimento

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Ciências
Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a obtenção do grau em bacharelado.
Orientador: Prof. Dr. Gilson Geraldino da Silva Júnior

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Niederauer, Johannes Scharmann
Poluição, tecnologia e desenvolvimento / Johannes
Scharmann Niederauer ; orientador, Gilson Geraldino da
Silva Júnior, 2022.
43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio
Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Emissão de gás carbônico. 3.
Consumo de energia elétrica. 4. Desenvolvimento
sustentável. I. Júnior, Gilson Geraldino da Silva. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Ciências Econômicas. III. Título.

Johannes Scharmann Niederauer

Poluição, Tecnologia e Desenvolvimento

Florianópolis, 18 de julho de 2022.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Gilson Geraldino da Silva Júnior
UFSC

Prof^ª. Dra. Liana Bohn
UFSC

Prof. Dr. Ronivaldo Steingraber
UFSC

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Economia por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

Prof. Dr. Gilson Geraldino da Silva Júnior
Orientador(a)

Florianópolis, 2022

AGRADECIMENTOS

Primeiro gostaria de agradecer aos meus pais, que durante o curso mesmo diante das dificuldades me apoiaram durante a jornada, talvez nunca tenha a chance de retribuir tudo o que fizeram por mim, mas serviram de exemplo para mim do que é se dedicar por um filho, sei que poderia ter me esforçado mais em diversas ocasiões, mesmo assim sempre me apoiaram durante toda a vida com o que podiam. Quero agradecer também aos meus dois irmãos pela presença na minha vida e apoio durante os tempos difíceis.

Também quero deixar um agradecimento em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Gilson Geraldino da Silva Júnior, que apesar de todos os transtornos e problemas ocorridos durante o processo de criação desse trabalho me ajudou em muitos momentos, seja com a escolha do tema, orientação e muito mais com a paciência que teve comigo, diversas vezes enquanto estava nessa etapa final do curso me senti perdido e sem saber o que fazer, agradeço ao professor por estar sempre disposto a ajudar quando precisei.

Deixo um agradecimento também a UFSC pela oportunidade de ter cursado Ciências Econômicas, e todos os professores do centro.

Um agradecimento aos meus amigos por escutarem reclamando das coisas, me apoiarem e incentivarem a fazer as coisas, assim como pelo tempo que passamos juntos descontraindo que é essencial para conseguir manter a calma e se formar.

RESUMO

Estudos contradizem a eficiência das conferências que buscam reduzir os impactos no meio ambiente para atingir seu objetivo em desenvolvimento sustentável e redução do consumo de energia fóssil, principalmente por conta da sazonalidade existente na produção de energia das fontes renováveis. Este trabalho tem como objetivo geral verificar se países mais desenvolvidos fazem mais uso de energia limpa e produzem menos dióxido de carbono. Para tal análise foi realizado uma revisão da literatura em relação ao desenvolvimento sustentável e criar argumentação para o uso das variáveis selecionadas. Os resultados obtidos sugerem que países considerados de alta renda pelo Banco Mundial possuem uma correlação positiva com a emissão de dióxido de carbono, e os dados de crescimento de PIB per capita além de apresentar uma correlação positiva tiveram significância no modelo. Enquanto o consumo de energia fóssil apresentou um aumento considerável do longo prazo para o médio prazo, indo contra o esperado nas conferências que tem como foco a preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; Consumo de energia; Poluição.

ABSTRACT

Studies contradict the efficiency of conferences that seek to reduce impacts on the environment to achieve their goal of sustainable development and reduction of fossil energy consumption, mainly due to the seasonality existing in the production of energy from renewable sources. This work has as general objective to verify if more developed countries make more use of clean energy and produce less carbon dioxide. For this analysis, a literature review was carried out in relation to sustainable development and the creation of arguments for the use of the selected variables. The results obtained suggest that countries considered high income by the World Bank have a positive correlation with the emission of carbon dioxide, and the GDP growth data per capita, in addition to presenting a positive correlation, were significant in the model. While the consumption of fossil energy showed a considerable increase from the long term to the medium term, going against what was expected in conferences that focus on the preservation of the environment and sustainable development.

Keywords: Sustainable development; Energy consumption; Pollution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Correlação do Médio Prazo	28
Figura 2: Correlação do Longo Prazo	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dummy de Região.....	16
Tabela 2: Dummy de Renda dos Países	16
Tabela 3: Variáveis utilizadas no médio prazo	17
Tabela 4: Variáveis utilizadas no longo prazo	18
Tabela 5: Estatísticas do Médio Prazo	26
Tabela 6: Regressão do Médio Prazo Utilizando Método MQO	30
Tabela 7: Estatísticas do Longo Prazo	32
Tabela 8: Regressão do Longo Prazo Utilizando Método Efeitos Fixos	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNUMAD Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

IEA Agência Internacional de Energia

Rio+20 Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável

CO₂ Dióxido de Carbono

COP-26 A Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de 2021

NAFTA Tratado Norte-Americano de Livre Comércio

MQO Mínimos Quadrados Ordinários

PPC Paridade de Poder de Compra

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	METODOLOGIA.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	CURVA DE KUznets	19
2.2	CONSUMO DE ENERGIA	20
2.3	TECNOLOGIA.....	22
2.4	A Poluição e o desenvolvimento	23
3	MÉDIO PRAZO	25
3.1	ESTATÍSTICAS DO MÉDIO PRAZO.....	25
3.2	MATRIZ CORRELAÇÃO DO MÉDIO PRAZO	26
3.3	REGRESSÃO DO MÉDIO PRAZO	28
4	LONGO PRAZO	31
4.1	ESTATÍSTICAS DO LONGO PRAZO.....	31
4.2	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DO LONGO PRAZO.....	32
4.3	REGRESSÃO DO LONGO PRAZO	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
	REFERÊNCIAS.....	38
	APÊNDICE A – Tabela Complementar de Estatísticas do Médio Prazo.....	40
	APÊNDICE B – Tabela Complementar de Estatísticas do Longo Prazo.....	41
	APÊNDICE C – Matriz de Correlação do Médio Prazo.....	42
	APÊNDICE D – Matriz de Correlação do Longo Prazo	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

A Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, foi um marco importante para a preocupação com o meio ambiente, a conferência colocou os problemas ambientais como um desafio coletivo, ou seja, era necessário delimitar princípios comuns aos quais os países usariam para elaborar suas políticas ambientais com foco na preservação ambiental. Anterior a conferência era comum a crença de que os recursos naturais eram inesgotáveis e o planeta conseguiria sustentar qualquer impacto provindo da ação humana. O resultado da conferência teve como foco a premissa de que os governos e pessoas do mundo tem a responsabilidade de proteger o ambiente para as futuras gerações, sendo assim, durante a conferência foi estabelecimento o dia mundial do meio ambiente em 5 de junho, que teria como objetivo a realização de atividades a nível mundial para demonstrar e reafirmar a preocupação dos países com o melhoramento do meio ambiente, e aumentar a consciências das pessoas com a importância da preservação.

Após 20 anos, em 1992, foi realizado a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), ou Rio-92, que foi responsável por consolidar o conceito de desenvolvimento sustentável que foi proposto em 1987 no relatório Our Common Future, o qual tinha como objetivo superar o conflito existente entre desenvolvimento e proteção ambiental. Assim a conferência teve como um dos pontos de destaque colocar o desenvolvimento sustentável como uma das metas que os países deveriam alcançar, segundo o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (2006). O evento teve como resultado cinco importantes acordos, com dois sendo acordos de cumprimento obrigatório, e os outros são acordos sem vinculação jurídica, ou seja, seu cumprimento depende do governo dos mais de 170 países que assinaram.

A Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, ou Rio+20, foi realizada em 2012 e teve como objetivos a renovação dos compromissos políticos dos países com o desenvolvimento sustentável, analisar o progresso feito desde a Rio-92 e estabelecimento de objetivos para os anos seguintes. Um dos objetivos em destaques discutidos na Rio+20 é o combate à pobreza. Segundo Fouquet (2016) o acesso à energia barata é crucial para a redução da pobreza, levando em consideração a afirmação, pode-se dizer que o aumento da eficiência energética contribui para a redução da pobreza, o fator do acesso à energia mostra-se de extrema importância quando analisando o número de pessoas sem acesso à energia. Segundo o Banco

Mundial (2019) o número de pessoas sem energia era de aproximadamente 840 milhões, embora tenha ocorrido uma redução considerável em relação ao ano 2010 quando o número estimado eram de 1,2 bilhões de pessoas.

No documento final da conferência Rio+20, O Futuro que nós Queremos, existe o reconhecimento de que durante os 20 anos desde a Rio-92 existiram áreas que não progrediram como planejado ou que até mesmo pioraram como resultado de múltiplas crises financeiras, econômicas, alimentares e energéticas, as quais teriam prejudicado a habilidade dos países, principalmente dos desenvolvidos de alcançar o desenvolvimento sustentável. Esse ponto mais uma vez entra em destaque esse ano, 2021, quase uma década após a Rio+20 e com uma crise energética ocorrendo além dos problemas relacionados a uma epidemia que ainda se mantém, assim fica questionável a capacidade dos países de cumprirem com os acordos, e como destaque dessa questão se encontra a recente Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, a qual China, Estados Unidos da América, Austrália, Índia e outros países rejeitam o acordo de acabar com o uso de carvão.

