

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E GOVERNANÇA
PÚBLICA

MÁRCIO EDUARDO ZUBA

**A ENERGIA ELÉTRICA COMO INSTRUMENTO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO E O
DESAFIO AO PLANO NACIONAL DE ENERGIA BRASILEIRO**

CURITIBA
2017

MÁRCIO EDUARDO ZUBA

**A ENERGIA ELÉTRICA COMO INSTRUMENTO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO E O
DESAFIO AO PLANO NACIONAL DE ENERGIA BRASILEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Planejamento e Governança Pública. Área de concentração: Planejamento e Políticas Públicas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Marília de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento

CURITIBA
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Z93e Zuba, Márcio Eduardo
2017 A energia elétrica como instrumento de desenvolvimento humano e o desafio ao Plano Nacional de Energia brasileiro / Márcio Eduardo Zuba.-- 2017.
173 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
Texto em português, com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Planejamento e Governança Pública. Área de Concentração: Planejamento e Políticas Públicas, Curitiba, 2017.
Bibliografia: f. 159-173.

1. Energia elétrica - Consumo. 2. Indicadores sociais. 3. Indicadores econômicos. 4. Desenvolvimento social. 5. Política energética - Brasil. 6. Estatística matemática. 7. Administração pública - Dissertações. I. Souza, Marília de, orient. II. Nascimento, Décio Estevão do, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 351

Biblioteca Central do Câmpus Curitiba - UTFPR



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação N° 60

**A ENERGIA ELÉTRICA COMO INSTRUMENTO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO E O
DESAFIO AO PLANO NACIONAL DE ENERGIA BRASILEIRO**

por

MÁRCIO EDUARDO ZUBA

Esta dissertação foi apresentada às 09h00 do dia **08/02/2017** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM PLANEJAMENTO E GOVERNANÇA PÚBLICA, Área de Concentração – Planejamento Público e Desenvolvimento, Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho:

- Aprovado
 Aprovado com restrições
 Reprovado

Prof. Marília de Souza, Dra.
(PPGGP-UTFPR)

Prof. Christian Luiz da Silva, Dr.
(PPGGP-UTFPR)

Visto da Coordenação

Prof. Mariano de Matos Macedo, Dr.
(PPGPU-UFPR)

Prof. Antônio Gonçalves de Oliveira, Dr.
(PPGGP-UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa

Dedico este trabalho à Josi – esposa, amiga e companheira, que sabe tolerar como ninguém minha mais absoluta circunspeção (a qual beira a catatonia) quando estou imerso em meus estudos. E que, também como ninguém, sempre me incentivou a elevar meus conhecimentos e a deles extrair algo útil.

Agradecimentos

Há múltiplas demandas no processo de aprendizado, as quais inevitavelmente transbordam a esfera pessoal de quem a elas está mais imediatamente comprometido. Isso significa que não é possível obter sucesso apenas pelo esforço pessoal – depende-se do apoio de uma equipe, invariavelmente multidisciplinar, pois se trata de indivíduos, portanto únicos, com diferentes habilidades, ainda que o nível de tal dependência possa variar pessoa a pessoa.

O nível da minha é alto – receio que extraí daqueles ao meu redor mais do que a eles pude proporcionar. Registro, então, formalmente, meu muito obrigado, a todos aqueles diretamente ligados ao Programa, de modo mais específico, e a meus familiares, que de modo contínuo ao longo da vida, sempre me acrescentaram algo proveitoso e de que eu possa me orgulhar. Nominalmente (e, ai de mim, contemplando a todos, em ordem alfabética): meus pais – Ângela e Paulo –; meus irmãos – Clériston e Eversong –; minha esposa – Josi (a quem dedico este trabalho) –; os colegas mestrandos – Amanda, Arion, Dayane, Elzimar, Jaeme, Juliana, Junior, Kelly, Luana, Marcus Vinicius, Poliana, Rogério, Tanaka, Teixeira, Vinicius e Wagner –; os professores – Ana Paula, Anderson, Antonio, Christian, Isaura, Malu, Sérgio, Simone e Vanessa –; os servidores da secretaria do Programa – André, Daniel e Silviane, capitaneados pelo Professor Antonio, a quem menciono uma vez mais.

Finalmente, os meus caros orientadores – Professora Marília e Professor Décio, que, diligente e pacientemente ao longo do processo de orientação, sempre me conduziram de forma segura aos objetivos do trabalho, mormente quando, inadvertidamente, eu acabava por trilhar um percurso menos adequado –; e os membros da banca – o já mencionado Professor Christian e o Professor Mariano, os quais, com suas observações ponderadas e sua rica experiência, instigam minha reflexão sobre o processo de pesquisa científica.

A todos vocês, esse agradecimento se dá não pelo mero cumprimento do ofício. Não. Sua amizade, companheirismo e compartilhamento de sabedoria e experiências extravasam o simples dever que se espera de um familiar, de um colega de turma, de um professor, de um servidor administrativo, de um orientador. Essas características dão a vocês um valor caro demais para ser quantificado em números, e a ele sempre prezarei. E, se há alguém que indevidamente não foi contemplado nesta lista, certamente haverá de me desculpar, ante a convicção de que a lacuna terá ocorrido pela fraqueza da memória, mas não do coração.

RESUMO

ZUBA, Márcio E. **A energia elétrica como instrumento de desenvolvimento humano e o desafio ao Plano Nacional de Energia brasileiro**. 2017. 173 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Governança Pública) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

Este trabalho tem por objeto de estudo a correlação entre a utilização per capita de energia elétrica e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). O objetivo geral da pesquisa é avaliar a compatibilidade das premissas do Plano Nacional de Energia (PNE) brasileiro, em relação à utilização de energia elétrica, com o desafio da elevação do IDH nacional ao nível “muito alto” – o mais elevado conforme a terminologia atual das Nações Unidas. Quanto ao método, a pesquisa é, em relação aos seus objetivos, preponderantemente descritiva, e quantiquantitativa no que se refere ao estudo do problema. Realizou-se tratamento estatístico de diferentes aspectos correlacionados à energia elétrica e ao IDH, de modo a estabelecer padrões significativos e universais dessa correlação, os quais parecem possíveis de serem previstos mediante utilização de fórmula matemática, a qual tornaria então possível avaliar o desenvolvimento humano utilizando a energia elétrica como parâmetro. Verificou-se que a proporção da utilização de energia elétrica é cada vez mais intensa em relação ao total de utilização de energia primária, o que se explica pela absoluta indispensabilidade, motivada pela versatilidade e disponibilidade, da primeira, e definiu-se um valor objetivo mínimo à utilização per capita de energia elétrica, ponderado em função da intensidade energética – no caso, 222 kWh –, necessário ao *status* de desenvolvimento humano “muito alto”. Definiram-se ainda duas fórmulas matemáticas – a primeira delas possui maior versatilidade descritiva, pois envolve equação logarítmica, enquanto a segunda, simplificada, utiliza função potência – capazes de individualmente estimar, em função do valor de utilização de energia e compondo uma base comparativa global, o IDH correspondente do ente analisado. Ambas são capazes de auxiliar na compreensão, ainda que em cognição preliminar, acerca da situação energética do ente sob análise, podendo ser utilizadas como indicador de possíveis direcionamentos de políticas energéticas que se pretendam voltadas ao desenvolvimento humano. Comprovou-se a acurácia da fórmula logarítmica em termos globais e históricos e, na sequência, verificou-se quão compatíveis são entre si o Plano Nacional de Energia e o IDH “muito alto”, em médio prazo e tendo como cenário os estados brasileiros. Concluiu-se, quanto a este objetivo geral, que a evolução histórica de oferta e demanda de energia elétrica no País é compatível com os números projetados pelo PNE, e que estes são compatíveis com o IDH “muito alto” – para atingir tal nível seriam necessários cerca de 720 TWh anuais, enquanto o PNE projeta, para 2030, 971 TWh e a evolução histórica das últimas duas décadas indica, para o mesmo ano, aproximadamente 830 TWh. O eventual atingimento desse nível de IDH deve, contudo, ser relativizado, pois provavelmente não seria suficiente para tirar o Brasil da atual posição de *catching-up* em relação aos países desenvolvidos.

Palavras-chave: Energia elétrica. Desenvolvimento humano. Intensidade energética. Política energética brasileira.

ABSTRACT

ZUBA, Márcio E. **Electrical energy as a tool for human development and the challenge to the Brazilian Energy Plan.** 2017. 173 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Governança Pública) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

This work studies the correlation between the per capita use of electrical energy and the Human Development Index (HDI). The main research objective is to evaluate the compatibility between the Brazilian National Energy Plan's (PNE) goals, regarding the use of electrical energy, and the challenge of increasing the national HDI towards the “very high” level – the highest one according to the current United Nations terminology. As for the method, the research is, regarding its objectives, predominantly descriptive, and quanti-qualitative in relation to the problem studied. Several statistical aspects correlated to electrical energy and HDI were statistically treated, in such a way as to define significant, universal patterns of this correlation, which seem to be possible to predict through a mathematical formula that would then make it possible to evaluate human development using electrical energy as a parameter. It was noted that the proportion of electrical energy is increasingly bigger in relation to the total amount of primary energy, something explained by the absolute indispensability, through versatility and availability, of the former, and an objective minimum per capita value of electrical energy use – in this case, 222 kwh –, weighted as a function of energy intensity, was defined as necessary to reach a “very high” HDI. Besides it, two formulae were developed, both capable of individually estimate an entity's HDI from the weighted value of electrical energy use. The first of them is more descriptively versatile, by using a logarithmic equation, while the second one is a simplified version, based on a potency function. Both formulae are capable of helping, yet in a preliminary cognition, to understand the energetic situation of the entity under analysis, possibly serving as decision support for energy policies aiming at human development. The logarithmic formula was checked globally and historically for accuracy, and after that it was used to verify how compatible are the Brazilian Energy Plan and a “very high” HDI, on the medium term and on the framework of the Brazilian states. It was concluded that, regarding this general objective, the historical evolution of national electrical energy supply and demand is compatible with the PNE projected numbers, which, on their turn, are compatible with a “very high” HDI – to reach such a level would require about 720 TWh per year, while the PNE forecasts, to 2030, 971 TWh, and the historical evolution of the last two decades indicates, for the same year, approximately 830 TWh. The possible attainment of this HDI level, however, should be put into perspective, because it probably would not be enough to avoid the catching-up situation Brazil is currently facing in relation to developed countries.

Keywords: Electrical energy. Human development. Energy intensity. Brazilian energy policy.

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Séries temporais com indicação de causa e efeito. Os padrões de repetição e de sentido da causalidade estão evidenciados pelos pares de setas.....	44
Gráfico 2. Séries temporais em que, desconhecendo-se o ponto primordial de início dos eventos, não é possível determinar a relação de causa e efeito.	46
Gráfico 3. Evolução do PIB mundial.	105
Gráfico 4. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Alemanha.....	106
Gráfico 5. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Estados Unidos.	108
Gráfico 6. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – França.	109
Gráfico 7. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Japão.	110
Gráfico 8. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Reino Unido.....	110
Gráfico 9. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Brasil.....	111
Gráfico 10. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – China.....	112
Gráfico 11. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Índia.....	113
Gráfico 12. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Indonésia.....	113
Gráfico 13. Evolução percentual anual de utilização <i>per capita</i> de energia primária, utilização <i>per capita</i> de energia elétrica e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> – Rússia.	114
Gráfico 14. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Alemanha.....	116
Gráfico 15. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Estados Unidos.	116
Gráfico 16. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – França.	117

Gráfico 17. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Japão.	117
Gráfico 18. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Reino Unido.....	118
Gráfico 19. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Brasil.....	118
Gráfico 20. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – China.....	119
Gráfico 21. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Índia.	119
Gráfico 22. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Indonésia.....	120
Gráfico 23. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Rússia.....	120
Gráfico 24. Dispersão dos países com IDH “muito alto” em relação aos valores ponderados de utilização <i>per capita</i> de energia elétrica.	123
Gráfico 25. Dispersão dos países com IDH “alto” em relação aos valores ponderados de utilização <i>per capita</i> de energia elétrica.	127
Gráfico 26. Dispersão dos países com IDH “médio” em relação aos valores ponderados de utilização <i>per capita</i> de energia elétrica.	128
Gráfico 27. Dispersão dos países com IDH “baixo” em relação aos valores ponderados de utilização <i>per capita</i> de energia elétrica.	129
Gráfico 28. Dispersão dos países conforme os valores de IDH em relação aos respectivos valores ponderados de utilização <i>per capita</i> de energia elétrica (UPEE).....	130
Gráfico 29. Dispersão dos países conforme os valores de IDH em relação aos respectivos valores ponderados de utilização <i>per capita</i> de energia elétrica (UPEE) – valores calculados mediante fórmula logarítmica de aproximação, a partir de dados primários reais.....	131
Gráfico 30. Dispersão dos países conforme os valores de IDH em relação aos respectivos valores ponderados de utilização <i>per capita</i> de energia elétrica (UPEE) – valores calculados mediante fórmula simplificada de aproximação, a partir de dados primários reais.	133
Gráfico 31. Variação do IDH das 16 maiores economias do mundo (PIB PPP) (acima de 70% do PIB PPP mundial).....	134
Gráfico 32. Variação do IDH das 16 maiores economias do mundo (PIB PPP) (acima de 70% do PIB PPP mundial) – valores calculados mediante fórmula logarítmica de aproximação, a partir de dados primários reais.	135

Gráfico 33. Variação do IDH das 16 maiores economias do mundo (PIB PPP) (acima de 70% do PIB PPP mundial) – valores calculados mediante fórmula simplificada de aproximação, a partir de dados primários reais. 135

Gráfico 34. Variação da eficiência/correlação entre utilização de energia elétrica e IDH das 27 unidades federativas de 2º grau brasileiras – junho de 2016. 144

Lista de Tabelas

Tabela 1. Descrição das variáveis utilizadas, fontes e períodos.....	82
Tabela 2. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização <i>per capita</i> de energia elétrica (UEE pc) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.....	89
Tabela 3. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização <i>per capita</i> de energia primária (UEP pc) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.	90
Tabela 4. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: intensidade energética (IE) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.	92
Tabela 5. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: Renda Nacional Bruta <i>per capita</i> (RNB pc) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.	94
Tabela 6. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização <i>per capita</i> de energia elétrica (UEE pc) e Renda Nacional Bruta <i>per capita</i> (RNB pc), ambos os sentidos.....	96
Tabela 7. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização <i>per capita</i> de energia elétrica (UEE pc) e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> (PIB pc), ambos os sentidos.	98
Tabela 8. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização <i>per capita</i> de energia elétrica (UEE pc) e Produto Interno Bruto <i>per capita</i> (PIB pc), ambos os sentidos (períodos 1960-1973 e 1960-1983).	99
Tabela 9. Cálculo do IDH conforme a metodologia vigente, ao qual se acrescentou o valor esperado conforme a UPEE, mediante a fórmula logarítmica. País: Alemanha.	138
Tabela 10. Cálculo do IDH conforme a metodologia vigente, ao qual se acrescentou o valor esperado conforme a UPEE, mediante a fórmula logarítmica. País: Brasil.	139
Tabela 11. Estimativa dos valores estaduais de IDH para 2014 e 2016, mediante a fórmula de correlação.....	142
Tabela 12. Estimativa dos valores estaduais e nacional de IDH para 2030, mediante a fórmula de correlação.....	146

Lista de Siglas

Capex	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, vinculada ao MEC
CIA	<i>Central Intelligence Agency</i> (Agência Central de Inteligência – Estados Unidos)
E	exa. Prefixo do SI que indica multiplicação por um quintilhão (10^{18})
EIA	<i>U.S. Energy Information Administration</i> (Administração Estadunidense de Informações de Energia)
EROI	<i>energy return on investment</i> (retorno que a energia apresenta sobre o investimento)
G	giga. Prefixo do SI que indica multiplicação por um bilhão (10^9)
GRDH	Gabinete do Relatório de Desenvolvimento Humano das Nações Unidas
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
IE	intensidade energética
J	joule
k	quilo. Prefixo do SI que indica multiplicação por um mil (10^3)
kg	quilograma
M	mega. Prefixo do SI que indica multiplicação por um milhão (10^6)
MEC	Ministério da Educação (Brasil)
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (em inglês, OECD, de <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>)
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNB	Produto Nacional Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (em inglês, UNDP, de <i>United Nations Development Program</i>)
ppm	parte(s) por milhão
PPP	Paridade de poder de compra (do inglês <i>purchasing power parity</i>)

RNB	Renda Nacional Bruta
s	segundo
SI	Sistema Internacional de Unidades
T	tera. Prefixo do SI que indica multiplicação por um trilhão (10^{12})
TAI	Índice de Conquistas Tecnológicas (em inglês, <i>Technology Achievement Index</i>)
toe	<i>tonne of oil equivalent</i> (tonelada métrica equivalente de petróleo, também referida como tep). Equivale a 41,868 GJ ou 11,630 MWh.
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (em inglês, <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>)
UEE pc	utilização <i>per capita</i> de energia elétrica
UEP pc	utilização <i>per capita</i> de energia primária
UPEE	utilização <i>per capita</i> ponderada de energia elétrica
W	watt
WEC	<i>World Energy Council</i> (Conselho Mundial de Energia)
Wh	watt-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 TEMA	17
1.2 RELEVÂNCIA TEMÁTICA E MOTIVAÇÃO	21
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	23
1.4 PROBLEMATIZAÇÃO, PERGUNTA E HIPÓTESES DE PESQUISA.....	23
1.5 OBJETIVOS	25
1.5.1 Objetivo geral	25
1.5.2 Objetivos específicos	25
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2 REVISÃO DA LITERATURA	29
2.1 ENERGIA E DESENVOLVIMENTO	29
2.1.1 Relação entre utilização de energia primária e crescimento econômico pelo viés do PIB	29
2.1.2 Relação entre utilização de energia elétrica e crescimento econômico pelo viés do PIB	34
2.1.3 Relação entre utilização de energia elétrica e IDH	39
2.1.4 Conclusões acerca dos estudos de correlação entre energia e desenvolvimento	40
2.2 INQUIETAÇÃO CIENTÍFICA ANTE A NOÇÃO DE CAUSALIDADE	42
2.2.1 Tratamento estatístico da relação entre energia e desenvolvimento econômico e humano	42
2.2.2 O problema em se explicar apropriadamente relações de causalidade	45
2.3 A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA ELÉTRICA	49
2.4 O ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO DAS NAÇÕES UNIDAS	54
2.4.1 Metodologia do IDH	56
2.4.2 Os relatórios de desenvolvimento humano	57
2.4.3 A variável renda na composição do IDH	60
2.4.4 Algumas críticas ao Índice	62
2.4.5 O tratamento dispensado à energia elétrica no IDH	65
2.5 O PLANEJAMENTO BRASILEIRO ANTE A QUESTÃO ENERGÉTICA	69
2.5.1 A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e os planos nacionais de energia	70
2.5.2 A energia elétrica nos planos nacionais	72
2.5.3 Os planos decenais de expansão de energia	74
2.5.4 Projeções da utilização de energia elétrica em médio prazo	75
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	77

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	87
4.1 RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS.....	87
4.2 EVOLUÇÃO DO PIB E DA UTILIZAÇÃO <i>PER CAPITA</i> DE ENERGIA PRIMÁRIA E ELÉTRICA.....	106
4.3 TENDÊNCIAS EM RELAÇÃO AO IDH, À UTILIZAÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA E ELÉTRICA, À INTENSIDADE ENERGÉTICA E AO PIB PPP.....	115
4.4 QUANTIFICAÇÃO DO VALOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA NECESSÁRIO AO STATUS DE IDH “MUITO ALTO”	121
4.5 ELABORAÇÃO DE FÓRMULA PARA CORRELACIONAR OBJETIVAMENTE A UTILIZAÇÃO <i>PER CAPITA</i> PONDERADA DE ENERGIA ELÉTRICA (UPEE) E O IDH	129
4.6 INTERPRETAÇÃO DOS VALORES DE IDH CALCULADOS COM BASE NA UPEE	136
4.7 ANÁLISE DO PLANO NACIONAL DE ENERGIA	141
4.7.1 Desigualdades na utilização, distorções de correlação e a estimativa do IDH atual dos estados brasileiros	141
4.7.2 Sobre a factibilidade das premissas do Plano Nacional de Energia vinculadas à energia elétrica.....	145
4.7.3 O relativo alinhamento do padrão brasileiro de utilização de energia elétrica ao cenário global.....	151
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	155
REFERÊNCIAS	159

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção inicial são apresentados o tema e sua delimitação, a problematização, a pergunta e as hipóteses de pesquisa, os objetivos, sua relevância e motivação, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.

1.1 TEMA

A formalização do conceito de energia e a identificação das leis que regem o seu uso¹, por físicos do século 19 (como Mayer e Carnot), são pedras angulares das ciências atuais, e seu estudo tem desempenhado um papel fundamental na compreensão da criação do universo, da origem da vida, da evolução da civilização humana, do crescimento econômico e do aumento do bem-estar, da cultura, da guerra e da geopolítica, bem como de uma mudança ambiental significativa, tanto em nível local quanto em escalas regionais e globais (CLEVELAND, 2005, xxxi).

Uma perspectiva termodinâmica estrita observa a energia – sua utilização global, qualidade, intensidade² e eficiência de conversão – como o fator-chave na história da espécie humana. Fluxos de energia e conversões sustentam e delimitam as vidas de todos os organismos, inclusive superorganismos como sociedades e civilizações (SMIL, 2005, p. 549). Portanto, as sociedades humanas, como todos os outros fenômenos da vida, existem em virtude da obtenção de energia do ambiente e de sua dissipação de forma controlada. As leis, princípios e medidas que se aplicam à dissipação de energia são tão aplicáveis à sociedade e cultura humana como o são para o resto da natureza (ADAMS, 2005, p. 749).

O uso de energia pelas sociedades humanas também implica, conforme observado, uma variedade de impactos, pois sua obtenção, processamento e utilização envolvem necessariamente várias formas de distúrbios ambientais, tanto geomorfológicos quanto ecológicos, entre eles a poluição e efeitos adversos do uso da terra. E, como todas as atividades

¹ Embora haja a ampla utilização dos termos “geração” e “consumo” de energia, “consumir”, conforme definição dicionarizada padrão, significa destruir, fazer desaparecer, enquanto a lei da conservação de energia afirma que a energia não pode ser gerada ou destruída – ela apenas muda de uma forma para outra ou transfere-se de um sistema para outro. Neste trabalho, portanto, será empregado o termo “uso” de energia, em vez de “consumo”. Cf. TIPLER, Paul A. **Física. Mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica.** Volume 1. Rio de Janeiro: LTC, 2000. Cf., ainda, CONSUMIR. In: DICIONÁRIO Priberam da Língua Portuguesa [em linha]. Lisboa: Priberam Informática, 2008-2013. Disponível em: <<http://goo.gl/q7aMR6>>. Acesso em: 4 fev. 2016. Cf., finalmente, CONSUMIR. In: DICIONÁRIO Houaiss [eletrônico]. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, junho de 2009.

² A intensidade energética diz respeito à quantidade de energia necessária à obtenção de certo valor de produção, normalmente expresso em uma unidade do PIB. Cf. GRÜBLER, Arnulf. Transitions in Energy Use. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy.** Volume 6. Amsterdam: Elsevier, 2005, p. 174.

humanas dependem do uso de energia, os impactos humanos no ambiente podem ser vistos como consequência desse uso (STERN, 2005, p. 49).

Ainda assim, o desenvolvimento de novas tecnologias e o surgimento de novos processos de obtenção de energia, durante os séculos 19 e 20, permitiram um aumento da capacidade produtiva, mediante a substituição da energia humana e animal pela mecânica. Isso, por sua vez, levou a um crescimento econômico sem precedentes e a melhores padrões de vida, bem como, é claro, a expressivos aumentos no uso de energia (MEDLOCK III, 2005, p. 66). Devido a essa importância da energia para o progresso econômico e social, é difícil discutir sobre sua demanda de forma apartada em relação ao que se discute sobre política energética.

Um tema recorrente na disciplina Economia de Energia tem sido, em geral, o da segurança energética. De acordo com Bohi, Toman e Walls (1996, p. 1), “Segurança energética refere-se à perda de bem-estar econômico, que pode ocorrer como resultado de uma mudança no preço ou na disponibilidade de energia”, o que sugere uma estreita ligação entre energia e economia (MEDLOCK III, 2005, p. 67).

Essa opinião é geralmente compartilhada entre os líderes mundiais, para os quais o crescimento econômico é visto como a única fonte de bem-estar presente e futuro, e, dada a crucial importância da energia em tal cenário, seria de se esperar que o seu papel fosse parte integrante de todas as teorias de crescimento. No entanto, a energia não representa uma variável na maioria dos modelos tradicionais de crescimento econômico (DUROY; GOWDY, 2005, p. 572). Nos casos em que representa, observa-se que investigar seu papel de forma unificada na economia demanda o estudo da agregação de fluxos de energia diferentes, e para isso muitos métodos têm sido propostos, embora nenhum seja universalmente aceito (CLEVELAND; KAUFMANN; STERN, 2005, p. 17).

Alguns economistas argumentam que a civilização se move em direção a recursos energéticos cada vez mais eficientes – por exemplo, da madeira para o carvão, e daí para o petróleo, então para o gás natural e, finalmente, para fontes de energia não baseadas em carbono – em ciclos de 100 a 200 anos. Outros argumentam que tal processo é muito mais complicado, envolvendo demanda, oferta e regulamentos, embora haja consenso sobre a dependência que os sistemas econômicos têm em relação aos recursos energéticos (ZUMERCHIK, 2001, p. 507).

Nesse contexto, a capacidade de uma forma de energia, em um sentido termodinâmico, “realizar trabalho” (por exemplo, fazer funcionar uma máquina) é muitas vezes referida como a sua disponibilidade total para tal (o que se denomina exergia), e assim, formas de energia altamente disponíveis, como a eletricidade, são mais versáteis para a realização de uma série de

funções importantes na economia do que, por exemplo, a lenha, que tem uma disponibilidade significativamente menor (PEET, 2005, p. 103).

A introspecção sobre o assunto leva à conclusão de que se está diante de algo que merece a mais alta atenção na agenda política nacional e internacional, pois a energia é pré-condição a qualquer ação que vise à promoção da própria dignidade humana, algo que extravasa os limites territoriais dos Estados e alcança todas as suas subdivisões.

Tal aspecto, contudo, não seria suficiente à adequação da natureza do trabalho de dissertação, a qual está condicionada à natureza científica do problema que, portanto, deve abranger variáveis que se mostrem preliminarmente testáveis (GIL, 2002, p. 24). Além disso se faz notar que, consoante a lição de Umberto Eco (2016), trata-se de um tema pelo qual o autor desta dissertação possui um vívido interesse e para o qual há fontes de pesquisa e de consulta acessíveis e manejáveis mediante tratamento metodológico que, acredita-se, está ao alcance da experiência do autor. No caso em tela, a existência de dados quantitativos sobre energia, PIB, PNB, IDH, expectativa de vida, etc., bem como o acesso a esses dados, compõem variáveis que podem ser observadas, manipuladas e testadas, o que faz com que o problema, ao menos em cognição preliminar, seja tido como passível de tratamento científico.

Isso considerado, defende-se nesta pesquisa que quaisquer direitos mencionados na Declaração Universal dos Direitos Humanos (ONUBR, 2009) – a qual alcança, idealmente, todos os povos e nações – dependem intrinsecamente de energia. Afinal, não se concebe que seja possível, principalmente nos níveis necessários às sociedades atuais, proporcionar trabalho, saúde e bem-estar, alimentação, cuidados médicos e serviços sociais indispensáveis (todos, elementos e direitos previstos na Declaração), sem um adequado suprimento de energia, haja vista que as sociedades modernas demandam fluxos volumosos e incessantes de combustíveis e de eletricidade (SMIL, 2015, p. 12).

Deduz-se, portanto, que quaisquer políticas públicas voltadas à satisfação desses direitos mais básicos estão condicionadas à adequação energética de base, que, por sua vez, dependerá da efetividade da política energética. Em suma, tem-se que os desenvolvimentos econômico e humano, interdependentes entre si e que são o corolário do atendimento aos direitos básicos previstos na Declaração (e normalmente replicados nos textos constitucionais e/ou legais, algo de que o Brasil não é exceção), dependem inapelavelmente de um fornecimento apropriado de energia, o qual, por seu turno, está condicionado a políticas públicas adequadas.

É dessa dependência, portanto, que são desenvolvidas políticas energéticas que interagem com outras agendas políticas e econômicas, especialmente quanto à segurança

energética, relacionada à possibilidade de rupturas, e quanto a problemas ambientais, provocados principalmente pela utilização desenfreada de combustíveis fósseis (ALLSOPP; FATTOUH, 2013, p. 82), os quais ainda são a base da matriz energética global (IEA, 2015, p. 6).

O desdobramento imediato desses fatores indica a complexidade do tema. De fato, argumenta-se que há oito problemas básicos relacionados à chamada geografia econômica da energia, os quais são representativos do vasto conjunto de assuntos que são investigados no campo dessa disciplina: localização de pontos de abastecimento e de demanda, escassez de combustíveis fósseis, impactos ambientais, proliferação nuclear, desenvolvimento de modos de obtenção e de utilização de energia renovável, desregulamentação do setor elétrico, questões geopolíticas e mudanças tecnológicas associadas à eficiência energética (SOLOMON, 2005, p. 25).

A análise mais detida da questão, em cognição progressivamente aprofundada, leva à seguinte constatação: a energia de fato indispensável, seja pela dependência que a utilização de outras formas de energia possui em relação a ela, seja pela inexistência de substitutos (mais que isso – nem ao menos se vislumbram substitutos, mesmo que em longo prazo), é a energia elétrica. Portanto, é a essa energia secundária que deve ser dispensada atenção política especial, pois condicionante da própria utilização das demais fontes e formas de energia.

Quanto à mensuração do desenvolvimento humano, verifica-se que as medidas econômicas padrão, tais como os indicadores de Produto Interno Bruto (PIB) e de Produto Nacional Bruto (PNB), revelam muito sobre as condições de vida de um país, embora elas necessariamente precisem ser complementadas por um conjunto de indicadores sociais que descrevam a qualidade de vida ou o nível de desenvolvimento humano, bem como a distribuição de bem-estar em uma sociedade. O que importa, afinal, é o modo como a afluência econômica se traduz em condições gerais de vida da população, algo que é afetado pelo desempenho das políticas dos governos (LANE, 2008, p. 89), e é por meio desse conjunto de indicadores que o IDH informa sobre a qualidade geral de vida das sociedades, devendo-se considerar que os Estados diferem tanto em termos de políticas públicas como em relação aos resultados dessas políticas (UNDP, 1990).

Dadas essas diferenciações e a impropriedade que seria explicar o desenvolvimento humano exclusivamente por meio do PIB ou do PNB, a metodologia de cálculo do IDH utiliza, quanto ao indicador renda *per capita*, uma função logarítmica, o que tira a força relativa desse indicador em relação aos outros dois (expectativa de vida ao nascer e escolaridade), embora seja mantida, entre os três, uma relação de interdependência (UNDP, 2015a).

Os dados tendem a confirmar o relativo acerto dessa metodologia, pois, embora a qualidade de vida dependa da riqueza que advém do PIB ou do PNB, a relação entre ambas assume a forma de uma curva assintótica, o que significa, na prática, que a qualidade de vida é bastante reforçada pelo aumento do PIB (ou do PNB) nos países pobres e nos moderadamente ricos, sendo, contudo, pouco afetada nos países ricos (LANE, 2008, p. 96), os quais, em um estágio mais avançado enquanto Estados de bem-estar social, colocam mais ênfase no compromisso com a igualdade, a qual se materializa, em grande parte, por meio de gastos públicos proporcionalmente elevados.

1.2 RELEVÂNCIA TEMÁTICA E MOTIVAÇÃO

O acesso à energia elétrica em níveis adequados, fundamental para as atividades humanas, para o crescimento econômico e o desenvolvimento humano – a falta de acesso restringe significativamente as oportunidades pessoais e compromete qualquer hipótese de crescimento (JOHANSSON, 2005, p. xxvii) –, tem recebido atualmente atenção relativamente escassa nos relatórios anuais do IDH, o que inclusive contradiz alguns relatórios anteriores do Índice.

Argumenta-se, nesta dissertação, que o conhecimento aprimorado da relação entre utilização de energia elétrica e desenvolvimento humano (ainda que, conforme o caso, na esteira do crescimento econômico) seja útil à determinação de níveis adequados de utilização, os quais poderiam compor, ainda que de forma subsidiária, o próprio IDH, e assim, à semelhança das componentes atuais do Índice, servir à formulação, implementação e controle das políticas públicas – especialmente, nesse caso, em relação às políticas energéticas.

Mais especificamente, o problema que motivou esta pesquisa consiste na verificação objetiva, inclusive quantitativa, da relação entre nível de utilização (“consumo”) *per capita* de energia elétrica e nível de desenvolvimento humano, algo que, diferentemente do que ocorre com a relação entre energia e PIB, e conforme se afirmou, não tem recebido atenção satisfatória dos pesquisadores. A compreensão da correlação entre essas variáveis tornaria possível, em caráter finalístico, estimar a adequabilidade das metas do Plano Nacional de Energia, quanto aos valores de utilização de energia elétrica, ao alcance do nível de IDH tido como “muito alto” segundo a atual metodologia do Índice. Trata-se, pois, de pesquisa caracteristicamente original, mormente quanto ao desafio representado pela absoluta dissensão que, de qualquer forma, há academicamente quanto à relação causal entre as variáveis energia e IDH.

A compreensão dessa relação, ou a determinação de sua ausência, apresenta relevância teórica e prática, na medida em que pode subsidiar a formulação, cientificamente pautada, de políticas públicas que tenham por tema a promoção não apenas ao acesso, mas também ao nível *per capita* adequado de utilização de energia elétrica, algo que implica um alcance estratégico nacional ainda mais amplo, com o dimensionamento apropriado da infraestrutura de energia, proporcionando melhor previsibilidade das ações estatais necessárias e conferindo, portanto, relevância ímpar à matéria.

Quanto à pertinência temática em relação ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, deve-se sublinhar a importância atual das considerações de energia no planejamento e desenvolvimento urbano, bem como o fato de que, a fim de assegurar a coordenação estreita das duas áreas, faz-se necessário planejar a utilização de energia de forma a integrar os aspectos estratégicos, nacionais, com as particularidades locais – as autoridades locais são permanentemente confrontadas com uma série de questões práticas relacionadas à energia, como as fontes eventualmente disponíveis, a localização das instalações de transformação e conversão e a distribuição de energia para as comunidades, a partir dessas instalações, e mesmo a distribuição dentro da própria comunidade (JACKSON, 2011, p. 130).

A pertinência decorre, portanto, da própria sensibilidade regimental institucional, voltada à solução de problemas sociais, econômicos, de infraestrutura, distributivos e ambientais, por meio da qual se busca despertar o aperfeiçoamento da ação articulada dos órgãos públicos, de forma a atender aos anseios da sociedade a partir de um processo cuidadosamente planejado, transparente e democrático de intervenção pública (UTFPR, 2010). E, com efeito, conforme ensinam Stiglitz, Sen e Fitoussi (2016, p. 7), “os indicadores estatísticos são importantes para a concepção e avaliação de políticas destinadas a promover o progresso da sociedade, bem como para avaliar e influenciar o funcionamento dos mercados econômicos”, embora isso signifique que há uma obrigatória contrapartida, pois “o que medimos afeta o que fazemos; e se nossas medições são falhas, nossas decisões talvez sejam distorcidas.” É precisamente a partir dessa constatação que se definiu o objetivo prático do trabalho – verificar a compatibilidade entre o Plano Nacional de Energia e a elevação do País ao nível “muito alto” do IDH, utilizando-se para isso a fórmula de correlação aqui desenvolvida e apresentada, a qual procura superar as distorções que são consequência da dissensão que tem marcado os estudos acadêmicos sobre o tema.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Considerando-se a natureza descritiva e explicativa deste trabalho, bem como seu objeto de estudo, há um claro limite imposto pelo alcance e pela disponibilização pública dos conjuntos de dados necessários aos cálculos estatísticos e matemáticos a serem desenvolvidos.

Não se pode olvidar, ainda, do aspecto qualitativo envolvido, sob o qual se busca o significado prático da questão de pesquisa, o que implica discutir, em certa medida, pontos de vista um tanto quanto subjetivos. Ou seja, o aspecto axiológico, em princípio indesejado à pesquisa, pode se fazer presente.

Geograficamente, trata-se de estudo global, com a utilização de dados de tantos países quanto possível, algo que encontra limite histórico na própria preocupação, relativamente recente, a respeito das disparidades entre países quanto ao desenvolvimento humano, o que inclusive motivou a própria criação do IDH no início dos anos de 1990.

E, dados os diferentes níveis de desenvolvimento e as diferentes políticas públicas, inclusive quanto à própria publicização de dados locais, observa-se que há uma inerente imprecisão entre realidade e simulação/previsão, a qual, de qualquer forma, não se pretende mais acentuada que a do próprio IDH e dos dados energéticos e populacionais compilados por entidades internacionalmente acreditadas, como o Banco Mundial, a CIA e a OCDE.

Trata-se, por todo o exposto, de estudo probabilístico, e não determinístico, com as inerentes limitações que advêm dessa característica, e que se preocupa em correlacionar objetivamente as variáveis uso de energia elétrica e IDH, em meio à dissonância que academicamente há sobre a questão, e dessa correlação verificar a compatibilidade, quanto à matéria e de modo mais prático e específico, entre o Plano Nacional de Energia e o atingimento do nível mais elevado de IDH.

1.4 PROBLEMATIZAÇÃO, PERGUNTA E HIPÓTESES DE PESQUISA

As estratégias de desenvolvimento atuais tendem a enfatizar o seguinte ponto de vista: o acesso adequado à eletricidade é uma condição vital para o bem-estar das pessoas e para a produção de crescimento econômico nacional. Mas, ainda assim, uma questão de suma importância – como a eletricidade afeta, em termos científicos objetivos, a vida social e o bem-estar das pessoas – permanece parcialmente em aberto. Saliente-se que essa questão não possui, certamente, interesse apenas acadêmico (TANJA, 2011, p. 1), e que a falta de resposta impacta diretamente no que poderia ser uma melhor representação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das Nações Unidas (ONU).

Com relação ao IDH observa-se que há, por um lado, uma compreensão relativamente incontroversa da relação entre crescimento econômico, representado no Índice pela variável renda nacional *per capita*, e desenvolvimento humano, a qual foi satisfatoriamente, por hipótese (que pode, de qualquer forma, ser desafiada a qualquer tempo), quantificada na função logarítmica dessa variável na fórmula do IDH. Contudo, por outro lado, parece haver premissas ainda mais básicas, fundamentais ao próprio crescimento econômico – portanto, mais essenciais que ele –, as quais são desconsideradas no Índice. Sob essa ótica, o crescimento não seria, de modo algum, uma razão primordial em si mesma, mas uma variável derivada, passível de ser quantificada em função de algo mais primordial. Conforme se verá, o motor de toda a atividade humana, certamente precedente ao próprio crescimento econômico, é a utilização controlada de energia. E, de modo mais específico, há uma forma de energia que, parece, possui indispensabilidade prevalecente em relação a todas as outras – no caso, a energia elétrica.

Ainda assim, e conforme se discutirá na seção dedicada à revisão da literatura, não há academicamente qualquer sinal de consenso quanto à relação causal entre essa energia (tampouco quanto à energia de modo geral, denominada primária) e o IDH, embora haja estudos que tratem de uma elasticidade entre utilização de energia primária e crescimento econômico, a qual seria variável conforme o grau de desenvolvimento do país, o avanço no estado da arte (com o incremento de opções tecnológicas e a mudança de paradigmas) e influências externas, de outros países (FURTADO, 2003).

Nesse contexto, a pergunta mediata que incita esta pesquisa é:

Em que medida as expectativas do Plano Nacional de Energia, quanto à utilização de energia elétrica, são compatíveis com a elevação do IDH brasileiro ao *status* denominado pelas Nações Unidas como “muito alto”?

E, por sua vez, as hipóteses principais a serem testadas na pesquisa são:

1) O papel da energia elétrica no desenvolvimento humano pode ser avaliado, de modo comparativo e *matematicamente objetivo*, entre os países/regiões, por meio da verificação da relação entre o *nível de utilização ponderado* dessa energia e o IDH. 2) Há correlação suficientemente adequada para representar, por meio de fórmula matemática, o IDH em função da utilização *per capita* ponderada de energia elétrica e vice-versa, e disso decorre a existência de um valor *quantitativo objetivo mínimo* a essa utilização, abaixo do qual não parece ser viável o desenvolvimento humano definido como “muito alto” segundo a metodologia do Índice. 3)

Há compatibilidade, *no médio prazo*, entre os valores planejados de utilização de energia elétrica no Brasil e o atingimento do nível tido *atualmente* como “muito alto”.

1.5 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos deste trabalho.

1.5.1 Objetivo geral

Avaliar a compatibilidade das expectativas do Plano Nacional de Energia, quanto à utilização de energia elétrica, com a elevação do IDH brasileiro ao *status* denominado pelas Nações Unidas como “muito alto”.

