

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIENCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**CONSUMO DE ENERGIA E CRESCIMENTO
ECONÔMICO: UMA RELAÇÃO EM ESTUDO COM
FOCO NOS PAÍSES COMPONENTES DO BRICS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Carlos Augusto Nogueira Mendes

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**CONSUMO DE ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO:
UMA RELAÇÃO EM ESTUDO COM FOCO NOS PAÍSES COMPONENTES DO
BRICS**

CARLOS AUGUSTO NOGUEIRA MENDES

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Administração, Área de concentração em Gestão Organizacional, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Administração**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Ceretta

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIENCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**CONSUMO DE ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO: UMA
RELAÇÃO EM ESTUDO COM FOCO NOS PAÍSES COMPONENTES
DO BRICS**

elaborado por
Carlos Augusto Nogueira Mendes

como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Administração

Comissão Organizadora

Paulo Sérgio Ceretta, Dr.
(Presidente/Orientador)

Reisoli Bender Filho, Dr. (UFSM)

Daniel Arruda Coronel, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS, 10 de setembro de 2014

*A Lúdia, companheira, mulher
virtuosa.
Ao meu filho, Vinícius.*

AGRADECIMENTOS

A concretização de um trabalho é sempre uma obra coletiva, ainda que o resultado final seja atribuído a uma única pessoa. Os momentos finais de conclusão de uma obra permitem-nos relembrar tanto o esforço individual do autor quando as contribuições, por menores que sejam, das pessoas queridas que nos cercam. Faz-se mister, portanto, externar o reconhecimento e gratidão àquelas pessoas e instituições que tornaram possível e exitosa o final desta jornada.

Agradeço a minha esposa Lídia, doce e serena companheira de todas as horas, pelo amor profundo, incentivo e pela renúncia que marcou a realização deste trabalho quando me ausentei, durante cinco meses, no período de gestação de nosso primeiro filho, Vinícius. Contudo, essa “vida cigana” passou, as lágrimas e a saudade ficaram para trás, e hoje novamente podemos seguir adiante. Obrigado, minha querida.

Agradeço a meu filhinho Vinícius, presente de Deus, neste momento contando apenas 08 meses de vida, mas de cuja existência no lar vieram, alegria, orgulho, encantos que somente quem é pai pode entender e que, para a correta percepção de tais sentimentos, as palavras são absolutamente insuficientes.

Aos meus familiares, minha mãe Nilma, meus pais Agripino (in memorian) e José Ailton, meus irmãos Paulo, Naira e Marlos a quem amo profundamente. Obrigado.

A todos os colegas do Minter pela convivência amistosa, pelo apoio, especialmente àqueles que mais ficaram próximos, “George” Washington e Adriana, Rosivalda, Aureluce Baêta, Francisco Carlos “Kiko”, Regicleia, Conceição, Carlos Benedito, Davi, Rosiane e Ronaldo Amorim “Fenômeno”. Obrigado.

Ao Prof. Paulo Sérgio Ceretta pela orientação, incentivo nas horas difíceis, presteza nas respostas aos questionamentos, tolerância com as dificuldades de aprendizado e por “descomplicar” a elaboração de trabalhos científicos do nível de um artigo e de uma dissertação. Muito obrigado.

A todos os professores do PPGA, especialmente o Prof. Breno Diniz pela sensibilidade ao enxergar o potencial de uma parceria que propiciou a efetivação do Minter. Aos demais professores da linha de pesquisa em Finanças e Controle, agradecendo e desejando a continuidade do convívio através de contatos que possam frutificar em produção de conhecimento. Muito obrigado.

A todos os funcionários do PPGA, especialmente, Luiz Cunha Dutra, sempre cordial e solícito com as demandas dos alunos e professores. Obrigado.

Aos colegas da Divisão de Contabilidade e do Serviço de Liquidação da Universidade Federal do Maranhão, agradeço pela compreensão e espírito de equipe referente aos períodos de ausência necessários à consecução deste estudo. Muito obrigado.

À Universidade Federal do Maranhão pela oportunidade ímpar de qualificação que foi disponibilizada a este grupo. Muito obrigado!

“Com a sabedoria se edifica a casa e com a inteligência ela se firma; e pelo conhecimento se encherão as câmaras de todas as substâncias preciosas e deleitáveis.” (Provérbios, 24: 3,4)

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

**CONSUMO DE ENERGIA E CRESCIMENTO ECONÔMICO: UMA
RELAÇÃO EM ESTUDO COM FOCO NOS PAÍSES COMPONENTES
DO BRICS**

AUTOR: CARLOS AUGUSTO NOGUEIRA MENDES

ORIENTADOR: DR. PAULO SÉRGIO CERETTA

Data e local da defesa: Santa Maria, RS, 10 de setembro de 2014

A temática do consumo de energia e seus impactos sobre o crescimento econômico é recorrente na atualidade. Especificamente em cenários de finitude de fontes de energia, choques externos nos preços desses insumos e a agenda ambiental exigindo a substituição do uso dos combustíveis fósseis, este tema tem encontrado forte eco na literatura especializada. Simultaneamente, a existência de países que tem demonstrado acentuado vigor quanto ao crescimento de suas economias, surge como um campo privilegiado de pesquisa onde será posto em destaque a relação entre consumo de energia e crescimento econômico. Os países em referência são os componentes do grupo denominado de BRICS. Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul são os membros desse grupo e são caracterizados por taxas de crescimento acima da média mundial, além de apresentarem posições de liderança nos fluxos de investimento direto estrangeiro, superando inclusive Europa e Estados Unidos. Para levar a efeito este estudo, utilizou-se dados do Banco Mundial em séries temporais referentes ao PIB, Consumo de Energia, Formação Bruta de Capital Fixo e Número de Patentes Registradas, as duas últimas sendo empregadas como variáveis de controle e servindo como proxy de Estoque de Capital e Progresso Tecnológico, respectivamente. Foram utilizados como métodos empíricos de análise dois modelos de regressão com variáveis autorregressivas e com uma defasagem, como forma de captar melhor a influência do tempo sobre as variáveis. O Consumo de Energia foi utilizado como regressando em um dos modelos e o PIB como regressando no outro, para cada um dos países. Os resultados mostraram, com exceção da África do Sul, que a influência do Consumo de Energia é fundamental para a manutenção do Crescimento Econômico nos restantes quatro países do BRICS, portanto, qualquer ação governamental com o objetivo de alterar a oferta de energia deverá considerar este aspecto.

Palavras-chave: Crescimento Econômico. Consumo de Energia. BRICS.

ABSTRACT

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

**ENERGY CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH: A
RELATIONSHIP IN STUDY WITH FOCUS ON THE COMPONENTS
BRICS COUNTRIES**

AUTHOR: CARLOS AUGUSTO NOGUEIRA MENDES

ADVISER: DR. PAULO SÉRGIO CERETTA

Date and place of defense: Santa Maria, RS, 10 de setembro de 2014

The issue of energy consumption and its impact on economic growth is recurring today. Specifically in scenarios finiteness of energy sources, external price shocks of these inputs and the environmental agenda requiring replacement of the use of fossil fuels, this topic has found strong echo in the literature. Simultaneously, the existence of countries that have demonstrated strength for the growth of their economies, emerges as a privileged field of research which will put emphasis the relationship between energy consumption and economic growth. In reference countries are the members of the group denominated BRICS. Brazil, Russia, India, China and South Africa are the members of this group and are characterized by growth rates above the world average, in addition to having leading positions in inflows of foreign direct investment, surpassing Europe and the United States. To carry out this study, we used World Bank data on time series on GDP, Consumption, Gross Fixed Capital and Number of Patents Required, the last two being employed as control variables and serving as a proxy for Capital Stock and Technological Progress, respectively. Were used as empirical methods of analysis two regression models with autoregressive and variables with a lag, so as to better capture the influence of time on the variables. The Energy Consumption was used as one of the dependent variable in one of the models and GDP as use in the other model, for each of the countries. The results showed, with the exception of South Africa, that the influence of the consumption of energy is fundamental to the maintenance of Economic Growth in the remaining four BRICS countries, so any government action aimed at changing the energy supply should consider this feature.

Key-words: Economic Growth. Energy Consumption. BRICS.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado: Crescimento Econômico do Brasil (Variável dependente)..... 36

Tabela 2 – Resultado: Consumo de Energia do Brasil (Variável dependente)	37
Tabela 3 – Resultado: Crescimento Econômico da Rússia (Variável dependente).....	38
Tabela 4 – Resultado: Consumo de Energia da Rússia (Variável dependente).....	38
Tabela 5 – Resultado: Crescimento Econômico da Índia (Variável dependente)	39
Tabela 6 – Resultado: Consumo de Energia da Índia (Variável dependente).....	39
Tabela 7 – Resultado: Crescimento Econômico da China (Variável dependente)	41
Tabela 8 – Resultado: Consumo de Energia da China (Variável dependente).....	41
Tabela 9 – Resultado: Crescimento Econômico da África do Sul (Variável dependente).....	42
Tabela 10 – Resultado: Consumo de Energia da África do Sul (Variável dependente).....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF	<i>Aumengted Dickey-Fuller</i>
ARDL	<i>Autoregressive Distributed Lag</i>

ASEAN	<i>Association of Southeast Asian Nations</i>
BVAR	<i>Bayesian Vector Autoregressive</i>
BRICS	<i>Brazil, Rússia, Índia, China and South Africa</i>
CO ₂	Gás carbônico
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
G7	Grupo dos sete países mais desenvolvidos do mundo
IEA	<i>International Energy Agency</i>
KPSS	<i>Kwiatkowski, Phillips, Schmidt and Shin</i>
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
OCDE	Organização de Cooperação para o Desenvolvimento Econômico
PIB	Produto Interno Bruto
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development</i>
VAR	Vetor Autoregressivo
VEC	Vetor de correção de erros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3	REFERENCIAL EMPÍRICO	19
3.1	Pesquisas para um único país.....	19
3.2	Pesquisas para um conjunto de países.....	23
4	METODOLOGIA.....	29
4.1	Séries temporais.....	29
4.2	Estacionariedade	30
4.3	Teste de raiz unitária	31
4.4	Dados da pesquisa.....	32
4.5	Modelo econométrico.....	34
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	36
5.1	Brasil	36
5.2	Rússia.....	37
5.3	Índia.....	39
5.4	China.....	40
5.5	África do Sul.....	42
6	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia é inerente ao desenvolvimento das sociedades humanas. A partir da utilização do fogo, da força dos cursos d'água, do vento, as civilizações desenvolveram-se e, de forma crescente, demandaram novas fontes energéticas (GOLDEMBERG; LUCON, 2013).

Conforme Ribeiro (2003), a Revolução Industrial trouxe consigo inúmeros avanços tecnológicos que exigiam novos suprimentos de energia, primeiramente com a utilização do vapor e do carvão mineral. As duas grandes guerras serviram para estimular a produção e o consumo de outro combustível, cuja dependência como fonte de energia marcou a segunda metade do século XX – o petróleo. Tanto este, quanto o carvão mineral, gás natural, energia hidráulica, nuclear e os biocombustíveis constituem as principais fontes de fornecimento de energia mundial, de acordo o Anuário Estatístico de 2013 emitido pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2013).