A Agência Internacional de Energia (IEA) elaborou um relatório de como zerar a emissão de gases de efeito estufa até o ano de 2050, segundo IEA (2021) para alcançar o objetivo o desenvolvimento e implementação de tecnologias de energia limpa é essencial para alcançar o objetivo até 2050, considerando que o setor é responsável por três quartos dos gases de efeito estufa emitidos. Mas o objetivo de zero emissão fica questionável quanto sua possibilidade quando consideramos que na COP-26 há países se recusando a acabar com o uso do carvão, outras premissas necessárias para alcançar o objetivo não parecem ser realistas, tais como até 2030 triplicar o aumento anual médio da eficiência energética comparado com as duas décadas anteriores, para alcançar uma economia até 40% maior que atual e consumindo 7% menos energia do que hoje. Com uma crise energética ocorrendo e uma população gigante sem acesso à energia no mundo, assumir que até o ano de 2050 consiga-se suprir uma economia maior e com menos energia não passa muita credibilidade.

Levando em consideração a importância desses temas, o consumo de matrizes energéticas fósseis e emissão de dióxido de carbono (CO₂), o presente trabalho pretende analisar nos países a redução de ambos durante o período de 1960 e 2010, e verificar se os países que possuem maior exportação de tecnologias, maior número de geração de patentes e outras variáveis que envolvem tecnologia, ou seja, considerados mais desenvolvidos, apresentam um avanço mais expressivo na diversificação de matrizes energética e redução de emissão de CO₂.

Considerando a premissa da zera a emissão de gás de efeito estufa com energia limpa até 2050, este trabalho pode ser utilizado para avaliar a velocidade com a qual os países transformaram de energia fóssil para limpa nas últimas décadas e o crescimento da velocidade de conversão, para assim analisar a possibilidade da ocorrência dessa meta.

1.2 OBJETIVOS.

Os objetivos deste trabalho podem ser divididos em objetivos gerais e específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral, pretende-se analisar o impacto que o desenvolvimento econômico e as mudanças tecnológicas no setor energético tiveram na emissão de dióxido de carbono (CO₂) ao longo das últimas décadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Revisar a literatura para compreender a ligação entre o desenvolvimento econômico, o consumo de energia elétrica e a emissão de gás carbônico;

b) Utilizar os dados do Banco Mundial para criação de dois períodos a serem analisados, médio e longo prazo, e utilizar de correlação e regressão para analisar e discutir os resultados;

1.3 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas o assunto da poluição tomou cada vez mais espaço nos debates, e sua importância se destacou ao ponto de que os países criam conferência, onde se reúnem para projetar metas com objetivo de amenizar o impacto humano na natureza, tendo em vista o amplo assunto que é a poluição o recente trabalho teve como foco estudar a emissão dióxido de carbono, pois os impactos na camada de ozônio e efeito estufa são assuntos vem ganhando uma importância muito grande em decorrência da aceleração das mudanças climáticas.

Para estudar a reação dos países quanto a emissão dióxido de carbono levou se em consideração durante o trabalho outros assuntos que têm relevância no cenário da poluição,

como o desenvolvimento e o consumo energético, pois ambos são alvo de destaque sempre que ocorre conferências sobre preservação ambiental, poluição e climáticas.

Então tendo em vista a relevância dos debates mostra-se necessário analisar o progresso que os países vem fazendo para a redução de atividades que geram alta poluição, como o consumo de energia provindo de matrizes fósseis, assim como o impacto do desenvolvimento econômico sobre a emissão dióxido de carbono, pois existem países como a China que estão passando por um processo acelerado de desenvolvimento econômico, e outros países em desenvolvimento que ainda estão em um processo de conectar suas pessoas a rede elétrica e expandindo seu parque industrial.

1.4 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como objetivo aprofundar no assunto de poluição, energia e desenvolvimento, então conforme Pradanov e Freitas (2013) o trabalho se caracteriza inicialmente com uma natureza aplicada pois além da releitura da literatura foi realizado durante a pesquisa a coleta de dados do Banco Mundial com objetivo de identificar e testar se os argumentos e conclusões dos autores condizem com os dados, o que pode auxiliar nas discussões sobre os objetivos realmente importante a se focar para alcançar as metas de emissão de CO₂ zero.

Quanto ao método científico utilizado durante a pesquisa que melhor se enquadra é o dedutivo, pois durante o trabalho parte de uma premissa geral para chegar ao particular utilizando de conhecimento prévio já existente. O objetivo do estudo pode se classificado com explicativo, pois o objetivo do trabalho é observar quais variáveis realmente estão impactando na emissão de CO₂.

Todos os dados utilizados durante o trabalho foram retirados do Banco Mundial, para facilitar foi criado abreviaturas para as variáveis, nas tabelas 1, 2, 3 e 4 é possível ver qual variável cada uma das abreviações se referem.

A tabela 1 e 2 contém as *dummies* criadas a partir das definições e classificações do Banco Mundial, foram utilizados dois tipos de *dummies* diferentes, primeiro para diferenciar os países por regiões como é possível ver na tabela 1, e o segundo é a para a separação dos países por sua classificação de renda, os dois tipos foram utilizados nas análises de médio e longo prazo.

Tabela 1: Dummy de Região

Abreviação	Variável
LAC	América Latina e Caribe
NAFTA	América do Norte
ECA	Europa e Ásia Central
AS	Ásia do Sul
MENA	Oriente Médio e África do Norte
SSA	África Subsaariana

Fonte: Tabela elaborada pelo autor

Tabela 2: Dummy de Renda dos Países

Abreviação	Variável
LI	Renda Baixa
LMI	Renda Média-Baixa
UMI	Renda Média-Alta
HI	Renda Alta

Fonte: Tabela elaborada pelo autor

O médio prazo foi montado levando em consideração a década de 2000 para a variável dependente, emissão de gás carbônico *per capita* (CO₂E). Quanto as variáveis explicativas os dados utilizados foram da década de 2000 para o consumo de energia e 1990 para as demais variáveis, pois considera-se no trabalho que os efeitos dessas variáveis não são instantâneos, assim levado certo tempo para suas mudanças terem efeito visível na variável dependente, enquanto isso o consumo de energia atual tem um efeito no presente na emissão de CO₂. A tabela 3 é composta pelas variáveis utilizadas para realização das análises de médio prazo.

Por conta do número de variáveis selecionados para a análise de médio prazo, o número de países utilizados na amostra após a realização da filtragem dos dados foi de 76. O motivo dessa redução é que muitos dos países não contém todos os dados nesse período para a realização da pesquisa.

Tabela 3: Variáveis utilizadas no médio prazo

Abreviação	Variável	Observação
CO2E	Emissão de gás carbônico <i>per capita</i>	Toneladas métricas per capita
FFEC	Consumo de energia fóssil	% em relação ao consumo total
ANE	Consumo de energia alternativa e nucleares	% em relação ao consumo total
REC	Consumo de energia renovável	% em relação ao consumo total
GDPG	Crescimento do PIB	% Anual
GDPPCG	Crescimento do PIB <i>per capita</i>	% Anual
GDPPC	PIB <i>per capita</i> PPC	Dados em dólar (US\$)
INF	Inflação	% Anual
ATE	Acesso a eletricidade	% da população
PAR	Aplicação de patentes dos residentes	Número de patentes
PANR	Aplicação de patentes dos não-residentes	Número de patentes
LEBM	Expectativa de vida dos homens	Dados em anos
EAM	Homens empregados na agricultura	% dos homens empregado
EIM-	Homens empregados na indústria	% dos homens empregado
ESM	Homens empregados no setor de serviços	% dos homens empregado
LEBF	Expectativa de vida das mulheres	Dados em anos
LEF-LEM	Diferença entre expectativa de vida da mulher e do homem	Diferença em anos
EAF	Mulheres empregadas na agricultura	% das mulheres empregadas
EIF	Mulheres empregadas na indústria	% das mulheres empregadas
ESF	Mulheres empregadas no setor de serviços	% das mulheres empregadas

Fonte: Tabela elaborada pelo autor

O longo prazo por consistir de dados do período de 1960 até 2000 acabou resultando em menos variáveis que o médio prazo por conta da falta de informações disponíveis das outras variáveis escolhidas. Os dados foram organizados em painel e separado em 4 grupos, 1960-1970, 1970-1980, 1980-1990 e 1990-2000, sendo que a variável dependente, emissão de gás carbônico *per capita* e as variáveis de consumo de energia estão sempre na década mais recente dos grupos e as outras variáveis explicativas na década anterior, pois assim como no médio prazo considera-se que efeito das outras variáveis tem defasagem sobre a emissão de gás carbônico.

Tabela 4: Variáveis utilizadas no longo prazo

Abreviação	Variável	Observação
ANE	Consumo de energia alternativa e nucleares	% em relação ao consumo total
FFEC	Consumo de energia fóssil	% em relação ao consumo total
CO2E	Emissão de gás carbônico <i>per capita</i>	Toneladas métricas per capita
GDPG	Crescimento do PIB	% Anual
GDPPCG	Crescimento do PIB <i>per capita</i>	% Anual
INF	Inflação	% Anual
LEBM	Expectativa de vida dos homens	Dados em anos
LEBF	Expectativa de vida das mulheres	Dados em anos

Fonte: Tabela elaborada pelo autor

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CURVA DE KUZNETS

Segundo David I. Stern (2004), a curva ambiental de Kuznets emergiu no início da década de 1990 com um estudo sobre os potenciais impactos do NAFTA de Grossman e Krueger (1991), essa curva é uma hipótese que mede a relação entre os diversos indicadores de degradação ambiental e a renda *per capita*. A ideia do indicador é que nos estágios iniciais de uma economia a degradação e poluição aumentariam junto com a renda *per capita*, mas após um certo nível de renda, que varia para os diferentes indicadores, o resultado esperado pelo indicador é que o aumento da renda levaria a uma melhora no meio ambiente, ou seja, a redução da poluição e degradação ambiental. Se a hipótese for verdadeira então segundo o autor, ao contrário de ser um problema para o meio ambiente como era defendido pelos movimentos de proteção ambiental e cientistas associados, o crescimento econômico seria na verdade o meio pelo qual a preservação ambiental poderia ser alcançada.