1.5.2 Objetivos específicos

- 1) Determinar as tendências da proporção de utilização de energia elétrica em relação ao total utilizado de energia primária, o que tornaria possível estimar a importância relativa dessa energia.
- 2) Estimar um *valor mínimo ponderado* de utilização *per capita* de energia elétrica necessário ao *status* de desenvolvimento humano categorizado como “muito alto”, segundo a metodologia do IDH das Nações Unidas.
- 3) Avaliar a compatibilidade dos valores de utilização de energia elétrica, previstos no Plano Nacional de Energia, com o atingimento em médio prazo, pelo Brasil, do nível “muito alto” de IDH, segundo a metodologia atual do Índice.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Utilizou-se nesta dissertação principalmente o método descritivo – no caso, há a descrição de certas características de sociedades e de fenômenos, além de se verificar a existência de relações entre algumas variáveis vinculadas a esses fenômenos (GIL, 2002, p. 42).

Conceitualmente, o trabalho está amparado em pesquisa bibliográfica *ex-post-facto* (GIL, 2002, p. 41-43), compondo um estudo predominantemente quantitativo – estatístico e descritivo de um fenômeno em escala global, buscando-se um significado prático para a questão de pesquisa (GIL, 2002, p. 134, 163).

As hipóteses foram elaboradas por indução observacional, a qual evoluiu para a comparação e, então, para a generalização, cuidando-se para evitar generalizações apressadas, pois se trata de estudo sobre fenômenos sociais, sujeitos a variáveis intervenientes que muitas vezes não estão sob controle do pesquisador (KENNY, 1979, p. 3). Considerando-se esse caráter não determinístico, procurou-se, na medida do possível, desafiar as hipóteses via método hipotético-dedutivo (GIL, 1999, p. 30-31), confrontando-as com os fatos observados, o que poderia servir à refutação das hipóteses ou à identificação de variáveis intervenientes pontuais.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

De forma sintetizada, este trabalho apresenta a seguinte divisão quanto à distribuição temática: após esta introdução é apresentada a revisão de literatura, a qual contempla dados primários, compilados por entidades de renome internacional, livros científicos dedicados, de modo geral ou específico, ao assunto discutido, e material acadêmico disponibilizado no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), vinculada ao Ministério da Educação (MEC), com vistas à sintetização de um número minimamente adequado de estudos científicos primários que, de alguma forma, tratam da questão objeto deste trabalho. Trata-se, pois, quanto a esse material acadêmico, de estudos sobre crescimento econômico e desenvolvimento humano e a relação de ambos com a utilização de energia em geral e, considerando-se sua ampla indispensabilidade e versatilidade, de energia elétrica em particular. Na revisão de literatura é também apresentada uma breve conceituação de alguns princípios científicos relacionados à energia, bem como uma crítica sobre a utilização de alguns termos relacionados a esses princípios, tanto em situações formais e legais quanto naquelas do dia a dia. Essa seção servirá, ainda, à introdução desses termos, os quais serão utilizados ao longo de todo o trabalho.

Sequencialmente, ainda na seção de revisão, é retratado o vínculo entre o desenvolvimento das sociedades e os diferentes níveis quantitativos de utilização de energia, os quais são afetados pelo estado da arte e, naturalmente, pela variação quantitativa da população. Por pertinência, é também discutida brevemente a questão da provável insustentabilidade da matriz energética global ora predominante.

A última parte da revisão é dedicada ao IDH, apresentado pelas Nações Unidas como suporte aos formuladores de políticas para a identificação de prioridades que visem à valorização do ser humano, buscando-se evidenciar o histórico do tratamento até então dispensado à relação entre utilização de energia elétrica e desenvolvimento humano.

A seção seguinte à revisão apresenta a metodologia da pesquisa, a qual será formalmente definida, bem como serão descritos os procedimentos e instrumentos utilizados no trabalho.

Na sequência da seção dispensada à metodologia são apresentados os resultados, obtidos mediante testes de determinação estatística da correlação, determinação e causalidade entre energia, desenvolvimento econômico e IDH – considerando-se que se observa, também empiricamente, que é o desenvolvimento econômico que proporciona, ainda que em variados níveis de imediatidade, o desenvolvimento humano, esse sim entendido aqui como de caráter finalístico, conforme o modelo adotado pelas Nações Unidas, entidade que atribui ao desenvolvimento econômico o caráter de meio e/ou instrumento. Nessa seção dos resultados é dispensada atenção especial à dificuldade em se estabelecer relações de causalidade estritas (relações de causa e efeito), considerando-se que, na revisão de literatura, restou evidenciado um apego quase obsessivo da academia quanto ao assunto.

Ainda na seção de apresentação dos resultados é discutida, a partir do tratamento dos dados quantitativos históricos sobre utilização total de energia (energia primária), utilização de energia elétrica, intensidade energética e IDH. E, valendo-se dos mesmos dados previamente utilizados, são apresentadas tendências dos valores observados e é discutida, também hipoteticamente, a existência de um valor objetivo mínimo de utilização de energia elétrica que, *a priori*, faz-se necessário ao *status* de IDH categorizado pelas Nações Unidas como “muito alto” (isto é, igual ou superior a 0,800).

Como suporte às hipóteses acima, e valendo-se do estudo das tendências mencionadas, é também apresentada uma fórmula, a qual se espera – descontada uma margem de erro tida como aceitável – universal, capaz de vincular a utilização *per capita* ponderada de energia elétrica (UPEE) e o IDH. Essa fórmula poderia servir como uma ferramenta agregada diretamente ao Índice, tornando possível verificar, ainda que de forma não exauriente em termos cognitivos (dadas as inevitáveis variáveis intervenientes que resultam na própria margem de erro), a adequação quantitativa da UPEE em certo país e/ou região.

Analisa-se então a seguir, tendo por instrumento a fórmula que resultou das hipóteses mencionadas, o cenário eletro-energético brasileiro atual e aquele previsto no Plano Nacional de Energia – 2050, de forma a vislumbrar as possibilidades nacionais quanto ao alcance, em médio prazo (no caso, em 2030, ano que representa um dos pontos de controle do Plano), de um IDH “muito alto”, procurando-se, mediante essa análise, cumprir o objetivo prático dessa pesquisa.

Como fechamento deste trabalho são apresentadas, nas considerações finais, as conclusões do autor, limitações do estudo, sugestão de estudos futuros e as referências utilizadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção apresenta, de modo sumarizado, alguns estudos relevantes sobre o tema central do trabalho. Serão relatados os objetivos, métodos de pesquisa, hipóteses e conclusões dos autores desses estudos, com a finalidade de apresentar o estado da arte acadêmico relativo ao tema. Serão discutidos, *en passant*, alguns conceitos científicos e técnicos necessários à compreensão integrada do fenômeno estudado.

2.1 ENERGIA E DESENVOLVIMENTO

A simples observação empírica – aqui entendida como a observação vulgar, em que os fatos são percebidos por si, independentemente da vinculação entre diferentes fatos observados (MEKSENAS, 2002, p. 78) – é suficiente para concluir que há uma relação entre utilização de energia (de modo amplo, alcançando qualquer forma de energia, ação ordinariamente conhecida como “consumo de energia”) e crescimento econômico – aqui entendido como aquele vinculado à capacidade produtiva da economia (portanto, ao PIB) e dependente dos avanços tecnológicos (FRANK; BERNANKE, 2012).

Quanto aos estudos sobre o tema, observa-se, da consulta a artigos científicos realizada no Portal de Periódicos da Capes, que há autores que se concentram na questão energética de modo holístico, isto é, em sua forma primária, no total de energia utilizado em certo caso, e outros que, dada a relevância prática *sui generis*, dedicam-se especificamente à energia elétrica. Alguns exemplos, em um e outro caso, são apresentados a seguir.

2.1.1 Relação entre utilização de energia primária e crescimento econômico pelo viés do PIB

Akkemik e Göksal (2012), partindo do pressuposto de que os estudos que examinam a relação de causalidade de Granger³ entre utilização de energia e PIB utilizam um painel de países implicitamente assumido como homogêneo, estenderam a relação de causalidade de Granger para um painel heterogêneo, composto por 79 países e cobrindo o período 1980-2007, assim obtendo resultados que demonstram que sete décimos desses países apresentam

³ O modelo proposto por Granger em 1969, que será discutido mais pormenorizadamente na parte estatística da apresentação dos resultados deste trabalho, procura superar as limitações advindas da utilização de simples correlações entre variáveis, uma vez que se considera que a correlação não implica automaticamente causalidade – faz-se necessário estabelecer o sentido causal entre as variáveis. Cf. GRANGER, C. W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37 (3), p. 424-438, 1969.

causalidade bidirecional de Granger, dois décimos não apresentam qualquer causalidade e um décimo apresenta causalidade unidirecional.

Apergis e Payne (2010a), por sua vez, analisaram a relação entre utilização de energia e crescimento econômico em um painel de nove países da América do Sul, referente ao período 1980-2005, em um modelo multivariado. A análise apontou uma relação de equilíbrio de longo prazo entre PIB, utilização de energia, força de trabalho e formação de capital, com os respectivos coeficientes positivos e estatisticamente significativos e positivos. Os resultados, obtidos a partir do método de Granger, indicaram causalidade tanto em curto quanto em longo prazo entre utilização de energia e crescimento econômico, o que, segundo os autores, dão apoio à hipótese de relação de interdependência entre utilização de energia e crescimento econômico.

Estudo semelhante dos mesmos autores (APERGIS; PAYNE, 2010b) foi realizado em relação a 13 países da Eurásia e ao período 1992-2007, porém quanto à utilização de energias renováveis, formação de capital e força de trabalho. Os resultados dos modelos de correção de erro indicaram, igualmente, causalidade bidirecional entre utilização de energia renovável e crescimento econômico, tanto em curto prazo quanto em longo prazo. Houve ainda estudo adicional de Apergis e Payne (2010c), referente a 20 países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e ao período 1985-2005, em um modelo também multivariado, a partir do qual os autores obtiveram resultados que os levaram a conclusões idênticas aos dos dois estudos anteriormente mencionados.

Já Balcilar, Ozdemir e Arslanturk (2010) analisaram as relações causais entre utilização de energia e crescimento econômico referentes a países do G-7 (grupo dos sete países mais industrializados e economicamente desenvolvidos do mundo – Estados Unidos, Alemanha, Canadá, França, Itália, Japão e Reino Unido). Os dados utilizados incluíram as séries amostrais de PIB e de utilização anual total de energia (isto é, energia primária) referentes ao período 1960-2006, exceto no caso da Alemanha, para o qual o período de amostragem se iniciou em 1971. Os autores concluíram que não houve possibilidade de previsão correlacional apenas no caso do Canadá. Os resultados da amostra completa indicaram não haver relações causais consistentes entre utilização de energia e crescimento econômico, embora Balcilar, Ozdemir e Arslanturk (2010) tenham chamado atenção ao fato de perceberem relações causais em várias sub-amostras, as quais correspondem a eventos econômicos significativos, o que indicaria que os resultados não são artefatos estatísticos, mas correspondências de mudanças econômicas reais.

Em outro cenário, Eggoh, Bangake e Rault (2011) desenvolveram trabalho com o objetivo de fornecer novas evidências empíricas sobre a relação entre utilização de energia e

crescimento econômico relacionadas a 21 países africanos e tendo por base o período 1970-2006, utilizando testes de cointegração⁴ em painel recentemente desenvolvidos. Os autores concluíram que há uma relação de equilíbrio de longo prazo entre utilização de energia, PIB, preços, trabalho e capital, tanto em relação aos países que importam energia quanto aos que exportam, e consideraram os resultados robustos e adequados a variações entre países, argumentando ainda que a diminuição da utilização de energia implicaria a diminuição do crescimento e vice-versa.

Já Fallahi (2011) reexaminou a relação causal, referente ao período 1960-2005, entre o uso de energia e o PIB nos Estados Unidos, obtendo resultados que mostram mudanças no padrão de relação de causalidade entre as duas variáveis. No caso, o autor encontrou evidência de causalidade bidirecional nos subperíodos 1971-1975, 1977-1982, 1989-1995 e de 2001 até o final da amostra (o que inclui as crises de energia na década de 1970, as recessões no início dos anos de 1980 e de 1990 e a recessão de 2001), mas nenhuma causalidade nos demais subperíodos.

Fuinhas e Marques (2012), por sua vez, examinaram a relação entre utilização de energia e crescimento econômico em Portugal, Itália, Grécia, Espanha e Turquia (países que, no contexto europeu, apresentam baixo crescimento econômico e elevada taxa de desemprego), com dados anuais de 1965 a 2009, obtendo resultados que sugerem causalidade bidirecional entre energia e crescimento em curto e em longo prazo, o que apoiaria a hipótese de interdependência das variáveis. Os autores concluíram que uma política de conservação de energia tende a reduzir o crescimento do PIB, uma vez que uma unidade adicional de PIB requer menos do que uma unidade de energia.

Hu e Lin (2008), por seu turno, argumentaram que o aumento da utilização de energia tem sido muito maior do que o crescimento econômico em Taiwan nos últimos anos, piorando a sua eficiência energética, e buscaram fornecer em seu artigo uma explicação sólida ao fato, por meio do exame da relação de equilíbrio entre as duas variáveis, desagregadas sob uma estrutura não linear. Os autores concluíram que o processo de ajuste da utilização de energia em direção ao equilíbrio é altamente persistente quando um limite é atingido de forma adequada, havendo comportamento de reversão à média quando o limite é atingido, o que faria com que a utilização de energia aumentasse mais rapidamente do que o PIB de Taiwan.

⁴ Cointegração refere-se à noção de que uma combinação linear de duas séries, cada uma das quais sendo uma integrada de ordem um, é integrada de ordem zero. Cf. WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. Mason, OH: Cengage Learning, 2013, p. 845.

Já Kahsai et al. (2012) estudaram a relação entre utilização de energia e crescimento econômico na África subsaariana, por meio de cointegração em painel, utilizando-se de dados de séries temporais nacionais e segmentando os países em dois grupos – renda média e renda baixa. Os resultados obtidos sugerem a hipótese de neutralidade em curto prazo em relação aos países de renda baixa e uma causalidade bidirecional forte em longo prazo em qualquer um dos dois segmentos. Kahsai et al. (2012) argumentaram que os diferentes resultados observados em cada segmento fornecem evidências da importância do nível de renda na relação causal e são fundamentais na formulação de políticas de desenvolvimento sustentável que sejam voltadas à alocação eficiente de recursos necessários para aumentar o acesso a serviços de energia na região estudada.

Lee e Chang (2007), sob outra perspectiva, aplicaram um novo procedimento de teste de estacionariedade⁵ de dados em painel a fim de reinvestigar as interações dinâmicas entre as variáveis utilização *per capita* de energia e PIB *per capita*, tendo por objeto de estudo 22 países desenvolvidos e 18 em desenvolvimento, atestando uma causalidade bidirecional entre as duas variáveis, nos países desenvolvidos, e causalidade unidirecional, de PIB à utilização de energia, nos países em desenvolvimento. Lee e Chang (2007) concluíram que os efeitos positivos são mais fortes e mais persistentes nos países em desenvolvimento, com as implicações políticas que podem emergir dessa conclusão – destacadamente, no caso dos países em desenvolvimento, com sua causalidade unidirecional, uma política de conservação de energia pode ser perfeitamente possível, sem comprometimento do PIB.

Já Ozturk e Acaravci (2010) investigaram a relação causal entre energia e crescimento econômico referente à Albânia, Bulgária, Hungria e Romênia e ao período 1980-2006, utilizando-se dos valores de utilização *per capita* de energia primária, de energia elétrica e de PIB, e explorando as relações de longo prazo entre as variáveis por meio de um modelo dinâmico voltado a testar relações causais entre elas. Evidenciou-se em todos os casos uma relação de longo prazo unidirecional, de utilização *per capita* de energia primária a PIB, e, apenas no caso da Hungria, uma forte causalidade bidirecional entre as duas variáveis.

Narayan, Narayan e Popp (2010a), por sua vez, examinaram as elasticidades de longo prazo relacionadas à utilização de energia sobre o PIB e vice-versa, demonstrando que em

⁵ A estacionariedade tem a ver com as distribuições conjuntas de um processo que se move ao longo do tempo. Um processo de séries temporais estacionário é aquele em que essas distribuições são invariáveis ao longo do tempo. Cf. WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. Mason, OH: Cengage Learning, 2013, p. 382 e 858.

apenas 60% da amostra a relação é positiva, e chamaram atenção ao fato de a maior parte da literatura existente assumir uma relação amplamente positiva.

Shahiduzzaman e Alam (2012) investigaram as relações de cointegração e causalidade entre utilização de energia e produção econômica na Austrália, referentes a um período de cinco décadas a partir de 1960. O modelo incluiu as variáveis energia, capital e trabalho como valores de entrada na produção, e apontou a evidência empírica da existência de relação de cointegração entre energia e valores de saída, o que implica que a energia é uma variável importante no espaço de cointegração, assim como as entradas convencionais capital e trabalho. Shahiduzzaman e Alam (2012) encontraram ainda certa evidência de causalidade bidirecional entre PIB e utilização de energia, e classificaram os resultados como robustos, passíveis de aplicação a diferentes análises econométricas.

Wang et al. (2011) buscaram estabelecer a direção da causalidade entre utilização de energia e crescimento econômico na China referente ao período 1972-2006, utilizando um modelo de cointegração multivariada ao qual incorporaram as variáveis capital e trabalho, com base na teoria de produção agregada neoclássica. Os resultados empíricos revelaram que o parâmetro da utilização de energia sobre o crescimento econômico na China é de 0,15 em longo prazo e de 0,12 em curto prazo. O estudo também indicou a existência de causalidades de curto e de longo prazo unidirecionais – de utilização de energia, capital e emprego em direção a crescimento econômico. Wang et al. (2011) concluíram, assim, que a energia serve como uma importante fonte de crescimento econômico, e que a intensificação de seu uso deve ser buscada nas estratégias de desenvolvimento econômico a serem adotadas naquele país.

Yalta e Cakar (2012), também se referindo à China e abrangendo período semelhante (1971-2007), ofereceram um diagnóstico formal do que rotularam como resultados contraditórios sobre a relação causal entre utilização de energia e PIB, concluindo que dados grosseiramente agregados têm um potencial limitado à observação das relações causais complexas entre utilização de energia e crescimento econômico, argumentando que a investigação orientada à formulação de políticas requer, quanto a essenexo causal, análises mais específicas, com base em dados setoriais e provinciais.

Yuan et al. (2008), usando um modelo de produção agregada neoclássico, em que capital, trabalho e energia são tratados como entradas separadas, testaram a existência e a direção da causalidade entre o crescimento da produção e o uso de energia na China, tanto em relação à energia total primária agregada quanto aos níveis desagregados (carvão, petróleo e eletricidade). Os resultados empíricos indicaram a existência de cointegração de longo prazo entre saída de produção, trabalho, capital e uso de energia na China, tanto individualmente, em

cada um dos três níveis desagregados, quanto no total de energia primária. Verificou-se, ainda, a existência de causalidade, orientada de utilização de eletricidade e consumo de petróleo a PIB, mas a inexistência de causalidade a partir do consumo de carvão e da utilização total de energia primária em relação ao PIB. Por outro lado, em curto prazo verificou-se também causalidade direcional do PIB para o total de energia primária, consumo de carvão e de petróleo, mas não do PIB para a utilização de eletricidade. Yuan et al. (2008) sugeriram, assim, as seguintes políticas para resolver o dilema entre energia e desenvolvimento sustentável na China: reforço da segurança de abastecimento e garantia do fornecimento de energia, especialmente em curto prazo; fornecimento adequado de energia elétrica e configuração de uma reserva nacional estratégica de petróleo; melhorias na eficiência energética, de modo a poupar energia; diversificação das fontes de energia, com a adoção de medidas voltadas à exploração de energia renovável; e, finalmente, com efeitos em longo prazo, transformação do padrão de desenvolvimento e corte na dependência que o país tem em relação a indústrias que são fortemente dependentes de recursos naturais e de energia.

2.1.2 Relação entre utilização de energia elétrica e crescimento econômico pelo viés do PIB

Acaravci e Ozturk (2010) investigaram a relação de longo prazo e as questões de causalidade entre utilização de energia elétrica e crescimento econômico em 15 países tidos como de transição (Albânia, Bielorrússia, Bulgária, República Checa, Estônia, Letônia, Lituânia, Macedônia, Moldávia, Polônia, Romênia, Rússia, Sérvia, República Eslovaca e Ucrânia), utilizando método de cointegração, referente ao período 1990-2006. Os resultados não confirmaram uma relação de equilíbrio de longo prazo entre utilização *per capita* de eletricidade e PIB *per capita*. Segundo Acaravci e Ozturk (2010), pode-se dizer, de modo geral quanto aos países estudados, que as políticas relacionadas à utilização de eletricidade não têm nenhum efeito ou relação, ao menos em longo prazo, com o PIB. Os autores mencionaram, ainda, que a literatura tem resultados conflitantes e que não há consenso, tanto sobre a existência quanto sobre a direção da causalidade entre utilização de eletricidade e crescimento econômico, havendo de qualquer modo implicações políticas e a demonstração de que a questão merece maior atenção em pesquisas futuras.

Ahamad e Islam (2011) examinaram, tendo por cenário o Bangladesh, a mesma relação causal, na busca de relações de curto e de longo prazo, por meio da análise de dados referentes ao período 1971-2008. Os resultados empíricos revelaram a existência de um fluxo de causalidade unidirecional de curto prazo, de utilização *per capita* de eletricidade para PIB *per*

capita, o que explicaria diretamente o aumento da atividade econômica no país. Por outro lado, os resultados de longo prazo mostraram uma causalidade bidirecional, ou seja, de utilização de energia elétrica em direção a PIB e vice-versa (por realimentação). Segundo Ahamad e Islam (2011), essas descobertas podem fornecer informações políticas essenciais para a projeção de perspectivas de crescimento imediato e de longo prazo para o Bangladesh, tendo em vista a estratégia de crescimento e o setor energético deficiente atualmente verificados.

Já Apergis e Payne (2011a) analisaram a relação entre utilização de energia renovável e crescimento econômico em um painel de seis países da América Central, tendo por referência o período 1980-2006. A análise (mediante cointegração heterogênea) revelou uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as duas variáveis, com a indicação de causalidade bidirecional tanto em curto quanto em longo prazo. Os mesmos autores (APERGIS; PAYNE, 2011b) examinaram a relação entre utilização de eletricidade e crescimento econômico referente a 88 países, segmentados em quatro painéis com base na classificação de renda do Banco Mundial (alta, média alta, média baixa e baixa), em relação ao período 1990-2006. Os resultados revelaram causalidade bidirecional entre utilização de eletricidade e crescimento econômico, em curto e em longo prazo, nos países de renda alta e média alta; causalidade unidirecional, de utilização de eletricidade a crescimento econômico, em curto prazo, e causalidade bidirecional, de longo prazo, em relação aos países de renda média baixa; e causalidade unidirecional, de utilização de eletricidade a crescimento econômico, em curto e em longo prazo, em relação aos países de renda baixa.

Apergis e Payne (2011c) conduziram ainda um terceiro estudo, no qual examinaram a relação entre utilização de eletricidade proveniente de fontes renováveis e não renováveis e crescimento econômico, em um painel composto por 16 economias de mercados emergentes, referente ao período 1990-2007, constatando a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre PIB, utilização de energia elétrica de fontes renováveis, utilização de energia elétrica de fontes não renováveis, formação de capital e força de trabalho. No entanto, a estimativa de elasticidade de longo prazo quanto à utilização de eletricidade de fontes renováveis foi estatisticamente insignificante, embora positiva. Apergis e Payne (2011c) verificaram ainda causalidade unidirecional, em curto prazo, de crescimento econômico à utilização de eletricidade de fontes não renováveis, e bidirecional em longo prazo. Adicionalmente se verificou, tanto em curto quanto em longo prazo, causalidade bidirecional entre utilização de eletricidade de fontes não renováveis e crescimento econômico.

Gurgul e Lach (2011), por sua vez, analisaram as relações causais entre o consumo trimestral de carvão na economia polonesa e o PIB. Para maior precisão adicionou-se aos

cálculos a variável emprego. Foram utilizados os dados do primeiro trimestre de 2000 e até o quarto trimestre de 2009, confirmando-se a neutralidade do uso do carvão em relação ao crescimento econômico. Por outro lado, os cálculos referentes a uma variedade específica de carvão – o linhito, utilizado principalmente para a obtenção de energia elétrica – em relação ao PIB revelaram a existência de uma relação de causalidade não linear significativa do uso dessa variedade para o crescimento econômico, o que, segundo Gurgul e Lach (2011), é uma clara evidência de que o linhito desempenha um papel importante no crescimento econômico polonês, fato do qual decorrem implicações políticas importantes.

Gurgul e Lach (2012) também investigaram as interdependências causais entre utilização de eletricidade – segmentada em utilização total e utilização industrial – e o PIB da Polônia, tendo sido escolhido, da mesma forma que no estudo anterior, o emprego como variável adicional. Foram utilizados dados trimestrais referentes ao período 2000-2009. Os autores encontraram relação bidirecional entre utilização total de eletricidade e PIB e entre utilização total de eletricidade e emprego. Encontraram, ainda, causalidade unidirecional, de utilização de eletricidade a emprego, inexistindo relações causais diretas entre utilização de eletricidade industrial e PIB. Segundo Gurgul e Lach (2012), os resultados não foram, em geral, seriamente afetados pelas crises financeira e econômica de 2008, com a exceção significativa do efeito causal da utilização de eletricidade industrial sobre o emprego, que acentuou-se após a crise de 2008.

Narayan e Prasad (2008) examinaram os efeitos causais entre utilização de eletricidade e PIB referentes a 30 países da OCDE, encontrando evidências de que a utilização dessa energia favorece o crescimento do PIB na Austrália, Islândia, Itália, República Eslovaca, República Checa, Coreia, Portugal e Reino Unido, o que significa que as políticas de conservação de energia elétrica teriam um impacto negativo no PIB desses países. No entanto, para os demais 22 países os resultados da pesquisa sugeriram que as políticas de conservação de eletricidade não afetariam o PIB.

Narayan e Singh (2007) investigaram a relação entre a utilização de eletricidade e o crescimento econômico de Fiji (pequena economia insular aberta) por meio de um painel multivariado no qual se incluiu a variável força de trabalho, concluindo que a utilização de eletricidade, o PIB e a força de trabalho só são cointegrados quando o PIB é a variável endógena (ou seja, aquela que será determinada em função das demais). Narayan e Singh (2007) concluíram ainda que, em longo prazo, a causalidade direciona-se da utilização de eletricidade e da força de trabalho ao PIB, o que significa que Fiji é um país dependente de energia e,

portanto, as políticas de conservação de energia teriam um efeito adverso sobre o crescimento econômico local.

Narayan, Narayan e Prasad (2008) analisaram, a partir da literatura sobre utilização de energia elétrica e PIB, os efeitos neste último devido aos choques na utilização de eletricidade em relação aos países do G7. Exceto quanto aos Estados Unidos, os autores observaram que a utilização de eletricidade tem um impacto positivo estatisticamente significativo no PIB em cenários de curto prazo, o que significa que as políticas de conservação de energia elétrica podem afetar o PIB nos países do grupo.

Narayan, Narayan e Popp (2010b) investigaram dados referentes à causalidade em longo prazo da utilização de eletricidade sobre o PIB, em um conjunto de sete painéis que somou 93 países, descobrindo uma relação geral bidirecional de causalidade (exceto para o Oriente Médio, onde a causalidade mostrou-se unidirecional, do PIB à utilização de eletricidade). Em relação aos seis países mais industrializados do mundo (composto por Estados Unidos da América, Japão, Alemanha, França, Reino Unido e Itália, grupo por vezes referido como G6), as estimativas revelaram um efeito de sinal negativo, em que o aumento da utilização de eletricidade tende a reduzir o PIB.

Odhiambo (2009) examinou a relação causal entre utilização de eletricidade e crescimento econômico na África do Sul, incorporando a taxa de emprego como uma variável intermitente no modelo bivariado, criando assim um quadro trivariado de causalidade simples. Os resultados empíricos mostraram que existe uma causalidade bidirecional entre utilização de eletricidade e crescimento econômico no país, tanto em curto quanto em longo prazo. Odhiambo (2009) recomenda que as políticas voltadas para a expansão da infraestrutura elétrica nacional sejam intensificadas, a fim de lidar com a crescente demanda exercida pelo forte crescimento econômico e pelo programa de rápida industrialização, o que evitaria surtos de energia semelhantes aos experimentados em janeiro de 2008.

Ozturk e Acaravci (2011) investigaram questões de causalidade de curto e de longo prazo entre utilização de eletricidade e crescimento econômico em 11 países do Oriente Médio e do Norte de África, utilizando dados anuais do período 1971-2006. Os resultados globais indicaram não haver relação entre utilização de eletricidade e crescimento econômico na maioria dos países estudados, evidenciando-se que políticas de conservação de energia teriam, portanto, pouco ou nenhum impacto sobre o crescimento econômico na maioria desses países.

Yoo e Kwak (2010) investigaram a relação causal entre utilização de eletricidade e crescimento econômico referente a sete países da América do Sul – Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela – por meio de séries temporais referentes ao período

1975-2006. Os resultados indicaram que onexo causal entre utilização de eletricidade e crescimento econômico varia entre os países. Verificou-se causalidade unidirecional de curto prazo, de utilização de eletricidade a PIB, na Argentina, Brasil, Chile, Colômbia e Equador, significando que um aumento na utilização de energia elétrica afetaria positiva e diretamente o crescimento econômico nesses países. Quanto à Venezuela, verificou-se causalidade bidirecional entre as duas variáveis. Não foram verificadas relações causais quanto ao Peru. Yoo e Kwak (2010) argumentaram que as evidências documentadas poderiam fornecer informações úteis a cada governo em relação à política de crescimento e de energia.

Uma vez considerados tais estudos, os quais parecem confirmar academicamente a relação entre energia e desenvolvimento econômico (ainda que indicando intensidades e direcionalidades que variam contextualmente), convém lembrar que o crescimento econômico, por sua vez e de modo inequívoco, é tido como condicionante do desenvolvimento humano. Isso ocorre tanto em relação à variável renda nacional *per capita*, que, não por acaso, compõe diretamente o IDH das Nações Unidas (ONU), quanto em relação aos avanços tecnológicos, tornados possíveis mediante a utilização de energia e que contribuem indiretamente às outras duas componentes do Índice, relacionadas à expectativa de vida e à educação (UNDP, 2015a).

E, de modo ainda mais incisivo que em relação à interdependência entre as duas variáveis (utilização de energia e crescimento econômico), também se observa de modo empírico que ambos os crescimentos (econômico e humano) dependem, inapelavelmente, de uma energia específica – a energia elétrica, para a qual não há e nem se vislumbram, em grande parte, substitutos, diferentemente do que ocorre com a maior parte das utilizações finais de fontes primárias de energia baseadas em combustíveis fósseis. De fato, a relativa facilidade de manipulação dos elétrons tornou possível, desde o início do século passado, tecnologias totalmente novas, como o rádio, a televisão, computadores, lasers, exames de ressonância magnética, etc. (KAKU, 2011, p. 137) A eletricidade, assim, não apenas condicionou a rápida industrialização e o crescimento econômico no século passado, mas também continua a desempenhar um papel crucial em vários aspectos da vida cotidiana em todo o mundo, de tal forma que a adoção de uma teoria neo-evolutiva do desenvolvimento humano para reconhecer sua importância não se faz necessária (TANJA, 2011, p. 1).

Mas, se a respeito das relações de causalidade entre energia (mesmo que especificamente em relação à energia elétrica) e crescimento econômico há extensa variedade de estudos científicos, o mesmo não se pode dizer quanto às relações entre energia elétrica e desenvolvimento humano. De fato, a dinâmica de tal relação é relativamente subpesquisada, embora haja um consenso geral, entre os governos e outras organizações, quanto ao impacto

positivo que a utilização de eletricidade tem sobre o desenvolvimento humano (TANJA, 2011, p. 1).

2.1.3 Relação entre utilização de energia elétrica e IDH

Dias, Mattos e Balestieri (2006) discutiram a importância de se buscar modelos alternativos de desenvolvimento com vistas ao equilíbrio entre desenvolvimento humano, conservação dos recursos naturais e do meio ambiente, por meio de conceitos racionais do uso de energia, nos quais busca-se estabelecer qual a quantidade de energia passível de ser utilizada pela humanidade de modo a não pôr em perigo as condições de sobrevivência das gerações futuras. À época do estudo o IDH estabelecia, ainda que de modo semidireto, a relação entre o uso de energia, o crescimento econômico e o crescimento social (UNDP, 2006), algo que é lembrado pelos autores e que será discutido em seção própria nesta dissertação.

Lambert et al. (2014) argumentaram que os efeitos sociais do declínio do Retorno da Energia sobre o Investimento (EROI⁶), em curto e em longo prazo, são incertos, mas provavelmente adversos. Os autores reconhecem que não se tem compreensão empírica adequada de como o EROI está vinculado, direta ou indiretamente, com a capacidade de um cidadão comum alcançar o bem-estar. Para avaliar as possíveis ligações entre o bem-estar da sociedade e a disponibilidade de energia líquida, Lambert et al. (2014) compararam estimativas preliminares de disponibilidade de energia na sociedade, o uso *per capita* de energia, análises de regressão múltiplas e um novo índice de energia composto (denominado índice de energia Lambert, em referência à autora principal do artigo) para selecionar indicadores de qualidade de vida (IDH, percentual de crianças com peso abaixo do esperado, gastos com saúde, índice de desigualdade de gênero, taxa de alfabetização e acesso à água potável). Os resultados sugerem que os índices de energia são altamente correlacionados com um alto padrão de vida. Lambert et al. (2014) também encontraram um ponto de saturação, acima do qual o aumento na disponibilidade *per capita* de energia (superior a 150 GJ, ou 41,67 MWh, anuais) ou EROI (acima de 20:1) não está associado a melhorias adicionais à sociedade.

Já Ouedraogo (2013) investigou o comovimento e a relação de causalidade entre utilização de energias primária e elétrica e IDH, o qual foi utilizado como medida de bem-estar

⁶ EROI é a sigla em inglês para *energy return on investment*. Refere-se a uma medida para estabelecer a qualidade – no caso, a energia líquida – disponível a um organismo ou uma sociedade alcançarem seus vários fins. Trata-se, simplesmente, da energia obtida a partir de uma unidade de energia utilizada no próprio processo de obtenção de energia. Cf. LAMBERT, Jessica G. et al. Energy, EROI and quality of life. **Energy Policy**, 64, p. 153-167, 2014, p. 154).

humano, e incluiu os preços da energia como variável adicional, referente a 15 países em desenvolvimento e ao período 1988-2008. Segundo a autora, os resultados empíricos sustentam a hipótese de neutralidade (isto é, ausência de causalidade em qualquer direção) em curto prazo, tanto em relação à energia total (primária) quanto à eletricidade. Em longo prazo, os resultados indicaram uma clara relação de cointegração negativa entre utilização de energia primária e IDH, e uma relação de cointegração positiva entre utilização de energia elétrica e IDH. Ouedraogo (2013) concluiu que um aumento de 1% na utilização *per capita* de energia primária reduz o IDH em 0,8%, e um aumento de 1% na utilização *per capita* de energia elétrica aumenta o IDH em 0,22%. Além disso, um aumento de 1% no preço da energia reduz o IDH em cerca de 0,11%. Assim, segundo a autora, respalda-se a afirmação de que a ausência de acesso (ou o acesso limitado) a serviços energéticos modernos poderia prejudicar as perspectivas de desenvolvimento econômico e humano dos países, enfraquecendo os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio propostos pelas Nações Unidas.

Santos, Dias e Balestieri (2016) utilizaram análise fatorial para indicar as características mais fortemente correlacionadas com os padrões de dignidade humana e de utilização sustentável de energia, de modo a subsidiar os tomadores de decisão quanto a mudanças para as populações presentes e futuras de cidades tipicamente urbanas. Os autores relataram que o aumento da utilização de energia elétrica tem sido proposto, em estudos como os que levaram aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, como uma forma de superar limitações e atenuar as distorções ambientais e econômicas que existem em todo o mundo.

Guerra e Fantinelli (2001) trataram do tema energia de forma geral (energia primária) e mencionaram a estreita relação, desde os primórdios, entre utilização de energia e desenvolvimento humano, bem como a desigualdade nos níveis dessa utilização e a consequente disparidade nos níveis de desenvolvimento. Os autores propõem a sustentabilidade, a ser conseguida mediante a eficiência energética de novas tecnologias, como meio de equalização do desenvolvimento.

2.1.4 Conclusões acerca dos estudos de correlação entre energia e desenvolvimento

Ainda que os enfoques dispensados à relação entre energia e desenvolvimento sejam, conforme se viu nas três subseções antecedentes, diferenciados em ao menos três tipos, todos eles têm em comum o fato de não comporem opiniões unânimes. Aliás, a controvérsia tem sido uma constante desde que a questão passou a ser motivo de preocupação científica e acadêmica, o que ocorreu no final dos anos de 1970. Em uma investigação ainda hoje muito influente, e

que é amplamente considerada a pioneira, Kraft e Kraft (1978)⁷ estudaram o período 1947-1974 e encontraram causalidade unidirecional, de utilização de energia para Produto Nacional Bruto (PNB), em relação aos Estados Unidos. Pouco depois, contudo, o estudo dos Kraft foi questionado por Akarca e Long (1980), que inferiram ausência de relação causal em um estudo semelhante – resultado que foi obtido mediante o simples acréscimo de uma defasagem (*lag*) de dois anos entre as variáveis na análise de estacionariedade. Muitos estudiosos aderiram desde então ao debate, mas jamais chegaram a um consenso (OUEDRAOGO, 2013, p. 29).

Neste cenário de controvérsia e conflito, observa-se que as direções de causalidade entre o uso de energia e o desenvolvimento (preponderantemente econômico) podem ser classificadas em quatro tipos (HU; LIN, 2008, p. 2.343). O primeiro deles indica uma causalidade unidirecional, de desenvolvimento para utilização de energia, o que faria com que as políticas de redução do uso de energia pudessem ser implementadas com pouco ou nenhum efeito adverso sobre o crescimento econômico (LISE; MONTFORT, 2007; OH; LEE, 2004; YOO; KIM, 2006). O segundo aponta para a ocorrência de causalidade também unidirecional, porém, de uso de energia para desenvolvimento, o que faria com que restrições ao uso de energia tivessem efeitos adversos sobre o desenvolvimento, da mesma forma que um aumento no uso de energia poderia contribuir para esse desenvolvimento (ALTINAY; KARAGOL, 2005; LEE, 2005; NARAYAN; SINGH, 2007; SHIU; LAM, 2004; WOLDE-RUFAEL, 2004; YUAN et al., 2007). O terceiro tipo assinala relação causal bidirecional, ou seja, o desenvolvimento demandaria utilização de energia, e o uso de energia também poderia induzir o desenvolvimento (JUMBE, 2004; YANG, 2000; YOO, 2005). Finalmente, o quarto tipo diz respeito à “hipótese de neutralidade”, segundo a qual não haveria causalidade em qualquer direção (ASAFU-ADJAYE, 2000; WOLDE-RUFAEL, 2005) – ou seja, tanto o uso crescente de energia quanto o uso conservador não teriam qualquer efeito sobre o desenvolvimento (HU; LIN, 2008, p. 2.343-2.344).

É com base nessa controvérsia que o presente estudo argumentará, na seção seguinte e com a devida vênia aos estudos que foram objeto desta revisão de literatura, sobre a impossibilidade de se definir categoricamente, por meio de testes estatísticos, a direção da causalidade entre as variáveis envolvidas, algo que independe da complexidade do modelo

⁷ A importância atual do artigo dos Kraft pode ser atestada, de forma relativa, pelo próprio periódico que a publicou, o qual apresenta, de forma exclusiva no sumário unificado de todas as edições (as quais alcançam o ano de 1975), a declaração, ao lado do volume 3, número 2, de 1978: “Kraft & Kraft Article included”. Trata-se, na verdade, não de um artigo, mas de uma nota, pois está na seção *notes and comments*, e não na *articles*, com apenas três páginas e que inicia com “The purpose of this note is to report the results of an empirical test for determining the causal relationship between energy and gross national product”. Cf. a página do periódico, disponível em: <<http://goo.gl/5fNcmS>>. Acesso em: 3 abr. 2016.

estatístico utilizado. De qualquer forma argumentar-se-á detalhadamente, na mesma seção e com alicerce nos fatos regentes que permitem extrair “sentido do mundo” (EDDINGTON, 1929, p. 339), que de modo preponderante e primordial é a utilização de energia que induz o desenvolvimento, tanto econômico quanto humano, e não o contrário.

2.2 INQUIETAÇÃO CIENTÍFICA ANTE A NOÇÃO DE CAUSALIDADE

For, as all our reasonings concerning existence are derived from causation, and as all our reasonings concerning causation are derived from the experienced conjunction of objects, not from any reasoning or reflection, the same experience must give us a notion of these objects, and must remove all mystery from our conclusions.