Na atualidade, a expansão da atividade econômica em diversos países emergentes tem demandado um aumento do consumo de energia para que se faça frente ao ritmo do processo produtivo. Vários estudos, ao longo das décadas, tem sido dedicados para a compreensão deste nexos e suas consequências. Por exemplo, Stern (1993), analisando os efeitos do uso da energia sobre o crescimento econômico norte-americano no período de 1947 a 1990, conclui que o uso da energia pode ser limitador para o crescimento do produto daquele país.

Oh e Lee (2004) abordando o relacionamento entre consumo de energia e crescimento econômico para a Coreia do Sul entre 1981 a 2000, aplicando dois modelos multivariados de séries temporais representando os lados da demanda e produção de energia, concluíram pela não existência de causalidade entre energia e produto no curto prazo e um relacionamento unidirecional de causalidade do produto para o consumo de energia no longo prazo.

Chontanawat, Hunt e Pierse (2008), em artigo sobre a causalidade entre consumo de energia e crescimento econômico, utilizaram uma amostra de 100 países divididos em dois grupos, pertencentes à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)¹ e não pertencentes à OCDE. Empregando testes de estacionariedade (ADF), de cointegração (Johansen) e de causalidade de Hsiao, os autores concluíram pela existência de nexos causal, tanto para um grupo quanto para o outro, do consumo de energia para o crescimento do produto

¹A OCDE é composta de 34 países que apresentam em comum alto Produto Interno Bruto (PIB) per capita e elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

e que o efeito de políticas restritivas para o setor energético, com o intuito de conter a emissão de gases poluentes, teriam um maior efeito redutor sobre o crescimento das economias desenvolvidas do que nos países em desenvolvimento.

Simultaneamente à questão energética, na atual conjuntura econômica mundial, destaca-se o grupo de países denominado de BRICS² que é um acrônimo dos nomes dos países componentes: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, os quais têm apresentado taxas de crescimento do produto acima dos países desenvolvidos, foram também o principal pólo de atração dos investimentos diretos estrangeiros em 2012 (UNCTAD, 2013a), representaram 41% do total dos investimentos externos diretos no mundo em 2009 para as economias em desenvolvimento e 9% do total dos fluxos de capitais externos em 2012 (UNCTAD, 2013b) além de apresentarem já grandes mercados consumidores internos e em expansão. Para efeitos de comparação, considerando o período de 2000 a 2012, o crescimento médio do produto do BRICS foi de 5,8%, enquanto na Zona do Euro e na América do Norte o incremento foi, respectivamente, 1,27% e 1,85%³.

Este cenário de crescimento fornece uma oportunidade de ser verificado o relacionamento entre o consumo das fontes de energia e o incremento do produto, especificamente nos países constituintes do BRICS. Alguns estudos foram destinados a abordagem dessa temática para cada um dos países deste grupo. Dentre estes estudos encontram-se: Pao e Tsai (2011) para o Brasil; Pao et al. (2011) para a Rússia; Pao et al. (2012) e Zhang e Cheng (2009) no caso da China; Cheng (1999), Ghosh (2002), Tiwari (2011) e Alam et al. (2011) na Índia; Odhiambo (2009) e Menyah e Wolde-Rufael (2010) para a África do Sul.

Diante do exposto, as questões que se apresentam neste estudo são: o consumo de energia é um fator mantenedor ou neutro para o crescimento econômico dos países do BRICS? A partir do conhecimento dessa relação, que tipos de ações podem ser direcionadas ao fornecimento de energia? Manutenção da oferta? Substituição de uma fonte por outra?

Com o fito de responder estas questões foi fixado como objetivo geral desta pesquisa a análise da interação existente entre consumo de energia e crescimento econômico e de seus desdobramentos para as economias dos países do BRICS e, como objetivos específicos, a

² O grupo BRICS não é uma aliança formal entre países tal como a ASEAN ou o MERCOSUL. O termo BRIC foi criado pelo economista Jim O'Neill em seu relatório apresentado ao grupo Goldman Sachs em 2001, em que o PIB, renda per capita e movimentos financeiros desses países foi objeto de monitoramento sendo os resultados posteriormente demonstrados neste relatório cuja conclusão apontava para a existência, nestes países, de potencial de crescimento superior ao G7. (Kobal et al., 2012).

³ Informações elaboradas pelo autor a partir da base de dados do Banco Mundial.

identificação dos fatores que exercem impacto sobre energia e produto e o detalhamento do tipo de relação entre energia e produto frente a outras variáveis empregadas no estudo.

Desta forma, este trabalho procura agregar à literatura, em um único estudo, a análise do relacionamento entre crescimento econômico e consumo de energia no âmbito dos países componentes do BRICS, considerando o período de 1991 a 2010. Para este fim, serão empregados modelos de regressão com séries temporais utilizando como variáveis o PIB a dólares correntes como medida do Crescimento Econômico e o Consumo de Energia mensurado em termos de kilotoneladas de óleo equivalente, além das variáveis auxiliares Estoque de Capital e Progresso Tecnológico mensuradas pelas *proxys*, respectivamente, Formação Bruta de Capital Fixo e Número de Pedidos de Patentes, todos os dados disponíveis na base do Banco Mundial.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma, além da presente introdução: no capítulo dois são apresentadas contribuições que procuram demonstrar a distinção conceitual de crescimento econômico além da evolução de diferentes abordagens sobre este tema por parte da Ciência Econômica; o capítulo três demonstra diversas pesquisas de cunho empírico acerca da relação entre crescimento econômico e consumo de energia, estudos voltados para a análise dessa relação para um único país e para grupos de países; a metodologia a ser empregada encontra-se descrita no capítulo quatro; no capítulo seguinte são expostos e analisados os resultados obtidos e, no capítulo final, as conclusões mais relevantes do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentadas discussões teóricas que auxiliarão no progresso do trabalho. Primeiramente é necessário esclarecer o significado de crescimento econômico e, para isso, é fundamental abordar de forma resumida a discussão acerca da distinção entre crescimento e desenvolvimento econômico.

Logo em seguida serão expostas algumas contribuições de autores que demonstrarão a evolução do pensamento econômico em torno da questão do crescimento retratada pela estrutura do processo produtivo, a geração da riqueza, os fatores limitantes e expansivos da produção.

2.1 **Distinção conceitual:** crescimento x desenvolvimento econômico

Na literatura especializada sobre o tema, é recorrente a discussão sobre a similaridade conceitual existente entre os termos crescimento e desenvolvimento econômico. Sandroni (1994) considera o desenvolvimento econômico como o aumento da atividade produtiva acompanhado por melhorias no nível de vida dos cidadãos.

Semelhantemente, Milone (1998) advoga a existência de desenvolvimento econômico a partir da constatação da variação positiva do crescimento do produto medida pelos indicadores de renda e produto per capita (PIB) e na melhoria de outros índices que apontem para a redução da pobreza e desemprego e melhoria dos níveis de educação, saúde, moradia e transporte.

Sachs (2004) defende a idéia de ser o crescimento uma condição fundamental para o desenvolvimento de uma determinada sociedade, porém são conceitos que não devem ser confundidos. Souza (2005), reforça essa definição realçando a possibilidade de haver crescimento da atividade produtiva (crescimento econômico) cuja repercussão não seja efetiva junto à população, não resultando, portanto, na redução da pobreza e das desigualdades sociais.

Bresser-Pereira (2006), a partir de uma perspectiva histórica, entende como desnecessária a distinção entre as duas categorias advogando que o aumento da produtividade é historicamente acompanhado pela elevação da renda e, conseqüentemente, do aumento do

bem-estar da população considerando o longo prazo. Os casos em que não fossem verificadas essa relação direta seriam exceções.

Assim, utilizando o resumo apresentado em Souza (2005), existem duas correntes de pensamento que abordam o tema em pauta. A primeira concebe o crescimento como análogo ao desenvolvimento, enquanto na segunda, aquele é condição indispensável para este último, ainda que não suficiente.

Considerando os objetivos deste estudo, admitir-se-á a concepção do crescimento econômico como a variação quantitativa positiva da atividade econômica dos países analisados, utilizando o Produto Interno Bruto (PIB) como instrumento de sua mensuração e pressupondo, como consequência do incremento produtivo e do aumento da renda disponível, a elevação da qualidade de vida das populações dos respectivos países, tal como afirmado por Bresser-Pereira (2006).

2.2 Crescimento econômico: algumas contribuições teóricas.

Feito este resumo conceitual acerca do debate que envolve a distinção entre crescimento e desenvolvimento econômico, passar-se-á para a exposição das contribuições teóricas cujo objetivo principal residirá em abordar os fatores determinantes ou limitantes ao crescimento econômico, ao mesmo tempo em que se buscará por em relevo a evolução do pensamento teórico sobre o tema em comento desembocando no realce para o fator energia e sua influência no processo de crescimento.

A questão do crescimento econômico foi a gênese da Ciência Econômica. Além de ser o seu objetivo fundamental: explicar as causas do desenvolvimento econômico e os seus limitantes (Bresser-Pereira, 2006). Diversos autores, dentre os quais Adam Smith, Karl Marx, David Ricardo, Joseph Schumpeter, dentre outros, abordaram o tema em busca das causas determinantes do incremento da atividade produtiva e sobre a conseqüente criação de riqueza.

Adam Smith (1996) identificou a especialização decorrente da divisão do trabalho como fator fundamental para o crescimento econômico, pois o aumento da produtividade do trabalhador resultaria na maior qualidade e economia de tempo para realização das tarefas. A especialização, tal como concebida por Smith, consistiria na partição das tarefas em etapas menores e mais simples com menor exigência de habilidade em relação aos trabalhadores.

A concepção de crescimento econômico de Smith pode ser descrita de forma mais detalhada partindo-se da disseminação da divisão do trabalho no sistema econômico que estimularia o acúmulo de capital e ambos influenciariam positivamente o aumento da produtividade e, conseqüentemente, da produção nacional das reservas de salário desembocando na elevação do consumo; este aumento no consumo seria, segundo Smith, o indicativo do crescimento da riqueza nacional. Smith admitia, portanto, a possibilidade de crescimento infinito da atividade econômica a partir do aumento da produtividade proporcionada pela divisão do trabalho (Brue, 2005).

Ricardo (1996) mantendo os fatores de produção identificados por Smith, mas aprofundando a análise deste, argumentava que o aumento da riqueza de uma nação seria limitado pelo que ele conceituou de rendimentos decrescentes do trabalho na agricultura⁴, pois estes seriam responsáveis pela alta dos salários dos trabalhadores (uma renda comprometida com bens de subsistência – alimentos fornecidos pela agricultura) e também pelo deslocamento de capitais empregados no setor agrícola para a indústria. A combinação desses efeitos reduziria o lucro do empresariado trazendo como resultado a estagnação da atividade produtiva no país.

A escola neoclássica baseou seu primeiro modelo de crescimento (Modelo de Solow⁵) utilizando os fatores capital e trabalho dos países como determinantes do seu nível de produto. Fundamentalmente, o modelo de Solow identifica, a partir da admissão de que os fatores de produção são mantidos constantes em um país, o incremento produtivo como resultado do efeito do progresso tecnológico sobre o trabalho e o capital. Desta forma, o crescimento do produto, e conseqüentemente da renda nacional, ficariam atrelados às mudanças verificadas no parâmetro tecnológico ao longo do tempo (Oreiro, 1999).