Várias críticas foram publicadas sobre a curva ambiental de Kuznets, sendo o ponto principal que o modelo apresentado durante o relatório de desenvolvimento mundial de 1992 coloca que a renda é uma variável exógena, e que então os danos causados ao ambiente não teriam impacto na produção econômica, e nenhum dano seria severo e irreversível ao ponto de reduzir o nível de renda no futuro. Segundo esse ponto de vista então existe a suposição que a economia é sustentável (STERN, 2004).

Outro fator importante nas críticas é que segundo a teoria das trocas de Heckscher-Ohlin, com o livre-comércio entre os países existiria uma exportação da poluição dos países desenvolvidos para os países em desenvolvimento, pois países em desenvolvimento se especializariam na produção de bens aos quais eles possuem abundância, mão-de-obra e recursos naturais. Enquanto isso, países desenvolvidos focariam na especialização do seu capital humano e produção de produtos de alta tecnologia, com isso a redução gerada nos países desenvolvidos provinda dessa especialização iria refletir nos países de média renda. Outro ponto dessa transferência de poluição está relacionado ao aumento de regulamentações de preservação ambiental em países desenvolvidos, o que estimula a migração de indústrias poluentes a países em desenvolvimento em busca de regulamentações mais favoráveis. Esses efeitos afetam exageradamente o declínio de poluição na curva ambiental de Kuznets, mas

seguindo a lógica de que conforme os países se tornam mais ricos a poluição diminui, então países que atualmente são pobres ao melhorarem suas condições e regulamentações, seriam incapazes de repassar a poluição para outros por conta de nosso mundo ser finito, assim encontrando uma dificuldade muito maior que os países atuais desenvolvidos, pois eles teriam que eliminar a poluição e não apenas transferir. Embora não tenha evidências empíricas sobre os efeitos do livre-comércio na poluição da curva ambiental de Kuznets. (STERN, 2004).

Segundo Jaffe, Newell e Stavins (2004) novas tecnologias podem criar ou facilitar o aumento da poluição, assim como também mitigar ou substituir as atividades poluentes que existem, e segundo os autores os problemas ambientais e políticas como respostas dessas novas tecnologias são avaliadas durante décadas ou séculos, assim o impacto acumulado essas mudanças tecnológicas tende a ser grande. Essa visão corrobora com outra crítica de Stern (2004) que enquanto poluentes antigos estão sendo eliminados, novos estão emergindo sendo assim o impacto ambiental geral na verdade não estaria sendo reduzido.

De acordo com Stern (2004) as análises econométricas as quais a curva ambiental de Kuznets é baseada não é robusta, contendo quatro críticas ao modelo, sendo elas: heterocedasticidade, simultaneidade, viés de variáveis omitidas e problemas de cointegração.

2.2 CONSUMO DE ENERGIA

As mudanças climáticas derivadas do homem tiveram origem na Revolução Industrial com a mudança do sistema de energia, isso colocou a economia global em uma trajetória de crescimento do consumo energético (FOQUET, 2016). Desde a implementação da energia o seu consumo continua a aumentar, principalmente nos países em desenvolvimento, quase todo o crescimento nos próximos 25 a 30 anos de demanda energética, combustível fóssil, poluição e emissão de gases do efeito estufa são previstos para vir de países em desenvolvimento (WOLFRAM; SHELEF; GERTLER, 2012).

O motivo para esse crescimento deriva principalmente por conta dos pobres e quase-pobres se conectando a rede elétrica, conforme a economia mundial se expande e a renda dessas famílias aumenta eles irão realizar suas primeiras compras de geladeira, ar condicionado, televisão, máquinas de lavar e outros eletrodomésticos. A geladeira e televisão são os primeiros itens a ser adquiridos pelas famílias, sendo que a geladeira é um dos maiores consumidores de energia domésticos, chegando a 30% da demanda por eletricidade nas casas de China (WOLFRAM; SHELEF; GERTLER, 2012).

Segundo Wolfram, Shelef e Gertler (2012) para compreender o crescimento de demanda nos países em desenvolvimento é necessário saber onde se encontra as pessoas que ainda estão fora da rede elétrica, como por exemplo a China fez um investimento de 50 bilhões de dólares e conectou aproximadamente 300 milhões de pessoas a rede elétrica, enquanto o Brasil utilizou o programa Luz para Todos com um investimento de 7 bilhões de dólares em expansão de sua rede para conectar aproximadamente 10 milhões de pessoas.

Embora o consumo dos países esteja crescendo, alguns países vêm trocando suas fontes energéticas para renováveis, como no caso da Alemanha que no ano 2000 tinha apenas 6% do seu consumo provindo de energia renovável, e em 2018 chegou a quase 38% com uma meta de alcançar de 40 a 45% até 2025 (MINISTÉRIO DA ECONOMIA E ENERGIA DA ALEMANHÃ, 2018). Contudo segundo Geoffrey Heal (2009) a utilização de uma energia a carvão, nuclear ou de captura e armazenamento de carbono ainda serão necessários em conjunto com as energias renováveis, pelo menos no futuro próximo. O maior motivo está relacionado as limitações das energias renováveis, a qual a solar por exemplo necessita do sol, energia eólica do vento, sendo assim nenhuma delas garante que a energia seja constante o tempo todo. Enquanto as energias renováveis não conseguirem criar um armazenamento de energia quando não tiverem muita demanda para uso posterior elas não conseguirão superar suas desvantagens, até que isso seja possível terá uma necessidade pela energia a carvão e nuclear que conseguem manter consistência na sua geração.

Outro problema relacionado a energia renovável se encontra no preço de instalação, e com os preços do petróleo e carvão baixos acaba desestimulando o investimento, embora após a criação de uma usina eólica por exemplo ela proporcionaria uma geração de aproximadamente 40 anos com apenas os custos de manutenção, enquanto após a criação de uma central elétrica a carvão ainda iríamos deixar para as gerações futuras a necessidade de lidar com um alto custo de carvão pelos próximos 40 anos e também um custo externo ligado a poluição (HEAL, 2009).

Recentemente a Agencia Internacional de Energia (AIE) publicou um relatório com roteiro para o setor energético global alcançar emissão zero de gases do efeito estufa até 2050, *Net Zero by 2050*, para alcançar o objetivo a AIE propõe que um grande investimento seria necessário em diversas áreas, uma delas inclui os armazenamentos de energia que devem ser desenvolvidos até 2030 para impulsionar o aumento da utilização de energia renovável até 2050. Um dos pontos colocados é alcançar a meta de uma redução de 90% da demanda de carvão em 2050, 75% de petróleo e 55% de gás natural.

Embora o uso de combustível fóssil nas indústrias e a queima de carvão e óleo solte gases que são prejudiciais para a atmosfera e causem aquecimento global, há ainda muitos debates sobre esse tema por conta de os cientistas terem dificuldade de diferenciar entre mudanças causadas por humanos e aquelas que são consequências de variáveis naturais (OMER, 2007).

2.3 TECNOLOGIA

As mudanças tecnológicas estão cada vez mais no foco das discussões sobre economia e política ambiental (JAFFE; NEWELL; STAVINS, 2004). Como vários problemas ambientais são processos de longo prazo, a exemplo as mudanças climáticas, o entendimento da evolução tecnológica torna-se necessário para projetar o impacto futuro de políticas. Essas tecnologias envolvem a inovações para redução da poluição, como os filtros em chaminés das indústrias, e também as mudanças no processo de produção, como aumentar a eficiência energética. As tecnologias que visam o meio ambiente tendem a ter um grande impacto para a sociedade, mas provavelmente pouco benefício para aqueles que as aderem, assim o mercado sozinho não gera incentivo suficiente para o desenvolvimento dessas tecnologias (POPP; NEWELL; JAFFE, 2009).

As mudanças tecnológicas tem um papel importante nas políticas ambientais, e embora novas tecnologias possam fornecer produção mais limpa e uso mais eficiente dos recursos, é improvável que as empresas invistam na pesquisa e desenvolvimento sem incentivos de políticas públicas, pois maior parte dos benefícios das pesquisas com foco no meio ambiente é externo (POPP; NEWELL; JAFFE, 2009).

Embora tenha muitos debates sobre o assunto de inovação na eficiência energética, segundo Roger Fouquet (2016) evidências indicam que desde a Primeira Revolução Industrial há uma tendência de empresas e famílias procurarem uma maneira de consumir energia com mais eficiência, assim produzindo serviços energéticos mais baratos. Levando em conta a questão da produção energética, existe a necessidade da mudança energética para outras fontes pois segundo Omer (2007) utilizando as taxas de crescimento populacional e crescimento do uso de energia atuais as reservas de petróleo, gás natural e urânio acabariam em algumas décadas, enquanto o carvão ainda levaria em torno de dois séculos. O que ainda proporciona um tempo considerável para a mudança e desenvolvimento tecnológico.

2.4 A POLUIÇÃO E O DESENVOLVIMENTO

A poluição ambiental é um problema enfrentado por todos os países do mundo. Pessoas começaram a causar poluição no ar desde que aprenderam a usar o fogo, mas a poluição causada pelo homem começou a crescer mais rapidamente desde que a industrialização começou. Vários componentes orgânicos voláteis são emitidos para a atmosfera frutos da atividade humana. Mas os poluentes que são emitidos para atmosfera não ficam confinados perto da área ou local de origem, podendo mover-se para longas distancias criando assim problemas ambientais no local ou global (OMER, 2007).