David Hume (1854, p. 220)⁸

Nesta seção argumentar-se-á sobre os prováveis fatores que levam à controvérsia, aparentemente insuperável, entre os estudos supramencionados e outros de mesma natureza. Essa controvérsia decorre aparentemente dos métodos utilizados, não sendo possível, *a priori*, estabelecer hierarquização quanto à qualidade e pertinência desses métodos.

2.2.1 Tratamento estatístico da relação entre energia e desenvolvimento econômico e humano

Análises estatísticas extravagantes, excessivamente complicadas, parecem estar em voga nos artigos científicos. Trata-se do chamado *statistical machismo* (MELLO, 2012), que pode ser definido como a utilização de métodos estatísticos que são mais complicados que outros e que, comparados a estes, não necessariamente mudam o resultado, sendo defendidos apenas com base na proposição “meu artigo é melhor porque eu usei as estatísticas mais difíceis”, algo que tem normalmente levado à constatação de que, mesmo nos casos em que a análise mais complexa se mostra relevante, ela pode ter implementação muito custosa e com muito pouco impacto sobre os resultados finais (MCGILL, 2012). Em resumo, pode acabar significando desperdício de tempo e – sem trocadilho – de energia.

⁸ “Pois, como todos os nossos raciocínios relativos à existência derivam da causalidade, e como todos os nossos raciocínios relativos à causalidade derivam da conjunção experiente de objetos, não de qualquer raciocínio ou reflexão, a mesma experiência deve nos dar uma noção desses objetos e deve afastar todo o mistério de nossas conclusões.” (Tradução nossa)

Utilizar testes de causalidade de Granger em certas situações parece ser o caso⁹. Dito isso, convém lembrar que a limitação inerente à metodologia desses testes em certos cenários foi reconhecida pelo próprio Granger, na cerimônia em que ele foi laureado com o Nobel de Ciências Econômicas em 2003:

Partindo da definição de que 1 – a causa ocorre antes do efeito, e de que 2 – a causa contém informações únicas, que não estão em nenhuma outra variável, sobre o efeito, obtém-se, como consequência, que a variável causal pode ajudar a prever a variável efeito, após outros dados terem sido previamente utilizados. Infelizmente, muitos usuários se concentraram nessa implicação de previsão em vez de na definição original. Naquela época, eu [era ingênuo e] não imaginava que tantas pessoas tinham ideias muito fixas sobre o nexos de causalidade, mas elas concordavam que a minha definição não era, na opinião delas, “causalidade verdadeira”, mas apenas “causalidade de Granger”. Eu poderia solicitar uma definição de causalidade verdadeira, mas ninguém responderia. No entanto, a minha definição era pragmática, e qualquer pesquisador com duas ou mais séries temporais poderia aplicá-la. Isso [somado ao “causalidade de Granger”, o que proporcionava autoridade,] fez com que eu tivesse uma abundância de citações. Naturalmente, muitos artigos ridículos apareceram (GRANGER, 2003a, p. 365-366. Tradução nossa)¹⁰.

Granger chamou atenção para a utilização indiscriminada do conceito porque, basicamente, trata-se de algo desenhado sob medida para questões econométricas, que não leva em conta efeitos de confusão latentes, assim como não captura relações causais instantâneas e não lineares, embora, a bem da verdade, várias extensões tenham sido propostas para resolver essas questões (EICHLER, 2012, p. 328).

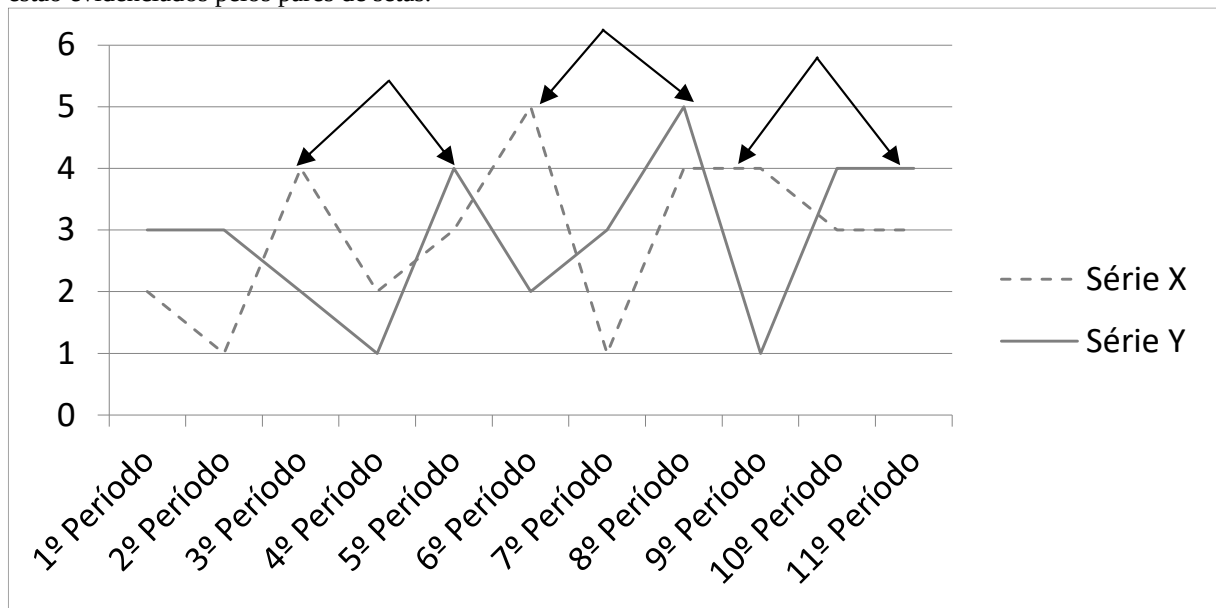
Ainda que de modo simplista, pode-se afirmar que o teste de causalidade de Granger (1969, p. 424-438) não desafia o raciocínio lógico intuitivo que se espera de qualquer pessoa. Quando uma série X causa uma série Y , os padrões observados em X são aproximadamente repetidos em Y após certo lapso temporal, tal como demonstrado no Gráfico 1. Em outras palavras, Y seria, em tais circunstâncias, uma representação aproximada e defasada de X , o que significa que valores passados de X poderiam ser usados à previsão de valores futuros de Y .

⁹ Entre os estudos mencionados na revisão de literatura desta dissertação, todos os seguintes, em ordem alfabética, utilizaram, em certa medida, testes de Granger: ACARAVCI; OZTURK, 2010; AHAMAD; ISLAM, 2011; AKKEMIK; GÖKSAL, 2012; APERGIS; PAYNE, 2010a; APERGIS; PAYNE, 2010b; APERGIS; PAYNE, 2010c; APERGIS; PAYNE, 2011a; APERGIS; PAYNE, 2011b; APERGIS; PAYNE, 2011c; BALCILAR; OZDEMIR; ARSLANTURK, 2010; EGGOH; BANGAKE; RAULT, 2011; FALLAHI, 2011; FUINHAS; MARQUES, 2012; GURGUL; LACH, 2011; GURGUL; LACH, 2012; KAHSAI et al., 2012; NARAYAN; NARAYAN; POPP, 2010a; NARAYAN; NARAYAN; POPP, 2010b; NARAYAN; PRASAD, 2008; NARAYAN; SINGH, 2007; ODHIAMBO, 2009; OUEDRAOGO, 2013; OZTURK; ACARAVCI, 2010; OZTURK; ACARAVCI, 2011; SHAHIDUZZAMAN; ALAM, 2012; YALTA; CAKAR, 2012; YOO; KWAK, 2010.

¹⁰ As partes entre colchetes na citação referem-se à transcrição feita a partir da apresentação oral pessoal de Granger, gravada em vídeo, na cerimônia de premiação. Cf. GRANGER, Clive W. J. **Time Series Analysis, Cointegration, and Applications**. Nobel Lecture, The Prize in Economic Sciences, December 8. Kamera Communications (webcasting). Stockholm: Stockholm University, 2003b. Disponível em: <<https://goo.gl/WYrj1j>>. Acesso em: 21 ago. 2016 (Tradução nossa).

Nesse caso, X seria a variável independente (causa), enquanto Y seria a variável dependente (efeito). Como é de se supor, o método de Granger utiliza, como valor de entrada das defasagens periódicas (*lags*), os próprios valores informados nas séries pelo usuário. Ou seja, caso tenham sido utilizados dados anuais, os *lags* considerarão o valor mínimo de um ano. O mesmo raciocínio vale para meses, dias, etc.

Gráfico 1. Séries temporais com indicação de causa e efeito. Os padrões de repetição e de sentido da causalidade estão evidenciados pelos pares de setas.



Fonte: dados primários aleatórios gerados pelo autor, via computador, apenas para exemplificação.

Disso se depreende, portanto, que uma declaração de causalidade possui duas componentes – uma causa e um efeito –, e que três condições comumente aceitas devem estar presentes ante a afirmação de que X causa Y : (i) precedência temporal, (ii) relação de dependência entre as variáveis e (iii) ausência de relação espúria entre elas (KENNY, 1979, p. 3).

Quanto à primeira condição, significa que X deve preceder Y naquilo que Eddington (1929, *passim*) chamou, conforme se verá, de “seta do tempo”.

Para se determinar a segunda condição, isto é, medir a relação entre as duas variáveis, primeiro é necessário definir o significado de não relação, ou, como às vezes é chamada, a independência entre elas. Duas variáveis são independentes quando o fato de se saber o valor de uma delas não fornece qualquer informação sobre o valor da outra; mais formalmente, X e Y são independentes se a distribuição condicional de Y não varia de acordo com X . Se as variáveis não são independentes, significa que são relacionadas (KENNY, 1979, p. 4).

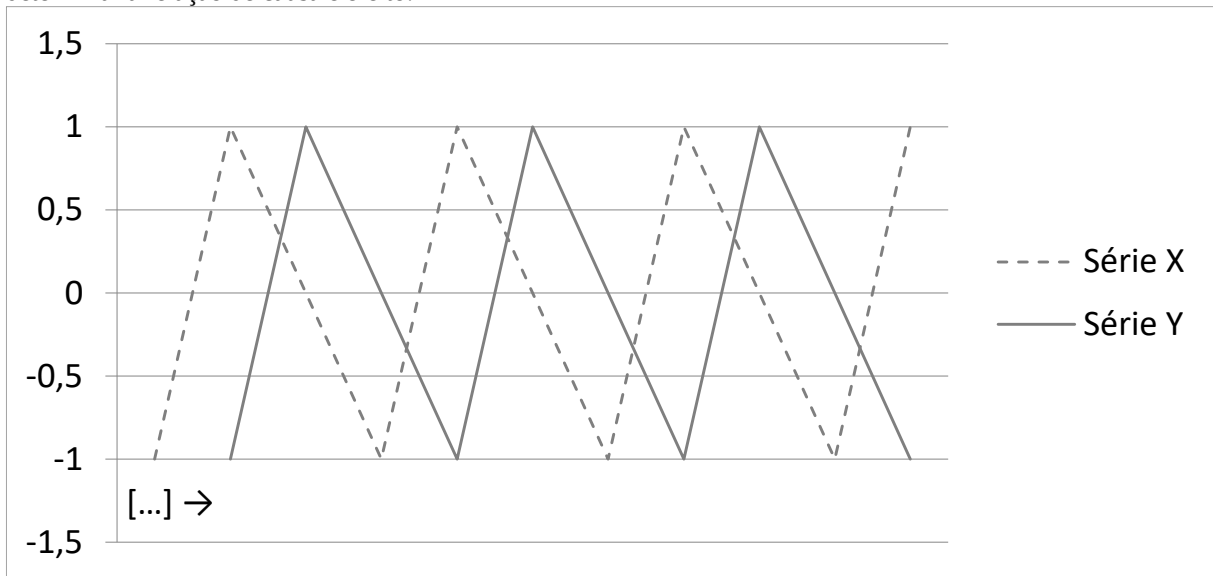
Quanto à terceira condição, para que uma relação entre X e Y não seja espúria não pode haver uma variável Z que, uma vez controlada, faça com que a relação entre X e Y desapareça. Uma distinção deve ser feita entre uma variável espúria e uma variável interveniente ou de mediação. Uma variável Z será interveniente ou de mediação entre X e Y se X causa Z e Z , por sua vez, causa Y . O controle tanto de uma variável espúria quanto de uma variável interveniente faz a relação entre X e Y desaparecer, mas enquanto uma variável espúria afasta a relação causal, uma variável interveniente ou de mediação elabora a cadeia causal (KENNY, 1979, p. 5).

Além dessas três condições formais de causalidade – precedência temporal, relação de dependência e ausência de relação espúria –, há talvez uma quarta condição, a qual é difícil de se indicar com precisão. Isso ocorre porque a causalidade traz consigo, implicitamente, um processo ativo, quase vitalista (orgânico). É difícil transmitir essa noção de causalidade formalmente assim como é difícil definir, também formalmente, espaço ou tempo (KENNY, 1979, p. 5), e isso implica várias limitações, nem sempre óbvias, às previsões em geral. Essas limitações serão enfrentadas, de modo mais pormenorizado, na subseção a seguir.

2.2.2 O problema em se explicar apropriadamente relações de causalidade

Modelos artificiais, como o representado no Gráfico 1, são facilmente inteligíveis. Contudo, caso o padrão apresente aspectos cíclicos, com picos e vales que se repetem, a exemplo do Gráfico 2, a determinação da relação de causa e efeito estará comprometida, pois não se pode afirmar com precisão o que ocorreu primeiro (e que, portanto, teria características de causa), ante a impossibilidade de regredir as séries, em situações reais, ao momento zero (isto é, ao período de fato primordial). Em tais situações, qualquer ponto na linha horizontal (temporal) que seja assumido como primordial terá características de causa, ainda que isso não corresponda à realidade.

Gráfico 2. Séries temporais em que, desconhecendo-se o ponto primordial de início dos eventos, não é possível determinar a relação de causa e efeito.



Fonte: dados primários aleatórios gerados pelo autor, via computador, apenas para exemplificação.

Além disso, observa-se que a utilização de períodos anuais para a determinação da causalidade é, quanto ao objeto de pesquisa deste trabalho (e, provavelmente, quanto à maior parte de quaisquer outros objetos de pesquisa), imprecisa, pois ignora o fato de que a energia é utilizada, para qualquer efeito prático relevante, imediatamente após disponibilizada (isto é, não fica estocada), o que faz com que eventos ocorridos no mesmo ano sejam tomados como simultâneos. Da mesma forma ocorreria, embora em graus de imprecisão diversos, se fossem utilizados meses ou mesmo dias como períodos, devendo-se considerar, ainda, questões artificiais externas, como a atribuição do momento dos eventos para fins contábeis, o que acaba por refletir na composição das séries de dados, podendo indicar, por exemplo, momentos de produção que não correspondem à realidade, a qual, como se vê, é muito mais complexa do que a abstração matemática (ou, no caso, estatística) que dela se faz. A única maneira viável de se obter, incontrovertidamente, uma relação (preponderante) de causalidade seria por meio da medição, tão individualizada quanto possível, de cada utilização de energia e do respectivo resultado produtivo que advém dessa utilização, e, na sequência, da utilização de energia induzida pelo resultado produtivo.

Afastando-se do cálculo tal forma de mensuração, há ainda uma maneira cientificamente possível de se saber com exatidão o que de fato ocorreu primeiro. Para isso seria necessário socorrer-se à já mencionada segunda lei da termodinâmica, a qual define a irreversibilidade (e, portanto, num sentido importante, a direcionalidade) dos eventos em um sistema, sendo, por tal característica, uma forma de medida de tudo o que acontece.

Contudo, embora a energia possa ser pensada, em um senso prático, como uma causa importante de tudo, em um senso instrumental, ou agencial, ela não causa nada; ela se limita a *obrigar* que todos os acontecimentos evoluam de forma a reduzir a capacidade, disponível no sistema, de realizar trabalho¹¹ (ADAMS, 2005, p. 750), conforme os conceitos de entropia, exergia e anergia¹².

Pelo exposto, observa-se que a segunda lei ignora a causalidade estrita, fazendo com que a distinção entre causa e efeito não tenha qualquer significado no sistema fechado das leis primárias da física; para se chegar a essa distinção de modo significativo, faz-se necessária a introdução de considerações de vontade ou de probabilidade que são estranhas ao sistema (EDDINGTON, 1929, p. 296) – isto é, deve-se introduzir vieses que são distintamente humanos. Não por acaso o filósofo Immanuel Kant (1996, p. xxxv) chamou a causalidade, juntamente com o espaço e o tempo, de sintético *a priori*, isto é, uma ideia que trazemos para a nossa experiência de fenômenos e que confere, às explicações causais, esses mesmos vieses.

Como dificultador adicional, a complexidade do mundo real, com um sem-número de variáveis intervenientes, com graus de influência diversos no tempo e entre si, afeta, entre outras coisas, o lapso temporal entre causa e efeito. Isto é, as variáveis fazem com que o lapso não possa ser precisamente definido, pois conferem uma elasticidade, também variável, ao elo entre causa e efeito, e isso também não pode ser superado, pois a superação implicaria causa e efeito ligados por algo perfeitamente rígido (algo que também não é fisicamente possível) ou – e isto também é absolutamente impossível – que a informação fosse transmitida a uma velocidade superior à da luz (EDDINGTON, 1929, p. 295).

Na prática, uma vez que os períodos utilizados são relativamente amplos (por exemplo, meses ou anos), a estatística utilizada à análise pode indicar, conforme se afirmou, a simultaneidade de eventos que não são, de fato, simultâneos, o que prejudica ainda mais a determinação de causa e efeito. Por exemplo, caso os períodos sejam anuais, eventos que

¹¹ Além disso, convém ponderar que a verificação pretendida dependeria de medições da entropia do sistema em dois ou mais pontos distintos da linha temporal (o evento que apresentar maior entropia será mais recente), algo que, no mundo complexo e real, também está longe de ser exequível, mesmo porque não é sequer possível isolar apropriadamente o sistema em que seriam feitas as medições. Cf. EDDINGTON, A. S. **The nature of the physical world**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1929. p. 129).

¹² A entropia é um dos conceitos básicos da termodinâmica e também representa uma medida de energia e de degradação dos recursos, sendo amplamente utilizada em quase todas as ciências, da termodinâmica pura à aplicada, da teoria da informação à tecnologia da transmissão, da ecologia à economia. Cf. BIANCIARDI, Carlo; ULGIATI, Sergio. Entropy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 2. Amsterdam: Elsevier, 2005, p. 460. De modo prático, pode-se dizer que a energia, incluindo a equivalente massa-energia, é uma quantidade conservada, porém constituída de exergia (fração capaz de realizar trabalho) e anergia (não disponível para o mesmo fim) cf. KÜMMEL, Reiner. **The Second Law of Economics**. Energy, Entropy, and the Origins of Wealth. New York, NY: Springer, 2011, p. 37, 114, 175.

tenham acontecido no mesmo ano serão tidos como simultâneos, algo que pode estar muito longe da realidade, pois um pode ter ocorrido em janeiro e, assim, ter sido causa de outro, ocorrido em junho.

Em tal cenário, o que resta a ser feito, não importando a complexidade do método estatístico utilizado, é tão somente observar, tão acuradamente quanto possível, a existência de propriedades que possuem interesse do ponto de vista filosófico, pois referentes a fenômenos que: (1) são vividamente reconhecidos pela consciência; (2) são igualmente validados pela faculdade de raciocínio humano, a qual indicaria as situações nas quais uma reversão do sentido entre X e Y tornaria o mundo externo sem sentido (EDDINGTON, 1929, p. 69). Ou seja, no fim das contas, serão essas propriedades que indicarão o sentido, a partir de dois ou mais eventos, daquilo que Eddington (1929, p. 69) denominou “seta do tempo”, a qual também foi brevemente referida na subseção sobre as fontes de energia.

Em outras palavras, o sentido da seta, de causa a efeito, pode até ser determinado por regras estatísticas e/ou matemáticas, mas a sua importância como um fato regente “fazendo sentido do mundo” só pode ser deduzida em premissas teleológicas que não são, de fato, perfeitamente conversíveis na matemática dura que acabará por compor sistemas cartesianos de previsão (EDDINGTON, 1929, p. 339), tais quais o método proposto por Granger.

E, ainda que tal conversão fosse possível, haveria muito pouco conhecimento sobre a causalidade, a menos que se reconhecessem relações entre propriedades – em particular, a dependência que algumas propriedades têm em relação a outras, o que, se levado em consideração nos cálculos, afastaria o problema dos eventos que, em períodos dilatados, são tidos como simultâneos. Isso significa que juízos hipotéticos também parecem necessários – julgamentos como “se um fósforo for riscado, então ele irá acender”, “se o metal for deixado na água, então ele vai enferrujar”, e assim por diante (KANT, 1996, p. xli). Kant argumenta que a própria capacidade de se fazer julgamentos hipotéticos requer o conceito de causa e efeito. A alegação do filósofo prussiano não é a de que a propriedade mencionada na antecedente (a parte “se”) é a causa da propriedade mencionada na consequente (a parte “então”), mas sim que algum conhecimento causal é necessário para suportar qualquer alegação de que certo tipo de propriedade está ligado a outro (KANT, 1996, p. xli).

É nessa conjunção de fatores que está, parece, o motivo de as estatísticas apresentarem resultados tão conflitantes entre si, ainda que formuladas para um mesmo fenômeno e com um mesmo objetivo. Há uma imprecisão inerente ao estabelecimento de premissas básicas e uma absoluta impossibilidade de se lidar com todas as variáveis envolvidas, ao que se acrescenta a subjetividade do raciocínio humano, com seu natural efeito (indesejado) sobre o objeto

pesquisado, o que é previsto no próprio princípio da incerteza e amplamente reconhecido, como hermenêutica, nas ciências sociais (ARENDR, 1961, p. 48-49).

Contudo, a utilização das ferramentas disponíveis, ainda que limitadas e precárias, parece ser melhor do que nada (embora isso também seja inevitavelmente um raciocínio humano...) ou, talvez mais apropriadamente, seja melhor utilizá-las do que simplesmente “achar”. Trata-se, de certa forma, de contrariar Wittgenstein (2008, p. 112, p. 131), para o qual “Sobre aquilo de que não se pode falar, deve-se calar.”

Com base em tais considerações serão realizados, a despeito das mencionadas limitações, testes estatísticos formais com vistas à indicação de correlação e determinação entre diversas variáveis: IDH, utilização *per capita* de energia primária (UEP pc), utilização *per capita* de energia elétrica (UEE pc), Renda Nacional Bruta *per capita* (RNB pc), Produto Interno Bruto *per capita* (PIB pc) e intensidade energética (IE). Nesses testes também serão indicados os valores referentes às direções da causalidade, nos quais se evidenciará um caráter vacilante, suscetível de múltiplas interpretações, algo que parece característico das mencionadas limitações em se determinar tais direções causais.

2.3 A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA ELÉTRICA

Se o gênero energia (de modo geral) e seu campo de abrangência – utilização global, qualidade, intensidade e eficiência de conversão – representam um fator-chave na história da espécie humana (SMIL, 2005, p. 549), há, desse gênero, uma espécie que inegavelmente se sobrepõe, em importância, às demais.

Embora a Segunda Revolução Industrial tenha ficado marcada de forma indelével, nos fatos e no imaginário popular, pela utilização generalizada dos combustíveis fósseis, e embora não se discuta a importância desses combustíveis para o rápido desenvolvimento que se seguiu à sua adoção, nomeadamente no setor de transportes, com o consequente *encurtamento* de distâncias, não se pode olvidar que, ainda que de forma mais sutil, o desenvolvimento tecnológico deveu-se, muito mais, à utilização da energia elétrica.

De fato, a indústria de utilidade elétrica é alegadamente o maior e mais complexo sistema feito pelo homem, tendo sido aclamada como um dos maiores feitos de engenharia do século 20 (CROW; SHETTY, 2005, p. 245).

Assim, é axiomático que o nível de crescimento está diretamente vinculado ao nível de utilização de energia elétrica, e por isso essa variável tem influenciado, em todos os países, o direcionamento das políticas econômicas (GADELHA; CERQUEIRA, 2013).

Por conta disso empreenderam-se, nas últimas décadas, esforços voltados ao estudo científico da relação de causalidade entre energia elétrica e crescimento, especialmente na seara econômica, chegando-se, contudo, a conclusões variáveis, tanto no cenário externo (estudos independentes entre si realizados em países diferentes) quanto interno (estudos, independentes ou interdependentes entre si, realizados em um mesmo país) (OZTURK, 2010; PAYNE, 2010; SOYTAS; SARI, 2006; YOO; KWAK, 2010).

Portanto, de modo sistêmico e acadêmico a questão permanece inconclusiva, algo que talvez possa ser atribuído a diferenças metodológicas entre os estudos e/ou a particularidades entre países (GADELHA; CERQUEIRA, 2013). Não se deve, ainda, descuidar dos efeitos das particularidades regionais, em um mesmo país, sobretudo quando presentes ostensivas desigualdades sociais, as quais implicam diferentes níveis de desenvolvimento humano locais, como é o caso do Brasil.

A Carta Constitucional brasileira estabelece, como direitos sociais, “a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados” (BRASIL, 1988).

A ordem dos termos na relação não indica a importância relativa e nem mesmo o momento da promoção dos direitos ao *status* constitucional. Afinal, a “moradia” alcançou tal condição apenas em 2000, por meio da Emenda Constitucional nº 26 (BRASIL, 2000); a “alimentação”, apenas em 2010, mediante a Emenda nº 64 (BRASIL, 2010), e o “transporte”, apenas em setembro de 2015, com a Emenda nº 90 (BRASIL, 2015).

Os direitos sociais estão vinculados ao conceito de mínimo existencial – condições materiais básicas e essenciais, sem as quais se compromete a própria dignidade humana (TORRES, 2003) – esta, um princípio fundamental assentado no texto constitucional original, no inciso III do artigo 1º (BRASIL, 1988).

O rol de direitos atual, a constatação empírica da realidade subjacente a eles e a distribuição temporal de sua promoção ao texto da Carta demonstram, portanto, certo lirismo constitucional. A omissão, de um lado, e o excesso, de outro, são característicos de constituições desvinculadas da realidade – ou semânticas, conforme a definição ontológica de Loewenstein (1986) –, sob as quais a efetivação de princípios, mesmo os mais básicos, encontra-se irremediavelmente comprometida, atribuindo-se o problema ao caráter normativo ou nominalista (“pretende ser”) que é típico dos textos constitucionais dessa natureza (LENZA, 2012).

Em termos mais práticos, constata-se claramente que o pleito por direitos, bem como sua efetiva positivação, compõe e ao mesmo tempo depende de uma realidade temporal e

espacial ampla. Assim, talvez não houvesse sentido, por exemplo, em se atribuir ao transporte o *status* de direito social no Brasil de 1890. Dessa constatação advém inevitavelmente uma outra: o respeito à dignidade humana só é possível, atualmente, se houver o acesso à eletricidade. Mais que isso: o acesso a um nível adequado de eletricidade (TANJA, 2011).

É incontestável que o acesso a serviços de energia elétrica a preços acessíveis é fundamental às atividades humanas, ao desenvolvimento e ao crescimento econômico, o que faz com que grandes disparidades nesse acesso ameacem a própria estabilidade social (GOLDEMBERG, 2012), dada sua indispensabilidade.

A análise mais detida torna claro que essa essencialidade é tão irrefutável que, talvez justamente por isso, nem ao menos se pensa a respeito dela, quase como não se pensa no ar, na água ou no Sol, embora se trate de elementos absolutamente indispensáveis à própria sobrevivência (BENNETT, 2007, p. 4).

O mundo civilizado restaria fatalmente paralisado sem a eletricidade – não haveria educação, saúde, alimentação, trabalho, moradia, transporte, lazer, segurança, previdência social, proteção à maternidade e à infância, assistência aos desamparados. Afinal, todos esses direitos, ao menos em suas formas e alcances atuais, são totalmente dependentes da energia elétrica, a qual, em precedência, suplanta inclusive os combustíveis fósseis.

Não é impossível (aliás, o oposto é atualmente uma realidade, inclusive desejável) imaginar a vida sem combustíveis fósseis, mas não é prescindível, no futuro previsível ou mesmo no distante, o uso da eletricidade. Poder-se-ia argumentar que boa parte desse uso é proporcionado, atualmente, pela queima daqueles combustíveis, mas não se trata de um cenário para o qual não há alternativas. E, de forma oposta, convém lembrar que não seria possível a exploração atual de combustíveis, de mesma natureza ou diversa (renováveis, por exemplo), sem a eletricidade.

O advento da internet, tido por muitos como uma nova revolução, dado o salto quântico proporcionado por essa tecnologia (GROSS; HARMON, 2016; THE INTERNET'S..., 2001), também depende inapelavelmente de eletricidade, da mesma forma que dependem os computadores atuais de qualquer natureza – os quais, inerentemente, foram criados segundo padrões elétricos, embora seguindo a lógica de seus ancestrais mecânicos (PARSONS; OJA; LOW, 1999). Estes, que se valiam de cartões perfurados para processar informação, por meio da diferenciação entre perfurado e não perfurado, foram substituídos pelos *bits* elétrico-eletrônicos, diferenciáveis conforme o nível de tensão elétrica disponibilizado (PALFREMAN; SWADE, 1993). Os atuais *bits* são a tradução, a partir de linguagem de máquina, das

informações processadas em um circuito essencialmente dependente de eletricidade (SHELLY; VERMAAT, 1998).

Mesmo os dispositivos que são, atualmente, intrinsecamente dependentes de combustíveis fósseis – basicamente, aviões a reação e foguetes, os quais dependem de fontes com densidade energética elevada –, seriam inviáveis na ausência de eletricidade. Aliás, essa dependência intrínseca é baseada em algo pouco sutil: força bruta.

Tome-se, como exemplo provavelmente mais radical, os chamados “ônibus espaciais” (*Space Shuttle*) estadunidenses, aposentados em 2011 com um cômputo de 133 missões bem-sucedidas e duas falhas catastróficas, havendo, em ambas, a perda da tripulação e do veículo (BIZONY, 2015, p. 6, p. 214).

Não são incomuns declarações de que tais missões equivaliam, aos astronautas, a essencialmente sentar em uma explosão controlada durante todo o trajeto até a órbita terrestre (EVANS, 2005, p. 416-417). Afinal, o sistema alegadamente possuía energia equivalente a uma pequena bomba nuclear (BIZONY, 2015, p. 214), não constituindo exagero a analogia que o astronauta Story Musgrave teria feito em relação à nave – uma “borboleta parafusada em uma bala” (apud EVANS, 2005, p. 5).

Essas naves entravam em órbita graças a um sistema propulsor híbrido, composto por dois foguetes a combustível sólido, os quais eram ejetados após a queima total desse combustível, o que ocorria um minuto e 45 segundos depois do lançamento (EVANS, 2005, p. 14), e por três propulsores a combustível líquido – no caso, hidrogênio liquefeito – montados na parte posterior da própria nave, alimentados por um tanque externo descartável, e que funcionavam durante todo o percurso até a órbita terrestre, a qual era atingida oito minutos e 32 segundos depois do lançamento (EVANS, 2005, p. 15).

O fluxo de hidrogênio para os motores era de 212,74 kg/s (LEE, 2014, p. 181, 221), e a densidade energética do hidrogênio é de cerca de 140 MJ/kg (EHLICH, 2014), o que resulta em 29.784 MJ/s. Considerando-se que esses motores forneciam apenas 28% da energia total do sistema (NASA, 2011, p. 56), tem-se que os foguetes a combustível sólido entregavam 76 mil MJ/s adicionais (72% do total), com um total combinado de mais de 106 mil MJ/s.

Um joule por segundo equivale a um watt (BIPM, 2006, p. 116-118), o que significa que, durante os primeiros 105 segundos de voo, a potência do sistema era equivalente a mais de 106 GW – 7,6 vezes a potência instalada da usina de Itaipu, que atinge 14 GW (ITAIPU BINACIONAL, 2016) e responde por 15% da energia elétrica do Brasil (ITAIPU BINACIONAL, 2016). Ou seja, a potência de um “ônibus espacial” durante os 105 segundos desde o lançamento era superior à própria potência eletricamente disponível ao Brasil inteiro.

Após esses 105 segundos e até a inserção orbital do veículo, a potência era equivalente a *apenas* 2,13 Itaipus. Em termos quantitativos de natureza semelhante, a energia total requerida (isto é, a potência multiplicada pelo tempo; no caso, cerca de 23 mil GJ) para a inserção orbital da nave equivalia àquela fornecida por Itaipu durante 27 minutos e 44 segundos.

Não é sequer possível, atualmente, imaginar um substituto elétrico ou de qualquer outra natureza para tal nível de força bruta, que continuará a ser, ao menos no futuro previsível, dependente de combustíveis químicos com alta densidade energética, como o próprio hidrogênio e as combinações de hidrocarbonetos – como o querosene, utilizado, por exemplo, nos foguetes Saturno V (que possibilitaram as viagens tripuladas à Lua) e nos atuais Proton, russos (TURNER, 2009, p. 105-106).

Mesmo porque há complicadores adicionais, entre os quais o mais importante talvez seja o fato de que, para se atingir a órbita terrestre, é necessário, além dessas liberações maciças, instantâneas e contínuas de energia (manutenção de potência), a concomitante diminuição da massa do veículo, que ocorre mediante a própria queima do combustível e que resulta em aceleração, necessária para se atingir velocidade orbital (TURNER, 2009, p. 25-26). Com efeito, a massa típica conjunta das componentes dos “ônibus espaciais” era, no lançamento, cerca de 2.000 toneladas, a qual, oito minutos e meio mais tarde, com a nave prestes a entrar em órbita, estava reduzida a 98 toneladas – menos de 5% da massa original (HARLAND, 2004, p. 20, p. 8). Pilhas e baterias não apresentam, por óbvio, alteração de massa pela utilização de energia.

Mantendo-se à parte essas exceções um tanto quanto exclusivas e exóticas (e que de qualquer forma também dependem de energia elétrica), pode-se argumentar que, de modo extremo, apenas a água potável é mais indispensável que a eletricidade, mas mesmo a disponibilidade de água, nos volumes e com a potabilidade requerida atualmente, depende da eletricidade¹³. É essa a provável razão de, nos países que possuem números quase absolutos de acesso à água potável e à eletricidade, o acesso à segunda ser ligeiramente mais amplo que à primeira – afinal, o fornecimento da água depende, primeiramente, do fornecimento de energia elétrica. É o caso do Brasil (98% da população com acesso à água potável e 99,5% com acesso à eletricidade), do Chile (99% com acesso à água potável e 99,6% com acesso à eletricidade), da China (96% com acesso à água potável e 100% com acesso à eletricidade), da Indonésia

¹³ Mais de dois por cento da energia elétrica disponibilizada no Brasil é utilizada pelas companhias de saneamento, dos quais 90% são utilizados nos sistemas de bombeamento. Em média utiliza-se 0,6 kWh para a produção de mil litros de água potável. Cf. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Abastecimento de água:** gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento. Guia do profissional em treinamento – nível 2. Salvador: ReCESA, 2008.

(87% com acesso à água potável e 96% com acesso à eletricidade), da Lituânia (97% com acesso à água potável e 100% com acesso à eletricidade), do Paquistão (91% com acesso à água potável e 93,6% com acesso à eletricidade), da Tailândia (98% com acesso à água potável e 100% com acesso à eletricidade) e da Venezuela (93% com acesso à água potável e 100% com acesso à eletricidade) (WORLD BANK, 2015).

De modo crucial, a imprescindibilidade da energia elétrica alcança o nível primordial, biológico. Uma pessoa sedentária adulta utiliza cerca de 2.500 kcal por dia (STIPANUK; CAUDILL, 2013, p. 503), equivalentes a cerca de 2,91 kWh ou 10,47 MJ. Desse total, aproximadamente 30% correspondem à energia elétrica utilizada no cérebro (ZIGMOND; ROWLAND; COYLE, 2014, p. 595), o que equivale a aproximadamente 1 kWh por dia. E, de forma extrema, as pessoas podem, até certo ponto e graças às reservas internas, serem privadas de água, sem que haja consequências mais drásticas, mas, uma vez cessada a atividade elétrica do córtex cerebral, o resultado, irreversível, é a morte (OLIVEIRA, 2014, p. 94).

É do desenlace de todas as questões até aqui suscitadas – fontes de energia primárias e secundárias, densidade, matrizes e demandas energéticas, inviabilidade do modelo atual e absoluta dependência da sociedade em relação à energia, em especial a elétrica – que se chega a uma questão secundária, porém instrumental, deste estudo: é possível estabelecer uma correlação objetiva, vinculada a diferentes situações geopolíticas, entre nível *per capita* de utilização de energia elétrica e nível de desenvolvimento humano, superando o dissenso que impera nos estudos acadêmicos, que, independentemente do método estatístico utilizado (e talvez esteja aí o problema – na ferramenta utilizada), não alcançam qualquer unanimidade quanto ao sentido causal dessa correlação?

Dada a inquestionável preponderância social – e, portanto, vinculação política – desse desenvolvimento, a próxima subseção procura contextualizar, historicamente, o tratamento dispensado ao assunto pelas Nações Unidas.

2.4 O ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO DAS NAÇÕES UNIDAS

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma estatística desenvolvida originalmente pelo economista paquistanês Mahbub ul Haq, líder de um grupo de pensadores, em um trabalho conjunto com Amartya Sen (HAQ, 1995), economista e filósofo indiano, laureado, em 1998, com o Nobel de Ciências Econômicas (BASU; KANBUR, 2008).

Publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD ou, em inglês, UNDP) pela primeira vez em 1990, o Índice é atualmente composto por três dimensões

(“vida longa e saudável”; “educação” e “padrão decente de vida”) e respectivos indicadores (“expectativa de vida ao nascer”; “escolaridade efetiva / escolaridade esperada” e “renda nacional *per capita* medida em paridade de poder de compra”), os quais compõem subíndices também respectivos (“índice de expectativa de vida”; “índice de educação” e “índice de renda”) que, por sua vez, compõem o índice amplo (UNDP, 2015a, p. 2).

O IDH atualmente classifica os países em quatro níveis de desenvolvimento (0,800 e acima: “muito alto”; entre 0,700 e 0,799: “alto”; entre 0,550 e 0,699: “médio”; abaixo de 0,550: “baixo”). Quanto maior a expectativa de vida ao nascer, quanto mais longo o período de educação e quanto maior a renda *per capita*, mais elevado será o nível do país (UNDP, 2015a).

Os valores oficiais mais recentes do Índice são referentes a 2014, ano em que o maior IDH hipotético do mundo, em relação aos 188 países avaliados, combinaria a expectativa de vida ao nascer verificada em Hong Kong (84 anos, próximo ao limite máximo – 85 – previsto no divisor do Índice. Hong Kong ocupa a 12ª posição geral), a média de anos de escolaridade na Alemanha (13,1, de esperados 16,5. O país ocupa a 6ª posição geral) e a renda anual *per capita* no Qatar (\$ 123.124. O Qatar está na 32ª posição geral), o que resultaria no índice de 0,981, o qual se compara com o índice da Noruega (0,944), país que de fato ocupou, em 2014, a primeira posição mundial. Na outra ponta, o pior IDH teórico combinaria a expectativa de vida na Suazilândia (49 anos, para um limite mínimo previsto de 20. A Suazilândia ocupa a 150ª posição geral), a média de anos de escolaridade em Burkina Faso (1,4, de esperados 7,8. O país ocupa a 183ª posição geral) e a renda anual *per capita* na República Centro-Africana (\$ 580,70. O país está na 187ª – e penúltima – posição geral), o que resultaria no índice de 0,315, o qual se compara com o índice do Níger (0,348), país que de fato ocupou a última posição no *ranking* em 2014 (UNDP, 2015a).

Em 2010, o Relatório de Desenvolvimento apresentou o Índice de Desenvolvimento Humano Ajustado às Desigualdades (IDHAD), ao qual, em relação ao IDH então vigente, foram adicionados os subíndices “índice de expectativa de vida ajustado à desigualdade”; “índice de educação ajustado à desigualdade” e “índice de renda ajustado à desigualdade” (UNDP, 2010).

Enquanto o IDHAD, ao considerar a desigualdade, demonstra o nível *real* de desenvolvimento humano de certo país, o anterior (IDH) passou a servir como um índice *potencial* de desenvolvimento humano (ou IDH máximo corrente, que seria atingido na ausência de desigualdades, *ceteris paribus*) (UNDP, 2010).

O desenvolvimento humano é, na visão da equipe responsável pela criação do IDH, um processo de alargamento das escolhas das pessoas. Em princípio, determinou-se que essas escolhas são infinitas e se alteram ao longo do tempo, mas, em todos os níveis de

desenvolvimento, as três escolhas mais essenciais seriam aquelas relacionadas a uma vida longa e saudável, à aquisição de conhecimentos e ao acesso aos recursos necessários a um padrão de vida decente. Na ausência dessas escolhas essenciais, muitas outras oportunidades permaneceriam inacessíveis (UNDP, 1990, p. 10).

Com base nessa premissa, a classificação dos países pelo IDH é muito diversa daquela realizada com base no Produto Interno Bruto (PIB) ou mesmo no Produto Nacional Bruto (PNB) – os valores vinculados à produção são vistos no Índice apenas como uma das muitas dimensões da vida, enquanto o IDH procura captar dimensões adicionais (UNDP, 1990, p. 14).