Críticas surgiram ao modelo proposto por Solow as quais originaram outras propostas de abordagem para o tema. Dentre essas contraposições, Mankiw, Romer e Weill (1992) argumentaram a incapacidade do modelo de Solow em explicar as diferentes taxas de crescimento da renda existentes entre os países, já que uma das conseqüências inerentes às pressuposições daquele modelo seria a caracterização do progresso tecnológico como “bem público”, informação acessível a todos e de aplicabilidade geral, portanto, todos os países não

⁴A lei dos rendimentos decrescentes que primeiramente foi direcionada para a produtividade do trabalho agrícola, logo depois foi estendida para outros fatores de produção e pode ser descrita como a tendência decrescente da produtividade de um fator ocasionada pela necessidade de utilização de unidades menos eficientes desse fator para atender o crescimento da demanda. (Nota do autor)

⁵Conforme a equação $Y_t = K_t^a (A_t L_t)^b$, a qual representa o produto (Y) em função de K (capital) e L (trabalho), sendo o desempenho deste último (produtividade do trabalho, sua eficiência) vinculado à tecnologia (A) existente no sistema produtivo, todos estes fatores considerados ao longo do tempo (t). (Oreiro, 1999)

apresentariam desnível, no longo prazo, quanto à posse de conhecimento tecnológico⁶. A resposta dada por Solow para essa questão está centrada nas diferenças existentes entre os países quanto ao estoque de capital disponível em cada um (Oreiro, 1999).

A apresentação dessa problemática quanto às discrepâncias verificadas nas taxas de crescimento da renda entre os países ensejou alterações na abordagem neoclássica sobre a questão do crescimento econômico e trouxe consigo o surgimento de outros modelos, tais como o de Romer, Mankiw e Weill (1992); fundamentados em dados empíricos, demonstraram que as diferenças entre as taxas de crescimento da renda entre os países eram de tal magnitude que não poderiam ser explicadas unicamente pela variabilidade nos estoques de capital e expandiram o conceito de capital utilizado por Solow, este considerava o estoque de capital formado unicamente pelo capital físico, de forma a englobar o que foi denominado de capital humano, passando o modelo crescimento neoclássico a figurar com três insumos: capital físico (K), capital humano (H) e trabalho (L)⁷.

Pokrovski (2003), por sua vez, em estudo empírico propõe a inclusão diferenciada do fator energia como insumo na função de produção utilizada pelas teorias neoclássicas do crescimento. A idéia básica dessa abordagem reside na constatação que as atividades laborativas humanas, em maior ou menor escala, dependem da utilização de alguma fonte externa de energia (externa em relação à força corporal humana); força eólica, água, carvão, petróleo são exemplos dessas fontes necessárias para a produção econômica, pareadas a equipamentos e ferramentas.

A aplicação dessa abordagem com os dados da economia norte-americana dos anos de 1890 a 1999⁸ mostrou o que o autor denominou de o “Princípio da potência máxima” o qual aponta para a tendência de consumo máximo dos recursos disponíveis para a produção, notoriamente energia e trabalho, mas com a constatação de que este último vem sendo substituído pela utilização intensiva de equipamentos e máquinas sofisticadas em conjunto com as fontes externas de energia no processo produtivo.

Beaudreau (2005), em artigo que propõe a revisão do modelo de crescimento econômico neoclássico a partir de conceitos derivados da engenharia de produção e da física aplicada, elaborou um novo modelo acrescentando outros fatores de produção, quais sejam: material, energia e informação. A ênfase do estudo recai no fator energia que, após a aplicação do modelo

⁶ A respeito dessa discussão sobre a caracterização do conhecimento tecnológico em “bem público” como consequência teórica do modelo de Solow, ver Oreiro (1999), p. 45-51.

⁷ Conforme a equação $Y_t = K_t^\alpha H_t^\varphi (A_t L_t)^{1-\alpha-\varphi}$. (Oreiro, 1999)

⁸ Foram utilizados os dados correspondentes ao PNB, investimento, capital, trabalho e energia.

utilizando dados dos EUA, Alemanha e Japão do período de 1950-1984, surgiu como fator de sustentáculo ao crescimento do produto acompanhando as suas oscilações, isto para os três países analisados.

3 REFERENCIAL EMPÍRICO

A literatura empírica existente sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico foi inaugurada pelo artigo de Kraft e Kraft (1978) tendo como campo de análise os Estados Unidos. Após este trabalho seminal, numerosos artigos foram publicados com o objetivo de verificar a relação existente entre essas duas variáveis e os efeitos de sua interação frente a políticas de redução de emissões de poluentes e projeções sobre impactos futuros entre consumo de energia e crescimento do produto⁹ e também para detectar padrões de crescimento econômico que tenham como base, ou não, o consumo de energia.

Foram aplicadas diversas técnicas e modelos econométricos em vários países. Tendo em vista o grande número de estudos e para fins de melhor organização deste referencial, a revisão da literatura empírica será seccionada em dois grupos: primeiro, serão referenciados os estudos que tiveram por objeto um país específico e, no outro, serão postos os trabalhos focados em grupos de países, seguindo o mesmo procedimento adotado por Ozturk (2009) em seu trabalho sobre a revisão de literatura do tema em pauta.

3.1 Pesquisas para um único país

A pesquisa sobre a interação entre o consumo de energia e crescimento econômico foi inaugurada pelo artigo seminal de Kraft e Kraft (1978). Neste trabalho, os autores buscaram verificar a existência ou não de causalidade entre as duas variáveis na economia dos Estados Unidos no período de 1947 a 1974, utilizando o teste de causalidade de Granger. Como

⁹ Necessário esclarecer que, para a caracterização de crescimento econômico, serão utilizadas palavras ou expressões com sentidos equivalentes, assim, expressões como crescimento do produto, crescimento da atividade econômica, crescimento do produto interno bruto ou vocábulos isolados como produto e renda serão intercambiáveis entre si com o intuito de serem utilizados como sinônimos de crescimento econômico. (Nota do autor)

resultado, foi detectada a existência de relação causal partindo do produto para o consumo de energia, inexistindo o sentido inverso desta determinação¹⁰.

Após o estudo de Kraft e Kraft (1978), Yu e Hwang (1984), igualmente em pesquisa à economia dos Estados Unidos analisando o período de 1947 a 1979, empregaram o teste de causalidade de Sims e concluíram que não havia relacionamento causal entre crescimento econômico e consumo de energia, afirmando que o estudo de Kraft e Kraft (1978) chegou a resultados espúrios.

Yu e Jin (1992) promoveram estudo em que o objetivo foi identificar o tipo de relacionamento existente no longo prazo entre o consumo energético e os níveis de produto e emprego para a economia dos Estados Unidos no período de 1974 a 1990. Empregando técnicas de cointegração, os autores concluíram pela neutralidade do consumo de energia ao considerar seus efeitos sobre o nível de emprego e produto. Assim, reforçando os resultados encontrados por Yu e Hwang (1984), Yu e Jin (1992) afirmaram que políticas energéticas contracionistas não influenciariam de forma negativa a atividade econômica nos Estados Unidos.

Por sua vez, Stern (2000), utilizando um modelo VAR de quatro equações sobre os dados relativos ao PIB, capital, trabalho e consumo de energia norte-americanos englobando o período de 1948 a 1994, concluiu, contrariando os resultados encontrados por Yu e Hwang (1984), Yu e Jin (1992) e Kraft e Kraft (1978), que a relação de causalidade tem sentido do consumo de energia para o produto ou bidirecionalidade causal dependendo do resultado exposto pelos modelos utilizados no estudo.

Um dos primeiros estudos sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico que teve como objeto um país que não os Estados Unidos foi o artigo de Hwang e Gum (1991 apud OZTURK, 2010), no qual foi analisado o caso de Taiwan durante o período de 1961 a 1990. Utilizando cointegração, os autores concluíram pela causalidade bidirecional de Granger entre as variáveis consumo de energia e crescimento econômico.

Cheng e Lai (1997), aplicando a versão de Hsiao do método de causalidade de Granger para a economia taiwanesa no intervalo de 1955 a 1993, concluíram pela relação de determinação unicausal partindo do incremento da atividade econômica para o consumo de energia, referendando o estudo de Kraft e Kraft (1978) para a economia norte-americana e o trabalho de Yu e Choi (1985) para diversos países, mas contrapondo-se ao estudo destes últimos autores na análise do relacionamento destas variáveis nas Filipinas.

¹⁰ Conforme Gujarati (2011), o termo causalidade, no sentido de Granger, pode ser entendido como precedência, no caso, precedência de uma variável sobre outra, isto significa que, se a variável X (no sentido de Granger) causa a variável Y, então, alterações no comportamento de X indicariam variações futuras em Y. .

Soytas et al. (2001), em artigo com foco na Turquia, utilizaram dados sobre consumo de energia e produto interno bruto para este país no intervalo de 1960 a 1995 e concluíram, após empregar o método de cointegração de Johansen-Juselius e a modelagem vetorial de correção de erros (VEC), pela causalidade unidirecional do consumo de energia para o produto e que políticas energéticas restritivas podem ser prejudiciais para o crescimento econômico no longo prazo.

Corroborando o estudo de Soytaş, ainda em referência à Turquia, Altinay e Karagol (2005) coletaram dados de consumo de energia e renda de 1950 a 2000, ambas as séries foram consideradas um processo estacionário em torno de uma quebra estrutural pelo teste de Zivot e Andrews. Desta forma, foram adicionados ao teste de não causalidade de Granger os testes de Dolado-Lutkepohl usando vetores auto-regressivos (VAR) em níveis e a causalidade padrão de Granger usando dados retificados. Ambos os testes resultaram em fortes evidências pela causalidade no sentido do consumo de energia para o produto, ainda que, segundo os autores, as duas variáveis não podem ser diretamente relacionadas devido a que ambas são provavelmente determinadas por outros fatores. No entanto, um incremento no consumo de energia pode ser considerado como um fator que leva ao crescimento econômico.

Jobert e Karanfil (2007) chegaram a resultados opostos aos encontrados por Soytaş (2001) e Altinay e Karagol (2005). Os autores utilizaram duas maneiras de abordar o relacionamento entre consumo de energia e crescimento econômico na Turquia. Inicialmente, o foco foi direcionado ao nível macro (agregado) e, depois, desagregadamente, para o setor industrial aplicando um modelo VAR. Os resultados apresentaram a neutralidade no relacionamento entre energia e produto. Igual conclusão foi mostrada ao nível industrial em que o consumo de energia e o valor adicionado no processo produtivo industrial não exerceram influência entre si. Conforme Jobert e Karanfil (2007), a confirmação da hipótese de neutralidade entre produto e energia poderia ter impactos na condução de políticas energéticas na Turquia, por exemplo, um programa de redução no consumo de energia, tanto nacional quanto setorialmente, para a indústria, poderia ser implantado sem comprometer o crescimento econômico. Ou ainda, menor utilização de energia resultaria na independência quanto à importação deste insumo. Quanto à questão ambiental, o governo teria condições de implementar esforços para desenvolver programas que reduziriam emissões de gás carbônico sem comprometer a atividade produtiva.