As principais áreas de problemas ambientais são grandes acidentes ambientais, poluição do mar, uso da terra e impacto de ocupação, radiação e radioatividade, eliminação de resíduos sólidos, poluentes atmosféricos, qualidade do ar ambiente, chuva ácida, destruição do ozônio estratosférico e aquecimento global. Os problemas relacionados a produção de energia não estão apenas ligados ao aquecimento global por conta da emissão de gases como CO₂, mas também para problemas ambientais como poluição do ar, chuva ácida, destruição de florestas e emissão de substâncias radioativas (OMER, 2007).

O desenvolvimento econômico é um processo de criação de riqueza para países ou regiões, como estados, e também de melhoramento das oportunidades econômicas para as pessoas que vivem nesse local. O resultado desejado desse processo é melhorar a condição de vida e reduzir a pobreza (CARLEY *et al.*, 2010).

No final do século 20, o conceito de sustentabilidade emergiu nos discursos sobre desenvolvimento e gradualmente começou a ser incorporado em prática. No primeiro momento, sustentabilidade permaneceu tangencial as pesquisas e práticas de desenvolvimento econômico por que isso não era considerado um motivador para a indústria, inovação e ao empreendedorismo. Mas com o tempo a tendência global colocou desenvolvimento com sustentabilidade ambiental cada vez em um papel mais importante nas discussões de desenvolvimento (CARLEY *et al.*, 2010). Segundo Omer (2007) o desenvolvimento no sentido ambiental está relacionado a preocupação recente com a necessidade de administrar os recursos naturais escassos de uma maneira prudente pois o bem-estar do ser humano depende de serviços ecológicos, e a interpretação ambiental de sustentabilidade está relacionada na viabilidade geral e saúde dos sistemas ecológicos.

Apesar das diferentes formas de energia e atividades econômicas em estágios diferentes de desenvolvimento, alguns elementos em comum podem ser vistos. O fornecimento de energia, ou aquisição da mesma, é uma atividade com um custo que varia e depende de elementos diferentes. A utilização de energia também não surge do nada, ela depende dos custos de oportunidade de outros insumos e produtos, como os fogões ou redes elétricas. Assim o comportamento de utilização e produção de energia refletem as restrições econômicas enfrentadas pelos atores (TOMAN; JEMELKOVA, 2003).

3 MÉDIO PRAZO

3.1 ESTATÍSTICAS DO MÉDIO PRAZO

A tabela 5 traz algumas estatísticas básicas sobre as variáveis escolhidas, com isso é possível observar algumas características dos dados, como por exemplo a média do consumo energético provindo de energia fóssil é 70,04%, enquanto a média do consumo de energia alternativas e nucleares é de 9,43% e a média do consumo de energia renovável se encontra em 25,52%. O que aponta que aponta um grande uso e dependência da energia fóssil pela maioria dos países utilizados na amostra, com a máxima chegando a 100%, ou seja, alguns países no mundo ainda são completamente dependentes apenas dessa fonte energética.

Outro dado importante na tabela 5 é a mediana onde o consumo de energia fóssil ficou com 75,33%, ou seja, metade dos países da amostra, no caso 33 países, tem maior parte de seu consumo provindo de fontes de energia fóssil.

Os dados também apontam que o acesso a eletricidade tem uma média de 85,56%, sendo a mediana 100% e o mínimo 8,69%, com isso é possível concluir que alguns países da amostra apresentam ainda baixo desenvolvimento da sua rede elétrica, o que embora reduza consequentemente por enquanto a emissão de CO₂, nos leva aos argumentos de Wolfram, Shelef e Gertler (2012) visto na seção 2.2, os quais apontam que os principais focos do crescimento no consumo de energia nos próximos 20 a 30 anos serão países em desenvolvimento que ainda encontram-se fora da rede, seja por consequência do aumento da renda *per capita* das pessoas desses países, o que aumentaria o uso de eletrodomésticos antes não utilizados pela parcela de mais baixa renda ou por projetos do governo que visam conectar mais pessoas a rede elétrica, como no caso do Brasil e China.

Tabela 5: Estatísticas do Médio Prazo

Variável	Média	Mediana	Mín.	Max.	Desvio Padrão
Emissão de gás carbônico <i>per capita</i>	6,12	5,59	0,12	27,75	5,56
Consumo de energia fóssil	70,04	75,33	8,78	100,00	24,19
Consumo de energia alternativa e nucleares	9,43	4,32	0,00	45,59	11,18
Consumo de energia renovável	25,52	17,22	0,01	90,44	24,38
Crescimento do PIB	2,92	3,15	-5,93	7,42	2,52
Crescimento do PIB <i>per capita</i>	1,68	1,74	-7,04	6,30	2,37
PIB per capita PPC	11802,00	7376,10	937,48	38784,00	9688,40
Inflação	60,36	10,01	1,10	843,25	158,48
Acesso a eletricidade	85,53	100,00	8,69	100,00	24,20
Aplicação de patentes dos residentes	8315,80	186,05	2,00	339400,00	41068,00
Aplicação de patentes dos não-residentes	3965,10	538,95	2,75	96464,00	12151,00
Expectativa de vida dos homens	67,54	68,54	43,65	76,61	7,28
Homens empregados na agricultura	23,83	18,68	0,62	72,31	18,84
Homens empregados na indústria	30,01	32,60	8,21	51,71	10,39
Homens empregados no setor de serviços	46,16	47,38	19,48	66,82	11,38
Expectativa de vida das mulheres	73,49	75,56	47,07	83,01	8,06
Diferença entre expectativa de vida da mulher e do homem	5,95	5,88	0,45	12,00	2,43
Mulheres empregadas na agricultura	20,50	9,08	0,20	88,33	24,16
Mulheres empregadas na indústria	16,59	14,82	2,04	36,22	7,74
Mulheres empregadas no setor de serviços	62,91	68,32	7,17	97,36	22,13

Fonte: Banco Mundial, tabela elaborada pelo autor

3.2 MATRIZ CORRELAÇÃO DO MÉDIO PRAZO

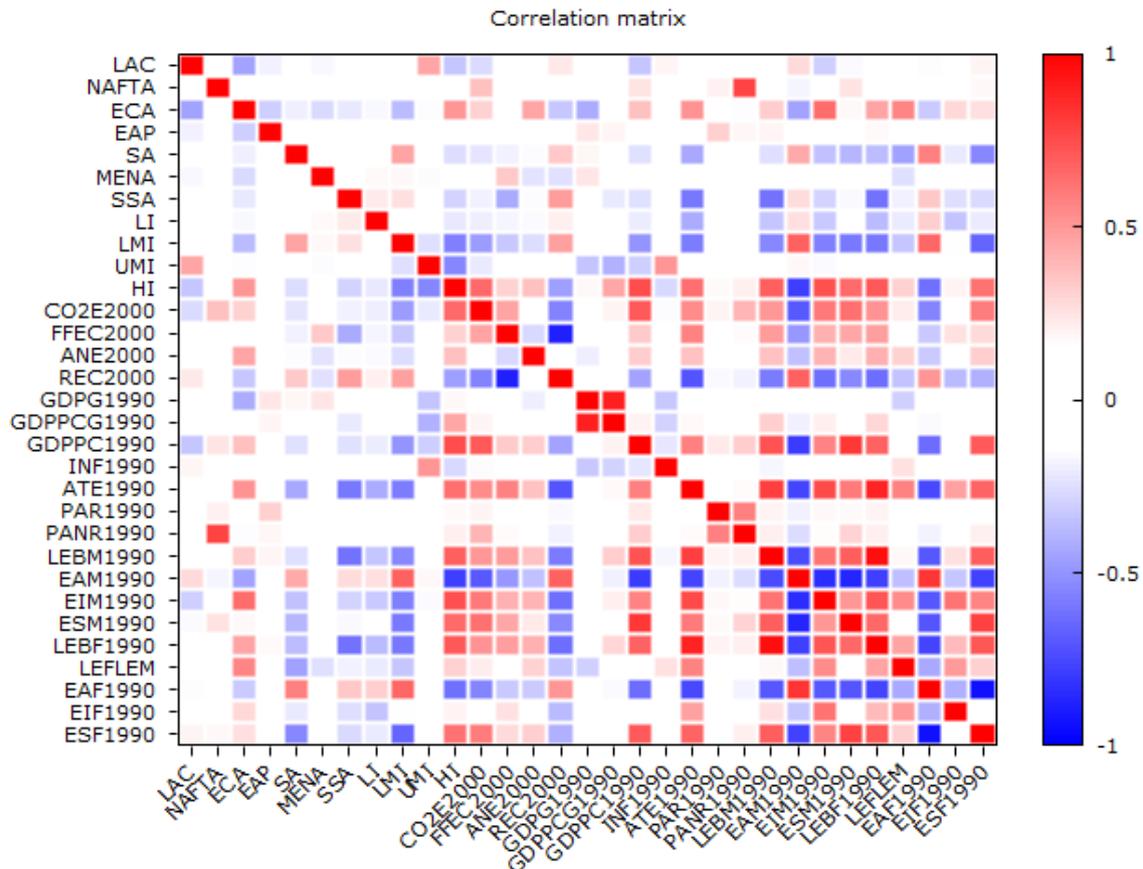
A figura 1 retrata a correlação entre as variáveis de médio prazo em conjunto com as *dummies* de região e renda dos países, os dados obtidos nessa correção encontram-se na tabela do apêndice 1, o ponto inicial será discutir a correlação da emissão de CO₂ com as variáveis de desenvolvimento, incluindo as *dummies* de renda dos países.