Na visão do PNUD, o crescimento econômico é essencial para o desenvolvimento humano, mas a exploração plena das oportunidades de melhoria do bem-estar oferecidas pelo crescimento depende de gestão adequada. Não existiria, portanto, segundo a ONU, uma correspondência automática entre o crescimento econômico e o desenvolvimento humano, e um dos temas políticos mais relevantes está justamente relacionado ao processo pelo qual o crescimento se traduz, ou deixa de se traduzir, em desenvolvimento humano, em diferentes cenários e sob condições diversas. Assim, a principal conclusão política do PNUD é de que o crescimento econômico exige, para a promoção do desenvolvimento humano, uma gestão política eficaz (UNDP, 1990, p. 42-43).

2.4.1 Metodologia do IDH

Já no início observou-se, à concepção do IDH, que os problemas conceituais e metodológicos de se quantificar e se medir o desenvolvimento humano tornam-se ainda mais complexos quanto à liberdade política, à segurança pessoal, às relações interpessoais e ao ambiente físico. Decidiu-se, porém, que ainda que esses aspectos escapem em grande parte da possibilidade de medição, as análises de desenvolvimento humano não deveriam ignorá-los, pois a interpretação congruente dos dados referentes às variáveis quantificáveis é dependente da análise das dimensões mais qualitativas da vida humana, fazendo-se necessário um esforço especial para o desenvolvimento de uma medida quantitativa simples que pudesse capturar satisfatoriamente os muitos aspectos da liberdade humana (UNDP, 1990, p. 13).

Nesse desiderato, enquanto os dois primeiros indicadores escolhidos para o índice – expectativa de vida e aquisição de conhecimentos – implicam conceitos comumente utilizados e relativamente homogêneos, o terceiro – poder de compra para adquirir bens e serviços que satisfaçam as necessidades básicas – não é bem compreendido e definido. Decidiu-se, finalmente, que os valores tidos como desejáveis ou adequados seriam a expectativa de vida ao

nascer do Japão (referente ao ano de 1987 – 78,4 anos), uma taxa de alfabetização de adultos de 100% e uma “linha de pobreza”¹⁴ oficial média, ajustada pela paridade de poder de compra, de US\$ 4.861 anuais, a qual tinha por base os valores verificados em nove países industriais – Austrália, Canadá, República Federal da Alemanha, Países Baixos, Noruega, Suécia, Suíça, Reino Unido e Estados Unidos (UNDP, 1990, p. 13).

Matematicamente, o IDH foi estruturado em três etapas. A primeira delas consistia em definir a medida de privação de cada país em relação a cada uma das três variáveis básicas – expectativa de vida, instrução e PIB real *per capita* medido conforme a paridade de poder de compra. Em relação a essa última variável, utilizou-se medida logarítmica, e não direta, pois se decidiu, conceitualmente, que o indicador deveria refletir uma capacidade decrescente de se transformar renda em capacidades humanas. Em outras palavras, conceituou-se que as pessoas não precisam de recursos financeiros excessivos para assegurar uma vida decente. Valores máximos e mínimos foram assim pré-fixados a cada uma das três variáveis, os quais, mediante comparação com os valores reais, determinariam a medida de privação, atribuindo-se então a cada país um valor entre zero e um, conforme a diferença dos valores máximo e mínimo (UNDP, 1990, p. 12, 109).

O segundo passo se resumia na definição de um indicador médio de privação, por meio da média aritmética simples dos três indicadores inicialmente obtidos (UNDP, 1990, p. 12, 109).

Finalmente, o terceiro passo conduzia à determinação efetiva do IDH, mediante o cálculo da diferença entre o valor numérico 1 (um) e o indicador médio de privação (UNDP, 1990, p. 12, 109).

2.4.2 Os relatórios de desenvolvimento humano

Para dar visibilidade ao IDH, criou-se paralelamente a ele o Relatório de Desenvolvimento Humano (*Human Development Report*), no qual os resultados seriam publicados anualmente, juntamente com a discussão de uma série de outros indicadores, objetivos e subjetivos, relacionados ao bem-estar.

No primeiro *ranking*, relativo a 1990, definiram-se apenas três níveis de IDH – “baixo” (índice inferior a 0,500), “médio” (índice igual ou superior a 0,500 e inferior a 0,800) e “alto”

¹⁴ A linha de pobreza foi definida como o nível de renda abaixo do qual não são acessíveis uma dieta nutricional minimamente adequada nem requisitos básicos não alimentares. Cf. UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Human Development Report 1990**. New York, NY: Oxford University Press, 1990. Disponível em: <<http://goo.gl/K8JIfA>>. Acesso em: 8 fev. 2016. p. 183.

(índice igual ou superior a 0,800) –, contemplando 130 países (UNDP, 1990, p. 111). Computaram-se separadamente índices masculinos e femininos, e todos, por sua vez, compuseram o índice nacional. A classificação era invertida em relação à atual – ou seja, o primeiro colocado no relatório apresentava o pior índice, posição que, ocasionalmente, coube ao Níger, com índice de 0,116. Entre as dez maiores economias atuais em valores absolutos, na ordem do menor índice para o maior, a Índia aparecia em 37º, com 0,439 (nível “baixo”), a Indonésia em 54º, com 0,591, a China em 66º, com 0,716, o Brasil em 80º, com 0,784 (todos os três, nível “médio”), a então União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (USSR) em 105º, com 0,920, a então Alemanha Oriental em 110º, com 0,953, os Estados Unidos em 112º, com 0,961, a então Alemanha Ocidental em 119º, com 0,967, o Reino Unido em 121º, com 0,970, a França em 123º, com 0,974, e o Japão em 130º – portanto, a melhor posição do relatório –, com 0,996 (todos os sete últimos, nível “alto”) (UNDP, 1990, p. 111).

O relatório relativo a 1991 acrescentou um elemento à componente instrução – além da taxa de alfabetização, passou-se a considerar o número de anos de escolaridade, embora esse número fosse referente a 1980. Também foi marginalmente alterada a mensuração da componente renda, de modo a melhor diferenciar os países desenvolvidos (UNDP, 1991, p. 90). Mencionou-se que, no primeiro relatório, muitas preocupações não haviam sido adequadamente refletidas, ante as estatísticas existentes, o que fez com que muitos dados tivessem sofrido com uma falta grave de exatidão, e que isso motivara, no segundo relatório, o apelo aos países por estatísticas sociais melhoradas – que os países investissem, na produção de dados sociais, ao menos o mesmo que investiam na produção de estatísticas econômicas (UNDP, 1991, p. 100).

Quanto ao formato, o relatório de 1991 não apresentou um *ranking* propriamente dito – os países foram segmentados conforme os três níveis existentes e, em cada um desses níveis, arrolados em ordem alfabética crescente. De qualquer forma, apresentou-se uma redefinição do *ranking* do último relatório, de forma segmentada conforme as peculiaridades dos países (por exemplo, “países industriais” e “países em desenvolvimento”) (UNDP, 1991, p. 15-16), e na ordem que até hoje é utilizada – isto é, em números decrescentes, do melhor para o pior. O Índice contemplou, ainda, 30 países adicionais, em um total de 160. Conforme a redefinição do *ranking* do último relatório, a Índia apareceu em 123º, com 0,308 (nível “baixo”), a Indonésia em 98º, com 0,499, a China em 82º, com 0,614 (nível “médio”), o Brasil em 60º, com 0,759, a USSR em 31º, com 0,908 (nível “alto”), a Alemanha (já reunificada) em 14º, com 0,959, os Estados Unidos em 7º, com 0,976, o Reino Unido em 11º, com 0,967, a França em 10º, com 0,971, e o Japão em 1º, mantendo assim a melhor posição no *ranking*, com IDH 0,993 (UNDP, 1991, p. 15-16).

Com relação aos níveis de desenvolvimento, foi apenas a partir do relatório de 2009 que o termo “muito alto” passou a ser utilizado. No caso, atribuiu-se esse nível para índices iguais ou acima de 0,900, com um erro de exposição: afirmava-se que de 0,800 a 0,899 seria “alto” e acima de 0,900 seria “muito alto” (ou seja, havia uma lacuna quanto ao valor 0,900) (UNDP, 2009, p. 15). O erro seria tacitamente corrigido no mesmo relatório, ao se afirmar, mais à frente, “desenvolvimento muito alto (com um IDH de 0,900 ou maior)” (UNDP, 2009, p. 203-204).

O relatório de 2010 apresentou nova mudança nos critérios de classificação, a qual passou a ser baseada em quartis – seriam posicionados no grupo “muito alto” os países cujo IDH correspondesse ao quartil superior, no grupo “alto” aqueles com IDH entre os percentis 51-75, no grupo “médio” aqueles com IDH entre os percentis 26-50 e no grupo “baixo” aqueles cujo IDH se posicionasse no quartil inferior. Os relatórios anteriores utilizavam, conforme já se descreveu, limites absolutos, em vez de relativos (UNDP, 2010, p. 26). Além disso, na dimensão instrução a média de anos de escolaridade substituiu o percentual de alfabetização, enquanto o número de anos de escolaridade foi reformulado, passando a contabilizar a quantidade esperada de anos (UNDP, 2010, p. 15). A alteração mais relevante, contudo, diz respeito ao cálculo do Índice, que passou a utilizar a média geométrica das dimensões, em substituição à média aritmética. Como efeito, reduziu-se o nível de substituíbilidade entre as dimensões, garantindo-se que certo declínio percentual de qualquer um dos três subíndices tenha sempre o mesmo impacto (UNDP, 2014b).

O relatório de 2011 manteve o esquema de quartis, não houve relatório em 2012 e no de 2013 explicou-se que “[...] as classificações do IDH são relativas, baseadas em quartis de distribuição de IDH entre os 187 países”, indicadas como “muito alta”, “alta”, “média” (cada uma com 47 países) e “baixa” (com 46 países) (UNDP, 2013, p. 140).

No relatório de 2014, as classificações do IDH passaram novamente a ser baseadas em pontos de corte fixos, derivados dos quartis de distribuição dos indicadores que as compõem. Os pontos de corte coincidiam com IDH inferior a 0,550 para desenvolvimento humano “baixo”, entre 0,550 e 0,699 para desenvolvimento humano “médio”, entre 0,700 e 0,799 para desenvolvimento humano “alto” e 0,800 ou maior para desenvolvimento humano “muito alto” (UNDP, 2014a, p. 156), metodologia que foi mantida no relatório atual, de 2015 (UNDP, 2015a, p. 204).

2.4.3 A variável renda na composição do IDH

Desde o primeiro relatório houve certamente alguma imprecisão, talvez redacional, quanto à variável renda. Ao longo daquele relatório utilizou-se, reiteradas vezes, o conceito de PNB *per capita* (UNDP, 1990, *passim*), o qual foi inclusive diferenciado, conceitualmente, em relação ao PIB *per capita* (UNDP, 1990, p. 182), mas, ao se explicar matematicamente o Índice, informou-se que a componente do IDH relativa à renda era o PIB, e não o PNB, conforme exposto.

De fato, não raro há certa confusão entre os conceitos de Produto Interno Bruto (PIB ou, em inglês, GDP – *Gross Domestic Product*) e Produto Nacional Bruto (PNB ou, em inglês, GNP – *Gross National Product*). O PIB considera o valor total da produção de bens e serviços ocorrida no território do país, sem contabilizar eventuais rendas enviadas ao (ou recebidas do) exterior. O PNB, por seu turno, contabiliza as rendas apropriadas por nacionais de outros países e as recebidas do exterior por nacionais do país em questão (KUCINSKI, 2007, p. 89).

Já a renda é a remuneração atribuída aos fatores de produção, isto é, de elaboração do produto, significando que para cada conceito de produto há um conceito correspondente de renda. Para o PNB há a Renda Nacional Bruta (RNB ou, em inglês, GNI – *Gross National Income*), e para o PIB há a Renda Interna Bruta (RIB ou, em inglês, GDI – *Gross Domestic Income*) (BACHA, 2004, p. 30). Não se pode descuidar, ainda, das constantes mudanças metodológicas de fundo quanto à definição das rendas nacionais – por exemplo, alterações na valorização de intangíveis, as quais refletem na metodologia das contas –, algo que vai além do escopo deste trabalho¹⁵.

A imprecisão quanto à variável permaneceu nos relatórios seguintes. Em 1994, por exemplo, afirmou-se expressamente, em duas passagens consecutivas, que “*Standard of living is measured by purchasing power, based on real GDP per capita adjusted for the local cost of living (purchasing power parity, or PPP)*” (UNDP, 1994, p. 91) e que “*The HDI uses the GNP*

¹⁵ Por oportuno, não apenas nesse ponto mas em relação a todo este trabalho, recorde-se que, em fevereiro de 2008, o presidente da França, Nicolas Sarkozy, insatisfeito com o estado da informação estatística sobre a economia e a sociedade, solicitou que Joseph Stiglitz, Amartya Sen e Jean-Paul Fitoussi criassem uma Comissão (da qual seriam, respectivamente, presidente, assessor e coordenador), posteriormente denominada “Comissão sobre a Medição do Desempenho Econômico e do Progresso Social” (CMEPSP, na sigla em inglês). A Comissão tinha como objetivo identificar as limitações do PIB, incluindo os problemas relacionados com a sua medição, como indicador do desempenho econômico e do progresso social; considerar quais informações adicionais poderiam ser necessárias para a produção de indicadores de progresso social mais relevantes; avaliar a viabilidade de instrumentos de medição alternativos e discutir formas de apresentar informações estatísticas de forma apropriada. Cf. STIGLITZ, Joseph E.; SEN, Amartya; FITOUSSI, Jean-Paul. **Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress**. 24 de fevereiro de 2016 (última modificação). Disponível em: <<https://goo.gl/7DD8NO>>. Acesso em: 14 jan. 2017. p. 7 (tradução nossa).

per capita based on purchasing power parity (PPP\$) to reflect not just income but also what that income can buy” (UNDP, 1994, p. 92)¹⁶.

Quanto a isso, convém ponderar que, à época da publicação dos primeiros relatórios, não havia internet ou qualquer outro meio de se consultar imediatamente as fontes de dados e, então, dirimir as dúvidas. A propósito, o termo *internet* foi utilizado pela primeira vez, nos relatórios do IDH, em 1997, ocasião em que se afirmou que a rede era então utilizada por 50 milhões de pessoas e que o número de “assinantes” dobrava a cada ano (UNDP, 1997, p. 83).

Até 2009 (inclusive) informou-se expressamente, na nota técnica sobre a matemática do Índice, que, quanto à renda, utilizava-se por base o PIB, embora as exposições nos relatórios, ao contrário e ainda que tacitamente, levassem a crer que se tratava, de fato, do PNB, ante sua extensa utilização. Finalmente, no relatório de 2010 resolveu-se a questão, ao se informar que a renda nacional *per capita* (ou seja, baseada no PNB) passava a substituir o PIB *per capita*, pois, “[...] em um mundo globalizado, muitas vezes há diferenças expressivas entre os rendimentos dos residentes de um país e sua produção interna” (UNDP, 2010, p. 15). De qualquer forma, o IDH se utiliza do valor da renda bruta, o que faz com que elementos adicionais importantes, como depreciação do capital fixo, tributos indiretos e subsídios, cuja contabilização é necessária a uma melhor representação da renda efetiva (líquida), sejam desconsiderados. A nota técnica do relatório passou a indicar “*A decent standard of living: GNI per capita (PPP 2008 \$)*” (UNDP, 2010, p. 143). A partir de 2011 e até 2013 utilizou-se a paridade de poder de compra em *dólares internacionais* referentes ao ano-base de 2005, e, a partir de 2014, ao ano-base de 2011.

Por oportuno, convém esclarecer a forma como se dá essa paridade. Para a efetiva comparação entre diferentes países convém a adoção, para a mensuração de valores do PIB ou do PNB, do mencionado conceito de *dólar internacional*¹⁷, medido em paridade de poder de compra (PPP, na sigla em inglês, de *purchasing power parity*) com o dólar estadunidense, assim equalizando o poder de compra de diferentes moedas, tendo-se em conta, por exemplo, os diferentes custos de vida, apreciações e depreciações artificiais de taxas de câmbio e efeitos

¹⁶ Respectivamente, “O padrão de vida é medido pelo poder de compra, com base no PIB real *per capita* ajustado conforme o local do custo de vida (por paridade de poder de compra, ou PPP)” e “O IDH usa o PNB *per capita* baseado na paridade de poder de compra (PPP\$) para refletir não apenas a renda, mas também o que ela pode comprar” (Tradução nossa. Grifos nossos).

¹⁷ O *dólar internacional* é também conhecido como dólar Geary–Khamis, e abreviado *Int'l. dollar* or *Intl. dollar*. De forma resumida, trata-se de uma unidade hipotética de moeda, amplamente utilizada em economia, que tem a mesma paridade de poder de compra que o dólar norte-americano nos Estados Unidos em um determinado ponto no tempo. Cf. UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (UNSD). **Handbook of the International Comparison Programme**. Department of Economic and Social Affairs, Economic and Social Development Home, Annex II – Methods of Aggregation, The Geary system. New York, NY: United Nations Statistics Division, 30 abr. 2015.

inflacionários. Os valores PPP são, portanto, aqueles convertidos em dólares internacionais por meio de taxas que estabelecem uma paridade de poder de compra em relação ao dólar estadunidense. Um *dólar internacional* tem, em tese, o mesmo poder de compra, em relação ao país a que ele se refere, que o dólar americano tem nos Estados Unidos.

Atualmente, para a maioria das economias os dados de PPP são extrapolados a partir das estimativas de referência do Programa de Comparação Internacional (ICP, na sigla em inglês, de *International Comparison Program*) 2011 ou imputados utilizando-se um modelo estatístico baseado no ICP 2011. Para as 47 economias de renda média alta e superiores os fatores de conversão são fornecidos pelo Eurostat e pela OCDE (WORLD BANK, 2015).

A não equalização do poder de compra levaria a um problema prático, cujo exemplo mais emblemático pode ser observado no caso da China, onde a taxa de câmbio é determinada por decreto, e não por forças de mercado, o que faz com que a medida do PIB pelo câmbio oficial chinês não reflita de forma precisa a produção daquele país, subestimando sensivelmente o nível real de produção: segundo o câmbio oficial, o PIB de 2015 é estimado em 11,38 trilhões de dólares, montante que sobe a 19,51 trilhões se calculado conforme a paridade de poder de compra (CIA, 2016).

2.4.4 Algumas críticas ao Índice

Embora reconheça a imperfeição do IDH, a ONU o enxerga como uma alternativa viável ao PIB *per capita* na mensuração do desenvolvimento, recomendando que, para proporcionar uma imagem mais completa do desenvolvimento humano em qualquer país, o índice seja complementado com outros indicadores importantes do desenvolvimento humano (UNDP, 1995, p. 12).

Amartya Sen, cocriador do IDH, acredita igualmente que o Índice tem sido bastante bem-sucedido em servir como uma medida alternativa de desenvolvimento, complementando o PNB e servindo para alargar substancialmente a atenção empírica que a apreciação dos processos de desenvolvimento recebe (UNDP, 1999, p. 23).

Mas, apesar do evidente esforço da equipe do IDH e do emblema que ele representa, questões de medição relacionadas aos aspectos do desenvolvimento humano demonstram desafios conceituais e metodológicos que precisam ser aprofundados, algo que também é reconhecido pela ONU (UNDP, 2014b).

Primeiro, porque ainda há diferenças de dados entre valores nacionais e internacionais de indicadores em relação a alguns países, o que faz com que o Gabinete do Relatório de

Desenvolvimento Humano (GRDH) defenda ativamente, conforme já se mencionou, a melhoria da qualidade dos dados de desenvolvimento humano em todos os níveis – nacionais e internacionais –, a comunicação eficiente e a colaboração entre as autoridades estatísticas nacionais e aquelas da ONU, devendo-se esclarecer que essa entidade não coleta dados diretamente dos países (UNDP, 2014b).

Segundo, e como consequência parcial do disposto logo acima, os valores do Índice tidos como “consistentes” pela ONU são baseados nas mais recentes atualizações e revisões de dados e são obtidos utilizando-se a metodologia vigente. O efeito disso é a mudança de resultados (aumento ou declínio) em indicadores de desenvolvimento humano em termos de saúde, de educação e de qualidade de vida, verificada por meio da comparação dos IDH obtidos ou recalculados conforme essas atualizações e revisões (UNDP, 2014b).

A diferença entre os valores de IDH (e entre *rankings*) referentes a um mesmo ano, mas publicados em relatórios de desenvolvimento humano distintos, é, portanto, um efeito combinado da revisão de dados e de eventuais mudanças metodológicas, e por isso o Gabinete do Relatório aconselha os usuários a não compararem as estimativas de relatórios publicados em anos diferentes, mas sim a usarem os dados consistentes apresentados no relatório mais recente (UNDP, 2014b).

Há, aqui, um problema adicional. Os dados relativos ao IDH são comumente escassos e temporalmente pouco abrangentes (OUEDRAOGO, 2013, p. 31) – a ONU não disponibiliza, ao menos publicamente, uma base de dados integral, com os índices de todos os anos e já corrigida conforme o método de mensuração vigente.

O relatório de 2014, por exemplo, informou que seriam apresentadas, em sua tabela 2, tendências referentes a dados consistentes calculados, em intervalos de cinco anos, em relação ao período 1980-2013. Isso não correspondeu exatamente à verdade, pois a tabela apresentou apenas os dados de 1980, 1990, 2000, 2005, 2008 e 2010-2013 (UNDP, 2014a, p. 155, 164-167). E no relatório seguinte, de 2015, o que poderia ser a correção da informação, mediante o complemento dos dados, resumiu-se em uma solução às avessas: corrigiu-se o texto informativo preambular, que passou a informar “para a comparação do IDH entre anos e países, consulte a tabela 2, que apresenta tendências usando dados consistentes” (UNDP, 2015a, p. 203), mantendo-se a escassez de dados – foram apresentados apenas os relativos a 1990, 2000 e 2010-2014 (UNDP, 2015a, p. 212-215).

Na verdade, nem ao menos estão disponíveis as bases individualizadas referentes a cada componente do Índice. Isso é particularmente problemático quanto à dimensão escolaridade, à qual há dados individualizados, disponibilizados pela Organização das Nações

Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) (UNESCO, 2015), mas que apresentam inúmeras lacunas em relação a muitos países.

O escrutínio da questão, mediante consulta aos dados públicos da ONU, seguido de leitura atenta da legenda das bases de dados, em busca de alguma explicação acerca de como é possível, com tantas lacunas, inferir os índices, elucida a questão: na ausência de uma base mais sólida, utilizam-se muitas vezes: dados vetustos; baseados em literatura local; puramente estimados; obtidos mediante análises comparativas; formulados a partir de projeções de crescimento; obtidos a partir de pesquisas e de avaliações (UNDP, 2014b, 2015).

Não se culpa a ONU por tal solução de compromisso. Afinal, e conforme já se afirmou mais de uma vez, há o apelo público e expresso da entidade para que os países forneçam os dados requeridos e, mais que isso, apela-se para que esses dados sejam confiáveis. Percebe-se, de qualquer forma, que a questão política acaba por pesar, e a própria ONU aponta, como um dos motivos para a não disponibilização de dados pelos países, a ausência de interesse local/regional/nacional em ter tais dados publicados (UNDP, 2014b).

Contudo, tem-se que a ausência de dados confiáveis, seja qual for o motivo, pode comprometer severamente a utilização do Índice, além de fazer com que a mencionada recomendação da ONU, para que os usuários dos relatórios de desenvolvimento humano não comparem as estimativas de relatórios publicados em anos diferentes, mas usem os dados consistentes apresentados no relatório mais recente, tenha pouca utilidade prática, e possa inclusive ser considerada impertinente, pois não reflete a própria metodologia de fundo utilizada na composição do IDH, podendo ainda passar a impressão de que, talvez, a única finalidade em desaconselhar as comparações entre publicações seja evitar a exposição das falhas constatadas relatório após relatório.

Apresenta-se um exemplo prático como suporte a essa crítica: o relatório de 2011 indicou ao Brasil um IDH de 0,718 para aquele ano (UNDP, 2011, p. 128). Já o relatório de 2013 indica o índice, também referente a 2011, de 0,728 (UNDP, 2013, p. 149) – o qual, portanto, foi atualizado, por revisão ou correção. Por fim, o relatório de 2015, o mais atual disponível, indica IDH de 0,742, também em relação a 2011 (UNDP, 2015a, p. 213). O excesso de revisões torna possível o seguinte exercício de imaginação: mantendo-se as alterações e sua proporção nos anos vindouros (aumento de 1,66% a cada dois anos), o relatório de 2025 deverá indicar que o IDH brasileiro de 2011 teria sido 0,806 – portanto, “muito alto”, conforme a metodologia vigente em 2015 –, implicando consequências que terão refletido nos estudos e nas ações práticas tomadas com base nos números já publicados. Em outras palavras, os efeitos das revisões, para o bem e para o mal, serão sempre, para dizer o mínimo, intempestivos.

Por todo o exposto, observa-se que o IDH tem suas deficiências, como os autores do primeiro relatório abertamente reconheceram, entre elas a dependência de médias nacionais que escondem distribuição assimétrica e a ausência de “uma medida quantitativa da liberdade humana”. Contudo, a tese central do Índice, afirmada sucintamente na primeira frase do primeiro capítulo do primeiro relatório – “as pessoas são a verdadeira riqueza de uma nação” (UNDP, 1990, p. 9) – representava – e ainda representa – um avanço, algo que foi lembrado no relatório de 2010, no vigésimo aniversário do Índice (UNDP, 2010, p. iv).

E, talvez mais importante, e conforme se afirmou no relatório de 2002, o conceito do IDH é maior que o próprio Índice (UNDP, 2002, p. 53), sendo impossível negar que o tratamento temático do desenvolvimento humano afetou profundamente toda uma geração de formuladores de políticas e especialistas em desenvolvimento ao redor do mundo, incluindo milhares dentro do próprio PNUD e em outras partes do sistema da ONU, algo que também foi lembrado no relatório do vigésimo aniversário (UNDP, 2010, p. iv).

2.4.5 O tratamento dispensado à energia elétrica no IDH

Já no primeiro relatório do IDH foi mencionado, embora sem extensa elaboração, que a maioria das cidades nos países em desenvolvimento possuía infraestrutura telefônica e de eletricidade não confiáveis, e que os serviços públicos de água e de eletricidade proporcionam benefícios mais óbvios à população (UNDP, 1990, p. 87, 91, 93).

A questão recebeu atenção semelhante nos quatro relatórios seguintes (UNDP, 1991, 1992, 1993, 1994) e, em 1995, finalmente elaborou-se melhor a exposição, com as definições de energia comercial (referindo-se à energia primária e à energia elétrica), “consumo” e “produção” dessa energia (UNDP, 1995, p. 220). Tal definição, contudo, não foi utilizada naquele relatório.

Os relatórios de 1996 e de 1997 não trouxeram nada de novo (UNDP, 1996, 1997), e no de 1998 indicou-se que uma vigésima parte da população mundial, localizada nos países de renda mais elevada, utilizava 87% da energia elétrica global, enquanto dois bilhões de pessoas não possuíam acesso à energia comercial (como a eletricidade) (UNDP, 1998, p. 2). Foi ainda apresentada, em tabela apartada do relatório (a qual não está publicamente disponibilizada pela ONU; o fato se depreende da “legenda dos indicadores” existente no relatório), a utilização *per capita* total de energia primária e de energia elétrica (UNDP, 1998, p. 222).

O assunto energia foi ignorado no relatório de 1999 (UNDP, 1999) e, no de 2000, informou-se que os dados sobre utilização de eletricidade provinham, àquele ano, da *United*

Nations Statistics Division (UNSD) (UNDP, 2000, p. 142). Esses dados compuseram, de fato, o relatório anual, com valores em kWh totais e *per capita*, país a país, juntamente com dados correspondentes, na mesma base, à utilização de energia primária, em óleo equivalente (UNDP, 2000, p. 227 et seq.).

No relatório de 2001 mencionou-se que a eletricidade e o motor a vapor tornaram possível a Revolução Industrial (UNDP, 2001, p. 4), gráficos demonstraram as diferenças no nível de utilização de eletricidade entre países com diferentes faixas de renda (UNDP, 2001, p. 41) e uma inovação importante foi introduzida: o *Technology Achievement Index* (TAI; Índice de Conquistas Tecnológicas) (UNDP, 2001, p. 46), o qual mensurava as conquistas referentes a quatro dimensões – criação tecnológica, difusão de inovações recentes, difusão de inovações antigas e habilidades humanas –, as quais eram compostas pelos seguintes indicadores: número relativo de patentes concedidas, valores de *royalties* e de taxas atribuídos a licenciamentos, número proporcional de servidores de internet, percentual de exportações de tecnologia média e alta, número de anos efetivos de escolaridade da população acima de 14 anos, taxa bruta percentual de matrículas em ciências de nível superior, número proporcional de linhas telefônicas e utilização *per capita* de eletricidade (UNDP, 2001, p. 246). Esses dois últimos indicadores, pertencentes à dimensão “difusão de inovações antigas”, foram apresentados como “[...] especialmente importantes porque necessários à utilização das tecnologias mais recentes e também porque se trata de insumos difundidos a uma infinidade de atividades humanas [...]”, sendo, contudo, “[...] expressos como logaritmos e limitados ao nível médio da OCDE, considerando-se que são importantes nas fases mais incipientes do avanço tecnológico, mas não nas fases mais avançadas.” (UNDP, 2001, p. 46). A utilização da função logarítmica significava que, à medida que o nível de utilização de telefonia e eletricidade aumentasse, sua contribuição relativa para a formação do índice geral diminuiria.

Nessa concepção o TAI era integrado, quanto à eletricidade, em valores *per capita* de utilização (UNDP, 2001, p. 48 et seq.), considerando-se 6.969 kWh anuais (então o valor médio da OCDE) como valor máximo, enquanto o mínimo foi estabelecido em 22 kWh (referente à Etiópia, que apresentou o menor valor entre os 162 países classificados pelo IDH naquele ano) (UNDP, 2001, p. 246).

O TAI foi apresentado como um índice à parte, não compondo diretamente o IDH (o qual seguiu sua metodologia normal então vigente), tendo sido estimado em relação a 72 países, para os quais havia “dados disponíveis e de boa qualidade”, e limitava-se a medir “apenas conquistas tecnológicas, não servindo à indicação de quão adequadamente essas conquistas haviam se traduzido em desenvolvimento humano”. Ainda assim, mencionou-se no relatório –

e isto é importante a esta dissertação – que o TAI mostrava uma alta correlação com o IDH, correlacionando-se melhor com ele do que com a renda (UNDP, 2001, p. 47).

O TAI, contudo, teve vida curta, deixando de aparecer já no relatório do ano seguinte (2002), embora seus indicadores, inclusive utilização de energia elétrica, continuassem a ser apresentados e quantificados, situação que perdurou nos cinco relatórios seguintes (UNDP, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006). Saliente-se, contudo, que os níveis de utilização não foram mais qualificados, nem mesmo indireta e comparativamente, ao contrário do que ocorreu na curta vigência do TAI. Ironicamente, também se observa que em 2002, portanto no mesmo ano da destituição do TAI, o documento que lhe havia servido de base¹⁸ foi publicado, pela própria ONU (por meio do *Journal of Human Development*), na forma de artigo¹⁹. Nesse artigo é citada, como epígrafe, uma frase de Castells (2000 apud DESAI et al., 2002, p. 95), a qual coloca em perspectiva a real importância da energia elétrica: “O desenvolvimento na era das redes, sem a Internet, é como a industrialização sem a eletricidade.”²⁰ O artigo, destaque-se, apresentava-se como “uma abordagem de medição para avaliar as realizações tecnológicas de um país, como suporte para os formuladores de políticas na identificação de prioridades políticas.” A “abordagem de medição” referia-se expressamente ao TAI (DESAI et al., 2002, p. 95).

Após o TAI a energia elétrica só voltaria a receber atenção relativamente destacada no relatório unificado de 2007/2008, no qual se mencionou que a ausência de eletricidade afetava muitas dimensões do desenvolvimento humano, pois essa energia desempenhava um papel fundamental não só no apoio ao crescimento econômico e na geração de emprego, mas também na melhoria da qualidade de vida das pessoas (UNDP, 2007, p. 43). Mencionou-se, ainda, que a eletricidade estava muitas vezes associada a avanços mais amplos no estado da saúde (UNDP, 2007, p. 45) e que, ainda assim, as tendências da época indicavam que ainda haveria 1,4 bilhão de pessoas sem acesso à eletricidade em 2030 (UNDP, 2007, p. 153). Nesse mesmo relatório a tabela “Energia e meio ambiente” passou a contar com novos indicadores, entre os quais a variação percentual na utilização de eletricidade entre 1990 e 2004, a taxa de eletrificação, o percentual da população sem acesso à eletricidade e as variações no PNB *per capita* por unidade de utilização de energia entre 1990 e 2001 (UNDP, 2007, p. 223).

¹⁸ Cf. DESAI, Meghnad et al. **How Well Are People Participating in the Benefits of Technological Progress?** Technology Achievement Index (TAI). NEW York, NY: UNO, UNDP, 2001.

¹⁹ Cf. DESAI, Meghnad et al. Measuring the Technology Achievement of Nations and the Capacity to Participate in the Network Age. **Journal of Human Development**, v. 3, n. 1, 2002, p. 95-122.

²⁰ No original: “Development in the network age without the Internet is like industrialization without electricity.” (Tradução nossa)

O ano seguinte (2009) viu, contudo, novo retrocesso. Todos os novos indicadores do relatório anterior, bem como os pré-existentes relacionados à eletricidade e à energia em geral, desapareceram na edição 2009 do relatório, sem que fosse declarado qualquer motivo para a supressão (UNDP, 2009), de certa forma contradizendo, portanto, as edições anteriores do relatório, especialmente a imediatamente anterior, de 2007/2008, que havia dado ênfase à questão energética.

O relatório seguinte apresentou o Índice de Pobreza Multidimensional (MPI, de *Multidimensional Poverty Index*), com as dimensões saúde, educação e padrão de vida. Quanto a esta última dimensão, os indicadores referem-se a combustível para cozimento, instalações sanitárias, água, eletricidade, piso (em oposição a “chão de terra”) e bens (carro, caminhão ou veículo motorizado similar, e ao menos um entre bicicleta, motocicleta, rádio, refrigerador, telefone e televisão) (UNDP, 2010, p. 221). O percentual da população sem acesso à eletricidade voltou a ser quantificado, na área infraestrutura física, juntamente com transporte aéreo de cargas, vias férreas e rodoviárias e densidade das vias (UNDP, 2010, p. 216 et seq.).

O relatório de 2011, apesar de indicar expressamente que o acesso à eletricidade poderia permitir uma melhor iluminação, o que por sua vez permitiria um aumento no tempo dispensado aos estudos, bem como o uso de fogões modernos, reduzindo o tempo gasto na coleta de lenha e água, atividades que se demonstravam capazes de retardar o progresso da educação e de diminuir o percentual de matrículas escolares (UNDP, 2011, p. 6), prescindiu, uma vez mais no histórico dos relatórios, da informação sobre o acesso da população à eletricidade.

Em 2012 não houve relatório, conforme já se adiantou, e o relatório de 2013 apresentou, em seu capítulo 4, um cenário de evolução acelerada, com metas ambiciosas que visavam aumentar o IDH, em todas as regiões do planeta, até 2050, por meio de uma série de iniciativas de gastos públicos. Esse cenário pressupunha melhorias de cerca de 20% em infraestrutura até 2050, acesso universal à eletricidade até 2030 (quanto a esse acesso, observe-se que, conforme mencionado, o relatório de 2007/2008 havia indicado que ainda haveria 1,4 bilhão de pessoas sem acesso à eletricidade em 2030), eliminação de combustíveis sólidos como a principal fonte para aquecimento e cozimento residenciais até 2030, utilização de energia renovável 50% acima do cenário-base até 2050 e acesso universal à telefonia móvel e à banda larga até 2030 (UNDP, 2013, p. 117). Passou-se, uma vez mais, a publicar, na tabela de inovação e tecnologia, o percentual de acesso da população à rede de eletricidade (UNDP, 2013, p. 186 et seq.)

A informação sobre o percentual de acesso da população à rede de eletricidade foi mantida no relatório de 2014, agora na tabela meio ambiente, a qual também passou a contar com a composição percentual das fontes de energia primária, dividida em combustíveis fósseis e fontes renováveis (UNDP, 2014a, p. 212 et seq.).

O relatório mais recente, de 2015, apresentou referência à revolução tecnológica, afirmando-se que a história testemunhou duas revoluções industriais, cada uma delas associada com uma tecnologia de uso geral. A primeira teria sido guiada pelo vapor, e a segunda pela eletricidade. Afirmou-se ainda que atualmente uma terceira revolução estaria se desdobrando, sendo guiada por computadores e redes digitais (UNDP, 2015a, p. 80). Nesse último relatório os dados sobre o acesso à rede de eletricidade e a composição das fontes de energia primária foram mantidos, porém deslocados para a tabela sustentabilidade ambiental (UNDP, 2015a, p. 250 et seq.).

Conclui-se, a partir dessa breve análise histórica acerca do tratamento dispensado à energia elétrica nos relatórios do IDH, pela existência efêmera e pontual da constatação, pelo Gabinete do Relatório, da real importância do assunto, cujos exemplos mais expressivos estão no relatório de 2007/2008 e, principalmente, no de 2001, no qual foi apresentado e utilizado, tanto quanto possível, o TAI. O cenário geral, contudo, é de quase absoluta indiferença, a despeito de um pouco de retórica aqui e ali, algo que talvez ocorra devido ao ambiente no qual os estudos e os próprios relatórios são desenvolvidos. Afinal, conforme inclusive foi afirmado no relatório de 2007/2008, e anteriormente nesta dissertação, na maioria dos países ricos o acesso à eletricidade é dado como certo (UNDP, 2007, p. 45). Ou seja, nem se pensa a respeito, e daí, talvez, o assunto seja relevado, quase que inconscientemente, pela ONU. Isso não desnatura (pelo contrário) a importância da energia elétrica para o crescimento econômico e o desenvolvimento humano, razão pela qual se propõe, no presente trabalho, a sua mensuração, de modo ainda mais incisivo que no TAI, como componente do IDH.

Para isso, contudo, deve-se verificar, de modo tão isento e confiável quanto possível, as correlações entre utilização de energia, de modo geral, utilização de energia elétrica, de modo particular, RNB e IDH, bem como as relações de causalidade entre essas variáveis, algo que será feito na seção seguinte à da apresentação da metodologia da pesquisa.

2.5 O PLANEJAMENTO BRASILEIRO ANTE A QUESTÃO ENERGÉTICA

O Brasil está formalmente comprometido, quanto às políticas públicas, com a Agenda 2030 das Nações Unidas, a qual se resume em “um plano de ação para as pessoas, para o planeta

e para a prosperidade”, contemplando “17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas”, em escala global e elaborados a partir do “legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio”, procurando concluir “o que estes não conseguiram alcançar.” (ONUBR, 2015)

O objetivo de número sete é o da “energia limpa e acessível”, subdividido em cinco partes, voltadas à garantia do acesso universal, à melhoria da eficiência energética, ao aumento da utilização de energias renováveis na matriz energética, à cooperação internacional na pesquisa, desenvolvimento e investimento em infraestrutura de energia limpa (ONUBR, 2015). A análise a ser conduzida nesta seção diz respeito ao planejamento brasileiro voltado à questão energética, nos moldes entabulados no mencionado objetivo, com ênfase na energia elétrica.

2.5.1 A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e os planos nacionais de energia

Há indicações de que, em âmbito global, as metas relacionadas à energia, vinculadas à Agenda 2030 da ONU, não estejam descoladas da realidade e, mais que isso, elas de fato parecem ir além de mera retórica programática. Isso porque se constata, a partir de uma avaliação baseada em uma pesquisa abrangente conduzida pelo Conselho Mundial de Energia, a qual contemplou 63 países ao redor do mundo (aí incluídas todas as dez maiores economias globais), que dois terços dos países possuem, e isso já há mais de uma década, algo equivalente a uma agência nacional de eficiência energética – alguns chegam a ter agências locais ou regionais, de modo a, por meio da proximidade aumentada em relação ao utilizador final de energia, dispor de medidas mais precisas, dadas as possíveis variações motivadas por questões climáticas e de recursos energéticos, por exemplo. Além disso, a mesma pesquisa verificou que três quartos dos países possuem programas formais de eficiência energética ou mesmo legislação voltada a metas de eficiência energética e emissões de carbono (WORLD ENERGY COUNCIL, 2004, p. 15). No caso brasileiro, essas atribuições estão a cargo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

A EPE teve sua criação autorizada pela Lei 10.847, de 15 de março de 2004, que, em seu artigo 1º, determinou a vinculação da empresa ao Ministério de Minas e Energia, e, por meio do artigo 2º, a sua finalidade – “prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.” A competência da EPE é consideravelmente abrangente, podendo-se mencionar, pela relevância, “realizar estudos e projeções da matriz energética brasileira” (art. 4º, inciso I); “identificar e quantificar os potenciais de recursos energéticos” (art. 4º, inciso III); “realizar

estudos para a determinação dos aproveitamentos ótimos dos potenciais hidráulicos” (art. 4º, inciso V); “elaborar estudos necessários para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazos” (art. 4º, inciso VII); “desenvolver estudos de impacto social, viabilidade técnico-econômica e socioambiental para os empreendimentos de energia elétrica e de fontes renováveis” (art. 4º, inciso X) e “desenvolver estudos para avaliar e incrementar a utilização de energia proveniente de fontes renováveis” (art. 4º, inciso XIII) (BRASIL, 2004a). Foi com base na referida lei que a EPE foi criada, por meio do Decreto 5.184, de 16 de agosto de 2004 (BRASIL, 2004b).