Para o Paquistão, Aqeel e Butt (2001) empregaram a versão de Hsiao para a causalidade de Granger sobre dados de 1955 a 1996 e desagregaram os dados relativos ao consumo de energia nas categorias: petróleo, gás natural e energia elétrica para fins de determinar com mais

precisão o sentido da relação de causalidade. Os resultados encontrados acusaram, primeiramente, que o crescimento econômico é a causa total para o consumo de energia, segundo, a maior atividade produtiva expande o consumo de petróleo não ocorrendo o mesmo com o uso do gás natural e, finalmente, a utilização de energia elétrica impulsionaria o crescimento econômico. Os autores elencaram algumas implicações políticas de seu trabalho. No caso do petróleo, uma política energética de restrição não afetaria o desenvolvimento econômico paquistanês. A expansão do consumo do gás e da energia elétrica estimulariam o incremento da atividade produtiva.

Hondroyannis et al. (2002) empregaram a modelagem de estimação VEC, sendo utilizadas como variáveis, além do Produto Interno Bruto e do consumo de energia, o indicador de inflação na Grécia para uma amostra de 1960 a 1996. Criticaram estudos anteriores que assumiram a estacionariedade das séries temporais utilizadas, aplicando inadequadamente, portanto, técnicas de estimação. Os resultados empíricos da pesquisa apontaram que o total do consumo de energia não pode ser considerado exógeno para a inflação e o processo de crescimento. O consumo de energia pareceu exercer um importante papel no crescimento do produto, assim como os preços foram responsáveis por variações do Produto Interno Bruto. Já o consumo de energia residencial foi considerado exógeno por não ser afetado por variações no produto ou na inflação.

Ghali e El-Sakka (2004) aplicaram uma função de produção neoclássica e desenvolveram um modelo VEC após testar por cointegração multivariada os fatores: produto, capital, trabalho e consumo de energia com dados do Canadá para o período de 1961 a 1997. O objetivo era identificar a direção do fluxo de causalidade entre crescimento econômico e consumo de energia. Dentre os resultados, a dinâmica de curto prazo das variáveis demonstrou que o fluxo causal é bidirecional entre produto e consumo de energia. Os autores rejeitaram o argumento neoclássico sobre a neutralidade da energia em relação ao crescimento e, portanto, a energia poderia ser um fator limitante ao incremento do produto no Canadá, podendo os choques advindos da redução da oferta de energia assumir um peso negativo sobre o produto desse país.

Oh e Lee (2004), em trabalho direcionado à Coreia do Sul, utilizaram dados trimestrais de 1981 a 2000 com o intuito de testar a relação de causalidade entre consumo de energia e crescimento do produto nesse país. Foram aplicados dois modelos multivariados de séries temporais em que se tinha a demanda representada por Produto Interno Bruto, consumo de energia e preço real da energia e, pelo lado da oferta, Produto Interno Bruto, energia, capital e trabalho. Para testar a causalidade pelo método de Granger na presença de cointegração entre

as variáveis, foi utilizado um modelo VEC. Como resultado, os autores encontraram causalidade unidirecional de longo prazo com sentido do produto para a energia, por sua vez, no curto prazo, o nexos causal inverte-se, estando a origem do fluxo direcional na utilização da energia. Como implicação política do estudo, os autores sugeriram que a redução no uso da energia não traria impactos negativos para o crescimento no longo prazo, portanto, estratégias de política energética que tivessem como objetivo a redução de emissões de gás carbônico seriam aceitáveis tendo em vista a ausência desse fluxo causal de longo prazo da energia para o produto.

Ang (2008) analisou o relacionamento entre produto, emissão de poluentes e consumo de energia na Malásia para o interregno 1971 a 1999, sendo o produto estimado em função da emissão de carbono (proxy do nível de poluição) e pelo consumo de energia per capita. Neste estudo, os autores introduziram três variáveis *dummys* considerando duas crises do petróleo (1973 e 1979) e a crise financeira asiática (1997-1998), eventos ocorridos durante o período relativo aos dados. Para efetuar a estimação foi aplicado um modelo multivariado VAR. Foram utilizados três testes de raiz unitária (ADF, Phillip-Perron e KPSS) e o teste de cointegração conforme abordagem de Johansen. Os resultados apontaram para uma forte relação entre as variáveis. As emissões de CO₂ e o consumo de energia são positivamente relacionados ao produto no longo prazo, isso implica que o crescimento pode ser afetado por políticas restritivas de energia direcionadas ao decréscimo da emissão de poluentes. Os resultados de causalidade demonstraram que o crescimento econômico exerce influência causal positiva sobre o consumo de energia, tanto no longo quanto no curto prazo. A constatação deste sentido bidirecional entre energia e produto no longo prazo demonstraram a dependência energética da economia malaia, considerando a elevada participação do setor industrial intensivo no uso de energia para o produto do país, o que implicaria na maior sensibilidade do crescimento produtivo frente a possíveis choques advindos da oferta de energia.

3.2 Pesquisas para um conjunto de países

O desenvolvimento da literatura sobre a relação entre energia e crescimento econômico trouxe uma abertura onde o campo de análise estendeu-se para o estudo simultâneo de vários países.

Yu e Choi (1985) foram os primeiros a comparar a relação entre uso de energia e crescimento econômico para vários países em diversos estágios de desenvolvimento, considerando o período de 1950 a 1976. Para este estudo foram selecionados Reino Unido, Estados Unidos, Polônia, Filipinas e Coréia do Sul. Após a utilização do teste de causalidade de Granger, os resultados mostraram a não existência de relação causal para os três primeiros países. Para as Filipinas o nexos causal parte do consumo de energia para o produto, concluindo-se o inverso para a Coréia do Sul.

Glasure e Lee (1997), em artigo sobre a causalidade entre produto e consumo de energia na Coréia do Sul e Singapura, contestaram a validade dos resultados encontrados através dos testes de Granger e Sims. Como alternativa, propuseram para o seu estudo o emprego de cointegração e modelagem VEC para amostras no período de 1961 a 1990. Os resultados relativos aos modelos de correção de erros demonstraram a causalidade bidirecional entre produto e consumo de energia tanto para Singapura quanto para a Coréia do Sul. O teste de Granger encontrou não causalidade para a Coréia do Sul e unidirecionalidade no sentido da energia para o produto no caso de Singapura.

Tendo como foco o grupo de países do G7 e outras 10 economias emergentes, Soyta e Sari (2003) empregaram um modelo VEC cujos resultados apontaram para causalidades de longo prazo unidirecionais do consumo de energia para o crescimento econômico, este foi o caso da Turquia, França, Alemanha Ocidental e Japão, o inverso foi revelado para Itália e Coréia, existindo ainda bidirecionalidade para o caso da Argentina no longo prazo. Nos demais países foram encontrados relacionamentos não significativos entre as variáveis.

Em outro estudo, desta feita restrito ao G7¹¹ frente aos possíveis efeitos para o crescimento econômico desses países devido aos compromissos para redução de emissão de gases poluentes determinados pelo Protocolo de Kyoto, Soyta e Sari (2006), empregaram os testes de cointegração de Johansen e Johansen-Juselius, modelagem VEC, decomposição generalizada de variâncias de Koop, Pesaran e Potter e Pesaran e Shin e cinco diferentes testes de raiz unitária. Foram identificados diversos sentidos de longo prazo para a causalidade. Bidirecionalidade no caso do Canadá, Itália, Japão e Reino Unido. Para a França e Estados Unidos foi identificado o fluxo causal partindo do consumo de energia para o produto. Somente na Alemanha a causalidade originou-se do produto para a energia. Como implicações dos resultados obtidos, propuseram-se ações para os países envolvidos. A Alemanha poderia

¹¹ O grupo dos 7, atualmente grupo dos 8, é composto pelos 7 países mais industrializados e desenvolvidos economicamente do mundo e a Rússia, são eles: Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido e Rússia. (Nota do autor)

incentivar políticas de utilização de energia limpa sem comprometer o seu desempenho econômico. Relativamente à França e Estados Unidos, o desenvolvimento tecnológico visando maior eficiência energética poderia balancear os efeitos da causalidade unidirecional da energia para o produto. No caso dos demais, seria viável a implementação de ações que buscassem a combinação de crescimento econômico simultaneamente a políticas restritivas para o consumo de energia considerada poluente.

Semelhante pesquisa foi desenvolvida por Narayan e Smith (2008) em relação ao grupo de países componentes do G7. Os autores realçaram o fato de existirem variados estudos sobre a temática centrados em países individuais, porém, com resultados díspares entre si que não conseguiram determinar de forma consensual a direção de causalidade entre consumo de energia e produto. Buscando aprofundar os resultados anteriores foi aplicado, além do teste de cointegração de Pedroni, o teste de cointegração em painel proposto por Westerlund que possibilitou a análise do relacionamento entre energia e produto através de múltiplas quebras estruturais que representaram, por exemplo, as crises do petróleo de 1973 e 1979 e o racionamento imposto pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo/OPEP nas décadas de 1980 e 1990. Foram utilizadas como variáveis a formação bruta de capital fixo (proxy do estoque de capital), consumo de energia e PIB (proxy para a atividade econômica nacional) com base de dados compreendida entre os anos de 1972 a 2002. Os resultados do teste de Westerlund e causalidade de Granger apresentaram cointegração com um efeito positivo da formação bruta de capital e consumo de energia sobre o PIB, bem como relação de causalidade dos primeiros para este último. Como consequências para as políticas econômicas, os achados sugeririam que a redução do consumo de energia teria um efeito negativo sobre a atividade produtiva nos países do G7 e que a implementação de políticas que enfatizassem a conservação ambiental teriam que considerar formas de minimizar os seus efeitos sobre o crescimento econômico.

Utilizando dados em painel, Lee (2005) abordou a questão do relacionamento entre consumo de energia e crescimento econômico para 18 países em desenvolvimento no período de 1975 a 2001. Concluiu-se que os relacionamentos de causalidade unidirecional no curto e longo prazo mostraram que o consumo de energia afetou o crescimento econômico dos países. Assim, políticas de racionamento energético poderiam contrair a atividade econômica de países em desenvolvimento.

Centrando-se desta vez nas onze economias mais desenvolvidas do mundo, com base de dados compreendida entre 1960 a 2001, Lee (2006) empregou a versão de Toda e Yamamoto para o teste de causalidade de Granger e avaliou se a implementação de políticas para redução

no consumo de energia para atender às metas de emissão de poluentes estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto, afetou o crescimento econômico desses países. Concluiu-se pela não neutralidade causal entre energia e produto exceto para o Reino Unido, Alemanha e Suécia. Para outros, foram encontradas causalidades unidirecionais dirigidas do consumo de energia para a atividade econômica, caso do Canadá, Bélgica, Holanda e Suíça, em que o consumo de energia figuraria como “dínamo” do crescimento e, portanto, a busca pelo cumprimento de metas de redução de poluentes afetaria a atividade produtiva através da contração no consumo energético. O inverso foi verificado para a França, Itália e Japão, para estes seriam viáveis aplicações de políticas energéticas redutoras de emissões de poluentes, pois a atividade econômica não seria restringida. A existência de causalidade bidirecional foi constatada nos Estados Unidos implicando em que, para este país, qualquer política energética conservadora precisaria, simultaneamente, encontrar meios de reduzir o consumo de energia sob pena de comprometer o crescimento do produto.