Conforme o apêndice 1 é possível observar que entre a *dummy* de países com alta renda, o nível mais alto classificado pelo Banco Mundial, existe uma correlação de 0,65 enquanto para os outros níveis de renda, baixa, média-baixa e média-alta se encontram com uma correlação negativa, sendo os dados deles -0,21 para baixa renda, -0,48 para média-baixa e -0,22 para média-alta. A correlação com a inflação foi negativa em 0,16 outro ponto interessante quanto as variáveis de desenvolvimento foi a correlação da emissão de CO₂ com o PIB, para o crescimento do PIB (GDPG) da década de 90 a correlação encontrada foi negativa em 0,01, mas os resultados do crescimento do PIB *per capita* (GDPPCG) apontam correlação positiva em 0,18 e positivas também com PIB *per capita* com paridade de poder de compra (GDPPC) em 0,7.

Os resultados encontrados nas correlações da emissão de CO₂ com variáveis de indicam desenvolvimento contribuem com os argumentos da seção 2, onde o desenvolvimento leva a um aumento da poluição, interessante foi principalmente a alta relação entre PIB *per capita* com paridade de poder de compra com emissão de CO₂, a correlação elevada indica que quanto maior o poder aquisitivo dos indivíduos naquele país em relação aos custos de sua economia, maior o impacto na emissão de CO₂. Isso contribui para o argumento de que o enriquecimento da população, principalmente aqueles que possuem mais baixa renda leva ao aumento da emissão de CO₂ por consequência da possibilidade de aumentar seu consumo de eletrodomésticos, carros e outros bens poluentes.

Quanto a correlação da emissão de CO₂ com as variáveis de consumo de energia se obteve resultado positivo de 0,46 para consumo de energia fóssil (FFEC), e 0,07 para consumo de energia alternativa e nucleares (ANE), enquanto o consumo de energia renovável apresentou um resultado negativo 0,56. Por conta que o tipo mais utilizado de energia é fóssil entre os países da amostra, como pode ser visto na seção 3.1, o acesso a eletricidade (ATE) apresentou uma correlação bem alta, chegando a um resultado positivo de 0,54. Levando em consideração que as energias renováveis tem um resultado negativo isso mostra que no geral que quanto mais pessoas se incluem a rede maior será o aceleração da poluição, pois o consumo de energia dos países deriva de energia fóssil, mesmo que estejam terceirizando essa poluição.

Figura 1: Correlação do Médio Prazo



Fonte: Dados do Banco Mundial e Manipulação no Gretl

3.3 REGRESSÃO DO MÉDIO PRAZO

A tabela 6 apresenta a regressão realizada para o médio prazo utilizando o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), o R^2 ajustado encontrado para o modelo foi de 0,6606, o que representa que as variáveis independentes explicam 66,06% da variação de emissão de gás carbônico *per capita*. Na sequência foram realizados o *white's test* para testar se existe heterocedasticidade no modelo, o resultado obtido do teste foi que não existe heterocedasticidade, pois o p-valor encontrado no teste foi de 0,74, como o valor é maior que 0,05 então é descartada a hipótese nula de existência de heterocedasticidade. O p-valor no teste F da regressão foi $1,39e-11$ o que assim então rejeita a hipótese nula, então é possível concluir que pelo menos uma das variáveis explicativas está afetando a variável dependente, nesse caso a emissão de gás carbônico *per capita*. Os valores dos critérios de Schwarz e Akaike foram 448,61 e 408,99 conforme é possível ver na tabela 6, os parâmetros vieram baixos relativamente baixos.

Entre as variáveis utilizadas no médio prazo, poucas apresentaram significância para o modelo. A variável de consumo de energia alternativa e nucleares da década de 2000 apresentou nível de significância de 5%, com um coeficiente de -0,1137, sendo assim é possível dizer que para cada aumento de 1% na no consumo dos países provindo de energia alternativa e limpa está reduzindo a emissão de gás carbônico em -0,1137 toneladas métricas *per capita*. Por outro lado, o consumo provindo de fontes de energia fóssil e renovável não apresentaram níveis de significância para o modelo.

O crescimento do PIB da década de 1990 apresentou um nível de significância de 10% e um coeficiente de -1,0335, o que mostra que no período analisado o crescimento de 1% do PIB tinha levava a uma redução de 1,03 toneladas métricas *per capita* de emissão de gás carbônico. O crescimento do PIB *per capita* apresentou também um nível de significância de 10%, a tabela 6 aponta que um aumento de 1% na porcentagem do crescimento do PIB *per capita* na década de 1990 influencia o aumento da emissão de gás carbônico em 1,1091 toneladas métricas *per capita*. PIB *per capita* com paridade de poder de compra (PPC) mostrou uma significância de 1% no modelo, embora o coeficiente tenha sido pequeno por conta da variável do PIB per capita PPC estar dólares, o resultado encontrado é que o aumento de 1 dólar no PIB per capita PPC dos países leva a um aumento de 0,00023 toneladas métricas *per capita* de emissão de gás carbônico. Assim como analisado durante a correlação o papel do PIB per capita com paridade de poder de compra desempenha na poluição é significativo principalmente por conta que o poder real de compra dos indivíduos é refletido nessa variável e seguindo a lógica da seção 2, o poder de compra é um fator muito relevante, principalmente nos países que estão em desenvolvimento e começam a adquirir pela primeira vez bens poluentes que antes não faziam parte de sua rotina.

Tabela 6: Regressão do Médio Prazo Utilizando Método MQO

Variável	Coefficiente
Constante	19,3501* (0,0530)
Consumo de energia fóssil	-0,012 (0,8124)
Consumo de energia alternativa e nucleares	-0,1137** (0,0381)
Consumo de energia renovável	-0,0535 (0,2923)
Crescimento do PIB	-1,0335* (0,0957)
Crescimento do PIB <i>per capita</i>	1,1091* (0,087)
PIB per capita PPC	0,00023*** (0,0083)
Inflação	-0,0019 (0,4837)
Acesso a eletricidade	0,0290 (0,5144)
Aplicação de patentes dos residentes	-1,0479e-05 (0,3715)
Aplicação de patentes dos não-residentes	0,00011*** (0,0055)
Expectativa de vida dos homens	0,0425 (0,8701)
Homens empregados na agricultura	0,0280 (0,710)
Homens empregados na indústria	0,2207* (0,0698)
Expectativa de vida das mulheres	-0,2710 (0,3353)
Mulheres empregadas na agricultura	-0,0471 (0,1737)
Mulheres empregadas na indústria	-0,2166** (0,0118)
R-Quadrado Ajustado	0,6606
Critério de Schwarz	448,61
Critério de Akaike	408,99

O erro padrão está indicado entre parênteses. Nível de significância: * = 10%;

** = 5%; * = 1%.

Fonte: Elaborada pelo autor

4 LONGO PRAZO

O longo prazo foi realizado utilizando o período da década de 1960 até 2000, os dados foram agrupados em uma média da década, pois pressupõe-se que as mudanças emissão de CO₂ e o impacto das independentes acontecem em intervalos longos, assim visando captar melhor os movimentos e diminuir a quantidade de dados utilizados, levando também em consideração o período extenso a ser analisado.

4.1 ESTATÍSTICAS DO LONGO PRAZO

Com a tabela 7 é possível observar as características das variáveis utilizadas para analisar o longo prazo, o primeiro ponto interessante a ser destacado é a média do consumo energético provindo de energia fóssil (FFEC), que no médio prazo era de 70,04% enquanto no longo prazo a média ficou em 65,74%, e a mediana 73,56%, o que é 1,77 pontos percentuais abaixo do médio prazo. Isso aponta que ao longo das últimas décadas o consumo de energia fóssil veio apresentado um crescimento em sua participação em comparação com as outras fontes energéticas. Isso é possível observar considerando que o mínimo do consumo de energia fóssil no médio prazo foi de 8,78% enquanto no longo prazo o mínimo da amostra se encontra em 2,35%.

As variáveis de acesso a eletricidade e de consumo de energia renovável começaram a apresentar dados apenas na década de 1990 no Banco Mundial, por isso foram retiradas do longo prazo.

Durante o período as variáveis de desenvolvimento, crescimento do PIB (GDPG) e crescimento do PIB *per capita* (GDPPCG) apresentaram uma média de 4,15% e 2,30% respectivamente, o que é um crescimento muito superior ao encontrado no médio prazo onde a média para ambas as variáveis foi de 2,92% e 1,68% respectivamente.

Quanto a emissão de CO₂ *per capita* no longo prazo a média encontrada foi de 5,16 toneladas métricas *per capita*, com mediana de 3,02 toneladas métricas *per capita*. Em comparação os resultados do médio prazo para emissão de CO₂ *per capita* foram de 6,12 toneladas métricas *per capita* na média e com mediana de 5,59 toneladas métricas *per capita*.

Os dados acima pontam que os países passaram por um desenvolvimento mais acelerado no longo prazo do que no médio prazo, com crescimento do PIB e PIB *per capita*

muito superiores aos dados mais recentes, isso provavelmente foi um dos fatores que levaram ao aumento da utilização de energia fóssil nos dados do médio prazo quando comparados ao longo prazo, pois o enriquecimento e desenvolvimento do país é acompanhado da necessidade de mais energia elétrica, e como visto na seção 2 as fontes mais viáveis ainda de energia são as fósseis por sua facilidade de armazenamento, um dos fatores que contribuem para a problemática das políticas de emissão zero, já que energia renováveis ainda não possuem maneira de armazenamento e sofrem efeitos de sazonalidades em sua geração.