Em termos históricos, observa-se que a EPE foi criada na esteira do apagão que vitimou a sociedade brasileira em 2001 e 2002 – evento que comprovou a impossibilidade de organização do setor de energia elétrica, numa economia desenvolvida, sem uma visão de longo prazo (TOLMASQUIM, 2006). Com vistas à conciliação entre a questão energética e o desenvolvimento humano, a empresa demonstrava estar ciente de que a análise de indicadores como a utilização *per capita* de eletricidade, o PIB *per capita*, o índice de Gini e o IDH indicava que os países com maior IDH são justamente os de maior PIB *per capita*, maior utilização *per capita* de energia e com distribuição da renda mais equitativa (EPE, 2007, p. 119).

Curiosamente (considerando-se a gravidade do problema estrutural que teria levado aos apagões), apenas dois anos após a criação da EPE a presidência da empresa já afirmava que, seguramente, o País estava livre de qualquer crise energética nos quatro anos seguintes, isto é, ao menos até 2010 (TOLMASQUIM, 2006).

À época dessa afirmação elaborava-se o *Plano Nacional de Energia – 2030* (ou PNE 2030), apresentado em 2007, o qual foi ultrapassado, em meados de 2014, pelo estudo *Demanda de Energia 2050* (também referenciado, pela própria EPE, como PNE 2050), atualmente em sua segunda versão, apresentada no início de 2016, que incorporou revisões no cenário econômico e setorial originalmente previsto (EPE, 2007, 2016a).

Para além da natural incerteza quanto ao futuro estado da arte – que pode determinar diferentes níveis de utilização para tarefas já realizadas, e novas formas de utilização ainda não vislumbradas – há o complicador adicional da própria estimativa populacional, necessária ao cálculo da demanda futura. Como é de se esperar, a EPE não se olvida dessas questões, citando nominalmente, no PNE 2050, as incertezas vinculadas à competitividade dos energéticos, às possibilidades tecnológicas, ao desenvolvimento infraestrutural e à resposta dos usuários a esse contexto dinâmico (EPE, 2016a, p. 23).

Essas incertezas levam, da mesma forma que nos estudos probabilísticos populacionais, a constantes revisões, as quais têm por objetivo o realinhamento das metas e

objetivos em função dos diferentes cenários previstos. Trata-se, portanto, esses cenários, de alvos móveis, os quais demandam a atenção continuada dos decisores políticos.

No caso específico da série Estudos da Demanda de Energia, a versão atual do PNE 2050, conforme se afirmou, é de janeiro de 2016, “substitui a divulgada em agosto de 2014 e incorpora revisões no cenário econômico e setorial” (EPE, 2016a, capa).

Essa série dá continuidade ao também já mencionado PNE 2030, apresentado em 2007 e que tinha como objetivo declarado “o planejamento de longo prazo no setor energético do país, orientando tendências e balizando as alternativas de expansão desse segmento nas próximas décadas.” (EPE, 2007, p. 7).

2.5.2 A energia elétrica nos planos nacionais

O Plano 2030 dividia-se em cinco notas técnicas²¹, entre as quase se destaca, quanto aos objetivos deste trabalho, a nota de número três – “O mercado de energia elétrica – evolução a longo prazo” (EPE, 2007, p. 8).

Observa-se de pronto, nas planilhas de evolução da utilização de energia elétrica no Brasil, publicizadas pela própria EPE (2016b), que de fato o apagão de 2001/2002 tolheu qualquer possibilidade de incremento no desenvolvimento – em 2001, houve uma retração na utilização *per capita* de 7,89% em relação a 2000, passando de já parcos 149,62 kWh mensais para 135,81 kWh – ou, em outras palavras, para o valor de meia década antes do evento. Observa-se ainda que, desde a criação da EPE e até 2014, o valor *per capita* subiu de 151,71 kWh para 197,75 kWh, representando incremento anual médio de expressivos 2,69%, o que, considerando-se o aumento médio também anualizado da população no período, de 0,97%, significa que a oferta absoluta variou de modo ainda mais expressivo no período – 3,68% ao ano.

Esses valores, porém, devem ser relativizados, ou seja, deve-se ter o cuidado de reputá-los em uma base comparativa. A comparação óbvia neste caso é com o período anterior à criação da EPE, isto é, de 1995 a 2004. E, dessa comparação, os resultados pós-EPE, ainda que positivos, perdem bastante de seu brilho isolado: de 1995 a 2004 a variação na utilização absoluta foi de 3,45% ao ano, embora, devido ao incremento populacional de 1,47% ao ano, tenha resultado em um aumento anual médio *per capita* de 1,95% no período – mas, não se

²¹ As outras quatro notas eram: 1. Cenários demográfico e de domicílios; 2. Cenários econômicos nacionais; 4. O consumo final de energia – evolução a longo prazo e 5. A demanda de energia primária – evolução a longo prazo. Cf. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: EPE, 2007, p. 7.

deve esquecer, o apagão ocorreu nesse período, o que prejudicou pesadamente o resultado como um todo. Disso tudo se extrai que, embora a EPE esteja vinculada a um período de resultado positivo, não se pode dizer que a diferença em relação ao período anterior tenha correlação com a criação da empresa, mesmo porque, após os apagões, a utilização de energia já havia aumentado de forma substancial previamente à criação da EPE – nominalmente, de pouco mais de 283 TWh em 2001 para quase 330 TWh em 2004 (EPE, 2016b), o que significa aumento absoluto de 16,40% no período, equivalente a 5,19% ao ano.

Feitas essas observações, parece conveniente uma breve análise do atual Plano Nacional de Energia, o qual vislumbra o ano de 2050. Verifica-se, inicialmente, que a previsão de utilização total de energia elétrica é mais conservadora que aquela do plano anterior, que alcançava o ano de 2030. Enquanto o plano mais antigo previa, respectivamente, para os anos 2020 e 2030, 722 TWh e 1.086 TWh, o plano de alcance mais longo prevê, aos mesmos anos, 648 TWh e 971 TWh, elevando-se, em 2040 e 2050, a 1.278 TWh e 1.605 TWh (EPE, 2007, 2016a) Essa queda nos dois primeiros pontos de controle (e que acabará por influenciar, naturalmente, os dois pontos finais do plano mais recente), da ordem de expressivos 11%, é atribuída à crise de 2008, a qual “teve um forte impacto na contenção da produção industrial e do consumo de energia, não só no Brasil como em todo o mundo, cujos reflexos vêm se manifestando até os dias atuais.” (EPE, 2014, p. 157) Conforme se verá (seção 4.2 deste trabalho), essa afirmação quanto à crise está longe de corresponder à verdade, ao menos em termos mundiais.

O que mais importa, contudo, é estimar as possíveis consequências dessas estimativas. De antemão, porém, deve-se salientar uma certa discrepância verificada nos dados disponibilizados pela EPE. De um lado, há a base que cobre o mencionado período 1995-2014 (EPE, 2014), a qual, esclarece-se, apresenta valores já em Wh, os quais foram utilizados nos parágrafos precedentes. E, de outro lado, há outra base, denominada Balanço Energético Nacional (2016b), cobrindo o período de 1970 a 2015 (de forma intercalada nas décadas mais passadas), a qual apresenta os valores em tep (o mesmo que *toe* – tonelada de petróleo equivalente ou tonelada equivalente de petróleo). Ora, 1 tep (ou *toe*) equivale a $11,63 * 10^3$ kWh (ou 11,63 MWh, ou 0,01163 GWh, ...), algo que inclusive é assumido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), também vinculada, à semelhança da EPE, ao Ministério de Minas e Energia (ANEEL, 2009). E, conforme essa base, o valor anual médio absoluto em relação ao período 2000-2013 é de 411,79 TWh (convertidos a partir dos valores em tep), enquanto que a base direta aponta para um valor médio de 366,49 TWh no mesmo período. Trata-se de uma diferença considerável, de 11% para baixo ou de 12,36% para cima,

equivalente a 45 TWh, ou meia Itaipu (ITAIPU, 2016). Para qualquer plano estratégico, tal diferença chega a ser dramática, podendo comprometer seriamente os objetivos almejados. Questionou-se, assim, a EPE, mediante mensagem de *e-mail*, sobre essa discrepância. Houve resposta após duas semanas, na qual se informou que a base menos abrangente, referente ao período 1995-2014, considera apenas os valores do Sistema Interligado Nacional (SIN), enquanto o Balanço Energético Nacional (1970-2015) contempla o SIN, os sistemas isolados e os autoprodutores de energia elétrica – informação que, com a devida vênia, deveria constar no próprio *site* da EPE, podendo-se ainda argumentar que seria mais conveniente manter as informações em uma mesma base (TWh ou tep).

2.5.3 Os planos decenais de expansão de energia

Além dos planos nacionais de energia, há os planos decenais de expansão de energia (PDE), que se constituem em “um dos principais instrumentos de planejamento da expansão eletroenergética do país” e que, a partir de 2007, “ampliaram a abrangência dos seus estudos, incorporando uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de diversos energéticos, além da energia elétrica” (EPE, 2015).

Os PDE são elaborados tendo-se por referência cenários e conjunturas externos e internos, indicadores econômicos relacionados à esfera pública e privada e perspectivas setorialmente segmentadas em agropecuária, serviços e indústria, esta última subsegmentada em diversos tipos.

O último PDE é o 2024, apresentado em dezembro de 2015, no qual se estimou, para 2015, 2019 e 2024, uma utilização de eletricidade de, respectivamente, 525,3 TWh, 616,5 TWh e 790,9 TWh, calculados em função de uma população, também respectivamente, de 205,27 milhões, 211,37 milhões e 217,76 milhões de habitantes (EPE, 2015). Tais valores correspondem, considerando-se uma intensidade energética de 1,077 e uma eficiência de 97,14% na correlação IDH/UPEE, a uma, sempre respectivamente, UPEE mensal *per capita* de 198,07 kWh, 225,74 kWh e 281,1 kWh, os quais, por sua vez, representariam IDH de 0,768, 0,779 e 0,797 – relativamente em linha, portanto, com os valores calculados a partir do PNE 2050.

2.5.4 Projeções da utilização de energia elétrica em médio prazo

Assumindo-se, a partir da resposta da EPE, que os dados informados na base de maior amplitude sejam referentes à utilização nacional total – e porque estão, de qualquer modo, mais próximos dos dados analíticos utilizados no próprio PNE 2050 e no PDE 2024, e também mais próximos, por exemplo, das estimativas do Banco Mundial (WORLD BANK, 2015) –, podem-se projetar as variações médias dos últimos, digamos, 10 anos (isto é, desde aproximadamente a criação e operacionalização da EPE), *pari passu* com a estimativa de evolução populacional do IBGE (2013a) e, assim, vislumbrar a possível evolução na utilização *per capita* ponderada (em função da intensidade energética) de energia elétrica no País nas próximas décadas, o que poderia indicar, mediante a utilização da fórmula correlacional IDH/UPEE, o nível de desenvolvimento humano a ser atingido.

De 2005 a 2014, o valor de utilização absoluto passou de pouco mais de 344 TWh para pouco acima de 473 TWh – média anual de crescimento de 3,60%. No mesmo período a população evoluiu de 183,38 milhões de pessoas para 199,49 milhões – evolução média anual de 0,94% (EPE, 2016b; IBGE, 2013a). Da conjugação dessas duas médias, tem-se que o valor *per capita* mensal de utilização passou de 156 kWh para 198 kWh – alta anual média de 2,64%.

Projetando-se esses percentuais obtém-se, respectivamente, para 2020, 2030, 2040 e 2050, 585,36 TWh, 833,87 TWh, 1.187,87 TWh e 1.692,17 TWh – em média, 93,65% dos valores propostos no PNE 2050 (respectivamente, 648 TWh, 971 TWh, 1.278 TWh e 1.605 TWh). A partir desses números, e levando-se em conta as estimativas populacionais do IBGE (2013a) (2020: 207,14 milhões; 2030: 216,41 milhões; 2040: 219,07 milhões; e 2050: 215,29 milhões), chega-se a valores de utilização *per capita* ponderada mensais de energia elétrica de, também respectivamente, 218,05 kWh, 297,31 kWh, 418,39 kWh e 606,48 kWh, considerando-se uma intensidade energética de 1,08, isto é, a menor já alcançada no País (a média do período 1990-2012, tanto aritmética quanto geométrica, é muito próxima disso – 1,12).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Quanto ao objetivo, a metodologia utilizada nesta dissertação é preponderantemente descritiva, pois relata características de sociedades e de fenômenos, bem como relações entre variáveis (GIL, 2002, p. 42).

Quanto ao modelo conceitual operativo, trata-se essencialmente de pesquisa bibliográfica, mediante a utilização de fontes acreditadas (autores com *expertise* na área de publicação, artigos publicados em periódicos revisados por pares e dados disponibilizados por instituições internacionais). A pesquisa é ainda *ex-post-facto*, pois formulada posteriormente aos fatos nela narrados e/ou discutidos (GIL, 2002, p. 41-43).

Quanto à análise de conteúdo, trata-se de estudo quantiqualitativo, pois há o tratamento estatístico de dados categorizados *a priori* (daí o quantitativo) e, ao mesmo tempo, procura-se descrever um fenômeno em extensão global, extraindo, da interação entre variáveis por meio de testes de hipótese e de correlação, o real significado da questão de pesquisa (portanto, qualitativo) (GIL, 2002, p. 134, 163).

As hipóteses são elaboradas mediante método indutivo – observam-se fenômenos cuja causa se deseja conhecer, os quais são comparados entre si e então generalizados. Contudo, ante a ciência acerca da absoluta impossibilidade de se alcançar respostas totalmente universais – afinal, trata-se de fenômenos sociais, ilimitadamente condicionados, em certa medida, a variáveis intervenientes (KENNY, 1979, p. 3), e com amostragem realizada por acessibilidade ou conveniência, ante a obrigatória limitação espacial, temporal e funcional –, procurou-se, na medida do possível, desafiar as hipóteses via método hipotético-dedutivo (GIL, 1999, p. 29-31, 104; POPPER, 2013).

Preliminarmente, procurou-se verificar a atenção acadêmica dispensada aos dois níveis da questão – energia como um todo (a qual será doravante referida como energia primária) e energia elétrica em particular, bem como suas relações com o desenvolvimento econômico, este utilizado instrumentalmente, como meio, para o desenvolvimento fim, que seria o humano.

De um lado observou-se, no processo, a existência de número razoável de artigos científicos (e outras obras literárias) que tratam do tema energia primária e desenvolvimento econômico, principalmente pelo viés do PIB, ainda que com diferentes objetivos e, mesmo nos casos em que há coincidência de objetivos, diferentes metodologias, resultados e interpretações. De outro lado, o número de trabalhos que têm por foco a energia elétrica é consideravelmente pequeno, podendo mesmo ser definido, em termos absolutos e conforme se viu na revisão de

literatura, como escasso, sendo ainda menor o número de obras concentradas especificamente em energia elétrica e IDH, a despeito da constatação prática de que o índice geralmente se eleva com níveis mais elevados de acesso a essa energia e, da mesma forma, que a expectativa de vida e a média de anos de escolaridade também são positivamente correlacionados com o acesso à eletricidade (BHATTACHARYYA, 2013, p. 231). Ou seja, uma melhoria no nível desse acesso conduz a melhores condições de vida.

A revisão de literatura foi conduzida a partir de pesquisas bibliométricas realizadas no Portal de Periódicos da Capes/MEC. Utilizando-se descritores relativamente específicos (*causality; countries; economic growth; electricity; electricity consumption; energy consumption; energy use; GDP; growth; income; relationship*) observa-se que há uma grande disponibilidade de estudos sobre o tema conjunto (energia e crescimento econômico). Assim, foram realizadas pesquisas mais específicas, de modo a classificar os estudos conforme seu tema principal. Em todas as pesquisas os descritores foram ligados pelo operador booleano “and” (entre as opções “or” e “not”). Quanto à localização dos descritores, escolheu-se a opção “em qualquer lugar” (opções: “no título”, “como autor” e “no assunto”). Escolheram-se ainda, em todos os casos, as opções “publicados em qualquer ano” e “em qualquer idioma”.

A respeito da relação entre utilização de energia primária e crescimento econômico, pelo viés do PIB, os descritores utilizados foram “*energy consumption*” e “*gdp growth*”. Dessa pesquisa obtiveram-se 525 resultados, dos quais 500 corresponderam a “artigos” publicados em “periódicos revisados por pares”. Procedeu-se então à filtragem por “tópico” e foram escolhidos alguns exemplos conforme a ordem de “relevância” do Portal, os quais foram apresentados na revisão de literatura.

Quanto à relação entre utilização de energia elétrica e crescimento econômico, também pelo viés do PIB, foram utilizados os descritores “*electricity consumption*” e “*gdp growth*”, obtendo-se 118 resultados, dos quais 108 corresponderam a “artigos” publicados em “periódicos revisados por pares”. Procedeu-se, tal como em relação ao tema anterior, à filtragem por “tópico”, escolhendo-se os exemplos também conforme a ordem de “relevância”.

Sobre a relação entre utilização de energia elétrica e IDH, foram utilizados os descritores “*energy consumption*” e “*hdi*”, o que implicou, propositadamente, um alcance amplo à pesquisa, pois de fato não se delimitou o tipo de energia que realmente interessa preponderantemente ao estudo – no caso, energia elétrica. Ainda assim houve apenas 45 retornos, 42 deles relativos a “artigos” publicados em “periódicos revisados por pares”. Finalmente, a utilização dos descritores “*electricity consumption*” e “*hdi*” significou resultados previsivelmente mais escassos – 27, sendo 26 correspondentes a “artigos” publicados em

“periódicos revisados por pares”, sendo que todos os 26, também previsivelmente, estavam contidos na pesquisa anterior, com descritores de alcance mais abrangente.

Dos 42 resultados da penúltima pesquisa, eliminaram-se manualmente aqueles que, a julgar pelo título e/ou resumo, não possuíam pertinência temática estrita em relação ao objeto de estudo. Notadamente, há muitos artigos que remetem pontualmente ao problema socioambiental gerado pelo consumo desmedido de combustíveis fósseis, e muitos outros que enfrentam esse problema e vão além, tratando das possíveis melhoras que adviriam da mudança da matriz energética (de utilização de petróleo para utilização de energia solar, por exemplo), sem, contudo, abandonar a esfera da questão ambiental.

É também recorrente a questão da eficiência energética, ou seja, do uso racional da energia, como foco principal. Há ainda os artigos que tratam de questões que são geograficamente pontuais e isoladas, como os estudos de casos específicos a uma cidade ou microrregião. Há, finalmente, artigos cujas áreas de conhecimento estão fora da esfera na qual se insere este trabalho, os quais tratam essencialmente de assuntos de química ou engenharia, por exemplo.

Ressalve-se que, dadas a interdisciplinaridade e a multidisciplinaridade comum a quaisquer áreas de conhecimento, não se está a desconsiderar a utilidade, mesmo a esta dissertação, dos artigos ora pesquisados e descartados. O que ocorre é que, nesse estágio de seleção, há a simples busca do estado da arte acadêmica referente ao assunto específico que será pontualmente discutido.

Feitas essa ressalva e considerações, verifica-se que, rigorosamente, o número de artigos com aderência acadêmica estrita ao problema proposto foi de apenas quatro. São eles: Dias, Mattos e Balestieri (2006); Lambert et al. (2014); Ouedraogo (2013) e Santos, Dias e Balestieri (2016), todos mencionados na seção de revisão da literatura.

A seguir, e a despeito de, independentemente da língua utilizada na publicação de artigos científicos, os descritores serem normalmente informados em inglês, realizou-se pesquisa adicional, utilizando-se os descritores em vernáculo “consumo de energia” e “idh”. Resultaram dessa pesquisa dois artigos, ambos publicados em “periódicos revisados por pares”, sendo que apenas um deles (GUERRA; FANTINELLI, 2001) possui correlação temática mais estrita, embora não trate, de qualquer modo, exclusivamente de energia elétrica.

Após essa análise preambular da produção científica, foram definidos o escopo do trabalho e as variáveis a serem adotadas, o que compreende a pergunta de pesquisa (*Em que medida as expectativas do Plano Nacional de Energia, quanto à utilização de energia elétrica, são compatíveis com a elevação do IDH brasileiro ao status denominado pelas Nações Unidas*

como “muito alto”?), as hipóteses principais a serem testadas, com vistas à confirmação ou refutação (1– *O papel da energia elétrica no desenvolvimento humano pode ser avaliado, de modo comparativo e matematicamente objetivo, entre os países/regiões, por meio da verificação da relação entre o nível de utilização ponderado dessa energia e o IDH.* 2– *Há correlação suficientemente adequada para representar, por meio de fórmula matemática, o IDH em função da utilização per capita ponderada de energia elétrica e vice-versa, e disso decorre a existência de um valor quantitativo objetivo mínimo a essa utilização, abaixo do qual não parece ser viável o desenvolvimento humano definido como “muito alto” segundo a metodologia do Índice.* 3– *Há compatibilidade, no médio prazo, entre os valores planejados de utilização de energia elétrica no Brasil e o atingimento do nível tido atualmente como “muito alto”*), e o objetivo principal do trabalho (*avaliar a compatibilidade das expectativas do Plano Nacional de Energia, quanto à utilização de energia elétrica, com a elevação do IDH brasileiro ao status denominado pelas Nações Unidas como “muito alto”*).

O trabalho obrigatoriamente perpassa, portanto, o tratamento dos dados de utilização de energia e de valores de IDH de uma série de países, com vistas à confirmação empírica mais robusta e quantitativa da existência de padrões de relação entre as duas variáveis (utilização de energia elétrica e IDH). Isso implica adentrar, ainda que apenas na medida necessária à compreensão dos fenômenos envolvidos (portanto, de forma instrumental), ao campo de outras ciências, como física, matemática e estatística. Implica, ainda, o transbordamento das duas variáveis principais, dado seu natural (e, portanto, evidente) entrelaçamento com outras variáveis – notadamente, fontes de energia diversas (em especial as baseadas em combustíveis fósseis), evolução populacional e econômica dos países.

O desdobramento do tema principal, ainda que de forma contida, faz-se necessário não apenas devido a esse entrelaçamento, mas pelo fato de que se está a tratar de assunto que, essencialmente, interessa às políticas públicas, suas análises e processos, em um cenário no qual os recursos (em sentido amplo) são finitos e, por isso mesmo, a busca pela sustentabilidade deve ser a regra. Destaque-se que o papel crítico desempenhado pela energia para o alcance do desenvolvimento sustentável é algo bem reconhecido e que o acesso à energia tem sido identificado como um grande desafio. Há também o consenso de que, sem serviços de energia acessíveis, confiáveis e limpos à população, o objetivo da sustentabilidade não pode ser alcançado (BHATTACHARYYA, 2013, p. 227). Assim, e uma vez mais, vai-se ao encontro dos objetivos do programa de pós-graduação em apreço, o qual possui, como preocupação maior, a garantia da sobrevivência, atual e futura, expressa pela sustentabilidade (UTFPR, 2010).

Adicionalmente – e isto ocorre devido à ciência quanto às limitações, interferências e subjetividade que são inerentes a qualquer pesquisa e pesquisador, dado o inevitável aspecto axiológico do próprio processo de pesquisar –, faz-se necessário observar, tanto quanto possível, o entorno, evitando-se generalizações apressadas, baseadas em inferências direcionadas ao todo, mas que a ele não correspondem, sendo apenas a expressão de uma ou mais partes isoladas.

Tudo considerado, definiu-se o conjunto de dados mínimos necessários a este trabalho. Esse conjunto é composto, basicamente, por séries históricas internacionais de dados quantitativos de desenvolvimento econômico e humano, utilização de energia primária e elétrica, matrizes energéticas, intensidade energética, população, utilização e reservas de combustíveis fósseis. Mediante o tratamento desses dados, buscou-se estabelecer tendências e padrões capazes de confirmar ou refutar as hipóteses desenvolvidas e apresentadas.

Como fontes de dados recorreu-se, principalmente, aos repositórios disponíveis publicamente por entidades acreditadas internacionalmente, como o Banco Mundial (World Bank), a Agência Central de Inteligência estadunidense (CIA), a Agência Internacional de Energia (IEA), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e as Nações Unidas (ONU), além de, em menor proporção, outras entidades públicas e privadas que, apesar de menos celebradas que as previamente citadas, também possuem elevado grau de acreditação, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Ministério de Minas e Energia (MME). Dada a natureza do fenômeno sob análise, utilizou-se, quanto ao período dos dados, tudo o que havia disponível nas fontes, o que significa, conforme o caso, dados de até cerca de 50 anos atrás. Os períodos específicos, caso a caso, são indicados nos resultados dos testes estatísticos e matemáticos, e sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das variáveis utilizadas, fontes e períodos²².

Variável – dados internacionais	Fonte	Período
Utilização <i>per capita</i> de energia primária	World Bank	1961-2013
Utilização <i>per capita</i> de energia elétrica	World Bank	1961-2013
Intensidade energética	World Bank	1990-2012
População	CIA	1961-2015
PIB <i>per capita</i>	World Bank	1961-2013
RNB <i>per capita</i>	World Bank	1990-2013
IDH	ONU	1980-2014
Combustíveis fósseis	EIA	1980-2012
Variável – dados brasileiros		
População	IBGE	1995-2016
Utilização de energia	EPE/MME	1995-2016
IDH dos estados e Distrito Federal	PNUD Brasil	2010

Fonte: o autor.

Para o tratamento dos dados utilizou-se basicamente o programa de folha de cálculo (planilha eletrônica) Excel®, disponibilizado pela Microsoft®, mediante testes estatísticos e matemáticos, os quais tornaram possível a análise que, por sua vez, é instrumental ao objetivo prático deste trabalho, ao permitir a validação das hipóteses que nortearam esta pesquisa.

Quanto aos testes estatísticos, trata-se de testes de regressão e, conforme se informa nas tabelas de resumo dos resultados, em todos os casos o intervalo de confiança escolhido foi de 95%, o que significa que, dada uma probabilidade em particular, espera-se que, da repetição consecutiva do processo de estimativa, 95% dos intervalos calculados contenham o valor parâmetro verdadeiro (EVERITT; SKRONDAL, 2010, p. 99).

A partir desses testes, um primeiro valor de saída, calculado internamente pelo programa de computador, é o coeficiente de correlação, que mede a tendência e a força da relação linear entre duas variáveis ou amostras, assumindo valores entre -1 (relação total,

²² Os períodos utilizados referem-se a datas mínimas e máximas, havendo lacunas conforme o país analisado, as quais são informadas quando da efetiva utilização da variável em questão. Os dados internacionais contemplam o Brasil nas análises cujo cenário é internacional, enquanto os dados brasileiros referem-se especificamente à análise que tem por objeto os estados brasileiros, com vistas ao cumprimento do objetivo geral do trabalho.

inversa) e zero ou entre 1 (relação total, direta) e zero. Se as variáveis forem estatisticamente independentes, o coeficiente de correlação será igual a zero (LAPPONI, 2005, p. 169, 171, 177). Saliente-se, por oportuno, que o coeficiente de correlação não identifica, por si, relações de causa e efeito entre as variáveis, daí que, na regressão linear, essas relações devem ser definidas no início da análise (LAPPONI, 2005, p. 181).

Os resultados de “r-quadrado”, por vezes indicado como R^2 , dizem respeito, por seu turno, ao coeficiente de determinação, calculado como o quadrado do coeficiente de correlação, e que pode ser definido como a medida da proporção (percentual), na variação total da variável dependente, que pode ser explicada pela variação da variável independente. Esse coeficiente assume valores compreendidos entre zero e 1 (LAPPONI, 2005, p. 405). Quanto mais o modelo explica a reta de regressão, maior o valor do coeficiente, podendo-se adotar a seguinte perspectiva, por analogia à do coeficiente de correlação (BISQUERRA; SARRIERA; MARTÍNEZ, 2007, p. 147):

- r-quadrado = 1: determinação total.
- r-quadrado entre 0,81 e 1: determinação muito alta.
- r-quadrado entre 0,61 e 0,80: determinação alta.
- r-quadrado entre 0,41 e 0,60: determinação moderada.
- r-quadrado entre 0,21 e 0,40: determinação baixa.
- r-quadrado entre 0,01 e 0,20: determinação muito baixa.
- r-quadrado = 0: determinação nula.

Contudo, apesar de se falar em “variável dependente” e “variável independente”, o “r-quadrado”, conforme se viu, é apenas função do coeficiente de correlação, não servindo, tal como este, para inferir relacionamentos causais (FIELD, 2009, p. 144). A confusão provavelmente ocorre porque se pressupõe, ao se falar em “dependente” e “independente”, que essas características já foram definidas, por outro meio, *a priori*. Ou seja, não é o “r-quadrado” que as definirá. Assim, como subsídio ao “r-quadrado” são utilizadas outras ferramentas, vinculadas entre si em múltiplos estágios de cálculo.

O nível de significância, por vezes chamado α (alfa), é uma função do coeficiente de correlação e do número de indivíduos (CUMMING, 2012, p. 27-28). As chamadas “tabelas de significação do coeficiente de correlação”, geralmente supridas diretamente pelos programas de computador que realizam cálculos estatísticos (o Excel®, utilizado neste trabalho, não é exceção), apresentam os valores de referência para a rejeição da hipótese nula.

Essa hipótese, por sua vez, representa a suposição de independência, ou seja, de que as variáveis não estariam correlacionadas (EVERITT; SKRONDAL, 2010, p. 307), situação em que eventuais sinais de correlação deverão ser atribuídos ao acaso ou (e isto parece mais preciso) a outras variáveis, intervenientes, as quais não são consideradas no sistema. Em outras palavras, testa-se a hipótese nula com o objetivo de, sendo possível, falseá-la, o que levaria à rejeição dessa hipótese, embora, convém lembrar, resultados que indiquem a não rejeição não implicam sua aceitação incondicional, como algo inequivocamente verdadeiro. Significam, tão somente, que não se conseguiu, por meio dos dados disponíveis, demonstrar sua falsidade, o que é bem distinto de se obter uma prova de sua veracidade.

O nível de significância utilizado foi 5% (0,05), padrão do programa de computador utilizado, deixando-se também em *default* os valores críticos do teste. A indicação de confiabilidade dos resultados (isto é, de sua relevância estatística) se dará no “F de significação”, o qual deverá, no caso, para indicar confiabilidade, ser menor que 0,05.

O mesmo ocorre em relação a “valor-P”, o qual também diz respeito ao nível descritivo, ou probabilidade de significância, e que pode ser definido como a probabilidade de se obter um resultado igual ou mais extremo que aquele efetivamente observado, quando não se rejeita a hipótese nula (HUBBARD, 2004), tanto no valor de “interseção” quanto no da variável independente (quanto a esta variável, o “valor-P” é o mesmo que o de “F de significação”). Na prática, quanto menores os valores indicados em “valor-P”, menor será a probabilidade de se validar a hipótese nula, o que corrobora a decisão pela sua rejeição. Observe-se, contudo, que “valor-P” é obtido, obrigatoriamente, a partir da amostra, enquanto o nível de significância é fixado previamente a ela (HUBBARD; BAYARRI, 2003).

Quanto aos “resíduos”, indicam o quão distante os valores previstos pelo modelo à variável dependente estão em relação aos valores de fato ocorridos (EVERITT; SKRONDAL, 2010, p. 367). Para maior clareza serão representados, neste trabalho, em termos percentuais médios. Quanto menores esses percentuais, maior a correspondência entre o modelo e a realidade verificada.

Mais especificamente, os dados históricos anuais de PIB, Renda Nacional Bruta (RNB) *per capita*, IDH, utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e população compuseram planilhas que permitiram verificar a evolução e, então, possíveis correlações, determinações e causalidade entre variáveis.

De pronto, observa-se a importância da adequada determinação da relação entre as variáveis estudadas, sem a qual qualquer inferência de causalidade estaria irremediavelmente comprometida, o que representa complicador adicional ante o fato de que não é possível, ao

observador, a posição externa, que seria privilegiada e ideal, em relação aos eventos. Além disso, convém ponderar que, dada a natureza das questões envolvidas, são utilizadas relações estatísticas, e não puramente matemáticas. Ou seja, não se está diante de relações determinísticas, mas tão somente probabilísticas (VIEIRA, 2016, p. 81), pois um mesmo efeito pode ter várias causas, as quais, por sua vez, podem ter diferentes proporções de influência (isto é, coeficientes de determinação) que, somadas, contribuem para a totalidade de certo efeito.

Isso, naturalmente, está longe de ser exato, devendo-se avaliar se as margens de erro são aceitáveis, e daí, portanto, a necessidade de utilização de modelos estatísticos que permitam, em grau adequadamente científico, verificar a existência e a (im)possibilidade de determinação da direção de eventuais relações causais, principalmente quando se considera que há uma absoluta dissensão, entre os pesquisadores, acerca da direção da correlação entre energia e desenvolvimento, seja ele econômico (mais imediato) ou humano (mais mediato, tendo o econômico como variável interveniente).

Embora haja situações extremas conjecturadas cientificamente, as quais indicam um aumento sem precedentes da necessidade energética humana e a absoluta insustentabilidade, com colapso previsto para um futuro próximo, do modelo vigente (cf. a referência ao estudo de 1960 de Freeman Dyson, indicado na seção seguinte), concluiu-se afinal, sempre tendo por base os dados disponíveis, que as previsões podem ser, mantendo-se um adequado nível de cientificidade, menos extremadas.

Todavia, concluiu-se também que de fato há uma clara indicação de que o modelo energético atual global não possui sustentabilidade que ultrapasse o futuro previsível, embora, como atenuante, adiante-se, por pertinência contextual, que também foi verificada uma mudança nos padrões de utilização de energia, com a sensível diminuição da intensidade energética, o que, resumidamente, permite níveis de desenvolvimento crescentes com quantidades de energia que, proporcionalmente, são cada vez menores.

Paralelamente, o estudo dos dados permitiu verificar a existência de um padrão na relação entre utilização de energia primária e utilização de energia elétrica. Esse padrão, que se resume em uma proporção cada vez maior de energia elétrica na composição do total de energia primária, fortalece a afirmação sobre a essencialidade da primeira, a qual se mostra cada vez mais imprescindível ao desenvolvimento.

Na sequência, tendo por base o estudo prévio quanto às relações entre variáveis, por meio do qual se verificou o contínuo aumento do protagonismo da energia elétrica, procuraram-se padrões de utilização de energia elétrica que indicassem, empiricamente, a existência de valores dessa utilização, definíveis quantitativamente e que tivessem relação com valores

também objetivamente quantitativos de IDH. A existência de tais padrões poderia simplificar todo o ciclo das políticas públicas, desde a decisão e proposição, passando pela implementação e execução e até a avaliação. Afinal, conforme apontado por Dye (2013, *passim*), a análise política é muitas vezes limitada por desacordos sobre a natureza dos problemas da sociedade, pela subjetividade na interpretação dos resultados e por limitações do projeto de pesquisa política. E, de fato, parece que haveria muito mais assertividade e efetividade política caso fosse possível definir, implementar e verificar a disponibilização de certo número *per capita* de kWh, do que na proposição relativamente vaga de, por exemplo, “fornecer luz para todos”.

Para melhor adequação científica, procurou-se desafiar, via método hipotético-dedutivo, essa relação entre valor de utilização de energia e IDH, de modo a possibilitar, se fosse o caso, sua falseabilidade (POPPER, 2013, p. 37 et seq.). Concluiu-se pela existência de um valor de utilização médio global, ponderado em razão da intensidade energética, o qual permite a inserção no nível de desenvolvimento humano tido como “muito alto” conforme a metodologia do IDH (isto é, índice igual a ou acima de 0,800) (UNDP, 2015a).

Adicionalmente, verificou-se, na análise dos padrões de utilização de energia elétrica, a existência de pontos de saturação, acima dos quais não parece haver incremento produtivo correspondente à utilização energética. Tais pontos de saturação representam, portanto, o ápice da utilização produtiva dessa energia, o qual é condicionado pelo estado vigente da arte.

A partir de todas as conclusões anteriores, intuiu-se a possibilidade de elaboração de uma fórmula matemática capaz de vincular, de modo adequadamente universal, as variáveis utilização ponderada *per capita* de energia elétrica (UPEE) e IDH. Essa fórmula, simplificada e baseada em função logarítmica, bem como uma opção a ela, ainda mais simplificada, baseada em função potência, foi testada em relação a valores de IDH que cobrem um período de mais de duas décadas em relação a mais de 130 países, de modo a adequadamente proporcionar sua validação. Como consequência, sugere-se sua utilização como ferramenta adjunta ao cálculo do IDH, de modo a proporcionar aos decisores políticos um vislumbre que possa subsidiar, ainda que de modo não cognitivamente exauriente, o processo de decisão quanto à política energética de diferentes países.

Finalmente, e como fundamento primordial a todo o construto desenvolvido instrumentalmente ao longo deste trabalho, procurou-se atingir o objetivo prático e original da pesquisa, o qual está centrado, relembra-se, na discussão acerca da compatibilidade entre o plano nacional de energia ora vigente (o qual vislumbra cenários que alcançam o ano de 2050) e a almejada elevação, em médio prazo, do IDH brasileiro ao *status* “muito alto”.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados dos testes estatísticos e matemáticos, bem como as conclusões deles ultimadas.

4.1 RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS

Os países que compõem o conjunto utilizado nos testes cujos resultados são demonstrados a seguir representaram as 10 maiores economias do mundo conforme o valor absoluto do PIB PPP em 2014, e entre eles o IDH variou, também em 2014, de “médio” a “muito alto”. Nominalmente, está-se a falar, por ordem de valor do PIB, de China (\$ 18,755 trilhões e IDH “alto”, de 0,727), Estados Unidos (\$ 17,419 trilhões e IDH “muito alto”, de 0,915), Índia (\$ 7,384 trilhões e IDH “médio”, de 0,609), Japão (\$ 4,655 trilhões e IDH “muito alto”, de 0,891), Alemanha (\$ 3,757 trilhões e IDH “muito alto”, de 0,916), Rússia (\$ 3,358 trilhões e IDH “alto”, de 0,798), Brasil (\$ 3,275 trilhões e IDH “alto”, de 0,755), Indonésia (\$ 2,676 trilhões e IDH “médio”, de 0,684), França (\$ 2,604 trilhões e IDH “muito alto”, de 0,888) e Reino Unido (\$ 2,597 trilhões e IDH “muito alto”, de 0,907) (WORLD BANK, 2015; UNDP, 2015a). Esses 10 países detiveram, juntos, mais de 60% do PIB PPP mundial em 2014. Os dados utilizados nos testes cobrem o período 1990–2013, sendo este o ano mais recente para o qual há valores publicados de utilização de energia elétrica *per capita*. Quanto ao IDH, dadas as limitações informadas na subseção dedicada ao Índice, utilizou-se média simples para se estimar os valores dos anos em que havia lacunas, algo que, a julgar pelas características do próprio Índice, também informadas na mesma subseção, não parece comprometer a validade das estimativas.

Porém, antes da apresentação dos resultados, convém, uma vez mais, mas de modo definitivo, alertar para o risco da generalização apressada da direção da causalidade, ainda que essa generalização esteja apoiada em métodos estatísticos.

Há um problema que parece ser de interpretação. Afirmar que, preponderantemente, a renda gera utilização de energia elétrica só faria sentido se fosse considerada a agregação de funcionalidade da cadeia produtiva. Por exemplo, certa quantidade de energia é utilizada para fabricar uma lâmpada, que é comprada com recursos que advém da renda nacional, e a utilização contínua dessa lâmpada acaba (espera-se), em certo momento, por demandar mais energia que aquela utilizada na fabricação, e mesmo o valor gasto na compra acaba por ser

ultrapassado pelo valor gasto em energia ao longo de todo o período de vida útil do objeto. Há, assim, um fluxo constante de energia vinculado ao processo.

Embora perfeitamente compreensível e rotineiro, convém lembrar que o exemplo acima diz respeito às coisas práticas da vida, e não ao sentido estrito de energia da física. Neste caso, a utilização de certa quantidade de energia (ou seja, uma quantidade isolada, diferente do fluxo constante acima mencionado) para realizar trabalho (ou seja, a transformação de energia) implica que cada vez menos energia estará disponível para isso no processo, devido ao aumento da entropia. Ou seja, haverá cada vez mais anergia e menos exergia, embora a soma das duas permaneça constante, dada a já citada lei da conservação de energia. Como exemplo, pode-se pensar em um “gerador” de energia elétrica, o qual alimenta um motor, que por sua vez aciona um outro “gerador”, e assim indefinidamente. Como é de se supor, tal cadeia terá seu funcionamento interrompido após alguns estágios, por falta de exergia. Isso porque, pode-se afirmar também categoricamente, a energia fornecida pelo “gerador” subsequente será sempre menor que a do antecedente.