Wolde-Rufael (2005), utilizando teste de cointegração desenvolvido por Pesaran e outros e uma versão modificada do teste de causalidade de Granger desenvolvida por Toda e Yamamoto, verificou o nexos de causalidade entre consumo de energia elétrica per capita e produto per capita em dezessete economias africanas para o período de 1971 a 2001. Os resultados demonstraram diversos relacionamentos e sentidos de causalidade entre essas variáveis para os países, sendo que para a maior parte da amostra foi constatada uma causalidade de longo prazo do consumo de energia elétrica para o crescimento econômico, contudo, os resultados devem ser interpretados à luz da reduzida participação do consumo de eletricidade no total de energia demandada na África.

Akinlo (2008), em estudo dirigido a onze países situados na África Subsaariana, aplicou o teste ou modelo autoregressivo de defasagens distribuídas (ARDL) e a causalidade de Granger baseada num modelo vetorial de correção de erros (VEC) para determinar a relação de causalidade entre consumo de energia e crescimento econômico. Foram utilizados dados de 1980 a 2003. Duas outras variáveis, índice de preços ao consumidor e gastos públicos, foram adicionadas ao estudo como controle para possíveis vieses decorrentes da omissão de outros fatores que têm impacto sobre o crescimento econômico. O índice de preços ao consumidor é utilizado como proxy de preços e de eficiência do sistema econômico e os gastos públicos são considerados no modelo pela sua influência no consumo de energia e para o crescimento do produto. O teste de Granger mostrou todos os sentidos de causalidade para os países da amostra, inclusive a existência de não causalidade. A existência da bidirecionalidade poderia nortear a formulação de políticas que seriam destinadas a reduzir o consumo de energia sem afetar a

produção nacional, por exemplo, a adoção simultânea de taxas e subsídios. Quanto à unidirecionalidade do produto para a energia, os efeitos de medidas de redução no consumo energético pouco afetariam a atividade econômica, o inverso aconteceria nos países onde o sentido causal partiu da energia para o produto.

Al-Iriani (2006) centralizou sua investigação sobre a causalidade entre energia e crescimento econômico para os seis países componentes do Conselho de Cooperação do Golfo Pérsico englobando os anos de 1971 a 2002. A aplicação da causalidade de Holtz e Eakin com a estrutura de dados em painel apontou para o relacionamento causal com origem do produto para o consumo de energia. Ficou evidente que a existência de abundantes recursos energéticos oriundos das maiores reservas de petróleo do mundo não foi fator suficiente para promover o crescimento da atividade econômica nesses países. Desta forma, os países componentes do grupo poderiam implementar esforços para reduzir o consumo de energia, pois não haveria impacto negativo para o crescimento.

Semelhante amostra foi utilizada por Mahadevan e Asafu-Adjaye (2007) com o acréscimo, porém, de países importadores de energia tendo como base para análise dados relativos ao PIB, consumo de energia e pelos índices de preço ao consumidor (como proxy para os preços da energia) para o período de 1971 a 2002. Com base na comparação de resultados demonstrados através de um painel de causalidades, tanto para o curto quanto para o longo prazo, obtidos após a utilização de um modelo vetorial de correção de erros (VEC) aplicado para cada país, os autores encontraram bidirecionalidade causal entre crescimento econômico e utilização de energia para os países desenvolvidos exportadores de energia no curto e longo prazos, enquanto que para os países em desenvolvimento o estímulo originou-se no consumo de energia para o produto.

Mehrara (2007), em artigo onde onze países exportadores de petróleo são observados tendo o período de 1971 a 2002 como referência, empregou a metodologia de causalidade de Granger com a estrutura de dados em painel para verificar o relacionamento entre duas variáveis per capita, PIB e consumo de energia. Tal como demonstrado por Al-Iriani (2006), restou evidenciado o fluxo causal originário do produto para o consumo de energia, portanto, políticas que objetivassem a redução no uso da energia poderiam não ser prejudiciais ao crescimento produtivo.

O nexos de causalidade entre produto e consumo de energia e projeções para o comportamento de demanda energética foram investigados para um grupo de países caribenhos selecionados por Francis et al. (2007), Trinidad e Tobago, Haiti e Jamaica, abrangendo o período de 1971 a 2002. Foram utilizados o método de Granger (para determinar a direção de

causalidade) e o modelo Vetor de Auto-regressão Bayesiano (BVAR) – para projetar os níveis de demanda para consumo de energia. As evidências revelaram uma causalidade bidirecional de curto prazo entre as variáveis e a expectativa para o aumento na demanda por energia para os três países. As implicações do estudo dirigiram-se no sentido da busca por novas fontes alternativas de energia para substituição da dependência por petróleo.

Apergis e Payne (2009) abordaram onexo de causalidade entre consumo de energia e crescimento econômico com referência a países da América Central (Costa, Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e Panamá) para o período de 1980 a 2004. É ressaltado no estudo a inclusão das variáveis capital (formação bruta de capital fixo como proxy) e trabalho a fim de minimizar o viés decorrente da omissão de outras variáveis que tenham impacto sobre o crescimento econômico. O teste de heterogeneidade de cointegração em painel mostra que existe um relacionamento positivo de longo prazo entre as variáveis – consumo de energia, PIB, capital fixo e trabalho. Assim, o consumo de energia exerce, conjuntamente ao capital e trabalho, um papel complementar ao crescimento econômico.

4 METODOLOGIA

Nesta seção serão demonstrados os conceitos econométricos básicos e o modelo empírico a ser utilizado para a consecução do estudo.

4.1 Séries temporais

Este estudo baseia-se na utilização de séries temporais que, conforme definição de Morretin e Tolo (2006), são quaisquer conjuntos de observações ordenadas no tempo que apresentam as seguintes características: sentido de deslocamento da série ao longo do tempo (tendência); movimento ondulatório tendente a tornar-se periódico (ciclo); movimento ondulatório de curta duração associado, geralmente, a mudanças climáticas (sazonalidade); e a variabilidade inerente aos dados que não pode ser representada no modelo econométrico (erro ou ruído aleatório).

Conforme estes autores, a análise de séries temporais pode ser dividida a partir das seguintes perspectivas:

- Descrição: analisar o comportamento da série e obter suas estatísticas básicas;
- Explicação: investigar o mecanismo gerador da série ou compará-la a alguma outra série que possa explicar a variação da primeira;
- Controle: controlar processos e qualidade de dados;
- Predição: fazer previsões de valores futuros de uma série no curto e longo prazo.

Resumidamente, a análise de séries temporais permite a modelagem do fenômeno estudado com o objetivo de demonstrar o comportamento, fazer estimativas e verificar a relação de causa e efeito entre variáveis representadas por séries temporais, conforme Latorre e Cardoso (2001).

Considerando o objetivo deste estudo, as séries temporais servirão para explicar o fenômeno em análise a partir da identificação dos fatores de maior relevo que atuam sobre o crescimento econômico e o consumo de energia nos países do BRICS, permitindo estimar o comportamento da variável dependente.

4.2 Estacionariedade

A intensividade da utilização de dados econômicos oriundos de séries temporais em diversas pesquisas trouxe consigo a necessidade de um aprofundamento sobre as especificidades inerentes a esta fonte de dados. Existem determinadas condições que precisam ser consideradas para que uma regressão embasada em séries temporais não venha apresentar resultados não representativos, ou espúrios, no caso do presente estudo, referentes à relações entre variáveis econômicas.

Uma dessas condições para que se possa utilizar as séries temporais é denominada de estacionariedade que é caracterizada quando as séries apresentam média e variância constante ao longo do tempo e o valor da covariância entre dois períodos de tempo depende apenas da distância ou defasagem entre os dois períodos (GUJARATI; PORTER, 2011).

Stock e Watson (2004) ilustram o conceito de estacionariedade ao referirem-se à possibilidade da análise de regressão de dados serem úteis para elaborar projeções com base em informações passadas. No caso das séries temporais, especificamente as séries econômicas, geralmente os dados passados não oferecem uma base segura para estimar movimentos futuros¹², tem-se, então, a não estacionariedade. A presença da estacionariedade, no entanto, permite que relações históricas possam ser generalizadas para o futuro.

Uma forma de representar as séries não estacionárias é por meio do modelo denominado de passeio aleatório que pode ser melhor compreendido, conforme Silva et al. (2007), com a utilização da seguinte regressão: $Y_t = Y_{t-1} + u_t$, onde Y_t e Y_{t-1} representam, respectivamente, uma determinada variável em um instante t e no instante imediatamente anterior, $t - 1$. Se, efetuada a regressão, obtem-se: $Y_t = \beta Y_{t-1} + u_t$, onde o coeficiente $\beta = 1$, tem-se que a diferença entre $Y_t - Y_{t-1}$ resulta no erro aleatório u_t como o único fator de explicação da variável Y , sendo assim, verifica-se que Y é uma variável estocástica e que possui raiz unitária. Em Econometria, uma série temporal que tenha uma raiz unitária é conhecida como passeio (ou caminho) aleatório, portanto, o passeio aleatório é uma representação de uma série temporal não estacionária, sendo não estacionária, esta série não poderá ser utilizada para análise de regressão sem o devido tratamento prévio.

¹² Por que não variam de maneira uniforme.

4.3 Teste de raiz unitária

Os estudos que tenham por base a análise de regressão de variáveis utilizando dados em séries temporais, precisam, primeiramente, detectar a presença ou não de raiz unitária nas séries visando evitar o viés da regressão espúria. Vários testes são utilizados para esse fim. Um dos primeiros a serem elaborados, e mais utilizado nestes procedimento, denomina-se teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF¹³).

O teste ADF é originário do Teste de Dickey-Fuller (DF) que pode ser explicado partindo-se do seguinte modelo, de acordo com Gujarati e Porter (2011):

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

onde admite-se as seguintes hipóteses em relação ao termo ρ : H_0 para $\rho = 1$, contra H_1 se $\rho < 1$. Confirmando-se H_0 , tem-se que Y_t é não estacionário e, portanto, a série é denominada passeio aleatório, ao contrário, H_1 aponta para a estacionariedade da série descrevendo-a como um processo auto-regressivo.

As equações (2) e (3) demonstram o teste DF para modelos com intercepto, e com intercepto e tendência, respectivamente:

$$Y_t = \alpha + \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$Y_t = \alpha + \beta t + \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

onde α é o intercepto em ambas e β é a tendência (t) na equação (3).

Pode-se, ainda, manipular a equação (1); subtraindo Y_{t-1} de ambos os lados temos:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

em que $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ e $\delta = \rho - 1$. Se $\delta = 0$, tem-se $\rho = 1$ e, portanto, a presença de uma raiz unitária.

¹³ Em inglês: Augmented Dickey-Fuller (ADF).

Ainda conforme Gujarati e Porter (2011), a pressuposição do teste DF consiste em que o termo de erro aleatório ε_t é não-correlacionado. Porém, sendo ε_t correlacionado, Dickey e Fuller desenvolveram o teste ADF que pode ser entendido como o acréscimo, às três equações iniciais, dos valores defasados (Δ) da variável dependente Y_t , podendo o teste ser representado, por exemplo, pela seguinte regressão baseada na equação (3):

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Em observância ao exposto pela literatura acerca dos testes de estacionariedade, a qual destaca a baixa potência desses procedimentos que podem encontrar raiz unitária quando não há nenhuma, será utilizado outro teste, denominado KPSS¹⁴, como confirmatório dos resultados encontrados pelo ADF (Gujarati & Porter, 2011).