Tabela 7: Estatísticas do Longo Prazo

Variável	Média	Mediana	Mín.	Max.	Desvio Padrão
Emissão de gás carbônico <i>per capita</i>	5,1632	3,0192	0,025022	36,124	5,6788
Consumo de energia alternativa e nucleares	7,2473	2,8132	0	68,503	10,694
Consumo de energia fóssil	65,743	73,562	2,3549	100	28,683
Crescimento do PIB	4,1552	3,9046	-5,9333	16,517	2,9165
Crescimento do PIB <i>per capita</i>	2,2989	2,2541	-7,1552	13,506	2,7845
Inflação	32,294	8,404	-1,1016	1383,2	118,93
Expectativa de vida dos homens	62,047	64,499	37,477	76,611	9,7364
Expectativa de vida das mulheres	66,909	70,146	37,762	83,006	11,063

Fonte: Banco Mundial, tabela elaborada pelo autor

4.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DO LONGO PRAZO

A figura 2 segue o mesmo padrão da matriz de correlação do médio prazo, utilizando as variáveis selecionadas para o longo prazo em conjunto com as *dummies* de região e renda. Assim como feito durante a análise do médio prazo, o foco será as correlações com a variável da emissão de CO₂.

A correlação das *dummies* de renda com a emissão de CO₂ seguem o mesmo padrão que no médio prazo com alta renda sendo positivo e baixa renda até média-alta renda sendo negativas. Observando o apêndice 2 é possível analisar os dados da matriz de correlação de longo prazo, a correlação entre alta renda e emissão de CO₂ apresentou um resultado positivo de 0,69, enquanto países considerados de baixa renda tiveram uma correlação negativa de 0,21, os países de média-baixa renda ficaram com uma correlação de -0,45 e os países de média-alta renda tiveram uma correlação negativa de 0,23.

Os resultados encontrados no longo prazo para a correlação entre as dummies de renda dos países e emissão de CO₂ *per capita* foram levemente diferentes do médio prazo, o resultado para países de renda baixa renda foi igual nos dois períodos, os países de média-baixa renda diminuíram sua correlação no médio prazo em 0,03, para os países de média-alta renda a correlação do longo prazo foi de 0,01 menor que no médio prazo, a maior mudança se encontra nos países de alta renda que teve uma diminuição de 0,04 no médio prazo em comparação com longo prazo.

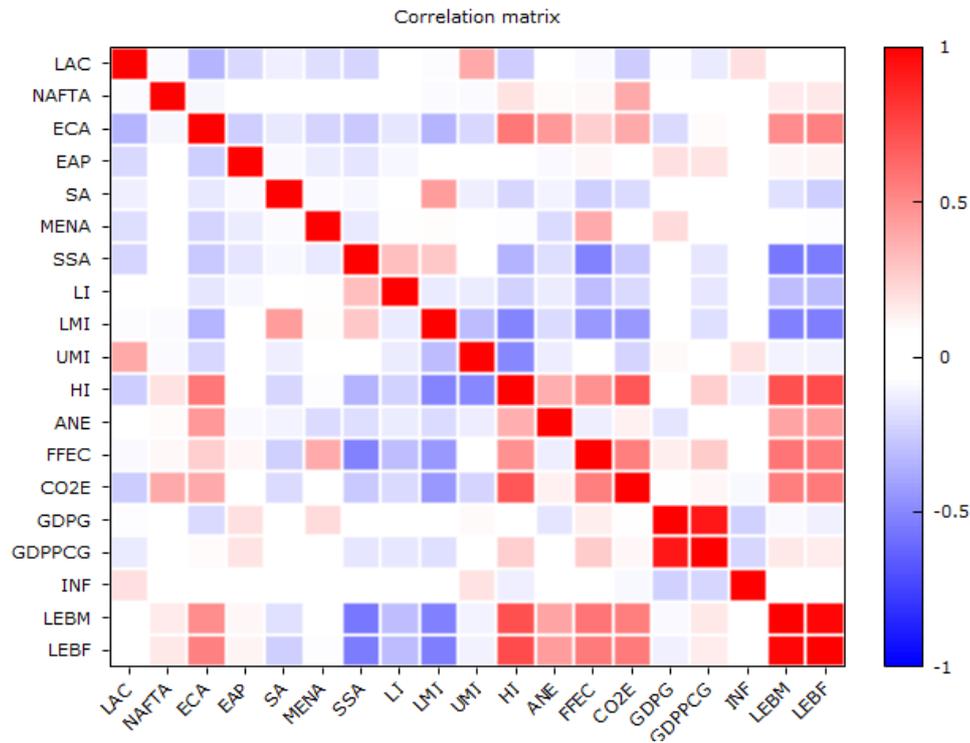
Quanto as variáveis de desenvolvimento no longo prazo temos para o crescimento do PIB (GDPI) uma correlação negativa de 0,08, o que se apresenta maior do que no médio prazo em 0,07. O crescimento do PIB *per capita* (GDPPC) teve uma correlação de 0,10 e a correlação da inflação nesse período com a emissão de CO₂ foi negativa em 0,10.

As outras duas variáveis de desenvolvimento são as expectativas de vida dos homens e das mulheres nesse período da década de 1960 a 2000. Levando em consideração que estamos analisando a poluição causada no mundo pela emissão de CO₂, então existe uma importância grande de se analisar também o período de vida dos seres humanos. A correlação para a expectativa de vida dos homens (LEBM) com a emissão de CO₂ foi de 0,54 enquanto expectativa de vida das mulheres (LEBF) teve uma correlação de 0,55.

Assim como aconteceu no médio prazo os resultados da matriz de correlação apontam altos índices de correlação com países de alta renda assim como as expectativas de vida, considerando que países desenvolvidos tendem a ter uma expectativa de vida muito mais elevada que países de baixa renda, fica evidente a correlação positiva entre esses dois dados, que segundo o apêndice 2 seria de 0,71 para expectativa de vida dos homens e países de alta renda e 0,73 para a expectativa de vida das mulheres e países de alta renda.

No longo prazo a correlação entre o consumo de energia fóssil (FFEC) e emissão de CO₂ é de 0,54 e para consumo de energia alternativa e nucleares (ANE) a correlação encontrada foi de 0,13. Ambos os resultados tiveram uma correlação maior no longo prazo do que no médio prazo, como o período analisado conta com dados antes da Conferência de Estocolmo ter ocorrido, é provável que medidas e tecnologias para diminuição da poluição gerada para esse tipo de energia tenham influenciado nesse resultado que levou a diminuição da correlação no médio prazo.

Figura 2: Correlação do Longo Prazo



Fonte: Dados do Banco Mundial e Manipulação no Gretl

4.3 REGRESSÃO DO LONGO PRAZO

Os dados da regressão de longo prazo foram organizados em um painel para analisar como as variáveis se comportam de forma temporal, sendo assim foi formado quatro períodos para o longo prazo que foram divididos por grupos de décadas, 1960-1970, 1970-1980, 1980-1990 e 1990-200. Esse painel passou por testes de diagnósticos no gretl para determinar qual modelo utilizar na regressão, MQO, efeitos aleatórios ou efeitos fixos.

O primeiro foi um teste F para determinar se o melhor modelo era MQO ou efeitos fixos, o resultado foi um p-valor de $7,76901e-073$, assim sendo foi rejeitado a hipótese de que MQO é melhor do que efeitos fixos. O segundo teste foi de Breusch-Pagan para testar qual o melhor modelo entre MQO e efeitos aleatórios, o resultado obtido foi um p-valor de $5,65422e-063$, assim sendo rejeitou-se a hipótese de que MQO é melhor que o modelo de efeitos aleatórios. Por último foi o teste de Hausman para determinar se seria usado modelo de efeitos aleatórios ou efeitos fixos, o p-valor nesse caso deu $0,00296$ como foi inferior a $0,05$ então rejeitou-se a hipótese de que efeitos aleatórios seria melhor que efeitos fixos. Com esse teste foi decidido então utilizar o modelo fixo para a regressão do painel em longo prazo.

A regressão do longo prazo está representada na tabela 10, é possível ver que a regressão apresentou um R^2 de 0,9582, o que representa que 95,82% da variação ocorrida com a emissão de gás carbônico *per capita* durante o longo prazo pode ser explicada pelas variáveis independentes do modelo, os critérios de Schwarz e Akaike foram muito mais altos que na regressão de médio prazo, sendo eles 1.577,441 e 1.168,900 respectivamente.

Na regressão do longo prazo apenas duas variáveis apresentaram significância, sendo uma delas o crescimento do PIB, que apresentou um nível de significância de 5% e coeficiente negativo, ou seja, para cada aumento de 1% no crescimento do PIB teria uma redução de 0,8803 toneladas métricas *per capita* de emissão de gás carbônico. A outra variável que apresentou nível de significância foi Crescimento do PIB *per capita*, que também contou com uma significância de 5%, mas ao contrário do Crescimento do PIB ela apresentou resultado positivo, sendo que para cada aumento de 1% no crescimento do PIB *per capita*, resultou em aumento de 0,8842 toneladas métricas *per capita* de emissão de gás carbônico.

Tabela 8: Regressão do Longo Prazo Utilizando Método Efeitos Fixos

Variável	Coefficiente
Constante	2,7072** (0,0393)
Consumo de energia fóssil	0,0326 (0,1391)
Consumo de energia alternativa e nucleares	-0,0381 (0,1038)
Crescimento do PIB	-0,8803** (0,0119)
Crescimento do PIB <i>per capita</i>	0,8842** (0,0178)
Inflação	-0,0005 (0,3118)
Expectativa de vida dos homens	0,0831 (0,4372)
Expectativa de vida das mulheres	-0,0438 (0,6772)
R-Quadrado LSDV	0,9582
Critério de Schwarz	1.577,411
Critério de Akaike	1.168,900

O erro padrão está indicado entre parênteses. Nível de significância: * = 10%;

** = 5%; * = 1%.

Fonte: Elaborada pelo auto

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa teve como objetivo analisar o impacto do desenvolvimento econômico e da mudança tecnológica no setor energético na emissão de dióxido de carbono (CO₂), com tantos debates em cima da preocupação com meio ambiente desde a Conferência de Estocolmo realizada em 1972, visou nesse trabalho avaliar as mudanças no período de 1960 até 2010.