É nesse ponto que se torna complicado estabelecer, mediante cálculos estatísticos, o sentido da causalidade do objeto deste estudo. De modo fundamental, pode-se afirmar que tanto os índices de renda quanto os de desenvolvimento humano dependem da utilização, em níveis adequados, de energia elétrica, embora, dadas as características de encadeamento discutidas acima, a causalidade possa ser apontada, nesses cálculos, como se esses índices fossem causa e a utilização de energia efeito, interpretação que pode fazer sentido no mundo estatístico, mas que, citando uma vez mais Eddington (1929, p. 69), tornaria o mundo externo sem sentido. No fundo, talvez as divergências quanto à causalidade sejam apenas conceituais, isto é, tenham sua gênese no que cada pesquisador quer dizer com “isto causa aquilo”, principalmente quando se considera que há barreiras linguísticas e culturais envolvidas.

Seja como for, parece mais adequado, portanto, dar ênfase estatística não ao sentido da causalidade (que, de qualquer forma, será aqui apresentado), mas à adequabilidade da correlação e da determinação entre as variáveis utilizadas. E, nos casos em que países em diferentes níveis de desenvolvimento apresentem correlações e determinações com forças muito distintas entre si, verificar, tanto quanto possível, o histórico dos países mais desenvolvidos, de modo que sejam reveladas, se existentes, evidências de padrões que já teriam sido ultrapassados por estes países mais desenvolvidos, mas que representam o estágio atual dos menos favorecidos. É o que se apresentará nas tabelas a seguir, as quais apresentam o resumo e a síntese dos testes de regressão estatística.

Tabela 2. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização *per capita* de energia elétrica (UEE pc) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1990-2013.					
Sentido da causalidade: UEE pc → IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,7337038422	0,5007491542	0,8483941444	0,7285030500	0,2132455252
Valor-P (intersecção):	0,0024497600	0,0000000016	0,0000000023	0,0000000000	0,0025373423
F de significação:	0,0000000924	0,0001098782	0,0000000002	0,0000001147	0,0231085827
% resíduos (var. dep.):	1,61%	1,02%	1,12%	1,09%	3,49%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,9254088246	0,9191781883	0,9321982450	0,9714565118	0,5490936042
Valor-P (intersecção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000344412
% resíduos (var. dep.):	1,42%	2,84%	2,51%	1,02%	1,65%
Mundo					
R-quadrado:	0,9712528561				
Valor-P (intersecção):	0,0000000000				Resíduos – média simples: 1,68%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos (var. dep.):	0,72%				
Sentido da causalidade: UEE pc ← IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,7337038422	0,5007491542	0,8483941444	0,7285030500	0,2132455252
Valor-P (intersecção):	0,6816997982	0,1089793799	0,0004679076	0,0004108747	0,0291720270
F de significação:	0,0000000924	0,0001098782	0,0000000002	0,0000001147	0,0231085827
% resíduos (var. dep.):	2,36%	2,57%	2,13%	3,14%	4,20%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,9254088246	0,9191781883	0,9321982450	0,9714565118	0,5490936042
Valor-P (intersecção):	0,0000000012	0,0000000000	0,0000000002	0,0000000000	0,0099711493
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000344412
% resíduos (var. dep.):	3,47%	15,31%	6,61%	5,31%	5,18%
Mundo					
R-quadrado:	0,9712528561				
Valor-P (intersecção):	0,0000000000				Resíduos – média simples: 4,74%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos (var. dep.):	1,85%				
País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	Sim	alta	→	→	
Estados Unidos	Sim	moderada	→	→	
França	Não	muito alta	→	→	
Japão	Não	alta	→	→	
Reino Unido	Não	baixa	→	→	
Brasil	Não	muito alta	→	→	
China	Não	muito alta	→	→	
Índia	Não	muito alta	→	→	
Indonésia	Não	muito alta	→	→	
Rússia	Não	moderada	→	→	
Mundo	Não	muito alta	→	→	

Fonte dos dados primários: UNDP (2015a); WORLD BANK (2015). Tratamento dos dados: o autor.

Observa-se na Tabela 2 que a maior parte dos países, tanto os desenvolvidos quanto os em desenvolvimento, apresentam determinação “muito alta” entre as variáveis, exceção feita aos Estados Unidos e à Rússia (determinação “moderada”) e ao Reino Unido (determinação “baixa”). Os valores de resíduos, bem como os valores-P, indicam unanimemente que o sentido de causalidade (ainda que com todas as reservas feitas anteriormente a essa questão) vai da utilização de energia para o IDH, algo particularmente evidente no caso da China, em que há

grande disparidade nos valores dos resíduos. Também é bastante evidente que os quatro países com IDH mais baixo (Brasil, China, Índia e Indonésia) apresentam coeficientes de determinação mais elevados, acima de 0,9, da mesma forma que o mundo como um todo.

Tabela 3. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização *per capita* de energia primária (UEP pc) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1990-2013.					
Sentido da causalidade: UEP pc → IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,6554787782	0,4125803046	0,0266709654	0,0142249204	0,3564071165
Valor-P (interseção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0010685252	0,0000000366	0,0000000000
F de significação:	0,0000016513	0,0007137231	0,4457645543	0,5788338936	0,0020710977
% resíduos (var. dep.):	1,95%	1,23%	3,23%	2,30%	3,18%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,8944470949	0,9076697006	0,9311315308	0,9658560093	0,1078371539
Valor-P (interseção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000002	0,0000000000	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,1171887568
% resíduos (var. dep.):	1,78%	2,99%	2,47%	1,28%	2,93%
Mundo					
R-quadrado:	0,8387428329				
Valor-P (interseção):	0,1164855936				Resíduos – média simples: 2,26%
F de significação:	0,0000000003				
% resíduos (var. dep.):	1,50%				
Sentido da causalidade: UEP pc ← IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,6554787782	0,4125803046	0,0266709654	0,0142249204	0,3564071165
Valor-P (interseção):	0,0000000000	0,000013529	0,0003750532	0,0615271770	0,0000003852
F de significação:	0,0000016513	0,0007137231	0,4457645543	0,5788338936	0,0020710977
% resíduos (var. dep.):	1,76%	3,06%	3,14%	4,43%	5,43%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,8944470949	0,9076697006	0,9311315308	0,9658560093	0,1078371539
Valor-P (interseção):	0,0000008829	0,0000000011	0,0000050097	0,0000000004	0,9912587062
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,1171887568
% resíduos (var. dep.):	3,52%	9,75%	3,81%	2,33%	7,45%
Mundo					
R-quadrado:	0,8387428329				
Valor-P (interseção):	0,7195341670				Resíduos – média simples: 4,23%
F de significação:	0,0000000003				
% resíduos (var. dep.):	1,86%				
País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	Não	alta	←	←	
Estados Unidos	Não	moderada	→	→	
França	Sim	muito baixa	←	←	
Japão	Sim	muito baixa	→	→	
Reino Unido	Não	baixa	→	→	
Brasil	Não	muito alta	→	→	
China	Não	muito alta	→	→	
Índia	Não	muito alta	→	→	
Indonésia	Não	muito alta	→	→	
Rússia	Sim	muito baixa	→	→	
Mundo	Sim	muito alta	→	→	

Fonte dos dados primários: UNDP (2015a); WORLD BANK (2015). Tratamento dos dados: o autor.

A Tabela 3 demonstra que a determinação entre utilização *per capita* de energia primária e IDH é mais fraca do que no teste antecedente, no qual o Índice de Desenvolvimento

se correlaciona com a utilização *per capita* de energia elétrica. Em relação a três países (França, Japão e Rússia) a estatística chega a indicar que qualquer indício de correlação seria espúrio, situação que também pode ser visualizada quanto aos dados mundiais, considerando-se os valores F de significação e/ou P de interseção muito elevados, a despeito de os resíduos serem, em qualquer caso, relativamente baixos. Quanto aos países em que se identificaram níveis mais elevados de determinação, o sentido preponderante da causalidade é, à semelhança do teste anterior, e de qualquer forma coerente com a observação empírica, de utilização de energia a IDH, exceção feita à Alemanha, embora, neste caso, o critério de diferenciação tenha sido uma sutil diferença nos valores dos resíduos, a qual poderia ser perfeitamente desprezada em termos práticos, ressaltando-se, uma vez mais, as reservas quanto a essa direcionalidade informada nos testes estatísticos. Também de modo semelhante ao primeiro teste, os países mais pobres tendem a apresentar coeficiente de determinação mais elevado.

Tabela 4. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: intensidade energética (IE) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1990-2012.					
Sentido da causalidade: IE → IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,9552259686	0,9890004895	0,8315044478	0,3351627460	0,9498609853
Valor-P (interseção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000014	0,0037983803	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	2,30%	2,29%	2,31%	2,31%	2,30%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,2534809388	0,8015160225	0,9773945474	0,2318557692	0,8145737450
Valor-P (interseção):	0,4651667789	0,0000000000	0,0000000000	0,000000248	0,0000000000
F de significação:	0,0143206324	0,0000000080	0,0000000000	0,0199994472	0,0000000039
% resíduos (var. dep.):	2,33%	2,33%	2,31%	2,34%	2,31%
Mundo					
R-quadrado:	0,9773248707				
Valor-P (interseção):	0,0000000000				Resíduos – média simples: 2,31%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos (var. dep.):	2,30%				
Sentido da causalidade: IE ← IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,9552259686	0,9890004895	0,8315044478	0,3351627460	0,9498609853
Valor-P (interseção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000084727	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000014	0,0037983803	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	2,30%	2,22%	2,33%	2,42%	2,38%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,2534809388	0,8015160225	0,9773945474	0,2318557692	0,8145737450
Valor-P (interseção):	0,0000000001	0,0000000000	0,0000000000	0,0000007069	0,0000000001
F de significação:	0,0143206324	0,0000000080	0,0000000000	0,0199994472	0,0000000039
% resíduos (var. dep.):	2,28%	3,49%	2,31%	2,57%	2,99%
Mundo					
R-quadrado:	0,9773248707				
Valor-P (interseção):	0,0000000000				Resíduos – média simples: 2,50%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos (var. dep.):	2,23%				
País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	Não	muito alta	→	→	
Estados Unidos	Não	muito alta	←	→	
França	Não	muito alta	→	→	
Japão	Não	baixa	→	→	
Reino Unido	Não	muito alta	→	→	
Brasil	Sim	baixa	←	←	
China	Não	muito alta	→	→	
Índia	Não	muito alta	←	→	
Indonésia	Não	baixa	→	→	
Rússia	Não	muito alta	→	→	
Mundo	Não	muito alta	←	→	

Fonte dos dados primários: UNDP (2015a); WORLD BANK (2015). Tratamento dos dados: o autor.

A premissa básica do modelo teórico proposto por Freeman Dyson (1960) é de que quanto mais evoluída a sociedade, mais energia ela utilizaria²³. De fato, parece existir uma forte

²³ Dyson teorizou de modo extremo, vislumbrando uma situação, aproximadamente três mil anos no futuro, na qual tanto a população humana quanto o uso de energia atingiriam a própria impossibilidade física do planeta, a qual implicaria a busca por matéria e energia fora da Terra. Cf. DYSON, F. J. Search for Artificial Sources of Infrared Radiation. *Science* **131**: 1667-1668, 1960. Disponível em: <https://goo.gl/hOh6dS>. Acesso em: 6 fev. 2016.

correlação linear entre a quantidade de energia *per capita* utilizada em uma sociedade e desenvolvimento econômico correspondente (SMIL, 2003, p. 68). Isto é, se o desenvolvimento econômico de um país é, em relação a outros países, comparativamente elevado, geralmente mais energia *per capita* é utilizada nesse país, algo que restou demonstrado na apresentação das obras que compuseram a revisão de literatura deste trabalho.

Essa correlação é frequentemente descrita por meio da intensidade energética, que, relembra-se, relaciona o uso de energia (em unidades como o joule ou o watt-hora, bem como seus múltiplos) e o Produto Interno Bruto (PIB) obtido com essa utilização (GRÜBLER, 2005, p. 174).

Observa-se, da definição, que o ideal é a menor intensidade energética possível, ou seja, a agregação de mais valor ao PIB mediante menos utilização de energia, tanto quanto possível. E, embora seja possível (e mesmo, conforme o caso, desejável) a mensuração da intensidade apenas em relação à energia elétrica, em relação ao PIB utiliza-se normalmente a intensidade referente à energia primária, pois se está a tratar de valores globais.

Nesse ponto, destaca-se a importância da consideração da intensidade energética na análise. Primeiro, porque uma das componentes do IDH é a renda, a qual se vincula diretamente ao crescimento econômico. Segundo, porque a relação entre utilização de energia (especialmente a primária) e PIB nem sempre é linear – um país pode ter um PIB relativamente alto e uma demanda energética relativamente baixa se, por exemplo, suas indústrias forem mais eficientes na transformação e na utilização de energia e recursos energéticos. Além disso, a intensidade também está condicionada ao modelo produtivo predominante em cada local – a indústria de produção de alumínio, por exemplo, demanda uma utilização comparativamente alta de energia elétrica (SCHMITZ, 2006, p. 26); do mesmo modo, locais que sejam, em média, muito frios ou muito quentes, inevitavelmente utilizarão, se disponível e economicamente viável, energia para acionar, respectivamente, sistemas de aquecimento e de refrigeração; ainda, exportadores de *commodities* utilizarão mais ou menos energia conforme a distância que os separa dos importadores, pois o transporte também depende de energia (MOAN; SMITH, 2007, p. 43).

Tudo considerado, observa-se, na Tabela 4, que a correlação entre intensidade energética e IDH se mostra espúria apenas no caso do Brasil. Mesmo que assim não fosse, a determinação neste caso seria “baixa”, tal como se deduz dos números do Japão e da Indonésia. Todos os demais países apresentam determinação “muito alta”, sempre com níveis baixos de resíduos, de valor-P e de F de significação. Novamente, os sentidos direcionais foram definidos por diferenças muito sutis, não sendo possível concluir categoricamente tal especificação.

Considerando-se a disponibilidade de dados, o período coberto neste teste foi 1990-2012, e não 1990-2013.

Tabela 5. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: Renda Nacional Bruta *per capita* (RNB pc) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ambos os sentidos.

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1990-2013.					
Sentido da causalidade: RNB pc → IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,9423995806	0,9876768053	0,9347530254	0,9458979858	0,9508061810
Valor-P (intersecção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	0,86%	0,16%	0,86%	0,54%	0,91%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,8858650409	0,9186194949	0,9491132008	0,8651304117	0,9829833165
Valor-P (intersecção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	1,90%	2,78%	2,05%	2,50%	0,37%
Mundo					
R-quadrado:	0,9772642085				
Valor-P (intersecção):	0,0000000000				Resíduos – média simples: 1,24%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos (var. dep.):	0,67%				
Sentido da causalidade: RNB pc ← IDH					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,9423995806	0,9876768053	0,9347530254	0,9458979858	0,9508061810
Valor-P (intersecção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	5,60%	2,20%	5,79%	3,83%	5,14%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,8858650409	0,9186194949	0,9491132008	0,8651304117	0,9829833165
Valor-P (intersecção):	0,0000000016	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000047	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	7,93%	17,26%	8,96%	11,87%	6,00%
Mundo					
R-quadrado:	0,9772642085				
Valor-P (intersecção):	0,0000000000				Resíduos – média simples: 7,14%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos (var. dep.):	3,99%				
País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	Não	muito alta	→	→	
Estados Unidos	Não	muito alta	→	→	
França	Não	muito alta	→	→	
Japão	Não	muito alta	→	→	
Reino Unido	Não	muito alta	→	→	
Brasil	Não	muito alta	→	→	
China	Não	muito alta	→	→	
Índia	Não	muito alta	→	→	
Indonésia	Não	muito alta	→	→	
Rússia	Não	muito alta	→	→	
Mundo	Não	muito alta	→	→	

Fonte dos dados primários: UNDP (2015a); WORLD BANK (2015). Tratamento dos dados: o autor.

A variável RNB *per capita* apresenta, incontrovertidamente, elevado coeficiente de determinação estatística em relação à variável IDH – em todos os países do conjunto a determinação é “muito alta”. Mais que isso, os valores-P e F de significação são virtualmente

zerados em todo o conjunto amostral, no qual a direcionalidade, que resta decidida pelos valores dos resíduos, é suficientemente clara, apontando da RNB para o IDH, o que, aliás, está em linha com aquilo que é empiricamente esperado.

Porém, o que convém destacar nesse ponto – algo que inclusive norteia, em grande parte, este trabalho – são os valores de determinação absolutos desse conjunto, em comparação com aqueles informados previamente, na Tabela 2, na qual se utilizou, no lugar da variável renda, a variável utilização de energia elétrica. A comparação é relevante. Afinal, observa-se que a determinação é mais forte com a variável utilização de energia elétrica do que com a variável renda nacional bruta em três dos quatro países mais pobres do grupo (Brasil, China e Indonésia) – respectivamente, 0,925 contra 0,885, 0,919 contra 0,918 e 0,971 contra 0,865. E, no quarto país (Índia) do subgrupo dos mais pobres, a diferença não é acentuada – 0,932 contra 0,949. Em todos os casos, os valores dos resíduos são muito baixos (marginalmente mais baixos quando se usa a variável relacionada à energia elétrica, variável que, igualmente à da renda, também retorna valores-P e F de significação zerados). No resultado mundial, qualquer um dos dois testes indicam determinação na casa do 0,97, valores-P e F de significação zerados e resíduos muito baixos e muito próximos entre si (0,67% na variável renda e 0,72 na variável energia elétrica).

Isso suscita a seguinte questão: se em qualquer caso a RNB *per capita* apresenta, tanto nos países mais ricos quanto nos mais pobres, coeficiente de determinação muito elevado, como variável independente, em relação ao IDH, e se nos países mais pobres a determinação é ainda mais forte quando se substitui a variável RNB *per capita* pela UEE *per capita*, estaria esta última variável induzindo, nesses países pobres, a variável RNB? A resposta a essa questão foi o objeto de análise do teste estatístico seguinte.

Tabela 6. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização *per capita* de energia elétrica (UEE pc) e Renda Nacional Bruta *per capita* (RNB pc), ambos os sentidos.

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1990-2013.

Sentido da causalidade: UEE pc → RNB pc

	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,7108345328	0,5271179515	0,6898792934	0,6008467838	0,1632486339
Valor-P (intersecção):	0,0000103600	0,0009544912	0,0001033242	0,0046240297	0,3063454253
F de significação:	0,0000002320	0,0000591681	0,0000005075	0,0000086618	0,0502150069
% resíduos (var. dep.):	11,39%	13,54%	11,20%	9,67%	21,91%

	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,9703972232	0,9972777668	0,9910792978	0,9377186937	0,5651558339
Valor-P (intersecção):	0,0000000009	0,0000000015	0,0000000000	0,0158483821	0,0006009193
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000228221
% resíduos (var. dep.):	3,59%	3,18%	3,94%	7,96%	24,95%

Mundo

R-quadrado:	0,9950823291
Valor-P (intersecção):	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	1,89%

Resíduos – média simples: 10,29%

Sentido da causalidade: UEE pc ← RNB pc

	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,7108345328	0,5271179515	0,6898792934	0,6008467838	0,1632486339
Valor-P (intersecção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
F de significação:	0,0000002320	0,0000591681	0,0000005075	0,0000086618	0,0502150069
% resíduos (var. dep.):	2,45%	2,46%	3,17%	3,90%	4,44%

	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,9703972232	0,9972777668	0,9910792978	0,9377186937	0,5651558339
Valor-P (intersecção):	0,0000000000	0,0000000002	0,0000000000	0,2024010449	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000228221
% resíduos (var. dep.):	2,23%	2,71%	2,46%	8,76%	4,99%

Mundo

R-quadrado:	0,9950823291
Valor-P (intersecção):	0,0000000000
F de significação:	0,0000000000
% resíduos (var. dep.):	0,78%

Resíduos – média simples: 3,48%

País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	Não	alta	←	←	
Estados Unidos	Não	moderada	←	←	
França	Não	alta	←	←	
Japão	Não	alta	←	←	
Reino Unido	Sim	muito baixa	←	←	
Brasil	Não	muito alta	←	←	
China	Não	muito alta	←	←	
Índia	Não	muito alta	←	←	
Indonésia	Sim	muito alta	→	→	
Rússia	Não	moderada	←	←	
Mundo	Não	muito alta	←	←	

Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015). Tratamento dos dados: o autor.

A Tabela 6 apresenta coeficientes de determinação entre variáveis “muito altos” nos quatro países mais pobres e no mundo, algo que não se repete nos países mais ricos, cujo representante com maior coeficiente – a Alemanha – alcança apenas 0,71, enquanto, no Reino Unido, eventual determinação/correlação seria mesmo considerada espúria. Os valores-P e F de significação são, à exceção da Indonésia, praticamente zerados nos países mais pobres, e os resíduos, igualmente baixos em qualquer situação, tendem a apontar a direcionalidade no

sentido RNB à UEE, ainda que de forma muito sutil. Cumpre discutir brevemente, aqui, a mencionada exceção representada pela Indonésia: nesse caso, a atribuição do sentido RNB à UEE tornaria a relação espúria, devido ao valor-P relativamente alto nessa situação, o que parece indicar que as direcionalidades, decididas por sutis diferenças, devem ser tomadas, de fato, como de UEE à RNB. Cumpre, adicionalmente, destacar que China e Índia apresentaram determinação acima de 0,990 – próxima, portanto, de determinação “perfeita” –, com o Brasil e a Indonésia não muito atrás – respectivamente, 0,970 e 0,937. É possível, assim, argumentar que nesses países mais pobres a variável renda atua de forma interveniente. Nesse conjunto de países e de variáveis, a variável independente seria a utilização *per capita* de energia elétrica, a qual induziria a variável renda, que, por sua vez, induziria a variável IDH.

Porém, seria conveniente tentar falsear tal hipótese. Uma maneira de se tentar esse falseamento seria observar o comportamento pretérito dos países mais ricos, em um período no qual eles não fossem “tão ricos”, considerando-se que o processo de enriquecimento, o qual trouxe a reboque melhorias no IDH (ou, de forma mais precisa, no desenvolvimento humano, mesmo antes da criação do Índice), está fortemente atrelado à produção, a qual, por sua vez, foi grandemente aumentada nos últimos 100 anos.

Infelizmente, conforme já se afirmou, as séries publicizadas do IDH mal cobrem seu período de existência, embora certamente seja possível – inclusive já foi feita oficialmente, pela própria ONU, nos relatórios do índice de 1991 e de 2014 (UNDP, 1991, p. 97; 2014a, p. 164 et seq.) – a estimativa de IDH para períodos antecedentes à própria vigência do Índice (a subseção seguinte deste trabalho se utiliza dessas estimativas, relativas a 1980). O problema está na falta de acesso aos dados que servem de base ao Índice, conforme já se comentou em tópico específico.

Contudo, conforme se deduziu dos testes estatísticos anteriores, a variável renda, tida em certas situações como interveniente, pode fornecer uma estimativa aproximada, ainda que pela via indireta. No caso, seriam comparados os resultados obtidos com os valores (relativamente) atuais – os quais, como se viu, cobrem o período 1990-2013 – e aqueles referentes a períodos mais antigos. Mas, novamente, os valores de RNB *per capita* estão disponíveis apenas em relação ao período igual e posterior a 1990. Há uma solução relativamente satisfatória à falta desses dados: há valores disponíveis, mais antigos (alcançando, em alguns casos, o início da década de 1960), do PIB *per capita* em valores atuais (não PPP, o que pode ocasionar algumas distorções). Quanto aos valores de utilização de energia elétrica, também alcançam, em muitos casos, o mesmo período que o PIB *per capita*. Tudo considerado, procedeu-se, então, aos testes seguintes, com o objetivo de se verificar e comparar o

comportamento estatístico, dos países desenvolvidos, nos períodos 1990-2013, 1960-1983 e 1960-1973, utilizando-se as variáveis utilização *per capita* de energia elétrica e PIB *per capita*.

Tabela 7. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização *per capita* de energia elétrica (UEE pc) e Produto Interno Bruto *per capita* (PIB pc), ambos os sentidos.

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1990-2013					
Sentido da causalidade: UEE pc → PIB pc					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,5379708216	0,5304348755	0,4689901656	0,1667318224	0,1238511486
Valor-P (interseção):	0,0014853455	0,0009871392	0,0109509432	0,6797392545	0,3896484826
F de significação:	0,0000454300	0,0000546115	0,0002226915	0,0476004283	0,0917036753
% resíduos (var. dep.):	14,13%	13,09%	15,92%	10,57%	26,57%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,7930030736	0,9594696079	0,9624069597	0,7780281468	0,5566151009
Valor-P – interseção:	0,0000044169	0,0000014638	0,0000000005	0,0194672762	0,0003044488
F de significação:	0,0000000056	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000121	0,0000284546
% resíduos var. dep.:	22,24%	15,53%	8,73%	29,06%	37,43%
Mundo					
R-quadrado:	0,9678940978				
Valor-P – interseção:	0,0000000000				Resíduos – média simples: 18,00%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos var. dep.:	4,70%				
Sentido da causalidade: UEE pc ← PIB pc					
	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:	0,5379708216	0,5304348755	0,4689901656	0,1667318224	0,1238511486
Valor-P (interseção):	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000314	0,0000000000
F de significação:	0,0000454300	0,0000546115	0,0002226915	0,0476004283	0,0917036753
% resíduos (var. dep.):	3,11%	2,46%	4,21%	5,40%	4,55%
	Brasil	China	Índia	Indonésia	Rússia
R-quadrado:	0,7930030736	0,9594696079	0,9624069597	0,7780281468	0,5566151009
Valor-P – interseção:	0,0000000000	0,0000000037	0,0000000000	0,0000025181	0,0000000000
F de significação:	0,0000000056	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000121	0,0000284546
% resíduos var. dep.:	6,71%	10,72%	4,43%	18,11%	5,06%
Mundo					
R-quadrado:	0,9678940978				
Valor-P – interseção:	0,0000000000				Resíduos – média simples: 6,07%
F de significação:	0,0000000000				
% resíduos var. dep.:	1,97%				
País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	Não	moderada	←	←	
Estados Unidos	Não	moderada	←	←	
França	Não	moderada	←	←	
Japão	Sim	muito baixa	←	←	
Reino Unido	Sim	muito baixa	←	←	
Brasil	Não	alta	←	←	
China	Não	muito alta	←	←	
Índia	Não	muito alta	←	←	
Indonésia	Não	alta	←	←	
Rússia	Não	moderada	←	←	
Mundo	Não	muito alta	←	←	

Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015). Tratamento dos dados: o autor.

A Tabela 7 indica coeficientes de determinação entre variáveis “muito altos” ou “alto” (neste caso, referente à Indonésia) nos quatro países mais pobres e no mundo, algo que não se repete em relação aos demais países, cujos coeficientes indicam determinação “moderada” ou

“baixa”, e inclusive com correlação que, nos casos do Japão e do Reino Unido, pode ser considerada espúria. Os resíduos tendem a apontar a direcionalidade no sentido PIB pc à UEE pc, e, de modo geral, pode-se afirmar que os resultados deste teste indicam relativo alinhamento com aquele no qual a variável RNB pc foi utilizada no lugar do PIB pc. Resta, assim, conforme se adiantou, verificar o comportamento histórico mais pretérito dos países desenvolvidos, para os quais há dados disponíveis. Os resultados são apresentados na próxima tabela.

Tabela 8. Regressão estatística – resumo e síntese. Variáveis: utilização *per capita* de energia elétrica (UEE pc) e Produto Interno Bruto *per capita* (PIB pc), ambos os sentidos (períodos 1960-1973 e 1960-1983).

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1960-1973.

Sentido da causalidade: UEE pc → PIB pc

	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:		0,9922856511	0,9243212175	0,9217787370	0,8504063924
Valor-P (interseção):		0,0266186762	0,0007444939	0,0020866977	0,0557427296
F de significação:		0,0000000000	0,0000000438	0,0000000535	0,0000027081
% resíduos (var. dep.):		1,65%	7,64%	13,48%	8,06%
		Resíduos – média simples:			7,71%

Sentido da causalidade: UEE pc ← PIB pc

	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:		0,9922856511	0,9243212175	0,9217787370	0,8504063924
Valor-P (interseção):		0,0108617029	0,0000022289	0,0000198336	0,0005134624
F de significação:		0,0000000000	0,0000000438	0,0000000535	0,0000027081
% resíduos (var. dep.):		1,54%	5,05%	9,29%	5,77%
		Resíduos – média simples:			5,42%

País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	
Estados Unidos	Não	muito alta	←	←	
França	Não	muito alta	←	←	
Japão	Não	muito alta	←	←	
Reino Unido	Sim	muito alta	←	←	

Estatística de regressão – resumo dos resultados. Intervalo de confiança: 95%. Período: 1960-1983.

Sentido da causalidade: UEE pc → PIB pc

	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:		0,7996012198	0,9274029720	0,8099370598	0,4884643885
Valor-P (interseção):		0,0008239922	0,0000001500	0,0003438787	0,0113109553
F de significação:		0,0000000039	0,0000000000	0,0000000022	0,0001450989
% resíduos (var. dep.):		19,60%	15,45%	33,40%	40,92%
		Resíduos – média simples:			27,34%

Sentido da causalidade: UEE pc ← PIB pc

	Alemanha	Estados Unidos	França	Japão	Reino Unido
R-quadrado:		0,7996012198	0,9274029720	0,8099370598	0,4884643885
Valor-P (interseção):		0,0000000017	0,0000000000	0,0000000016	0,0000000000
F de significação:		0,0000000039	0,0000000000	0,0000000022	0,0001450989
% resíduos (var. dep.):		10,90%	8,01%	15,84%	12,22%
		Resíduos – média simples:			11,74%

País	Relação espúria	Determinação	Sentido – Resíduos	Sentido – Valor-P	Estatística de regressão – indicadores
Alemanha	sem dados	sem dados	sem dados	sem dados	
Estados Unidos	Não	alta	←	←	
França	Não	muito alta	←	←	
Japão	Não	muito alta	←	←	
Reino Unido	Não	moderada	←	←	

Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015). Tratamento dos dados: o autor.

Observa-se nos resultados dispostos na Tabela 8 que, de fato, os países mais ricos experimentaram, no passado um pouco mais distante, correlação e determinação mais fortes entre as variáveis UEE pc e PIB pc. A força desses coeficientes parece ser mais intensa à medida que o período considerado é mais pretérito, a julgar pela comparação entre os períodos 1960-1973 e 1960-1983.

No primeiro deles, Estados Unidos, França e Japão apresentaram coeficiente de determinação acima de 0,920, com destaque para o país americano, cujo coeficiente foi de 0,992. Mesmo o Reino Unido apresentou coeficiente “muito alto” – 0,850. O conjunto de resultados indica direcionalidade do PIB pc à UEE pc, ainda que de modo não ostensivo, havendo, na direcionalidade oposta e em relação ao Reino Unido, indicação de relação espúria, embora de modo também sutil, considerando-se o valor-P relativamente elevado.

Já o segundo período, que contempla dados que alcançam uma década além do primeiro (1960-1983), demonstra que, exceção feita à França, a correlação e a determinação diminuíram acentuadamente em relação ao período anterior: de 0,992 para 0,799 no caso estadunidense, de 0,921 para 0,809 no caso japonês e de 0,850 para 0,488 no caso do Reino Unido.

Observa-se, assim, por meio dessas duas séries temporais pretéritas, que os países desenvolvidos também possuíram, há algumas décadas, correlação e determinação “muito altas” entre as variáveis UEE pc e PIB pc, o que sugere que a vinculação representa um estágio no processo de desenvolvimento. A situação atual desses países parece indicar, portanto, a existência de pontos de saturação na utilização de energia, acima dos quais a utilização adicional não tende a agregar desenvolvimento econômico correspondente.

Tal situação pode estar associada à superfluidade, a qual é característica, embora não obrigatória, da superabundância. Além disso, convém ponderar que é o estado da arte que define o nível de utilização não supérfluo, seja ele mais expressivo ou mais retraído – no primeiro caso, novos produtos podem implicar maior demanda energética; no segundo, novos métodos relacionados a produtos existentes podem significar menor utilização de energia para uma mesma finalidade. Isso parece indicar, portanto, que a eventual adoção da utilização *per capita* de energia elétrica como ferramenta de previsão do IDH deverá, provavelmente, realizar-se mediante função não linear e logarítmica, à semelhança do que ocorre atualmente com o indicador RNB *per capita* e do que ocorreu com o TAI, apresentado no Relatório do Índice de 2001 (UNDP, 2001), de modo a atenuar sua influência no Índice à medida que valores mais elevados de utilização sejam atingidos. Para corroborar tal proposição, porém, faz-se necessária a verificação mais apurada com vistas à comprovação dessa situação de saturação, bem como,

se for o caso, a adequada determinação dos valores de saturação, o que será feito ainda nesta seção.

Por hora, a análise estatística da subseção anterior demonstrou, de forma relativamente incontroversa, as correlações entre utilização de energia elétrica, crescimento econômico e desenvolvimento humano, mas elas são meramente instrumentais, indicativas de um caminho a ser percorrido, e permitem apenas um vislumbre, em termos quantitativos, da quantidade adequada de energia em cada local. Essa quantificação, parece, pode ser feita matematicamente (sem que se recorra à estatística), a partir da comparação direta de dados empíricos, e seu cálculo é fundamental ao objetivo prático deste trabalho.

Pretende-se, assim, considerando-se a essencialidade da energia elétrica, estimar os valores de utilização *per capita* necessários, em uma base comparativa, ao alcance e à manutenção de desenvolvimento humano tido como muito elevado, o qual deve ser o objetivo das políticas públicas de todos os países. A determinação desses valores deverá se comprovar, em uma confluência final, com os possíveis pontos de saturação anteriormente teorizados, acima dos quais não haveria incremento de desenvolvimento, tanto econômico quanto humano.

Utilizou-se para a comparação dos dados empíricos o grupo das 10 maiores economias²⁴ do mundo em valores absolutos, já familiar neste trabalho, o que alcança países “ricos” e “pobres”, mas todos com economias relativamente diversificadas, embora algumas estejam, conforme já se viu, há muito sedimentadas, e outras, ao contrário, ainda se encontrem em desenvolvimento. Os valores informados quanto à utilização de energia elétrica são, em todos os casos, mensais e *per capita*.

Quanto aos países mais pobres, cumpre destacar alguns dados das duas maiores economias entre os países mais pobres (e que também são, no caso, a primeira e a terceira maiores de todo o grupo). Trata-se da Índia, país que possuía, em 1980, uma população de aproximadamente 697 milhões de pessoas, e da China, que alcançava, no mesmo ano, a marca de cerca de 981 milhões de indivíduos – população, portanto, 40% maior. Em 2013 a população chinesa ultrapassou 1,357 bilhão de pessoas, e a indiana, 1,279 bilhões (CIA, 2016). A diferença, portanto, reduziu-se a apenas 6%. A utilização *per capita* mensal de energia elétrica no período subiu, na Índia, de 12 kWh para 64 kWh (WORLD BANK, 2015), o que representa, considerando-se a evolução populacional do período, um aumento absoluto nada desprezível

²⁴ Exceto pela Rússia, para a qual não há dados relativos a 1980, os países do terceiro grupo apresentaram a seguinte evolução média anual do IDH no período 1980-2013: China (1,62%), Índia (1,41%), Indonésia (1,14%), Brasil (0,95%), Alemanha (0,64%), França (0,62%), Reino Unido (0,59%), Japão (0,43%) e Estados Unidos (0,31%). A Rússia apresentou, no período 1990-2013, a média anual de 0,28%.

na oferta dessa energia, da ordem de quase dez vezes. Porém, na China, considerando-se os valores já mencionados, a oferta de energia aumentou, no mesmo período, 18,48 vezes, o que certamente relativiza, para baixo, o aumento indiano.

Em termos práticos, a utilização *per capita* ainda é, na Índia, muito baixa, o que certamente não contribui para o aumento do IDH do país. Se na China o índice evoluiu, numericamente, no período de 1980 a 2013, de 0,423 para 0,719, na Índia a evolução foi, no mesmo período, de 0,369 para 0,586, com o país mal alcançando o *status* de IDH “médio” (UNDP, 2014), o que aponta, uma vez mais, para a necessidade não apenas de disponibilização de energia elétrica, mas de níveis adequados de oferta. Destaque-se que, mesmo no caso chinês, não há quaisquer indícios da existência de pontos de saturação na utilização de energia – algo perfeitamente esperado, dada a curva de crescimento ascendente que o país experimenta e seus números *per capita* que, devido à enorme população, ainda são moderados.

É apenas no subgrupo dos países mais desenvolvidos que as séries históricas apontam para picos de valores de utilização *per capita* mensal de energia elétrica, sendo recorrentes os valores entre 500 e 700 kWh (WORLD BANK, 2015). Assim ocorre na Alemanha, na França, no Reino Unido e no Japão. Os Estados Unidos estão apartados desses outros quatro países muito desenvolvidos por dois motivos, os quais estão diretamente ligados entre si.

O primeiro motivo diz respeito ao IDH. O gigante americano já possuía, em 1980, IDH de 0,825, firmemente²⁵ mantido no nível de desenvolvimento humano tido atualmente como “muito alto”. Os outros quatro países possuíam, no mesmo ano, IDH “alto” – respectivamente, 0,739, 0,722, 0,735 e 0,772 (UNDP, 2014a).

O segundo motivo está na utilização *per capita* de energia elétrica. Em 1980 esses quatro países apresentavam utilizações mensais que variavam entre 367 kWh (França) e 483 kWh (Alemanha). À mesma época os Estados Unidos já estavam na casa dos 822 kWh, a despeito de contar com uma população que já somava mais de 227 milhões de pessoas (o Japão, segundo mais populoso entre os cinco, chegava, em 1980, perto dos 117 milhões). Seria preciso voltar ao distante 1962 para encontrar, nos Estados Unidos, valor de utilização semelhante ao da França, e a 1967, para compará-lo à Alemanha (WORLD BANK, 2015; CIA, 2016). Daí se

²⁵ Por “firmemente” entenda-se, aqui, relativamente afastado da linha limítrofe entre níveis, considerando-se o inerente aumento da dificuldade em, estando já no alto, ir além. Isso ocorre porque, à medida que se cresce, as margens de crescimento tornam-se, naturalmente, cada vez menores, pois mais próximas de limites superiores que são consideravelmente baixos (principal aspecto). Além disso, convém ter em mente que, num exemplo hipotético, partindo-se de 1/5 do valor máximo possível a todas as componentes do Índice, deve-se duplicar os valores de todas elas para se atingir um IDH 65,7% maior, triplicar os valores para que o acréscimo seja de 122,11%, quadruplicar para que seja 173% maior e quintuplicar para que se atinja o valor máximo de IDH.

afirmar, e já há muito tempo, que a disponibilidade de energia barata é parte da autoimagem estadunidense (GERI; MCNABB, 2011, xxviii).

Não por acaso, portanto, o IDH estadunidense ser, em 1980, consideravelmente mais elevado que os dos países desenvolvidos europeus e asiático. Contudo, a partir de 2008, após um longo período de *catching-up*, a Alemanha igualou tecnicamente o desempenho dos Estados Unidos no IDH (Alemanha: 0,902; Estados Unidos: 0,905) (UNDP, 2008). Por essa altura a utilização *per capita* mensal de energia elétrica havia se estabilizado no país americano, após atingir um pico de 1.142 kWh em 2005, e passou mesmo a apresentar um leve declínio, com média de 1.108 kWh nos oito anos seguintes. A Alemanha, nesses mesmos oito anos (2006 a 2013), apresentou uma média, também estabilizada, de 595 kWh, estabilização que também ocorreu em relação à França (média de 622 kWh), ao Reino Unido (média de 479 kWh) e ao Japão (média de 670 kWh) (WORLD BANK, 2015) – todos os cinco países apresentam inflexões e então estabilizações a partir de 2005 – época que coincide com a da Grande Recessão.