4.4 Dados da pesquisa

As amostras anuais referem-se ao período de 1991 a 2010 coletadas a partir da base de dados do Banco Mundial. Foi estipulado este período pelos motivos de os dados relativos à Rússia somente estarem disponíveis a partir de 1990, devido também ao seu retorno como país independente após a extinção da União Soviética, e por ser o período cronológico mais recente que abarca os efeitos de ações governamentais acerca do consumo de energia.

As séries temporais coletadas são as relativas ao Produto Interno Bruto, consumo de energia, formação bruta de capital fixo e registro de patentes de residentes no país. O Banco Mundial possui definições específicas sobre as séries em uso, conceitos estes que serão tomados aqui para descreverem as variáveis a serem utilizadas.

O emprego dessas variáveis está em consonância com a literatura especializada sobre crescimento econômico, pois desde as primeiras formulações dos economistas clássicos, perpassando pelo modelo inicial de Solow e pelas contribuições de Mankiw, Romer & Weill (1992), Rebelo (1991) e Romer (1990), estes fatores de produção estão presentes tácita ou explicitamente, contudo, a ênfase deste estudo reside na análise do impacto do consumo de energia sobre o crescimento econômico, sendo as demais variáveis mencionadas utilizadas

¹⁴ Teste desenvolvido por Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin sob a hipótese nula de estacionariedade.

como variáveis de controle na regressão a fim de evitar vieses devido à omissão de outros fatores que possam influenciar o comportamento do produto e do consumo de energia, conforme procedimento efetuado por Akinlo (2008).

O Produto Interno Bruto (PIB)¹⁵ é definido como a soma dos valores adicionados por todos os produtores residentes no país, sem deduções concernentes à depreciação de ativos ou exaustão de recursos naturais, os valores estão convertidos em dólares americanos a preços correntes através da utilização de uma única taxa de câmbio anual.

A literatura econômica consagrou a utilização dos dados do PIB como medida para o crescimento econômico e nível de renda de uma população, conforme as teorizações de Solow, Romer (1990), Rebelo (1991) e Mankiw, Romer & Weill (1992), por exemplo. Os dados do PIB estão representados em dólares correntes dos Estados Unidos.

No que tange ao consumo de energia, este é caracterizado pela utilização de insumos primários antes de sua transformação para outras formas de consumo final ou, mais especificamente, é a produção interna de energia somada às importações e estoques de insumos energéticos deduzidos das exportações e do fornecimento de combustível para navios e aeronaves empregados no transporte internacional. A mensuração do consumo de energia é efetuada através de kilotoneladas de óleo equivalente.

A formação bruta de capital fixo (FBCF) representa os dispêndios com aquisições direcionadas ao ativo imobilizado existente na economia somadas às variações líquidas deste estoque. Estão inclusos no conceito de ativo imobilizado as melhorias efetuadas em imóveis, as instalações, compras de máquinas e equipamentos, construção de estradas, ferrovias, escolas, hospitais, habitações residenciais privadas.

Essa característica de representatividade da FBCF no investimento produtivo nas economias dos países resultou em sua utilização como *proxy* para o estoque de capital na literatura, conforme Narayan e Smith (2008) e Apergis e Payne (2009) em seus artigos sobre a relação entre consumo de energia e crescimento econômico.

As patentes registradas por residentes no país, conforme definição do Banco Mundial, são os registros, com base no Tratado de Cooperação de Patentes ou através de instituto nacional que resguarde os direitos exclusivos: de inovações, de produtos ou processos que fornecem uma nova maneira de fazer algo e de novas soluções técnicas para a resolução de problemas. As patentes serão utilizadas neste estudo como *proxy* para o progresso tecnológico, observando igual procedimento demonstrado na literatura.

¹⁵ As conceituações relativas às variáveis utilizadas neste trabalho estão disponíveis na própria base de dados do Banco Mundial. (Nota do autor)

Shmookleer (1966) já utilizara patentes como *proxy* de progresso tecnológico em seu estudo com o objetivo de definir padrões atividades de inovação ao longo do tempo entre setores. Pavit (1984) corrobora o trabalho de Shmookleer (1966) afirmando que os dados oriundos de depósitos de patentes captam de forma mais eficiente as atividades de inovação do que os dados advindos de P&D.

Chegaram a semelhantes conclusões Canibano et al. (2000) e Teh et al. (2008) ao defenderem que o número de patentes serve para mensurar o trabalho de pesquisa, tanto quanto o número de publicações científicas.

4.5 Modelo econométrico

Os modelos econométricos que foram desenvolvidos para este trabalho tiveram por base a análise de regressão, que pode ser definida como a representação funcional da dependência de uma variável (a variável dependente) em relação a uma ou mais variáveis (denominadas de explicativas) com o objetivo de estimar o valor médio da primeira a partir dos valores conhecidos das segundas (Gujarati e Porter, 2011).

Considerando que as séries utilizadas refletem a ação do tempo e que, em relação aos fenômenos econômicos, o resultado desta ação não é instantâneo, optou-se por incluir nos modelos, além das variáveis em nível, a primeira defasagem de cada variável, tanto dos regressores quanto do regressando, com o objetivo de captar de forma mais consistente as influências das oscilações das variáveis ao longo do tempo, portanto, um modelo de regressão com a presença de variável autorregressiva (dependente) e variáveis defasadas. Semelhante procedimento foi adotado por Biondi e Toneto (2008) em sua análise sobre os efeitos da política de metas de inflação sobre o crescimento do produto, no qual as variáveis taxa de inflação, taxa de câmbio e desvalorização cambial foram tomadas em primeira defasagem.

A definição do número de defasagens adequadas aos modelos seguiu sucessivas aplicações, partindo de valores elevados até ser encontrada a melhor especificação conforme os critérios de informação de Akaike e Schwarz, ambos consideram o modelo mais apropriado aquele que apresenta menor defasagem.

Apesar da ênfase deste trabalho estar voltada para os efeitos da relação entre consumo de energia e crescimento econômico e este ser a variável dependente, regrediu-se também o primeiro em relação aos mesmos fatores com vistas a subsidiar os resultados encontrados pela

primeira regressão, adotando também o mesmo procedimento para esta segunda regressão qual seja, a inclusão de autoregressividade e defasagem das variáveis.

Foram assim definidos os modelos econométricos para cada país:

$$PIB_t = \alpha + \beta_1 PIB_{t-1} + \beta_2 ENE_t + \beta_3 ENE_{t-1} + \beta_4 CAP_t + \beta_5 CAP_{t-1} + \beta_6 TEC_t + \beta_7 TEC_{t-1} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$ENE_t = \alpha + \beta_1 ENE_{t-1} + \beta_2 PIB_t + \beta_3 PIB_{t-1} + \beta_4 CAP_t + \beta_5 CAP_{t-1} + \beta_6 TEC_t + \beta_7 TEC_{t-1} + \varepsilon_t \quad (7)$$

em que:

α = Constante

PIB = Crescimento econômico nos períodos t e $t-1$.

ENE = Consumo de energia nos períodos t e $t-1$.

CAP = Estoque de capital nos períodos t e $t-1$.

TEC = Progresso tecnológico nos períodos t e $t-1$.

ε = Termo de erro no período t .

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

As variáveis em estudo foram segregadas utilizando-se os subscritos *simultâneo* e *defasado*, já que os dados foram inseridos no modelo em termos de período atual e anterior.

Seguindo orientação expressa em Farias (2009), a literatura aponta a necessidade de serem realizados no mínimo dois testes de estacionariedade com o objetivo de buscar a confirmação recíproca das hipóteses de presença ou não de raiz unitária; procedimento que foi efetuado por meio da aplicação dos testes ADF e KPSS., este último sendo utilizado como confirmatório do primeiro e ambos atestaram a estacionariedade das séries utilizadas.

Após a aplicação dos testes de raiz unitária e constatada a estacionariedade das séries, foram encontrados os seguintes resultados relativos aos coeficientes da equação de regressão, conforme tabelas 1-10, segregados para cada país:

5.1 Brasil

Tabela 1 – Resultado: Crescimento Econômico do Brasil (Variável dependente)

VARIÁVEIS EXPLANATÓRIAS	Coefficiente	DP	Teste t	p – valor
Constante	-0,097	0,054	-1,805	0,089
Consumo de Energia _{simultâneo}	3,748	0,575	6,516	<0,00001
Consumo de Energia _{defasado}	2,129	0,791	2,692	0,015

Teste F (2, 17) = 23,96

P – valor (F) = 0,000011

$R^2_{ajustado} = 0,223$

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 2 – Resultado: Consumo de Energia do Brasil (Variável dependente)

VARIÁVEIS EXPLANATÓRIAS	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	-0,097	0,054	-1,805	0,089
PIB _{defasado}	0,079	0,014	5,468	0,00004
Consumo de Energia _{defasado}	-0,652	0,234	-2,779	0,013

Teste F (2, 17) = 15,62

P – valor (F) = 0,000141

$R^2_{ajustado} = 0,287$

Fonte: Elaboração do autor.

A partir dos valores apresentados na Tabela 1, observa-se o maior impacto do Consumo de Energia_{simultâneo} sobre o Crescimento Econômico (PIB) em comparação com o Consumo de Energia_{defasado}, apesar de ambas as variáveis serem estatisticamente significantes a 5%, isso implica na percepção de que o PIB apresenta relação positiva e simultânea com o uso das fontes energéticas, podendo-se inclusive deduzir precedência temporal da energia sobre o PIB quando considerada a influência, sobre este exercida, pelo Consumo de Energia_{defasado}. Desta forma, o consumo de energia, considerando-o em termos de período presente e passado, apresenta-se como direta e positivamente impactante para o comportamento do crescimento econômico.

Os valores da Tabela 2 não corroboram as informações da Tabela 1, pois o maior impacto sobre o Consumo de Energia é constatado no PIB_{defasado}, embora tanto este quanto o Consumo de Energia_{defasado} sejam significativos a 5% e este último apresente relação negativa com o consumo de energia atual. O PIB do período anterior apresenta relação positiva frente ao consumo de energia atual o que também pode denotar que o esforço produtivo ocasione a elevação da demanda por energia no Brasil.

Assim, ações governamentais precisam estar voltadas minimamente para a manutenção da oferta de energia ao longo do tempo, ressaltando, porém o pouco poder explicativo dos modelos demonstrados na Tabela 1, $R^2_{ajustado}$ (0,223) e Tabela 2, $R^2_{ajustado}$ (0,287), o que aponta também para a influência de outros fatores com maior impacto sobre o crescimento econômico.

5.2 Rússia

Tabela 3 – Resultado: Crescimento Econômico da Rússia (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	0,086	0,044	1,940	0,068
Consumo de Energia _{simultâneo}	2,279	0,886	2,571	0,019

Teste F (1, 18) = 6,60

P – valor (F) = 0,019

$R^2_{ajustado} = 0,228$

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 4 – Resultado: Consumo de Energia da Rússia (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	-0,006	0,014	-0,457	0,653
Estoque de Capital _{simultâneo}	-0,015	0,007	-2,106	0,049

Teste F (1, 18) = 4,43

P – valor (F) = 0,049

$R^2_{ajustado} = 0,016$

Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 3 apresenta reduzido impacto positivo do Consumo de Energia_{simultâneo} sobre o PIB, com o modelo explicando somente 22,8% das variâncias da amostra. De acordo com os valores da Tabela 4, o Consumo de Energia sofre impacto unicamente da variável de controle Estoque de Capital_{simultâneo} de forma negativa o que pode denotar eficiência dos ativos imobilizados no consumo de energia porém e, mesmo assim, no limite da significância estatística e ainda com diminuto poder de explicação do modelo, 1,6%.