Foi realizado primeiro uma revisão da literatura sobre desenvolvimento sustentável em relação ao consumo energético, essa revisão auxiliou para dar suporte e entendimento das variáveis escolhidas para analisar o efeito das mudanças ocorridas visando alcançar o desenvolvimento sustentável, ao qual os países se comprometem durante as conferências.

Analisando a tabela 5 e 7 é possível chegar à conclusão que ao contrário do resultado esperado com todas as conferências e políticas para redução do consumo energético provindo de energias fósseis, houve um aumento do mesmo do longo prazo para o médio prazo. Os resultados apontam que a média do consumo dos países na amostra subiu de 65,74% para 70,04%, embora em nenhuma das regressões o consumo de energia fóssil tenha mostrado significância suficiente, a correlação em ambos os períodos analisados foi alta, e isso também aponta a dificuldade no cumprimento da transição energética promovida durante as conferências.

Os resultados obtidos para a o crescimento do PIB *per capita* no apêndice 3 e apêndice 4 apontam que o desenvolvimento, ou seja, aumento do PIB *per capita* está altamente correlacionado a emissão de CO₂, apresentando também a existência de significância nas regressões do médio e longo prazo.

O modelo de painel com efeitos fixos também é citado por Wolfram, Shelef e Gertler (2012). Os autores comentam da utilização do modelo utilizando 37 países durante um intervalo de 27 anos, objetivo era estimar a relação entre o log do consumo de energia per capita com o log do PIB per capita, os resultados apontam uma diferença significativa entre a relação de crescimento da renda e o uso de energia dependendo de qual família se beneficia do crescimento, pois os países nos 75% percentil de mais baixa renda apresentam um crescimento de demanda energética maior que o crescimento da renda, enquanto os países nos 25 percentil apresentam um crescimento de uso energético que é metade do crescimento de sua renda per capita.

Tendo em vista que o consumo de energia fóssil ainda é predominante como demonstrado ao longo do trabalho, e que seu uso vem aumentando ao longo das décadas, é possível chegar a conclusão que esses países em desenvolvimento que apresentam uma alta taxa

de aumento no consumo energético estão a aumentar sua capacidade energética principalmente com matrizes fósseis, isso se deve também aos problemas encontrados nas energia renováveis quanto a sua inconsistência devido a sazonalidades na produção e falta de tecnologia para armazenamento quando estão produzindo acima do consumo.

Outro fator interessante quanto a produção de energia é a dependência de apenas uma fonte, assim como ocorreu em Kerala na Índia na década de 1930, segundo Fouquet (2016) por conta do baixo custo e abundante força hídrica existente, isso permitiu a região a se desenvolver rapidamente com o investimento em indústrias químicas. O problema foi que o custo barato da energia e as indústrias químicas travaram a economia em um caminho de desenvolvimento dependente intensivamente de energia. O que na década de 1980 acabou se tornando um problema para a região por conta da limitação de sua energia hidráulica e os altos custos da importação de combustíveis fósseis, chegando à conclusão nesse cenário que energia barata e abundante pode levar economias a ficarem extremamente dependentes dessa fonte para seu desenvolvimento e se tornando assim vulneráveis caso ocorra uma falta de energia.

As mudanças tecnológicas mudaram drasticamente o mundo de diversas maneiras, mas isso também levou a problemas ambientais. Durante as últimas décadas o risco e a realidade das mudanças ambientais e climáticas se tornou cada vez mais aparente, o crescimento das evidências dos problemas ambientais é devido a diversos fatores, incluindo ao impacto de ações do homem terem crescido por conta do consumo, atividade industrial e pelo simples fato da população mundial ter aumentado (OMER, 2007).

Os planos propostos ano passado, em 2021, para zerar emissão de CO₂ provindo das fontes energéticas não passa muita credibilidade, se levarmos em consideração os resultados encontrados durante o trabalho de que o consumo de energia provindo de matrizes fósseis está aumentando ao longo do tempo e que ainda existe uma população de 800 milhões de pessoas no mundo sem acesso à energia, torna-se difícil vislumbrar a realização desse projeto enquanto os países também promovem a conexão dessas pessoa a rede elétrica. Outros fatores que dificultam essa proposta estão relacionados aos problemas atuais das energias renováveis comentados acima, como a sazonalidade e armazenamento, também se incluem aos problemas o crescimento populacional e crescimento econômico dos países que ainda estão na categoria de países em desenvolvimento ou emergentes, isso pois considera-se que o impacto que o aumento de renda per capita tem nesses países é muito maior que nos países desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

BORN, Rubens Harry. **Agenda 21 e a biodiversidade**. Brasília: MMA, 9999. 23 p. (Caderno de debate agenda 21 e sustentabilidade). 2006.

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. **Renewable energy sources in figures: National and International Development, 2018**. Berlim. 2019

FOUQUET, Roger. **Lessons from Energy History for Climate Policy: Technological Change, Demand and Economic Development**. Energy Research & Social Science, v. 22, p. 79-93, dez. 2016.

FOUQUET, Roger. **Path dependence in energy systems and economic development**. Nature Energy. v. 1. Número do artigo: 16098. 2016

HEAL, Geoffrey. **The Economics of Renewable Energy**. National Bureau of Economic Research, NBER Working Pappers No. 15081, 2009.

JAFFE, Adam B; NEWELL, Richard G; STAVINS, Robert N. Technological Change and the Environment. National Bureau of Economic Research, **NBER Working Pappers** 7970, 2000.

JAFFE, Adam B; NEWELL, Richard G; STAVINS, Robert N. **Technology Policy for Energy and Environment**. Innovation Policy and the Economy, Volume 4, 2004.

KOTCHEN, Matthew J. Environment, Energy, and Unintended Consequences. **NBER**, 2018. Disponível em: <<https://www.nber.org/reporter/2018number3/environment-energy-and-unintended-consequences>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

POPP, David. Energy and Enviromental Technology. **NBER**, 2015. Disponível em: <<https://www.nber.org/reporter/2015number4/energy-and-environmental-technology>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

POPP, David; NEWELL, Richard G; JAFFE, Adam B. Energy, the Environment, and Technological Change. National Bureau of Economic Research, **NBER Working Pappers** 14832, 2009.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª edição. Rio Grande do Sul: Feevale, 2013.

STERN, David I. **The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve**. World Development Vol. 32, 2004.

United Nations Environment Programme. **The future we want: The Outcome of the Conference**. Rio de Janeiro, Brasil. 2012.

WOLFRAM, Catherine; SHELEF, Ori; GERTLER, Paul J. **How Will Energy Demand Develop in the Developing World**. National Bureau of Economic Research, NBER Working Pappers No. 17747, 2012.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. 5ª edição. Cengage Learning, 2013.

World Bank, More People **Have Access to Electricity Than Ever Before, but World Is Falling Short of Sustainable Energy Goals**. Washington, maio de 2019. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2019/05/22/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2019>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

APÊNDICE A – Tabela Complementar de Estatísticas do Médio Prazo

Variável	Coefficiente de Variação	Skewness	Curtose	5%	95%
Emissão de gás carbônico <i>per capita</i>	0,91	1,38	2,39	0,25	17,70
Consumo de energia fóssil	0,35	-0,91	-0,04	18,94	98,75
Consumo de energia alternativa e nucleares	1,19	1,56	1,88	0,00	35,80
Consumo de energia renovável	0,96	1,06	0,23	0,55	81,26
Crescimento do PIB	0,86	-1,17	2,39	-3,43	6,98
Crescimento do PIB <i>per capita</i>	1,41	-0,86	2,29	-3,01	5,79
PIB per capita PPC	0,82	0,83	-0,26	1324,10	30479,00
Inflação	2,63	3,88	14,79	1,78	439,24
Acesso a eletricidade	0,28	-1,75	2,01	19,97	100,00
Aplicação de patentes dos residentes	4,94	7,25	54,62	4,65	38979,00
Aplicação de patentes dos não-residentes	3,06	6,22	43,06	21,80	20368,00
Expectativa de vida dos homens	0,11	-1,07	1,09	53,47	76,01
Homens empregados na agricultura	0,79	0,70	-0,58	2,63	61,79
Homens empregados na indústria	0,35	-0,22	-0,77	11,83	47,49
Homens empregados no setor de serviços	0,25	-0,27	-0,56	26,32	63,54
Expectativa de vida das mulheres	0,11	-1,37	1,52	57,36	81,71
Diferença entre expectativa de vida da mulher e do homem	0,41	0,29	0,20	1,66	11,16
Mulheres empregadas na agricultura	1,18	1,41	0,80	0,84	78,42
Mulheres empregadas na indústria	0,47	0,36	-0,35	3,23	31,29
Mulheres empregadas no setor de serviços	0,35	-0,96	0,01	14,85	86,99

Fonte: Banco Mundial, tabela elaborada pelo autor

APÊNDICE B – Tabela Complementar de Estatísticas do Longo Prazo

Variável	Coefficiente de Variação	Skewness	Curtose	5%	95%
Emissão de gás carbônico <i>per capita</i>	1,0999	1,7279	4,045	0,15487	16,55
Consumo de energia alternativa e nucleares	1,4756	2,4541	6,6986	0	34,703
Consumo de energia fóssil	0,43629	-0,60658	-0,90812	13,288	99,686
Crescimento do PIB	0,7019	0,57022	2,6259	-0,06131	9,1776
Crescimento do PIB <i>per capita</i>	1,2112	0,25932	2,1888	-1,9025	6,862
Inflação	3,6827	7,7061	69,27	1,81	123,02
Expectativa de vida dos homens	0,15692	-0,59184	-0,69494	43,375	74,503
Expectativa de vida das mulheres	0,16535	-0,62215	-0,73914	46,299	80,208