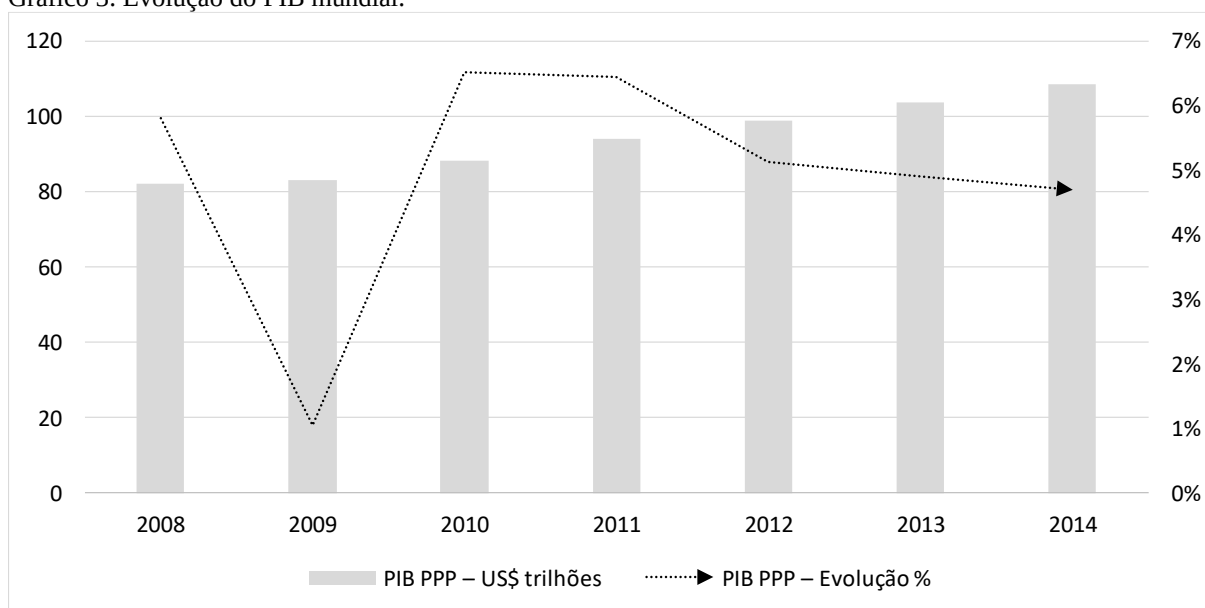
Isso poderia levar à seguinte leitura: a recessão comprometeu o desempenho econômico dos países e, como consequência, levou à diminuição da utilização de energia. A interpretação, contudo, seria facilmente desafiada. Isso porque, a despeito dos evidentes efeitos da crise econômica, não houve, de fato, perda considerável nos valores dos PIB PPP em dólares atualizados (assim calculados para se evitar o efeito da inflação e as disparidades regionais causadas, por exemplo, por interferências no mercado). Os valores dos PIB referentes ao período 2008-2014 são os seguintes: Estados Unidos: 14,72 trilhões em 2008; 14,42 trilhões em 2009; 14,96 trilhões em 2010; 15,52 trilhões em 2011; 16,16 trilhões em 2012; 16,77 trilhões em 2013 e 17,42 trilhões em 2014. Alemanha: 3,16 trilhões em 2008; 3,04 trilhões em 2009; 3,24 trilhões em 2010; 3,45 trilhões em 2011; 3,50 trilhões em 2012; 3,63 trilhões em 2013 e 3,76 trilhões em 2014. França: 2,27 trilhões em 2008; 2,25 trilhões em 2009; 2,33 trilhões em 2010; 2,44 trilhões em 2011; 2,46 trilhões em 2012; 2,58 trilhões em 2013 e 2,60 trilhões em 2014. Reino Unido: 2,33 trilhões em 2008; 2,26 trilhões em 2009; 2,25 trilhões em 2010; 2,31 trilhões em 2011; 2,39 trilhões em 2012; 2,51 trilhões em 2013 e 2,60 trilhões em 2014. Japão: 4,29 trilhões em 2008; 4,08 trilhões em 2009; 4,32 trilhões em 2010; 4,39 trilhões em 2011; 4,55 trilhões em 2012; 4,67 trilhões em 2013 e 4,65 trilhões em 2014 (WORLD BANK, 2015).

Ou seja, apenas em 2009 houve ligeira retração, a qual foi mais do que compensada nos anos seguintes, o que invalida a hipótese de que o declínio na utilização *per capita* de energia elétrica tenha sido causado, nos países em questão, pela retração do PIB advinda da

Grande Recessão. O fato corrobora, isso sim, a hipótese de saturação na utilização de energia, compondo cenários em que o aumento da disponibilização não significaria automaticamente maior utilização, a qual encontra limite no estado da arte e nas particularidades da cadeia produtiva de cada local. De fato, os pontos de inflexão dessas cinco economias, quanto à utilização de energia elétrica, não foram sequer coincidentes, ainda que, conforme se adiantou, estabilizados em relação aos anos no entorno: Estados Unidos, conforme mencionado, 1.142 kWh em 2005; Alemanha, 606 kWh em 2012; França, 645 kWh em 2010; Reino Unido, 523 kWh em 2005; Japão, 706 kWh em 2007.

Por oportuno, também se deve mencionar, ainda que de passagem, que o mundo como um todo não experimentou retração do PIB nem mesmo no auge da crise, em 2008/2009, mas apenas um crescimento nitidamente menos exuberante em relação aos anos anteriores – de 2004 para 2005, 8,15%; de 2005 para 2006, 9,6%; de 2006 para 2007, 8,4%; de 2007 para 2008, 5,81%; de 2008 para 2009, 1,05%; de 2009 para 2010, 6,52%; de 2010 para 2011, 6,44%; de 2011 para 2012, 5,14%; de 2012 para 2013, 4,91%; de 2013 para 2014, 4,7% (WORLD BANK, 2015) (Gráfico 3). Em termos globais, portanto, a Grande Recessão parece adequadamente enquadrada na definição espirituosa de Lemieux (2013, p. 145) – “Uma recessão é uma situação em que você quer mais cerveja e seu vizinho quer mais pão, mas nenhum de vocês produz mais porque não confia que o outro honrará sua parte do trato.” Ou seja, houve desaceleração no crescimento econômico, mas, ainda assim, houve crescimento, o que é fundamentalmente diferente de uma situação de decrescimento, a qual configuraria, técnica e estritamente, recessão, para a qual se exigem dois ou mais trimestres consecutivos de crescimento negativo do PIB (FRANK; BERNANKE, 2012, p. 630).

Gráfico 3. Evolução do PIB mundial.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

Contudo, há algo mais importante a ser destacado, em relação às economias desenvolvidas, além da possível saturação da utilização de energia elétrica. Trata-se de algo que pode explicar, ao menos em parte, essa saturação, e que, adicionalmente, pode explicar por que a diminuição na utilização de energia, após a saturação, não afetou o PIB dos países em questão – ao contrário, os PIB continuaram em rota ascendente. A explicação servirá, ainda, para corroborar a essencialidade da energia elétrica e sua precedência sobre as outras formas de energia.

A questão toda tem a ver com dois fatores – a já discutida intensidade energética, isto é, a relação entre a quantidade de energia primária necessária à geração de uma unidade do PIB, e a relação de proporção entre utilização de energia primária e utilização de energia elétrica.

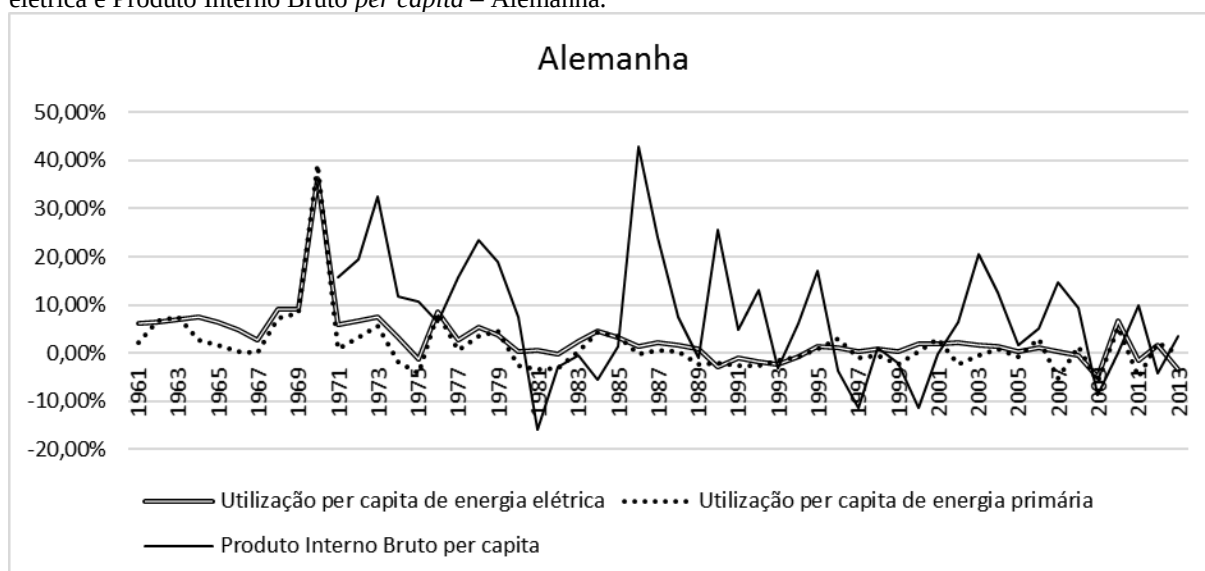
Quanto ao primeiro fator se observa, pela definição acima, que, ao se diminuir a intensidade energética, torna-se possível a manutenção do PIB, ou mesmo seu crescimento (inclusive considerando-se a mensuração *per capita*; observe-se no Gráfico 3 que as taxas de crescimento são em geral maiores que as da evolução populacional mundial), ainda que com uma menor utilização de energia. Aliás, quando os cálculos consideram a intensidade energética, observa-se que a diferença nos valores de utilização *per capita* de energia dos Estados Unidos em relação aos seus pares desenvolvidos é bem menos expressiva. Isso porque o país norte-americano possui intensidade energética comparativamente elevada, ainda que, à semelhança dos outros países do grupo, em constante declínio – 32% maior que a do Japão, 58% maior que a do Reino Unido, 26% maior que a da França e 45% maior que a da Alemanha.

Quanto ao segundo fator, deve-se verificar qual o comportamento assimilado pela utilização de energia elétrica ante as variações da intensidade energética. É o que será feito a seguir.

4.2 EVOLUÇÃO DO PIB E DA UTILIZAÇÃO *PER CAPITA* DE ENERGIA PRIMÁRIA E ELÉTRICA

Conforme se afirmou na subseção anterior, a regra tem sido o crescimento contínuo do PIB PPP *per capita* mundial, ainda que, conforme a conjuntura, em variados graus²⁶. Como sustentação a essa conjectura, são apresentados, a seguir, gráficos que demonstram variações percentuais anuais nos PIB das 10 maiores economias do mundo. Nos mesmos gráficos são demonstradas, ainda, variações na utilização de energia primária e de energia elétrica. Cumpre esclarecer que, de modo semelhante ao tratamento utilizado na seção sobre correlação e determinação, os valores de PIB utilizados são em dólares atuais, e não PPP, devido à abrangência da série disponível. Disso decorrem algumas distorções, como a indicação, por exemplo, de que Alemanha e França experimentaram retração no PIB *per capita* em 2012. Ao se verificarem os valores em PPP (WORLD BANK, 2015), observa-se que não houve tal retração.

Gráfico 4. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Alemanha.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

²⁶ No momento da elaboração desta dissertação o Brasil é uma infeliz exceção a esse crescimento contínuo, embora ela não apareça nos dados utilizados, os quais alcançam, no máximo, o ano de 2014.

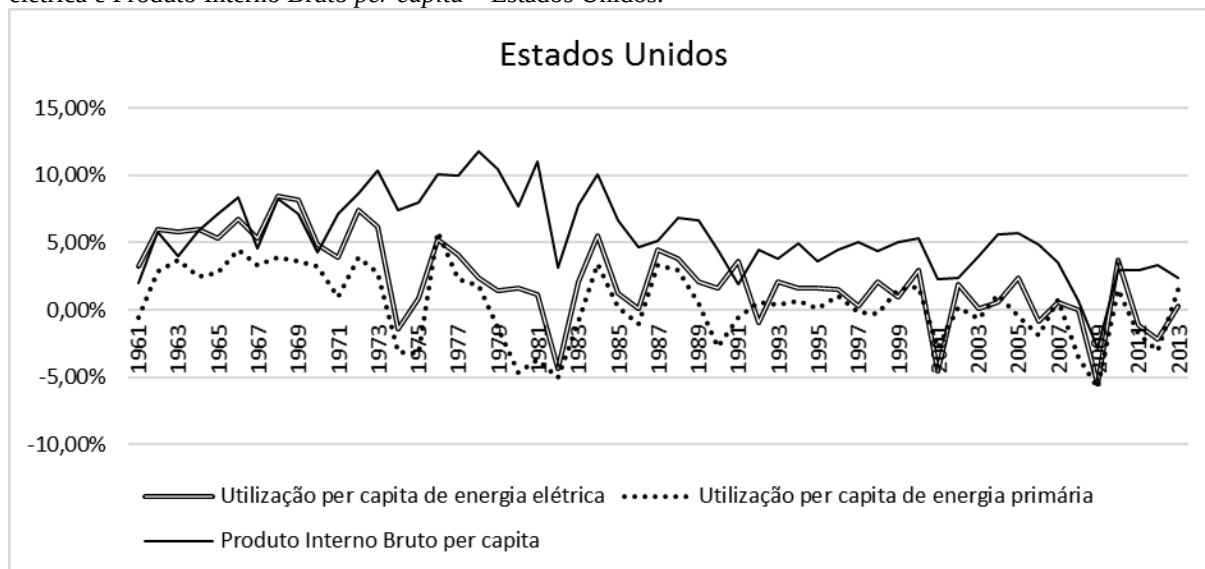
Há alguns aspectos que invariavelmente se farão presentes em todos os gráficos desta série e que serão, portanto, discutidos prontamente.

Primeiro, as variáveis utilização *per capita* de energia primária e utilização *per capita* de energia elétrica mostram-se, de modo geral, fortemente vinculadas, o que sinaliza uma relativa manutenção na proporção desta em relação àquela, inclusive quanto aos pontos de saturação. Segundo – e isto não é tão óbvio –, os países desenvolvidos em geral apresentam, quando comparados com os países em desenvolvimento, maior variação histórica do crescimento do PIB em relação às variáveis de energia. Ou seja, em média, para certa variação na utilização de energia, há uma variação proporcionalmente maior no PIB dos países ricos, o que poderia indicar uma forte correlação entre as variáveis, na qual o PIB seria uma variável dependente altamente influenciada pelas variáveis de energia – algo que foi descartado nos testes estatísticos prévios, nos quais se demonstrou que é precisamente o contrário, isto é, os países mais ricos possuem correlação mais tênue que os mais pobres –, ou a interveniência de variáveis não consideradas no teste de correlação. A breve discussão sobre cada gráfico apresentará os valores numéricos dessas variações, para melhor contextualização.

A propósito, e de qualquer forma, também estão presentes, em todos os gráficos, alguns padrões visuais que indicam, com todas as reservas já manifestadas em relação à dificuldade de se afirmar categoricamente relações de causa e efeito, a direção que empiricamente se espera dessas relações quanto ao objeto aqui tratado, sobre as quais já se discutiu nos testes estatísticos, mas que agora, nesses gráficos que nada mais são que cálculos matemáticos, talvez se revelem ainda mais apropriadamente, mesmo porque amparados em algo mais determinístico e menos probabilístico. Estes gráficos servirão, no mínimo, de auxílio à compreensão das análises feitas sobre os testes estatísticos, bem como permitirão adentrar à discussão sobre as tendências de utilização de energia primária, energia elétrica e intensidade energética, as quais serão objeto da subseção seguinte.

No caso da Alemanha, representada pelo Gráfico 4, pode-se verificar dois desses padrões, um entre 1969 e 1973 e outro entre 2010 e 2012. Quanto às variações médias anuais, no período entre 1971 e 2013 (período para o qual há, neste caso, dados disponíveis do PIB), a da utilização *per capita* de energia elétrica ficou em 1,31%, a da utilização *per capita* de energia primária em -0,02% e a do PIB *per capita* em 6,55%.

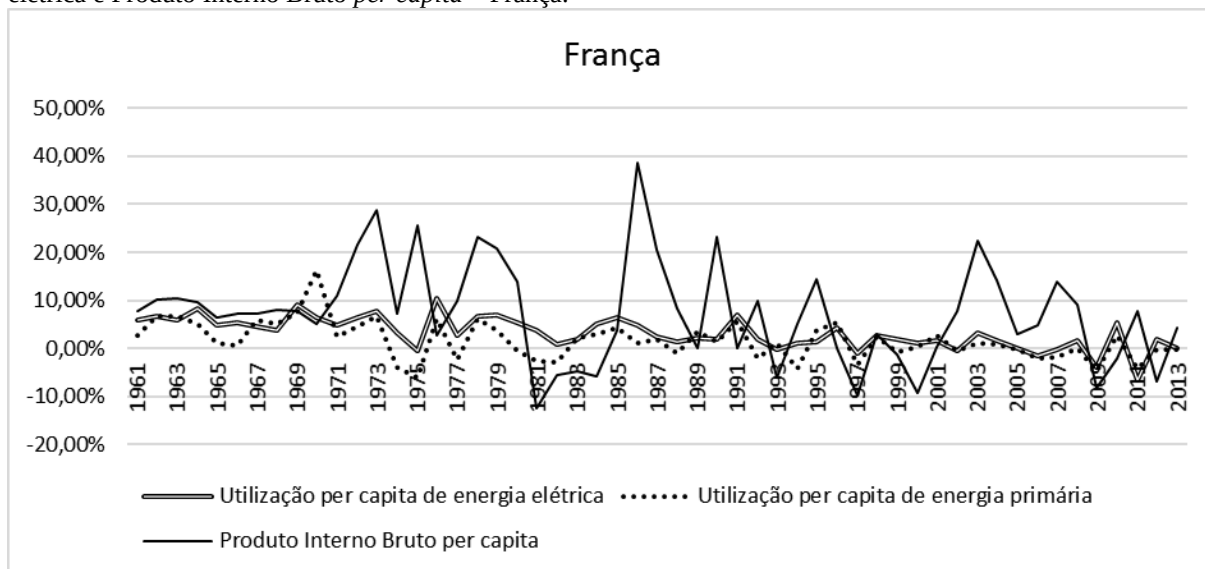
Gráfico 5. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Estados Unidos.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

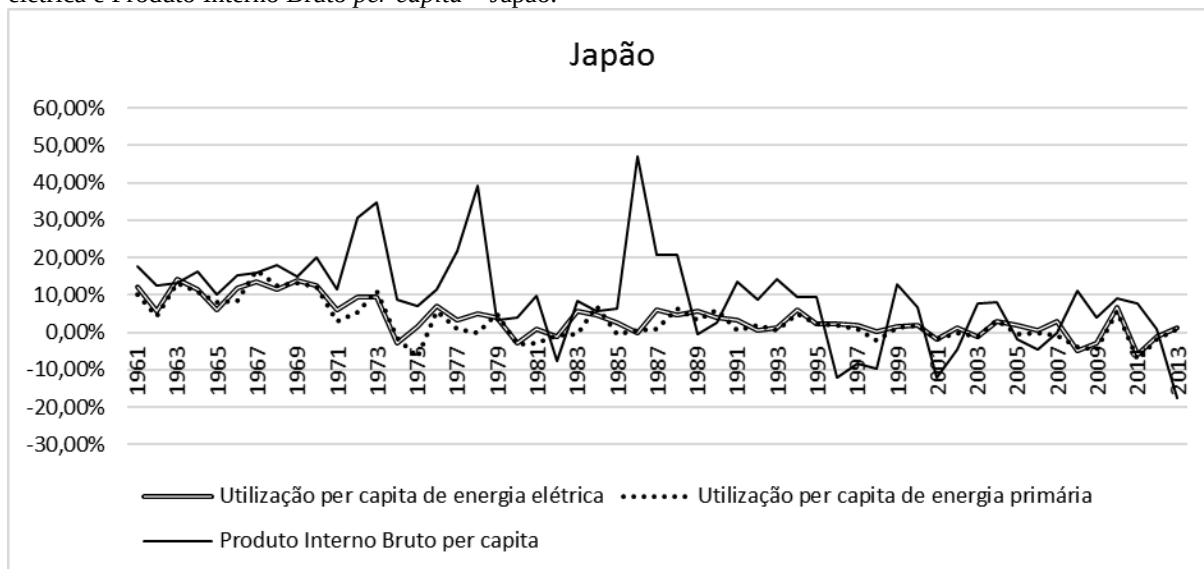
Os Estados Unidos são, conforme já se afirmou, um caso à parte. Em 1971 a utilização *per capita* mensal de energia elétrica era quase o dobro da utilização alemã – 626,44 kWh – e equivalente a 16,5 vezes a do Brasil. O Gráfico 5 aponta, talvez de forma mais notória que nos outros, que geralmente as evoluções de PIB e de utilização de energia caminham, sobretudo até meados da década de 1980, relativamente juntas no país norte-americano, embora também seja possível determinar certos padrões de precedência – notadamente, entre 1986 e 1992. As variações médias anuais (entre 1971 e 2013, para melhor comparação histórica do conjunto de países) foram de 1,31% (utilização *per capita* de energia elétrica), -0,24% (utilização *per capita* de energia primária) e 5,47% (PIB *per capita*).

Gráfico 6. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – França.



Os percentuais da França, país que também já era consideravelmente desenvolvido no início dos anos de 1970, compõem o Gráfico 6, o qual, pela ostensiva semelhança, indica padrões de evolução de PIB e de utilização de energia similares aos da Alemanha, a despeito de haver, historicamente, profundas diferenças quanto às matrizes energéticas dos dois países. Quanto aos possíveis padrões de causalidade, o mais evidente deles aparece no período entre 2010 e 2012. As variações médias anuais (sempre entre 1971 e 2013) foram de 2,38% (utilização *per capita* de energia elétrica), 0,57% (utilização *per capita* de energia primária) e 6,38% (PIB *per capita*).

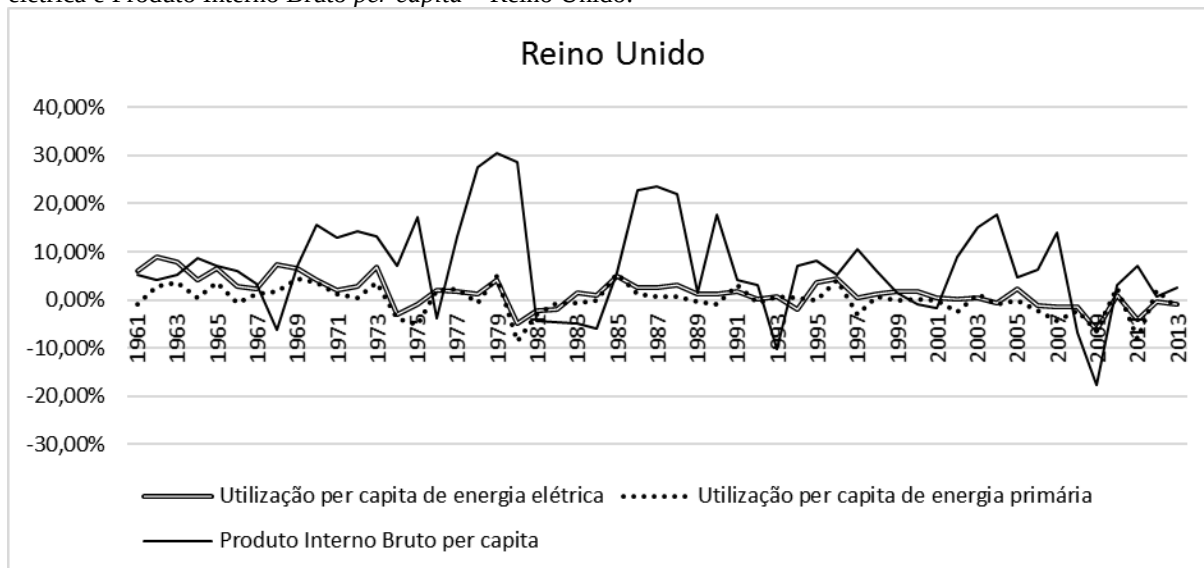
Gráfico 7. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Japão.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

O Japão era provavelmente o único país asiático altamente desenvolvido nos anos setenta, apresentando, no já primeiro ano daquela década, utilização *per capita* de energia elétrica 35% superior à brasileira atual. O Gráfico 7 indica que há, especialmente em relação às décadas de 1960 e 1970, a indicação de possíveis relações de causa e efeito, as quais, à semelhança dos demais exemplos, indicam a precedência da utilização de energia em relação ao PIB. Quanto às variações médias anuais, foram de 2,00% (utilização *per capita* de energia elétrica), 0,82% (utilização *per capita* de energia primária) e 7,02% (PIB *per capita*).

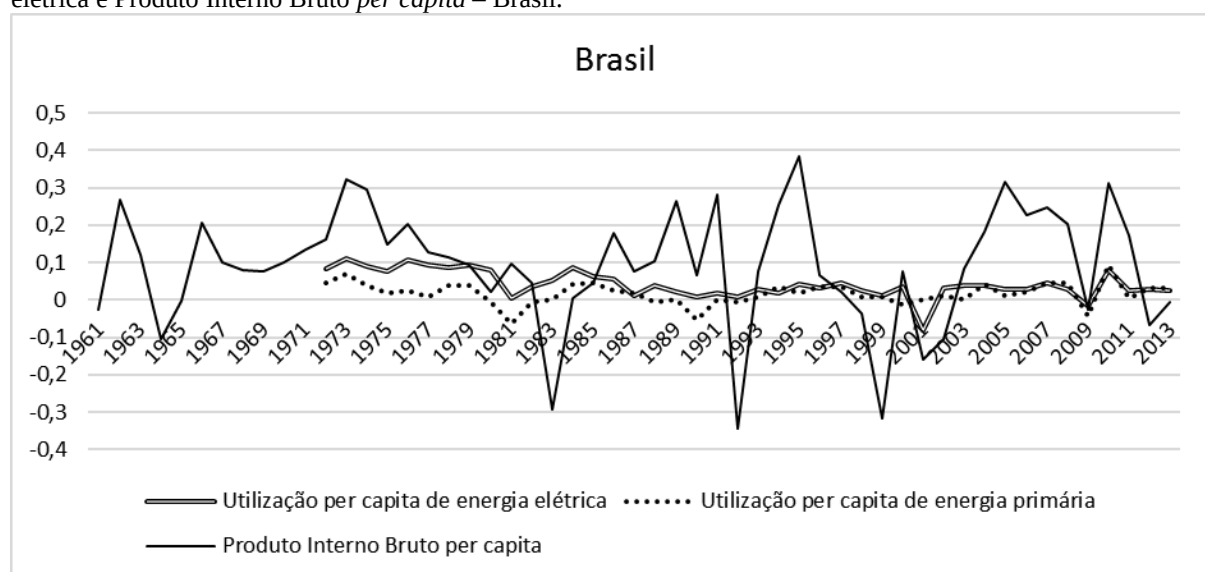
Gráfico 8. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Reino Unido.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

O Reino Unido, também com alto nível de desenvolvimento já na década de 1970, também apresenta padrões de precedência semelhantes aos demais países desenvolvidos quanto às variáveis. Os mais evidentes estão entre 1962 e 1967 e entre 1972 e 1976. Observa-se, ainda, no Gráfico 8, que o acoplamento entre energia primária e elétrica ocorreu no final da década de 1960. As variações médias anuais foram de 0,57% (utilização *per capita* de energia elétrica), -0,54% (utilização *per capita* de energia primária) e 6,82% (PIB *per capita*).

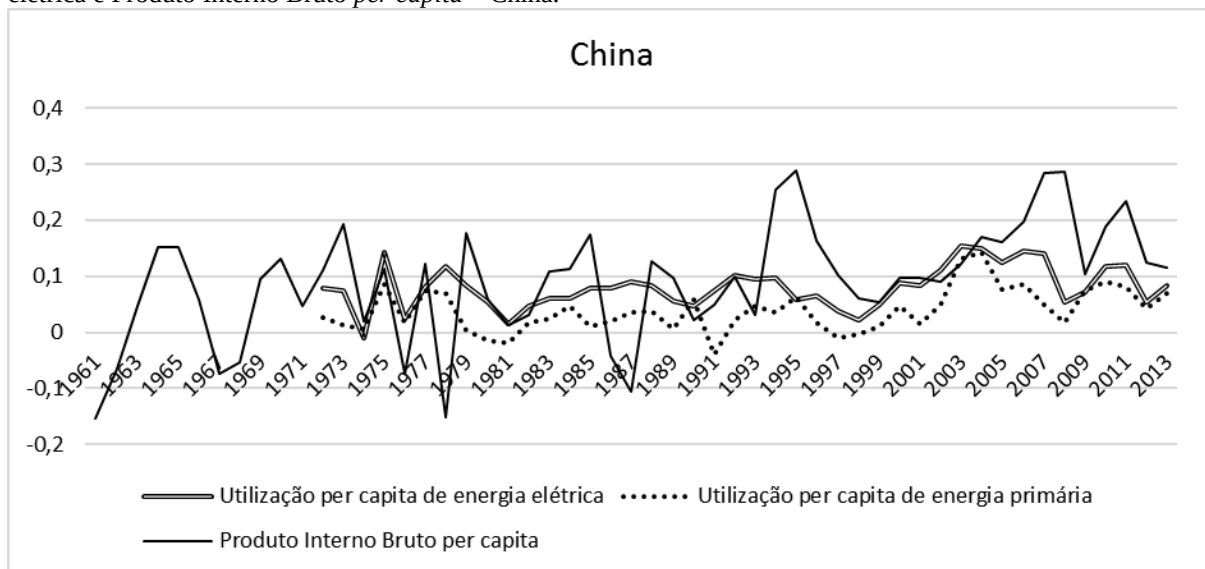
Gráfico 9. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Brasil.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

No caso brasileiro a correlação mais significativa entre as variáveis acaba por se revelar, no Gráfico 9, entre 2001 e 2002 – período da crise do apagão –, por meio de um padrão que, em princípio, seria tão somente de correlação. Explica-se: nos pontos em que houve expressivos decréscimos no PIB (1984, 1993 e 2000) não houve manifestação que indicasse acoplamento entre essa variável e utilização de energia, situação diversa da que ocorreu no período da mencionada crise, o que parece confirmar, matematicamente, aquilo que a experiência não questiona. Ou seja, que a não disponibilidade de energia elétrica direcionou o PIB. No que diz respeito às variações anuais, o Brasil apresentou médias de 2,46% (utilização *per capita* de energia elétrica), 1,90% (utilização *per capita* de energia primária) e 6,13% (PIB *per capita*).

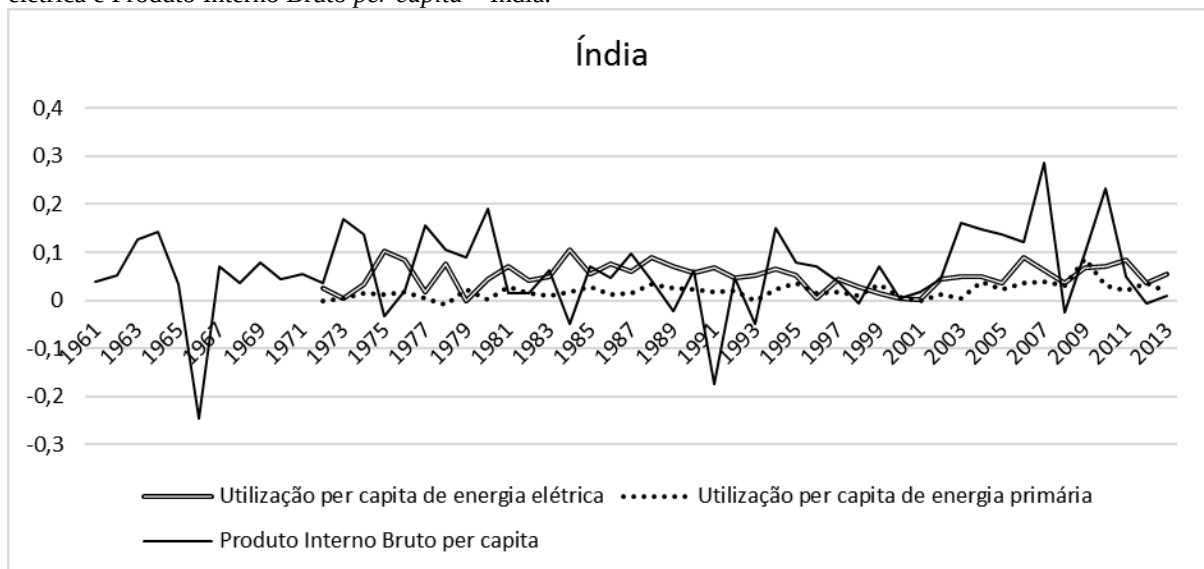
Gráfico 10. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – China.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

A China apresenta padrões de correlação, visualizados no Gráfico 10, bastante evidentes em relação às variáveis. Por exemplo, entre 1977 e 1979 e, principalmente, por 12 anos seguidos, entre 1998 e 2010. É interessante notar que ainda hoje não há um acoplamento tão forte como os dos demais países entre energia elétrica e primária, o que sinaliza a dinamicidade do modelo chinês, em que um padrão ainda não foi definido. Como é de se esperar, por tudo que até agora foi discutido sobre a China, as médias de evolução anuais foram extraordinariamente altas: 7,94% (utilização *per capita* de energia elétrica), 3,80% (utilização *per capita* de energia primária) e 10,22% (PIB *per capita*).

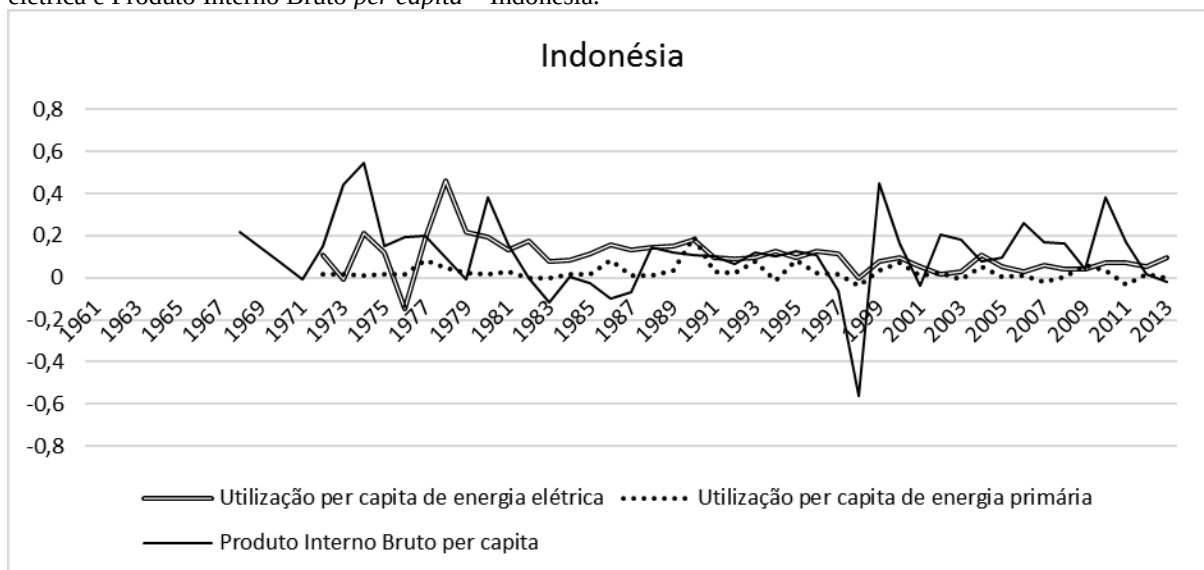
Gráfico 11. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Índia.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

A Índia apresentava, em 1971, utilização *per capita* mensal de energia elétrica de ínfimos 8,17 kWh. Em nível tão incipiente (e, desvinculado inclusive, dos valores de energia primária, conforme se observa no Gráfico 11), qualquer correlação seria provavelmente espúria, motivada por variáveis intervenientes externas. A partir de meados da década de 1980 se observa, contudo, alguns padrões de correlação – por exemplo, entre 1985 e 1989. As variações médias anuais foram de 5,01% (utilização *per capita* de energia elétrica), 1,96% (utilização *per capita* de energia primária) e 6,10% (PIB *per capita*).

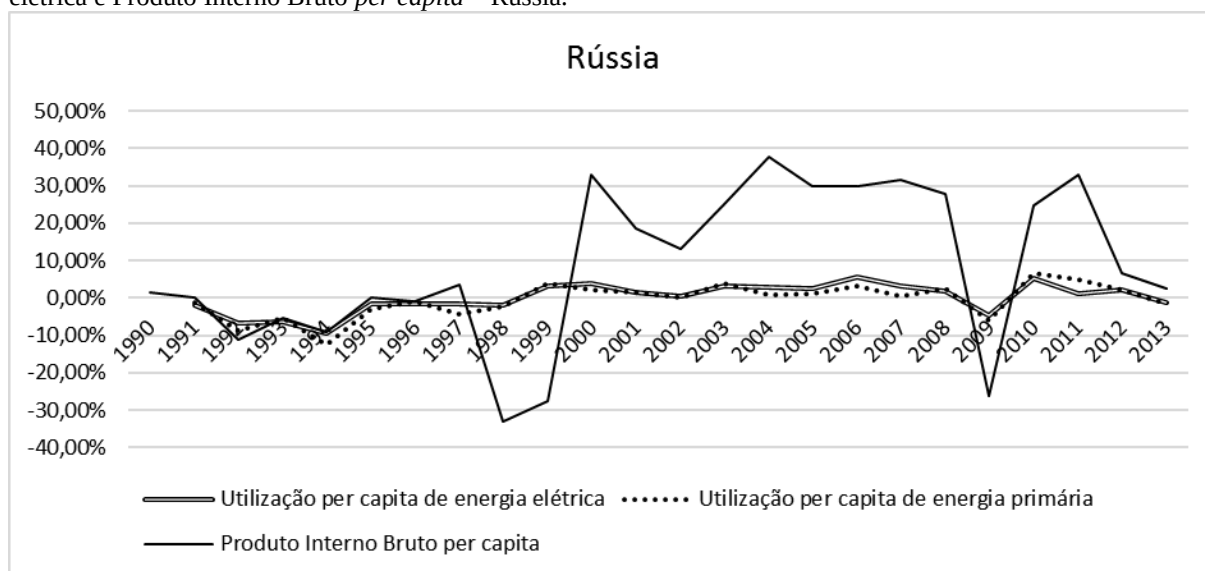
Gráfico 12. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Indonésia.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

Se a utilização *per capita* de energia elétrica na Índia em 1971, quase 77 vezes inferior à estadunidense, é considerada incipiente, a da Indonésia, representada no Gráfico 12 e quase sete vezes inferior à da Índia, pode ser considerada praticamente nula. O que deve ser ressaltado, no caso, é o progresso indonésio, que suplantou, ainda que levemente e em valores ainda totalmente inadequados (menos de 66 kWh), a utilização da Índia em 2013. Observa-se, a partir de 1990, o início da vinculação entre energia primária e elétrica, e, referente a todo o período, variações médias anuais de 10,01% (utilização *per capita* de energia elétrica), 2,53% (utilização *per capita* de energia primária) e 9,40% (PIB *per capita*).

Gráfico 13. Evolução percentual anual de utilização *per capita* de energia primária, utilização *per capita* de energia elétrica e Produto Interno Bruto *per capita* – Rússia.



Fonte dos dados primários: WORLD BANK (2015).

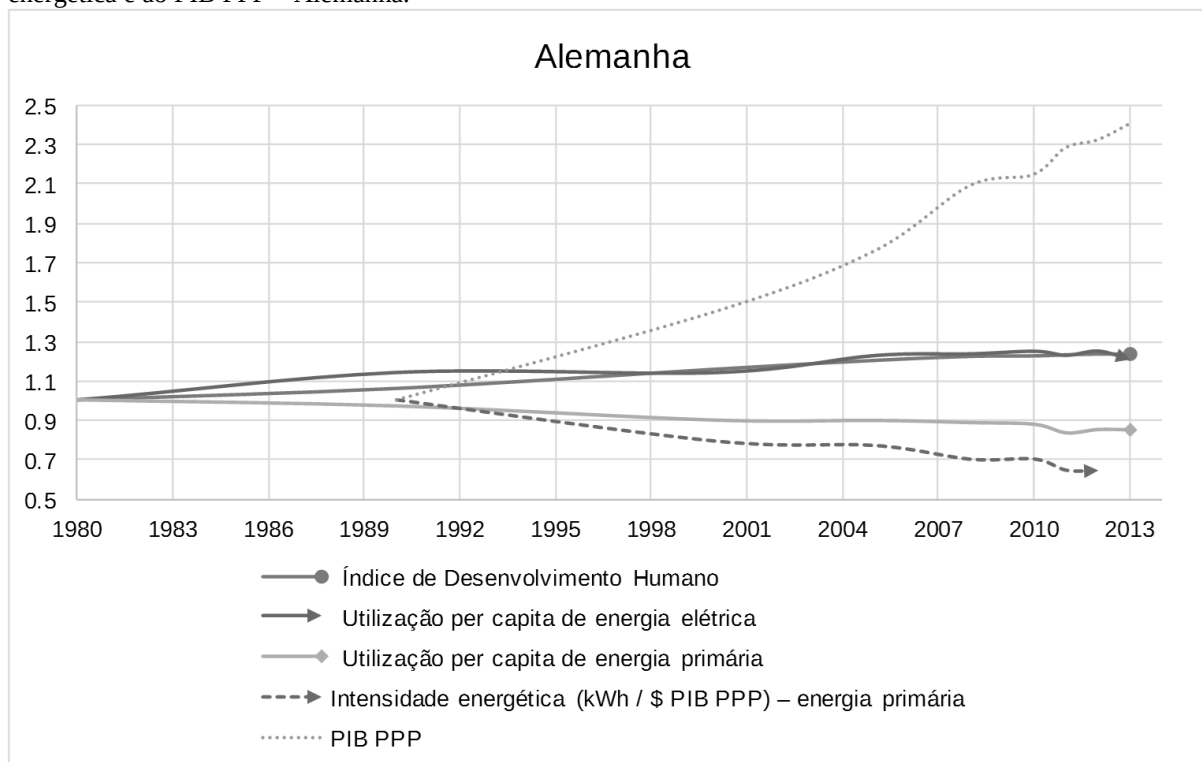
Os dados que deram origem ao Gráfico 13, referente à Rússia, cobrem apenas o período pós-década de 1980 (ou seja, não contemplam o período da Rússia soviética), e demonstram bem o porquê de esse país apresentar, no teste estatístico, baixo nível de determinação e correlação entre as variáveis renda e utilização de energia. Observa-se um certo padrão de correlação apenas em 2009, e, em geral os percentuais de evolução do PIB são ostensivamente superiores aos de utilização de energia. As variações médias anuais, calculadas, dada a falta de dados adicionais, apenas em relação ao período 1990-2013, foram de -0,09% (utilização *per capita* de energia elétrica), -0,66% (utilização *per capita* de energia primária) e 6,72% (PIB *per capita*).