Desta forma, considerando primeiramente os resultados da Tabela 3, a Rússia necessita, semelhante ao Brasil, manter constante a oferta de insumos energéticos, não figurando estes como causadores do aumento da atividade produtiva, mas mantenedores.

Conforme dados da Tabela 4, o Estoque de Capital_{simultâneo} mantém uma relação inversa com o Consumo de Energia, considerando que a proxy utilizada para Estoque de Capital foi a Formação Bruta de Capital Fixo e esta, por definição, engloba os ativos fixos produtivos de um sistema econômico (equipamentos, instalações, imóveis etc.) pode-se inferir que esta relação inversa advém da maior eficiência quanto ao consumo de energia demandado por esses bens

ressaltando, porém, o alcance desta conclusão frente aos diminutos impactos demonstrados pela Tabela 4.

5.3 Índia

Tabela 5 – Resultado: Crescimento Econômico da Índia (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	-0,014	0,014	-1,019	0,324
Consumo de Energia _{defasado}	1,627	0,264	6,164	0,000
Estoque de Capital _{simultâneo}	0,397	0,105	3,777	0,002
Progresso Tecnológico _{simultâneo}	0,349	0,074	4,706	0,000

Teste F (3, 16) = 39,402

P – valor (F) = 1,29e-07

$R^2_{ajustado} = 0,485$

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 6 – Resultado: Consumo de Energia da Índia (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	0,036	0,006	6,478	<0,00001
Estoque de Capital _{simultâneo}	0,067	0,016	4,276	0,001
Progresso Tecnológico _{simultâneo}	-0,064	0,021	-3,018	0,008
PIB _{simultâneo}	0,102	0,034	3,004	0,008

Teste F (3, 16) = 15,23370

P – valor (F) = 0,000060

$R^2_{ajustado} = 0,159452$

Fonte: Elaboração do autor.

Relativamente à Índia, as Tabelas 5 e 6 corroboram seus resultados mutuamente. Na Tabela 5, todos os resultados são fortemente significativos estatisticamente e o modelo apresenta um razoável poder de explicação ($R^2_{ajustado} = 48,5\%$). Segundo estes resultados, o Consumo de Energia_{defasado} possui a maior significância estatística e o maior impacto positivo sobre a atividade produtiva nos períodos posteriores, o que implica dizer que esta variável pode manter uma relação de causalidade no sentido de Granger com o Crescimento Econômico. As

variáveis de controle Estoque de Capital e Progresso Tecnológico demonstraram comportamento de acordo com o previsto pela literatura, isto é, relação positiva com o nível de capacidade produtiva da economia o que atesta empiricamente para a importância dos investimentos e a produção científica para o crescimento econômico indiano.

Por seu turno, a Tabela 6 não permitiu aventar nenhuma suposição de causa para as variáveis envolvidas. O sinal dos coeficientes resultantes atestou para o sentido esperado dos impactos dos regressores. O aumento do Estoque de Capital num dado período impacta positivamente também o Consumo de Energia para o mesmo período, já o Progresso Tecnológico, que pode desdobrar-se em formas mais eficientes no uso da energia, contribuiu simultaneamente para o decréscimo de sua utilização, da energia. Ressalte-se, porém, o reduzido poder de explicação do modelo, de acordo com o $R^2_{ajustado}$ (15,94%).

Conjugando os resultados expostos pelas duas tabelas pode-se inferir que o Crescimento Econômico na Índia é parcialmente explicado pela dependência com relação à produção de energia efetuada nos períodos anteriores e à existência simultânea de Estoque de Capital e Progresso Tecnológico para o mesmo período.

Pode-se ainda detalhar a explicação precedente a partir do referencial da elevação do Consumo de Energia (conforme exposto pela Tabela (6) proporcionada pelo PIB e pelo Estoque de Capital em dado período. A maior utilização de energia é contrabalanceada pelo Progresso Tecnológico resultando na maior eficiência do consumo; esta conjugação de fatores pode ter precedido ao Crescimento Econômico indiano conforme dados da Tabela 5.

5.4 China

Tabela 7 – Resultado: Crescimento Econômico da China (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	0,046	0,034	1,355	0,194
Consumo de Energia _{simultâneo}	0,806	0,295	2,733	0,015
Estoque de Capital _{simultâneo}	-0,609	0,151	-4,039	0,001
PIB _{defasado}	0,453	0,174	2,609	0,019

Teste F (3, 16) = 27,537

P – valor (F) = 1,48e-06

$R^2_{ajustado}$ = 0,383

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 8 – Resultado: Consumo de Energia da China (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	0,024	0,006	4,293	0,001
Estoque de Capital _{simultâneo}	0,277	0,129	2,150	0,046
Consumo de Energia _{defasado}	0,580	0,079	7,331	<0,000

Teste F (2,17) = 30,319

P – valor (F) = 2,47e-06

$R^2_{ajustado} = 0,496$

Fonte: Elaboração do autor.

Para a China, os resultados da Tabela 7 destacam o sentido negativo do regressor Estoque de Capital sobre o Crescimento Econômico, comportamento diferente daquele esperado para este fator na literatura. Medeiros (2010), em artigo sobre as perspectivas para o crescimento econômico chinês, aponta para uma superestimação dos valores computados a título de investimento. Esta superestimação é decorrente da adição das aquisições de terras como despesas de investimentos das firmas, um *boom* especulativo dos investimentos imobiliários em que o preço das terras inflacionou as estimativas agregadas do investimento. Este fato pode ter contribuído decisivamente para o desempenho do Estoque de Capital no modelo. As demais variáveis, Consumo de Energia_{simultâneo} e PIB_{defasado} também são estatisticamente significantes e com um impacto maior que o Estoque de Capital.

A Tabela 8 mostra o impacto do Estoque de Capital_{simultâneo} no limite da significância estatística, e o Consumo de Energia do período anterior como a principal variável a influenciar a utilização de energia no presente. Ressalte-se o poder de explicação do teste para este modelo, 49,6%.

Assim, com relação à China, pode-se primeiramente assinalar que o Crescimento Econômico é impactado pela oferta de energia atual no país e negativamente pelo Estoque de Capital. Referente a este último fator, conforme exposto acima, estas imobilizações podem estar superapreciadas pela especulação imobiliária o que pode inviabilizar a análise da influência desta variável sobre a atividade produtiva. Já o Consumo de Energia sofre maior influência dele próprio quando defasado, portanto, o uso da energia pode influenciar a atividade produtiva de forma direta considerando um mesmo período, ou indiretamente tomando como referência o período precedente. A partir dessas constatações, pode-se afirmar que o uso da energia apresenta-se como sustentáculo importante da economia chinesa.

5.5 África do Sul

Tabela 9 – Resultado: Crescimento Econômico da África do Sul (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	0,044	0,029	1,481	0,156
PIB _{defasado}	0,287	0,106	2,713	0,014

Teste F (1, 18) = 7,358

P – valor (F) = 0,014

$R^2_{ajustado}$ = 0,031

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 10 – Resultado: Consumo de Energia da África do Sul (Variável dependente)

VARIÁVEL EXPLANATÓRIA	Coefficiente	DP	Teste t	p-valor
Constante	0,018	0,005	3,946	0,001
Estoque de Capital _{simultâneo}	0,299	0,073	4,107	0,001
Progresso Tecnológico _{defasado}	0,009	0,004	2,208	0,041

Teste F (2, 17) = 10,948

P – valor (F) = 0,001

$R^2_{ajustado}$ = 0,258

Fonte: Elaboração do autor.

A Tabela 9 demonstra o reduzido impacto das variáveis sobre o Crescimento Econômico da África do Sul, ainda que significativa, o modelo aponta para o PIB do período anterior como único fator de impacto sobre a atividade produtiva atual.

A Tabela 10 apresenta também um modelo com reduzido poder explicativo (25,82%) em que o Consumo de Energia sofre impacto positivo tanto do Estoque de Capital do período e também do Progresso Tecnológico do período anterior.

Assim, o Crescimento Econômico da África do Sul não apresenta qualquer influência recebida do Consumo de Energia, tanto no passado quanto no presente, o que implica na relativa liberdade do governo sul-africano em promover alterações quanto aos seus insumos energéticos (substituição, racionamento etc.) sem comprometer a atividade produtiva do país. Isto pode dar-se em virtude da energia produzida pela indústria de combustíveis sintéticos localizadas no país, a qual, a partir das largas jazidas de carvão sul-africanas, produz combustíveis empregados

no setor de transportes (EIA, 2013). Afirmativa corroborada pelo impacto positivo originário do Progresso Tecnológico sobre o Consumo de Energia demonstrado na Tabela 10.

6 CONCLUSÕES

O objetivo primeiro deste trabalho foi identificar, por meio de análise de regressão com o emprego de séries temporais relativas a variáveis pré-selecionadas na literatura, os fatores que exercem influência sobre o crescimento econômico dos países componentes do grupo denominado BRICS durante o período de 1991 a 2010 e, a partir daí, analisar as relações identificadas, com ênfase no comportamento do consumo de energia, e gerar inferências em torno do papel deste último fator para a economia dos países em estudo.

Os países do grupo BRICS são caracterizados pelo forte e contínuo crescimento econômico, acima da média mundial e, como foi mencionado na introdução deste estudo, oferecem um cenário propício para a investigação sobre a influência do uso da energia para a expansão econômica, além de testar a validade de algumas proposições teóricas sobre o papel deste insumo na economia.

A aplicação de um modelo que incluiu variáveis defasadas e autoregressão possibilitou maior capacidade de captação dos efeitos do tempo sobre os fatores. Os resultados mostraram, com exceção da África do Sul, que o consumo de energia deve ser considerado como indispensável à constância do crescimento econômico para os demais países componentes do BRICS.

A despeito da omissão de variáveis e de alguns modelos não oferecerem grande poder de explicação, de forma geral, a análise dos resultados dos modelos de regressão atestou que as economias de Brasil, Rússia, Índia e China apresentam razoável dependência de suas fontes energéticas.

Desta forma, as políticas governamentais desses quatro países devem orientar-se no sentido de conservação da oferta de energia como condição mínima para manter o nível do produto e da renda. Mais ainda, ações que visem a substituição dessas fontes por insumos menos poluentes, por exemplo para atender às determinações do Protocolo de Kyoto, não podem ser efetivadas sem considerar esse cenário de dependência que pode tornar-se em vulnerabilidade frente a choques externos oriundos dos países exportadores de energia.

Uma das formas para minimizar os impactos decorrentes da dependência de fontes energéticas é a busca da eficiência na produção e consumo de energia. Neste estudo viu-se que Rússia e Índia podem estar agindo nesse sentido, pois o estoque de capital da economia russa e

o progresso tecnológico indiano apresentaram relação inversa com a respectiva utilização de energia nesses países.

Como contribuição à teoria do crescimento econômico e à teoria do valor, mesmo tendo em mente o restrito poder de explicação a que chegou a aplicação dos modelos em determinados países, o presente trabalho corrobora os esforços desenvolvidos por Pokrovski (2003) e Beaudreau (2005) no sentido de incluir o fator energia como componente nos modelos de crescimento neoclássico e também, conseqüentemente, estimular pesquisas que esclareçam se o fator energia pode ser considerado como gerador de valor.