Fonte: Banco Mundial, tabela elaborada pelo autor

APÊNDICE C – Matriz de Correlação do Médio Prazo

	LAC	NAFTA	ECA	EAP	SA	MENA	SSA	LI	LMI	UMI	HI	CO2E-2000	FFEC-2000	ANE-2000	REC-2000	GDPG-1990	GDPPCG-1990	GDPPC-1990	INF-1990	ATE-1990	PAR-1990	PANR-1990	LEBM-1990	EAM-1990	EIM-1990	ESM-1990	LEBF-1990	LEF-LEM	EAF-1990	EIF-1990	ESF-1990
LAC	1,00	-0,09	-0,46	-0,20	-0,13	-0,17	-0,14	0,05	-0,04	0,45	-0,34	-0,27	-0,12	-0,13	0,23	0,12	0,00	-0,34	0,18	-0,11	-0,11	-0,13	-0,07	0,27	-0,31	-0,16	-0,11	-0,13	-0,15	-0,05	0,19
NAFTA		1,00	-0,14	-0,06	-0,04	-0,05	-0,04	-0,03	-0,08	-0,08	0,15	0,36	0,07	0,07	-0,08	-0,04	-0,04	0,24	-0,06	0,10	0,20	0,78	0,15	-0,18	0,06	0,24	0,14	0,01	-0,13	-0,08	0,17
ECA			1,00	-0,31	-0,20	-0,27	-0,23	-0,17	-0,38	-0,16	0,50	0,30	0,12	0,45	-0,34	-0,43	-0,09	0,36	0,06	0,51	-0,09	-0,16	0,31	-0,46	0,64	0,17	0,45	0,56	-0,32	0,28	0,26
EAP				1,00	-0,09	-0,12	-0,10	-0,07	0,01	-0,08	0,08	0,06	0,11	-0,11	-0,11	0,23	0,18	0,14	-0,13	0,09	0,31	0,18	0,18	-0,03	-0,05	0,10	0,17	0,02	-0,01	0,05	-0,01
SA					1,00	-0,08	-0,06	-0,05	0,46	-0,12	-0,26	-0,24	-0,20	-0,16	0,33	0,18	0,07	-0,25	-0,08	-0,44	-0,05	-0,05	-0,26	0,43	-0,35	-0,39	-0,37	-0,46	0,57	-0,22	-0,55
MENA						1,00	-0,08	0,17	0,17	-0,16	-0,08	-0,04	0,33	-0,24	-0,25	0,24	0,10	0,01	-0,10	-0,02	-0,06	-0,09	0,01	-0,03	-0,09	0,14	-0,06	-0,26	0,13	-0,01	-0,14
SSA							1,00	0,22	0,25	0,00	-0,29	-0,19	-0,43	-0,16	0,48	-0,06	-0,22	-0,25	-0,03	-0,60	-0,05	-0,06	-0,62	0,27	-0,30	-0,17	-0,62	-0,20	0,33	-0,26	-0,27
LI								1,00	-0,10	-0,10	-0,23	-0,21	-0,18	-0,17	0,20	0,04	-0,10	-0,21	-0,02	-0,43	-0,04	-0,07	-0,34	0,25	-0,33	-0,12	-0,37	-0,22	0,31	-0,35	-0,22
LMI									1,00	-0,26	-0,57	-0,48	-0,33	-0,26	0,47	0,11	-0,09	-0,51	-0,14	-0,59	-0,10	-0,14	-0,55	0,68	-0,58	-0,60	-0,60	-0,34	0,66	-0,15	-0,67
UMI										1,00	-0,55	-0,22	0,06	-0,10	0,01	-0,34	-0,41	-0,31	0,50	0,03	-0,08	-0,07	-0,12	0,17	-0,16	-0,14	-0,09	0,07	-0,04	0,09	0,02
HI											1,00	0,65	0,30	0,36	-0,47	0,17	0,44	0,75	-0,28	0,63	0,16	0,20	0,68	-0,79	0,73	0,65	0,71	0,30	-0,63	0,19	0,62
CO2E-2000												1,00	0,46	0,07	-0,56	-0,01	0,18	0,70	-0,16	0,54	0,19	0,40	0,50	-0,71	0,59	0,63	0,51	0,21	-0,56	0,07	0,59
FFEC-2000													1,00	-0,28	-0,89	0,00	0,08	0,33	0,02	0,57	0,10	0,16	0,48	-0,49	0,41	0,44	0,47	0,12	-0,33	0,25	0,27
ANE-2000														1,00	0,01	-0,21	-0,03	0,31	0,00	0,35	0,10	0,07	0,36	-0,36	0,40	0,22	0,41	0,30	-0,32	0,12	0,31
REC-2000															1,00	0,07	-0,12	-0,46	0,00	-0,72	-0,17	-0,20	-0,59	0,68	-0,63	-0,55	-0,64	-0,35	0,50	-0,38	-0,41
GDPG-1990																1,00	0,90	0,07	-0,33	-0,12	-0,07	0,00	0,13	0,04	-0,14	0,05	0,02	-0,31	0,05	-0,12	-0,02
GDPPCG-1990																	1,00	0,19	-0,30	0,17	-0,01	0,03	0,31	-0,20	0,20	0,14	0,28	0,00	-0,16	0,10	0,14
GDPPC-1990																		1,00	-0,23	0,57	0,22	0,32	0,72	-0,80	0,56	0,82	0,67	0,08	-0,64	-0,01	0,70
INF-1990																			1,00	0,03	-0,06	-0,05	-0,18	0,09	-0,06	-0,10	-0,09	0,25	0,05	0,03	-0,06
ATE-1990																				1,00	0,12	0,16	0,79	-0,77	0,75	0,59	0,88	0,56	-0,76	0,46	0,67
PAR-1990																					1,00	0,57	0,19	-0,19	0,17	0,17	0,19	0,06	-0,12	0,14	0,09
PANR-1990																						1,00	0,20	-0,26	0,16	0,29	0,20	0,06	-0,19	0,02	0,20
LEBM-1990																							1,00	-0,75	0,62	0,69	0,95	0,17	-0,71	0,25	0,69
EAM-1990																								1,00	-0,85	-0,88	-0,79	-0,36	0,83	-0,34	-0,78
EIM-1990																									1,00	0,50	0,72	0,54	-0,71	0,62	0,56
ESM-1990																										1,00	0,65	0,11	-0,72	0,00	0,78
LEBF-1990																											1,00	0,46	-0,77	0,37	0,71
LEF-LEM																												1,00	-0,44	0,49	0,31
EAF-1990																													1,00	-0,41	-0,95
EIF-1990																														1,00	0,10

Fonte: Banco Mundial, tabela elaborada pelo autor

APÊNDICE D – Matriz de Correlação do Longo Prazo

	LAC	NAFTA	ECA	EAP	SA	MENA	SSA	LI	LMI	UMI	HI	ANE	FFEC	CO2E	GDPG	GDPPCG	INF	LEBM	LEBF
LAC	1,00	-0,09	-0,34	-0,21	-0,13	-0,19	-0,23	-0,01	-0,08	0,39	-0,25	-0,53	-0,09	-0,26	-0,08	-0,15	0,19	-0,06	-0,07
NAFTA		1,00	-0,11	-0,07	-0,04	-0,06	-0,07	-0,04	-0,09	-0,09	0,18	0,09	0,10	0,38	-0,03	0,00	-0,04	0,15	0,16
ECA			1,00	-0,25	-0,16	-0,23	-0,27	-0,17	-0,35	-0,22	0,57	0,45	0,25	0,38	-0,21	0,09	0,00	0,49	0,54
EAP				1,00	-0,10	-0,14	-0,17	-0,10	-0,05	0,03	0,06	-0,09	0,10	0,05	0,19	0,17	-0,07	0,10	0,11
SA					1,00	-0,09	-0,10	-0,06	0,43	-0,14	-0,22	-0,12	-0,24	-0,20	0,03	-0,02	-0,05	-0,19	-0,25
MENA						1,00	-0,15	0,08	0,08	-0,03	-0,08	-0,21	0,38	0,00	0,20	0,08	-0,06	-0,03	-0,08
SSA							1,00	0,31	0,27	-0,04	-0,35	-0,20	-0,53	-0,27	-0,01	-0,16	-0,05	-0,57	-0,55
LI								1,00	-0,15	-0,14	-0,24	-0,14	-0,31	-0,21	-0,06	-0,16	-0,03	-0,31	-0,32
LMI									1,00	-0,32	-0,52	-0,20	-0,45	-0,45	-0,03	-0,19	-0,01	-0,53	-0,54
UMI										1,00	-0,51	-0,14	0,07	-0,23	0,09	-0,01	0,18	-0,12	-0,12
HI											1,00	0,36	0,47	0,69	-0,02	0,25	-0,13	0,71	0,73
ANE												1,00	-0,14	0,13	-0,17	0,00	0,02	0,40	0,43
FFEC													1,00	0,54	0,13	0,26	0,01	0,57	0,56
CO2E														1,00	-0,08	0,10	-0,10	0,54	0,55
GDPG															1,00	0,92	-0,24	-0,10	-0,13
GDPPCG																1,00	-0,22	0,16	0,14
INF																	1,00	-0,03	-0,01
LEBM																		1,00	-0,98
LEBF																			1,00

Fonte: Banco Mundial, tabela elaborada pelo autor