Por fim, no intuito de solidificar o conhecimento acerca da presente temática, mesmo já existindo vasta literatura sobre o assunto, notoriamente empírica, sugerimos que sejam inclusas outras variáveis em futuros modelos, bem como sejam utilizadas técnicas econométricas mais elaboradas de forma a, por exemplo, mensurar os efeitos da substituição da matriz energética dos países face à finitude das reservas de energia, choques de preços externos desses insumos ou a necessidade de minimizar os efeitos poluidores do consumo de energia sobre o meio ambiente. Tais procedimentos alargariam o alcance dos resultados permitindo-lhes serem mais expressivos e contundentes.

REFERÊNCIAS

- ALAM, M. J.; BEGUM, I. A.; BUYSSE, J.; RAHMAN, S.; VAN HUYLENBROECK, G. Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 6, p. 3243-3251, 2011.
- AKINLO, A. E. Energy consumption and economic growth: evidence from 11 Sub-Sahara African countries. **Energy economics**, n. 30, pp. 2391-2400, 2008.
- ALTINAY, G.; KARAGOL, E. Electricity consumption and economic growth: evidence for Turkey. **Energy economics**, v. 27, n. 6, p. 849-856, 2005.
- AL-IRIANI, M. A. Energy-GDP relationship revisited: an example from GCC countries using panel causality. **Energy policy**, n. 34, pp. 3342-3350, 2006.
- ANG, J. B. Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. **Journal of Policy Modeling**, v. 30, n. 2, p. 271-278, 2008.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. E. Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model. **Energy Economics**, v. 31, n. 2, 2009.
- AQEEL, A.; BUTT, M.S. The relationship between energy consumption and economic growth in Pakistan. **Asia Pacific Development Journal**. n. 8, 2001.
- BEAUDREAU, B. C. Engineering and economic growth. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 16, p. 211-220, 2005.
- BIONDI, R. L.; TONETO JR., R. Regime de metas inflacionárias: os impactos sobre o desempenho econômico dos países. **Estudos Econômicos**, São Paulo: v. 38, n. 4, p. 873-903, out-dez. 2008.
- BRESSER-PEREIRA, L. C. Estratégia nacional e desenvolvimento. **Revista de Economia Política**, vol. 26, n. 2, p. 203-230, 2006
- BRESSER-PEREIRA, L. C. O processo histórico do desenvolvimento econômico. **Texto para discussão 157**, São Paulo: FGV, dez 2006.
- BRUE, S. L. História do pensamento econômico. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.
- CANIBAÑO, L.; GARCIA-AYUSO, M.; SANCHEZ, P. Accounting for intangibles: a literature review. **Journal of Accounting Literature**, v. 19, p. 102-130, 2000.
- CHENG, B. S.; LAI, T.W. An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. **Energy economics**. n. 19, 1997.

CHENG, B. S. Causality between energy consumption and economic growth in India: an application of cointegration and error-correction modeling. **Indian Economic Review**, v. 34, n. 1, p. 39-49, 1999.

CHONTANAWAT, J.; HUNT, L. C.; PIERSE, R. Does energy consumption cause economic growth? Evidence from a systematic study of over 100 countries. **Journal of policy modeling**, n. 39, p. 209-220, 2008.

FARIAS, A. E. Teste da hipótese do caminho aleatório no Brasil e nos Estado Unidos. **Dissertação**, Santa Maria: UFSM, 2009.

FRANCIS, B. M.; MOSELEY, L.; IYARE, S. O. Energy consumption and projected growth in selected Caribbean countries. **Energy economics**, n. 29, 2007.

GHALI, K. H.; EL-SAKKA, M. I. T. Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis. **Energy Economics**, v. 26, n. 2, p. 225-238, mar. 2004.

GHOSH, S. Electricity consumption and economic growth in India. **Energy Policy**, v. 30, n. 2, p. 125-129, 2002.

GLASURE, Y. U.; LEE, A. R. Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and electricity: the case of South Korea and Singapore. **Resource and Energy Economics**, n. 20, p. 17-25, 1997.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 02 out. 2013.

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

HONDROYIANNIS, G.; LOLOS, S.; PAPAPETROU, E. Energy consumption and economic growth: assessing the evidence from Greece. **Energy economics**, n. 24, 2002.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key work energy statistics**. France, 2013.

JOBERT, T.; KARANFIL, F. Sectoral energy consumption by source and economic growth in Turkey. **Energy policy**, n. 35, 2007.

KRAFT, J.; KRAFT, A. On the relationship between energy and GNP. **Journal of Energy and Development**, n. 3, p. 401-403, 1978.

LATORRE, M. R. D. O; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 4, n. 3, 2001.

LEE, C. C. Energy consumption and GDP in developing countries: a cointegrated panel analysis. **Energy Economics**, v. 27, n. 3, p. 415-427, 2005

LEE, C. C. The causality relationship between energy consumption and GDP in G-!! countries revisited. **Energy Policy**, n. 34, p. 1086-1093, 2006.

- MAHADEVAN, R.; ASAFU-ADJAYE, J. Energy consumption, economic growth and prices: a reassessment using panel VECM for developed and developing countries. **Energy policy**, n. 35, pp. 2481-2490, 2007.
- MANKIW, N. G.; ROMER, D.; WEILL, D. N. A contribution to the empirics of economic growth. **Quarterly Journal of Economics**, n. 107, 1992.
- MEDEIROS, C. A. O ciclo recente de crescimento chinês e seus desafios. **Observatório da Economia Global – Textos Avulsos**, n. 3, jun. 2010.
- MENYA, K.; WOLDE-RAFAEL, Y. Energy consumption, pollutant emissions and economic growth in South Africa. **Energy economics**, n. 32, pp. 1374-1382, 2010.
- MEHRARA, M. Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries. **Energy policy**, n. 35, pp. 2939-2945, 2007.
- MILONE, P. C. Crescimento e desenvolvimento econômico: teoria e evidências empíricas. **Manual de Economia**. São Paulo: Saraiva, 1998.
- MORETTIN, P. A.; TOLÓI, C. M. C. Análise de séries temporais. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- NARAYAN, P. K.; SMITH, R. Energy consumption and real GDP in G7 countries: new evidences from panel cointegration with structural breaks. **Energy Economics**, n. 30, pp. 2331-2341, 2008.
- ODHIAMBO, N. M. Electricity consumption and economic growth in South Africa: a trivariate causality test. **Energy Economics**, v. 31, n. 5, p. 635-640, 2009.
- OH, W.; LEE, K. Energy consumption and economic growth in Korea: testing the causality relation. **Journal of policy modeling**, n. 26, 2004.
- OREIRO, J. L. Progresso tecnológico, crescimento econômico e as diferenças internacionais nas taxas de crescimento da renda per capita. Uma crítica aos modelos neoclássicos de crescimento. **Economia e Sociedade**, Campinas, n. 12, p. 41-67, jun. 2009.
- OZTURK, I. A literature survey on energy-growth nexus. **Energy policy**, n. 38, p. 340-349, 2010.
- PAVITT, K. Sectorial patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research policy**, v. 13, n. 6, p.343-373, dez.1984.
- PAO, H-T.; TSAI, C-M. Modeling and forecasting the CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Brazil. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 2450-2458, 2011.
- PAO, H-T.; YU, H-C.; YANG, Y-H. Modeling CO₂ emissions, energy use and economic growth in Russia. **Energy**, v. 36, n. 8, p. 5094-5100, 2011.
- PAO, H-T.; FU, H-C.; TSENG, C-L. Forecasting of CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in China using a improved grey model. **Energy**, v. 40, n. 1, p. 400-409, 2012.

- POKROVSKI, V. N. Energy in the theory of production. **Energy**, v. 28, p. 769-788, 2003.
- REBELO, S. Long run policy analysis and long run growth. **Journal of Political Economy**, v. 99, 1991.
- RIBEIRO, S. K. Consumo de energia e meio ambiente: futuros possíveis. **Revista dos transportes públicos**. Disponível em: <<http://www.antp.org.br>>. Acesso em: 02 out. 2013.
- RICARDO, D. Princípios de economia política e tributação. **Os Economistas**. São Paulo: Nova Cultura, 1996.
- ROMER, P; Endogenous technological change. **Journal of Political Economy**, v. 98, n. 5, 1990.
- SACHS, Ignacy. **Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.
- SANDRONI, P. Dicionário de economia. São Paulo: Atlas, 1994.
- SHMOOKLER, J. **Invention and economic growth**. Harvard University Press, 1966.
- SILVA, F. D. C.; SILVA, A. C. B.; VASCONCELOS, M. T. C.; CAMPELO, S. M. Comportamento dos custos: uma investigação empírica acerca dos conceitos econométricos sobre a teoria tradicional da contabilidade de custos. **Revista Contabilidade Financeira**. São Paulo: n. 43, jan-abr 2007.
- SMITH, A. A riqueza das nações: uma investigação sobre sua natureza e suas causas. **Os Economistas**, v. 1, São Paulo: Nova Cultural, 1996.
- SOUZA, N. J. **Desenvolvimento econômico**. São Paulo: Atlas, 5 ed., 2005.
- SOYTAS, U.; SARI, R.; ÖZDEMİR, O. Energy consumption and GDP relation in Turkey: a cointegration and vector error correction analysis. In: **Economies and business in transition: facilitating competitiveness and change in the global environment proceedings**. 2001.
- SOYTAS, U.; SARI, R. Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. **Energy Economics**, v. 25, n. 3, p. 33-37, 2003.
- SOYTAS, U.; SARI, R. Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: challenges faced by an candidate member. **Ecological economics**, n. 68, 2009.
- STERN, D. I. Energy and economic growth in the USA: a multivariate approach. **Energy economics**. v. 15, 1993.
- STERN, D. I. A multivariate cointegration analysis of the role energy in the US macroeconomy. **Energy economics**. n. 22, 2000.
- STOCK, J. H.; WATSON, M. W. **Econometria**. São Paulo: Addison Wesley, 2004.
- TEH, C. C.; KAYO, E. K.; KIMURA H. Marcas, patentes e criação de valor. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 9, n. 1, p. 86-106, jan./fev. 2008.

TIWARI, A. K. A structural VAR analysis of renewable energy consumption, real GDP and CO₂ emissions: evidence from India. **Economics Bulletin**, v. 31, n. 2, p. 1793-1806, 2011.

UNITED NATIONS CONFERENCE FOR TRADE AND DEVELOPMENT. **Global investment trends monitor**. New York: UN, mar., 2013.

UNITED NATIONS CONFERENCE FOR TRADE AND DEVELOPMENT. **World investment report 2013**. New York: UN, 2013.

YU, E.S.H.; HWANG, B.K. The relationship between energy and GNP: further results. **Energy economics**. v. 6, 1984.

YU, E.S.H.; JIN, J.C. Cointegration tests of energy consumption, income and employment. **Resources and energy**. n. 14, 1992.

YU, E.S.H.; CHOI, J.Y. The causal relationship between energy and GNP: an international comparison. **Journal of energy and development**. n. 10, 1985.

WOLDE-RUFAEL, Y. Energy demand and economic growth: the African experience. **Journal of Policy Modeling**, v. 27, n. 8, 2005.

ZHANG, X-P.; CHENG, X-M. Energy consumption, carbon emissions and economic growth in China. **Ecological Economics**, v. 68, n. 10, p. 2706-2712, 2009.