4.3 TENDÊNCIAS EM RELAÇÃO AO IDH, À UTILIZAÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA E ELÉTRICA, À INTENSIDADE ENERGÉTICA E AO PIB PPP

Os percentuais de evolução apresentados na subseção anterior demonstram claramente uma tendência à *eletrização*, corroborando assim o que até agora foi afirmado sobre a essencialidade da energia elétrica. Para melhor percepção, serão apresentados, a seguir, gráficos que indicam a dimensão dessa tendência. De modo agregado, já com vistas ao equacionamento geral da questão, esses gráficos também apresentarão, além das tendências referentes às variáveis utilização *per capita* de energia elétrica, utilização *per capita* de energia primária e PIB (utilizou-se, aqui, o PPP, a partir de 1990), aquelas referentes ao IDH e, dada sua importância instrumental, também previamente discutida, as da intensidade energética.

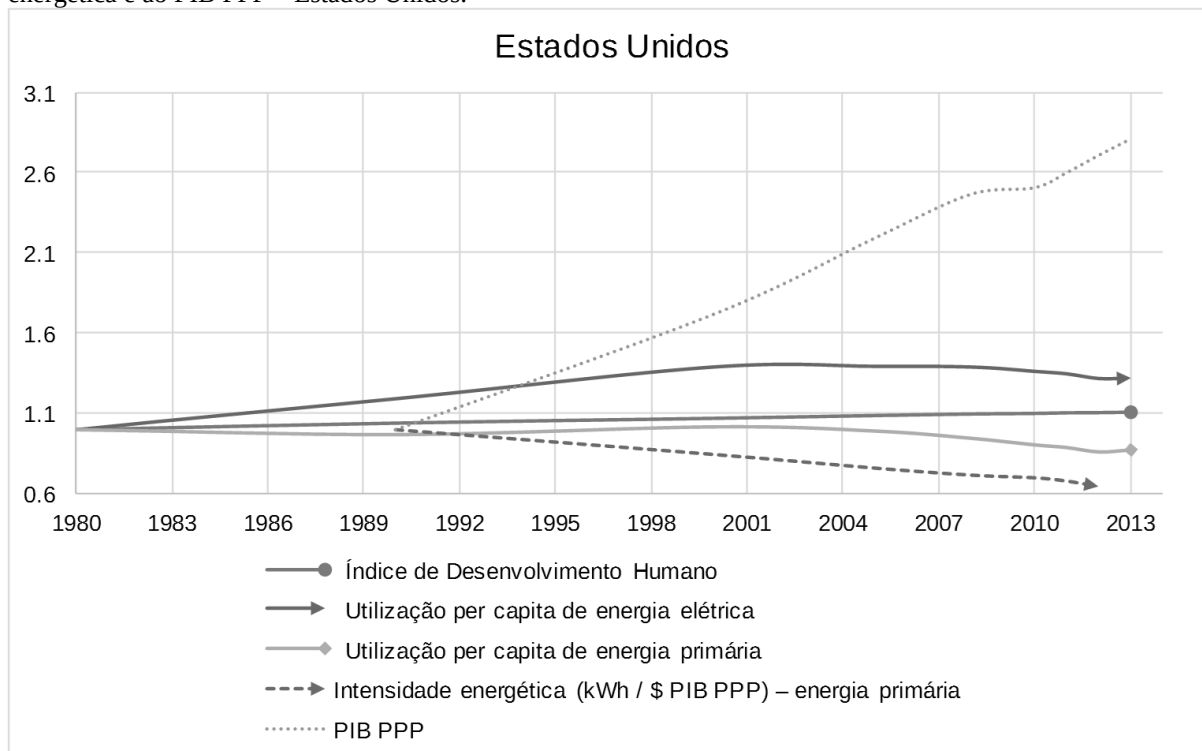
Embora essa intensidade esteja relacionada à energia primária, ela pode ser usada satisfatoriamente para a ponderação do uso de energia elétrica, uma vez que ambas as energias mostram tendências gráficas quase idênticas ao longo dos anos (Gráficos 14 a 23), embora seu ritmo de desenvolvimento seja desigual – atribuindo-se a ambas (e, de resto, a todas as demais variáveis nesses gráficos) valores iniciais iguais a um (de modo a melhor evidenciar as tendências), a utilização de energia elétrica tende a ir mais alto no gráfico em comparação ao uso de energia primária, significando que a cota daquela em relação a esta é cada vez maior, como se explicará na sequência.

Gráfico 14. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Alemanha.



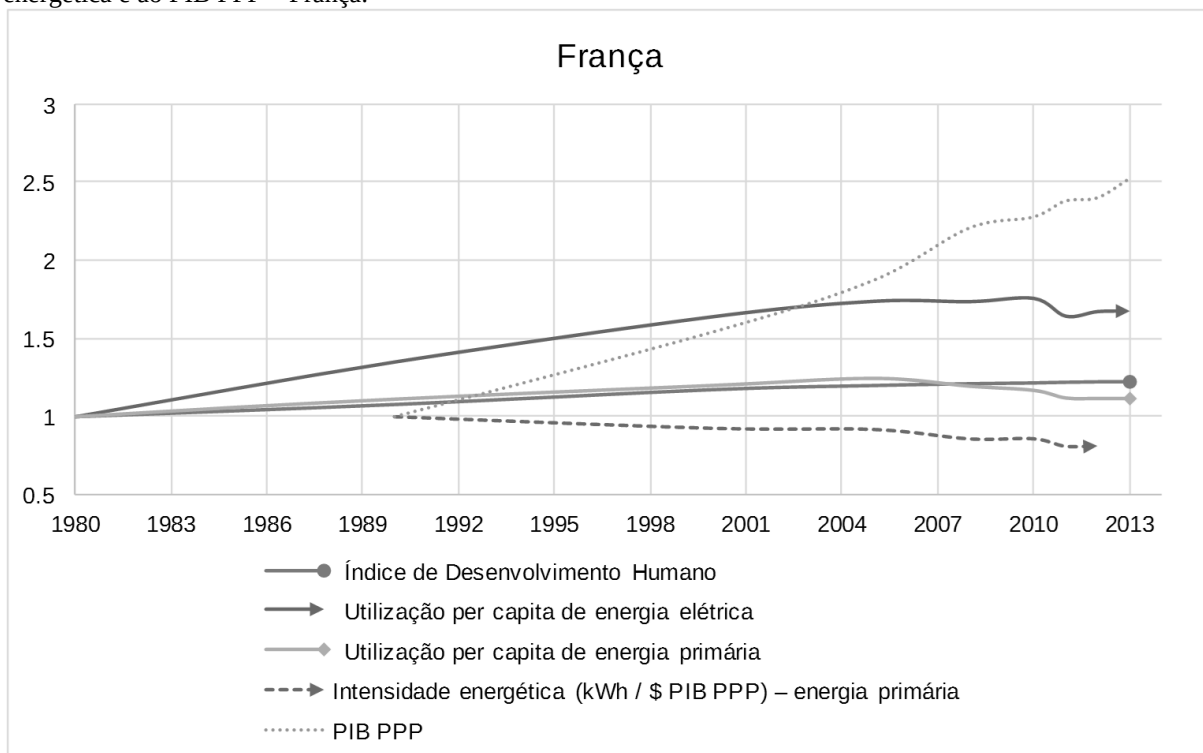
Fonte dos dados primários: UNDP (2014a); WORLD BANK (2015).

Gráfico 15. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Estados Unidos.



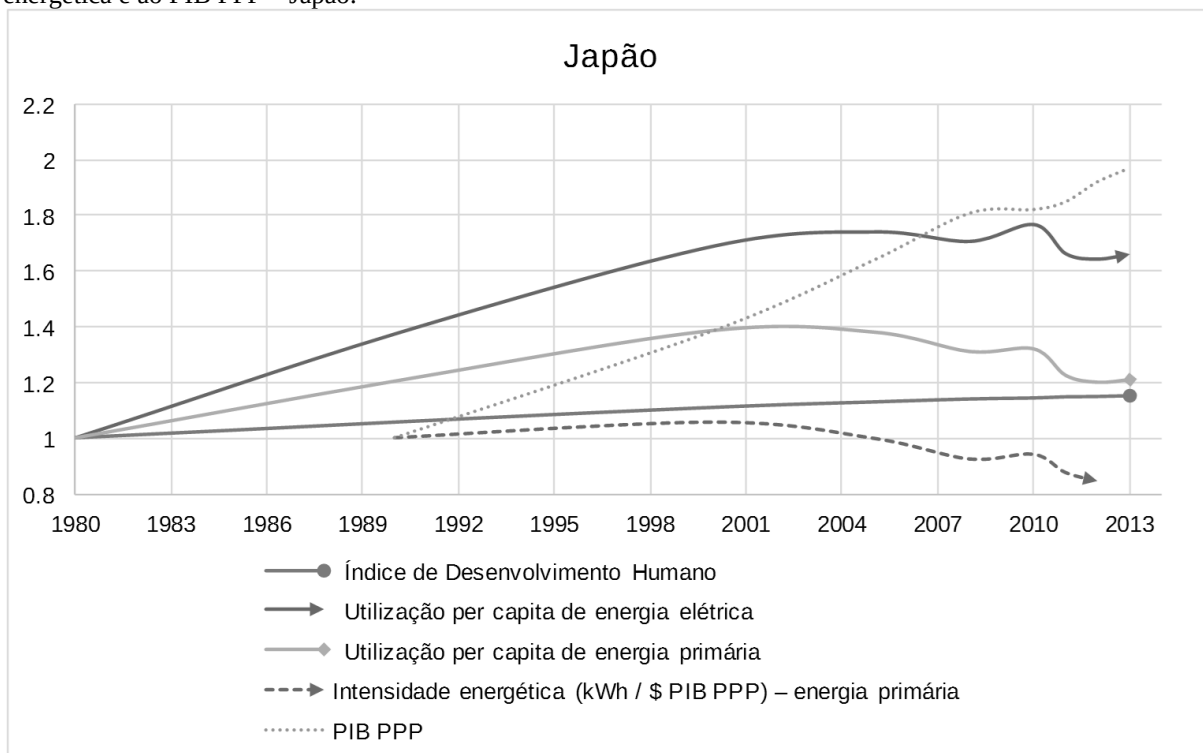
Fonte dos dados primários: UNDP (2014A); WORLD BANK (2015).

Gráfico 16. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – França.



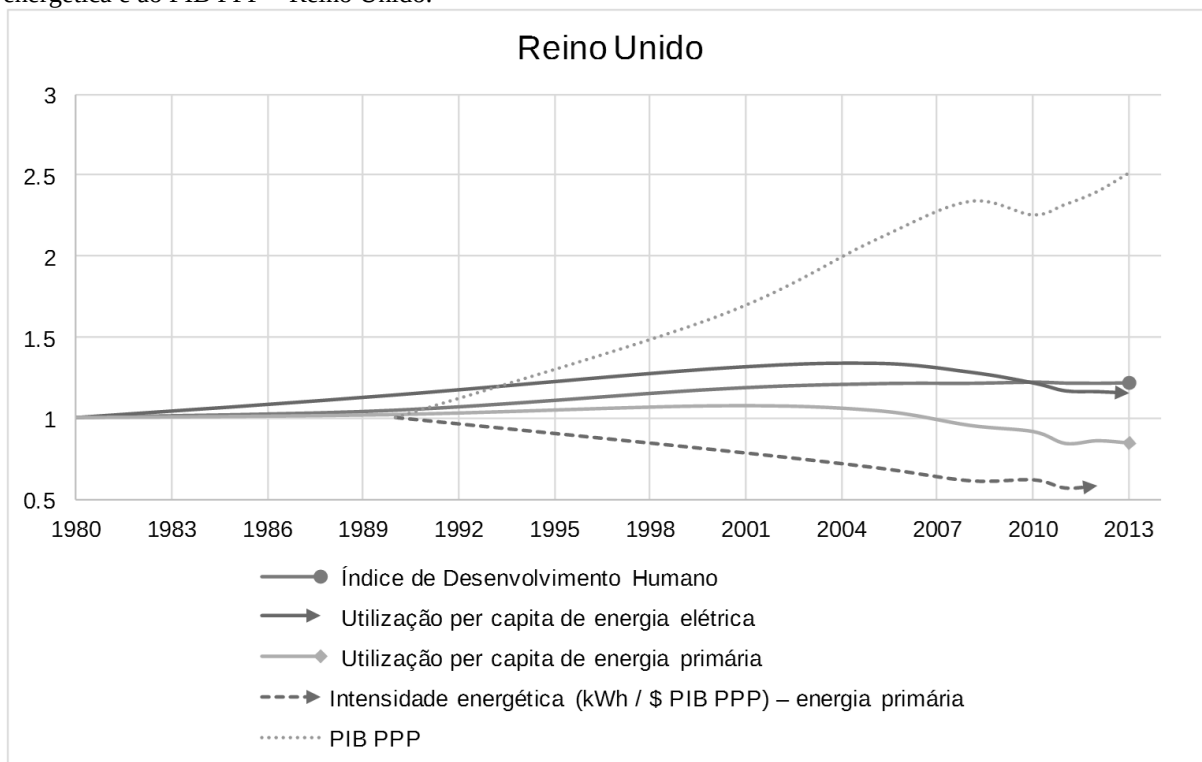
Fonte dos dados primários: UNDP (2014A); WORLD BANK (2015).

Gráfico 17. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Japão.



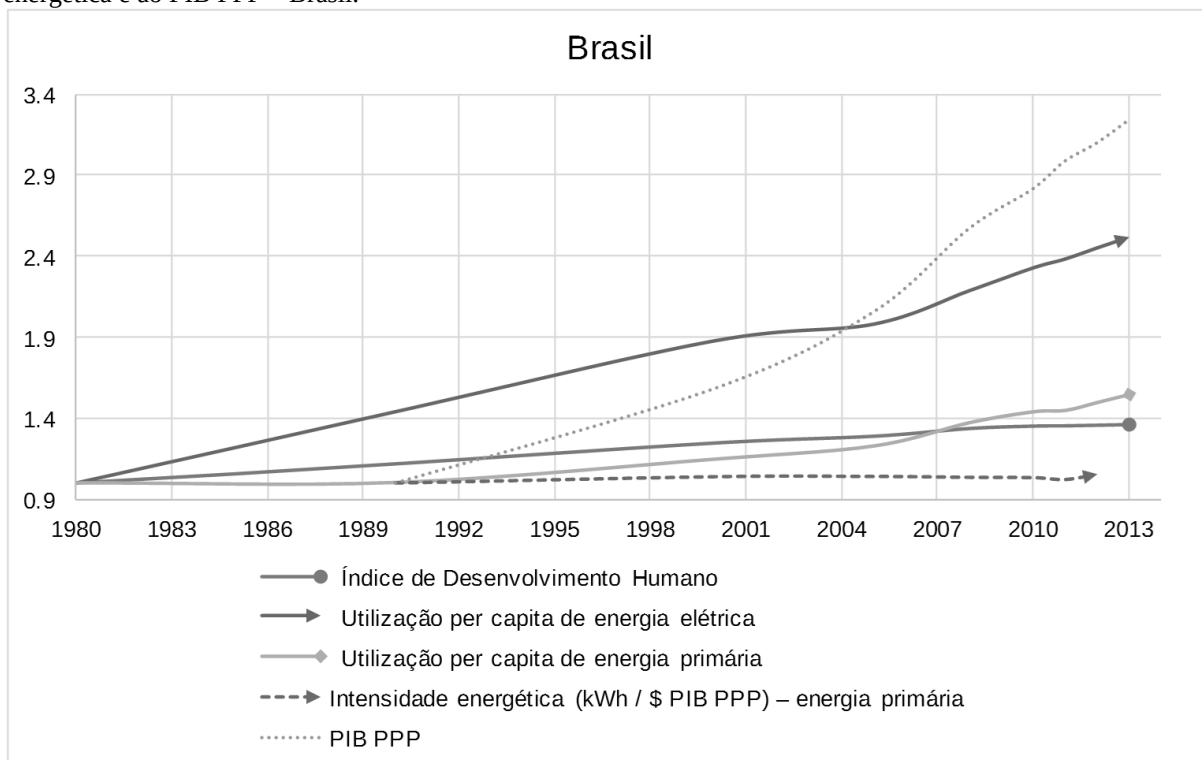
Fonte dos dados primários: UNDP (2014A); WORLD BANK (2015).

Gráfico 18. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Reino Unido.



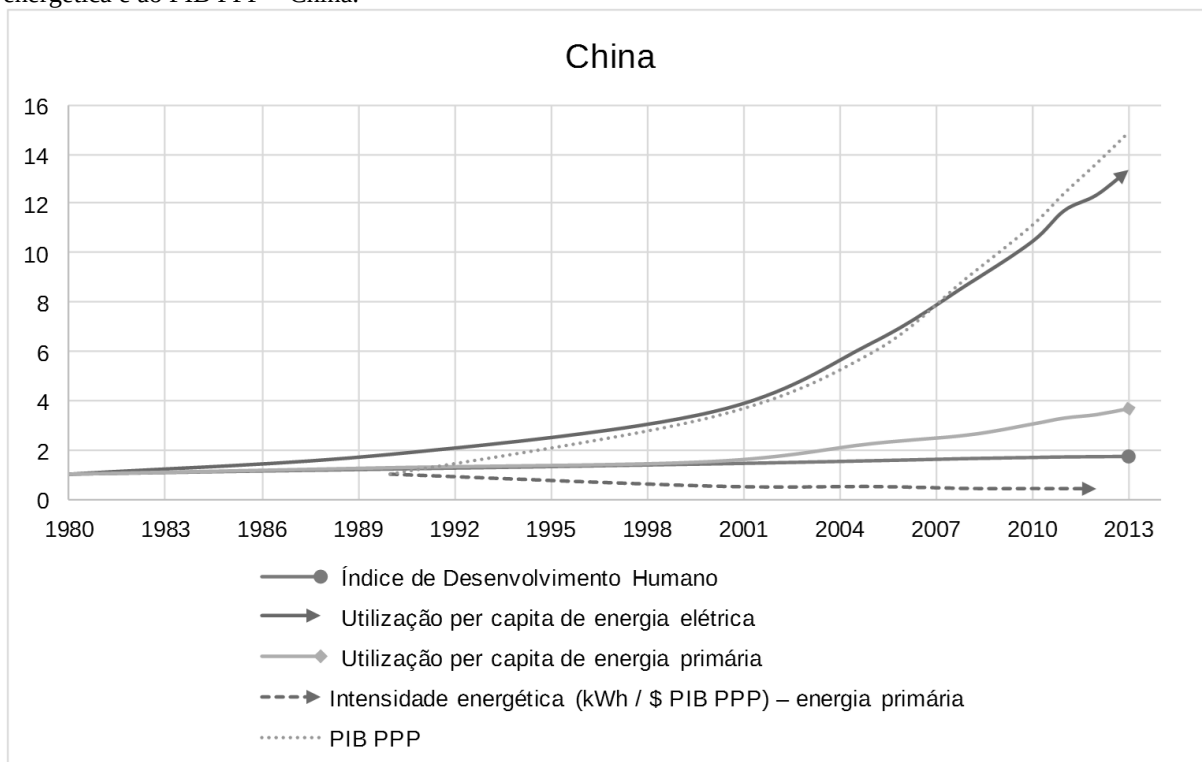
Fonte dos dados primários: UNDP (2014A); WORLD BANK (2015).

Gráfico 19. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Brasil.



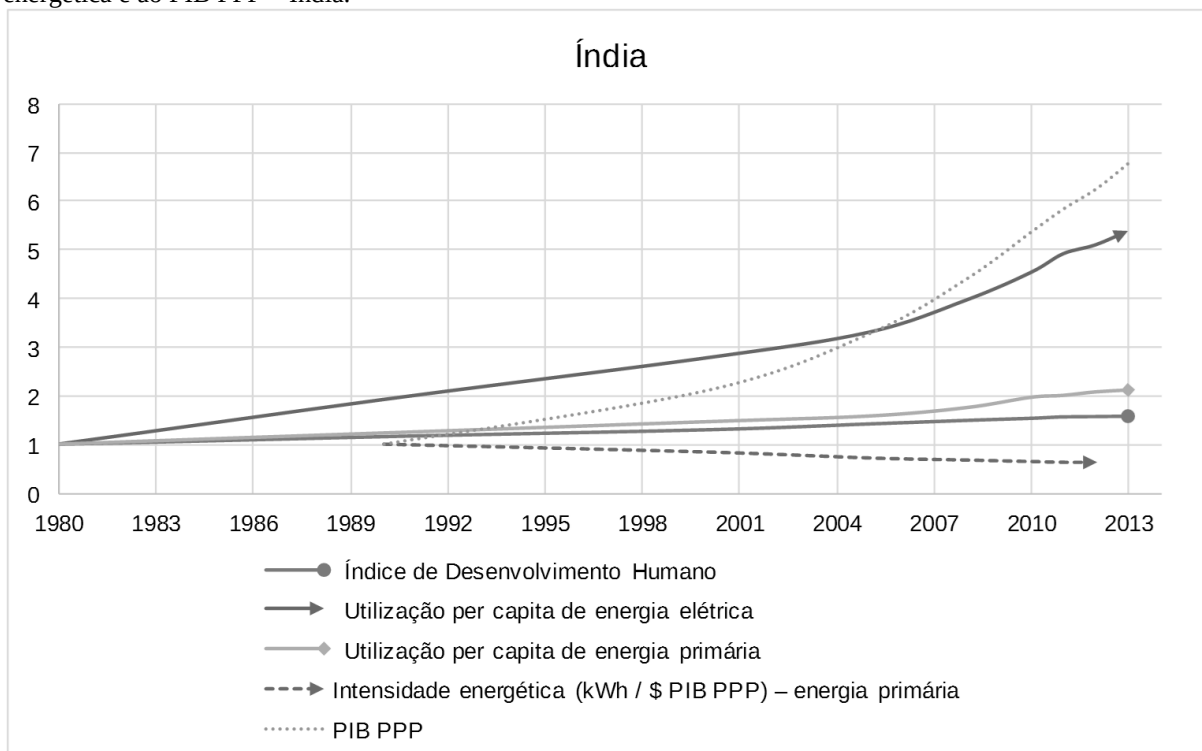
Fonte dos dados primários: UNDP (2014a); WORLD BANK (2015).

Gráfico 20. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – China.



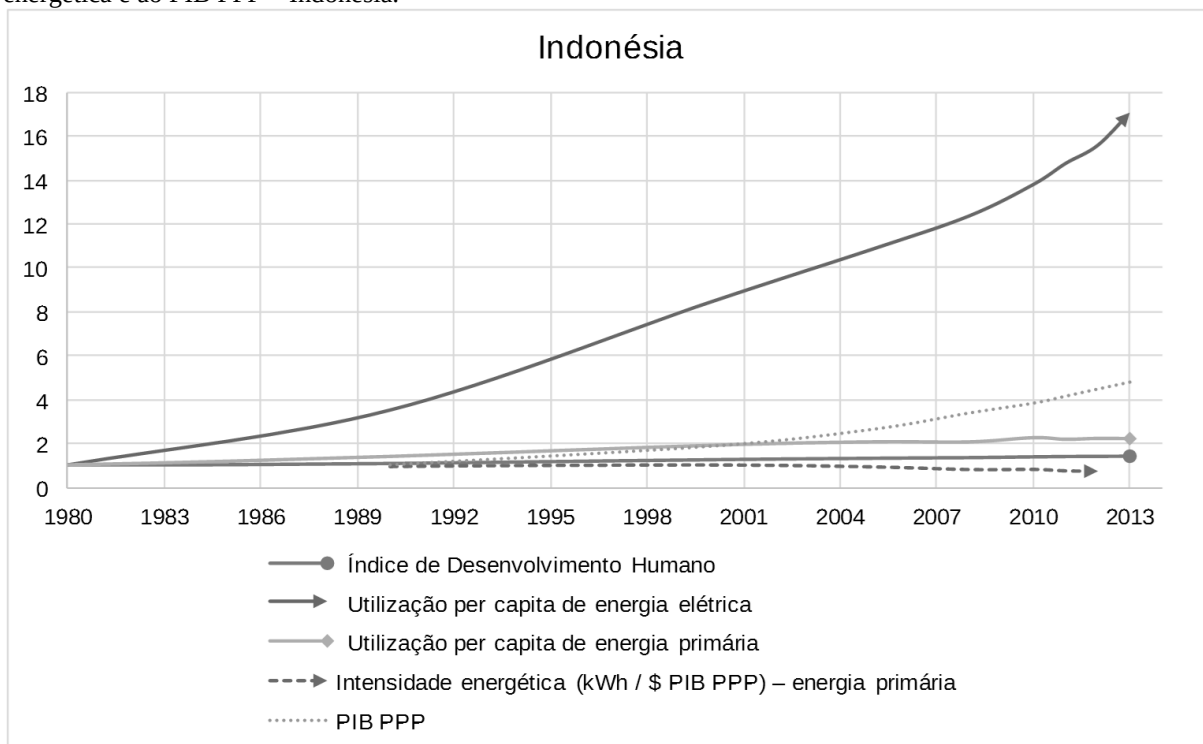
Fonte dos dados primários: UNDP (2014A); WORLD BANK (2015).

Gráfico 21. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Índia.



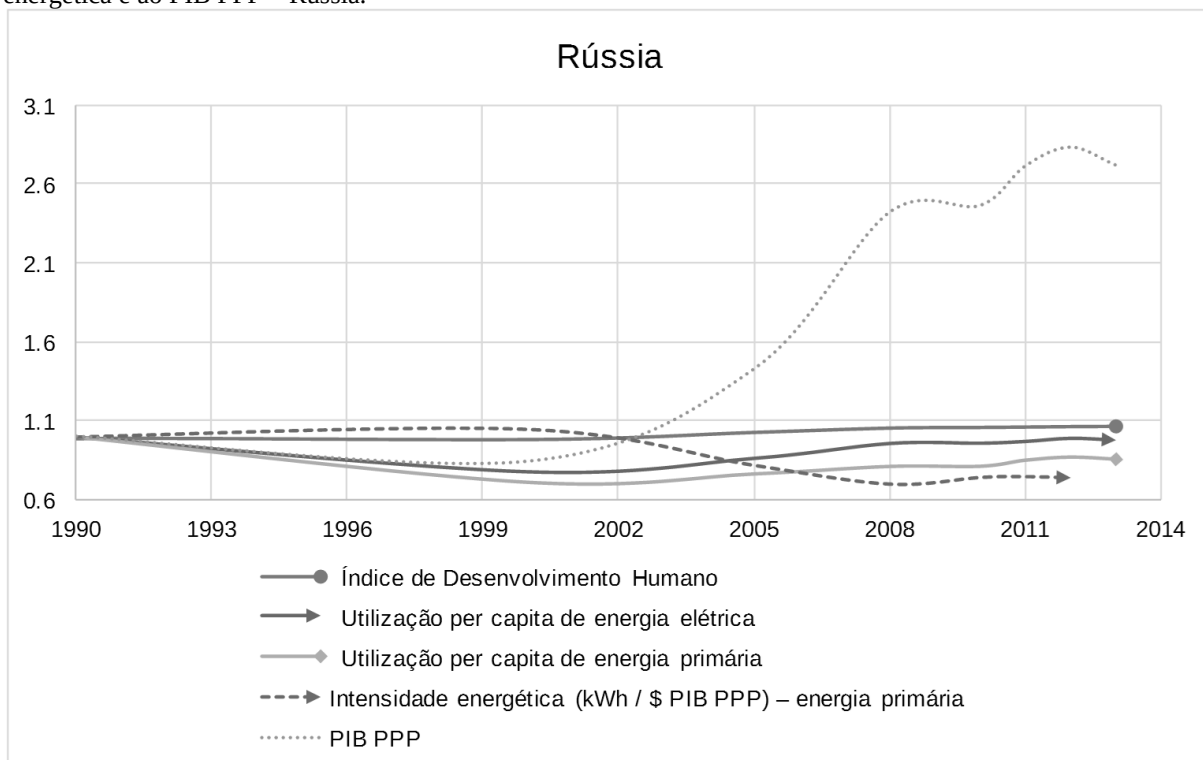
Fonte dos dados primários: UNDP (2014a); WORLD BANK (2015).

Gráfico 22. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Indonésia.



Fonte dos dados primários: UNDP (2014A); WORLD BANK (2015).

Gráfico 23. Tendências em relação ao IDH, à utilização de energia primária e energia elétrica, à intensidade energética e ao PIB PPP – Rússia.



Fonte dos dados primários: UNDP (2014A); WORLD BANK (2015).

Os dez gráficos acima, além de explicarem visualmente, embora sob uma diferente perspectiva, os testes estatísticos, complementam, em termos de cognição, os gráficos anteriores, acerca da evolução percentual dos indicadores. Fundamentalmente, permitem concluir que, entre as 10 maiores economias do mundo, as cinco mais desenvolvidas, tanto economicamente quanto em relação ao IDH – Alemanha, Estados Unidos, França, Japão e Reino Unido – atingiram pontos de saturação na utilização de energia primária e elétrica, após os quais se desvincula a utilização de energia do PIB PPP e, por consequência, mediata ou imediata conforme o caso, segundo se viu nos testes estatísticos, também do IDH. Adicionalmente, também é notável a constatação de que todos os dez países, embora apresentem vinculação entre energia primária e energia elétrica – o que se confirma visualmente mediante os padrões geminados das linhas dessas variáveis –, fazem-no de modo que, cada vez mais, a utilização esteja voltada a esta última, conforme se observa pelo afastamento progressivo entre as duas linhas. Ou seja, a utilização de energia elétrica está de fato se sobrepondo, cada vez mais, à utilização de outras formas de energia, e, além disso, verifica-se invariavelmente uma tendência de queda na intensidade energética, o que significa que, de forma regressiva, é possível agregar certos valores de produção com quantidades cada vez menores de energia, o que confirma a vinculação dos pontos de saturação com o estado da arte.

Resta, finalmente, verificar a possibilidade de se determinar, com base no constructo até aqui desenvolvido, um valor objetivo de utilização de energia elétrica que esteja vinculado ao desejado nível de desenvolvimento referido como “muito alto”, bem como valores de utilização (mínimo, médio e máximo) típicos de cada faixa do IDH, passíveis de serem utilizados à elaboração de uma eventual fórmula capaz de descrever, por meio da variável utilização *per capita* de energia elétrica, a variável IDH. A determinação desses valores, que será desenvolvida a seguir, terá por base os pontos de saturação e as intensidades energéticas já verificados – nesse último caso, considerando-se que as variações na demanda energética decorrem de diferentes bases produtivas nacionais e mesmo locais.

4.4 QUANTIFICAÇÃO DO VALOR DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA NECESSÁRIO AO STATUS DE IDH “MUITO ALTO”

Observou-se, até a subseção anterior, que há uma forte correlação entre utilização *per capita* de energia elétrica e IDH, mormente quando se considera que há correlação igualmente forte entre essa utilização e crescimento econômico, o qual, conforme o país, funciona como variável interveniente indutora do IDH. Observou-se, ainda, que a primeira correlação é condicionada pelo estágio de desenvolvimento local, sendo mais forte nos estágios de

desenvolvimento ainda não sedimentados, e que as economias já desenvolvidas tendem a apresentar saturação nos níveis *per capita* de utilização. Ou seja, há limites superiores à quantidade *per capita* de utilização de energia capaz de agregar desenvolvimento, seja ele – considerando-se as correlações existentes – econômico ou humano.

Isso, contudo, não indica valores mínimos de utilização correlacionados às diferentes faixas do IDH – atualmente, relembra-se, há quatro delas – (0,800 e acima: IDH “muito alto”; entre 0,700 e 0,799: “alto”; entre 0,550 e 0,699: “médio”; abaixo de 0,550: “baixo”) (UNDP, 2015a) –, informação que, se mensurada, poderia, a partir do suporte fático proporcionado pelas outras hipóteses acima afirmadas, validar a inserção da ferramenta utilização *per capita* de energia elétrica no Índice, tornando possível aferir, com base nos valores verificados caso a caso, a situação de cada país quanto a essa energia. No caso dessa proposta a mensuração ocorreria, conforme já se informou, provavelmente de forma logarítmica, algo adequadamente validado, ante a própria hipótese de existência de pontos de saturação.

Dessarte, divide-se a questão em dois pontos principais. O primeiro deles, proposto como um dos objetivos primários deste trabalho, diz respeito à identificação do nível mínimo de utilização *per capita* de energia elétrica necessário à conquista e à manutenção de IDH “muito alto”. O segundo ponto, por sua vez, refere-se à identificação de valores mínimos, médios e máximos de utilização, os quais poderiam indicar subsidiariamente, via padrão gráfico, o tipo de função matemática capaz de descrever a relação entre utilização *per capita* de energia elétrica e IDH.

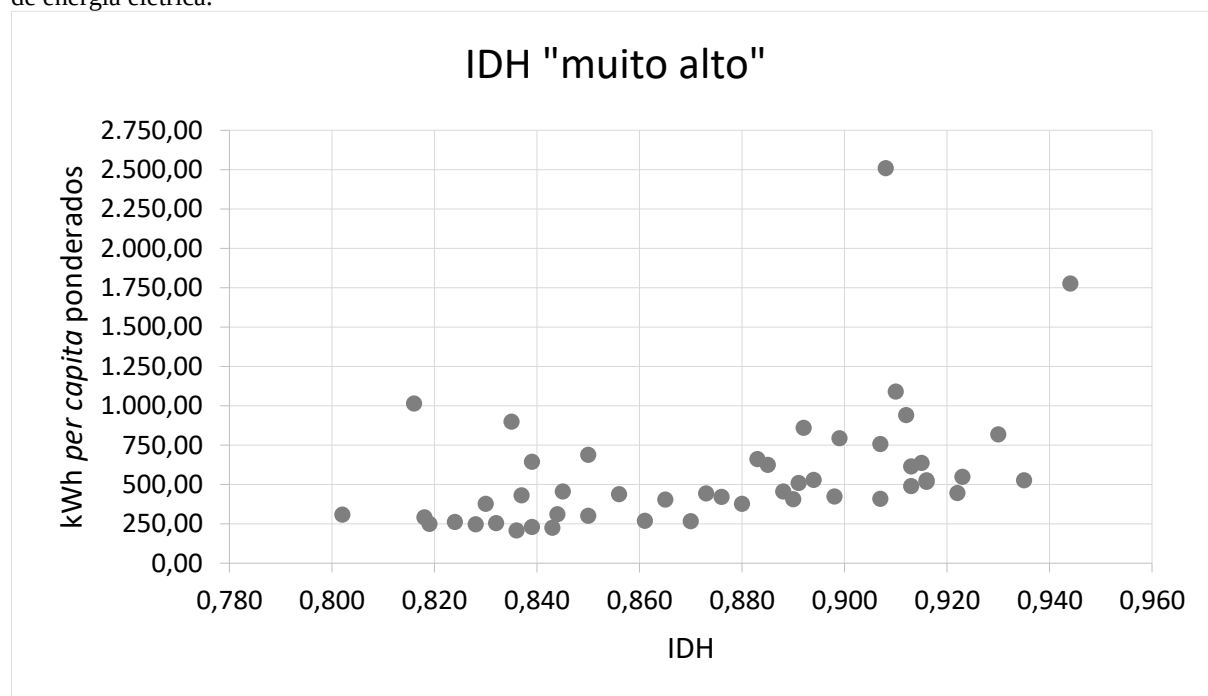
Para a consecução dessas duas identificações, os países alcançados pelo IDH foram divididos em grupos conforme a faixa ocupada no Índice. Dos 188 países aos quais foram atribuídos IDH em 2014, ficaram de fora, nesta pesquisa, cinco deles – Myanmar (Birmânia), Palau (localizado na Micronésia, região que, de qualquer forma, foi contemplada como um ente único), Palestina, São Cristóvão e Nevis (Caribe) e Macedônia. O descarte ocorreu devido à inexistência de dados públicos referentes à utilização de energia elétrica nesses países. Todas as médias aqui descritas levam em conta o fator populacional, diferentemente de médias simples; ou seja, as médias são calculadas como se cada grupo (ou subgrupo) fosse um único país, evitando-se assim distorções nos resultados que poderiam ser causadas, por exemplo, por índices muito elevados em locais com populações numericamente inexpressivas.

A faixa de IDH “muito alto” contempla 49 países e pode ser subdividida em três segmentos – superior (IDH acima de 0,899), médio (IDH entre 0,850 e 0,899) e inferior (IDH entre 0,800 e 0,849).

Os números médios do segmento superior (o qual é composto por 15 países e pouco mais de 592 milhões de pessoas, das quais mais de 54% pertencem aos Estados Unidos) (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015) apontam para IDH médio de 0,915, utilização *per capita* mensal de 852 kWh e intensidade energética de 1,40, das quais resulta uma utilização *per capita* mensal ponderada (UPEE)²⁷ de 608 kWh. Observa-se que, nesse segmento, os valores dos Estados Unidos fogem à média dos demais países e, pelo peso absoluto, acabam influenciando fortemente o resultado final. Excluindo-se da conta os Estados Unidos, os números são os seguintes: IDH médio de 0,916, utilização *per capita* mensal de 684 kWh, intensidade energética de 1,22 e UPEE de 563 kWh.

Em um breve regresso ao tema da subseção anterior, observa-se que, não por acaso, os pontos de saturação dos cinco países mais desenvolvidos entre as 10 maiores economias do mundo apresentam a média numérica de 553,75 kWh, a qual pode ser atualmente tida como adequadamente em equilíbrio com os valores de cúpula do IDH. O Gráfico 24 é representativo do grupo cujo *status* é “muito alto”, e evidencia o alcance desse valor em relação aos países do grupo:

Gráfico 24. Dispersão dos países com IDH “muito alto” em relação aos valores ponderados de utilização *per capita* de energia elétrica.



Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

²⁷ Essa utilização ponderada refere-se, conforme já se adiantou conceitualmente, à divisão simples do valor de utilização *per capita* de energia elétrica pela intensidade energética, e serve para atenuar possíveis distorções de mensuração, provocadas por utilização elevada de energia motivada por intensidade igualmente elevada.

O segmento intermediário é composto por 18 países, os quais apresentam IDH médio de 0,885, utilização *per capita* mensal de 581 kWh, intensidade energética de 1,25 e UPEE de 463 kWh. A população desse segmento é de quase 415,5 milhões de pessoas (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015).

Finalmente, o terceiro segmento, no piso do *status* “muito alto”, reúne 16 países. Nesse caso, o IDH médio é de 0,836, a utilização *per capita* mensal média é de 411 kWh e a intensidade energética é de 1,28, resultando em uma UPEE média de 321 kWh, para uma população de quase 174 milhões de pessoas (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015). É nesse terceiro segmento que, previsivelmente, estão os três menores valores de utilização *per capita* de toda a faixa de IDH “muito alto”: 210,08 kWh (Argentina), 225,41 kWh (Polônia) e 230,19 kWh (Lituânia). A média geométrica desses três valores é 221,73 kWh e a média aritmética é 221,89 kWh. Ou seja, é esse número, arredondado para 222 kWh, que, em princípio, representa o valor mínimo para se adentrar à faixa superior do IDH. Deve-se, contudo, verificar o comportamento da faixa imediatamente inferior (IDH “alto”), buscando-se desafiar tal proposição, considerando-se que nas duas faixas mais baixas não há ocorrência de valor igual ou superior a ele – na faixa de IDH médio, o maior valor verificado é o da Namíbia (175,52 kWh), enquanto que na de IDH baixo é o da Suazilândia (34,55 kWh) (UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015).

Da verificação, observa-se que há apenas seis países pertencentes à faixa de IDH “alto” que possuem nível de utilização igual ou superior ao valor paradigma. E que, desses seis países, quatro possuem IDH igual ou superior a 0,790 – portanto, no limiar entre os níveis “alto” e “muito alto”. Restam, como exceções, a Albânia e a Líbia, países com IDH e UPEE de, respectivamente, 0,733 e 257,61 kWh e 0,724 e 254,46 kWh (UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015). Apesar de possíveis efeitos de variáveis intervenientes, ambas as distorções numéricas são muito expressivas, o que torna conveniente uma análise mais detida da conjuntura desses dois países.

O caso albanês é *sui generis*. O país possui capacidade adequada de oferta de energia elétrica, 98% proveniente de usinas hidrelétricas, mas a demanda industrial, que poderia gerar desenvolvimento econômico e humano, é limitada – reflexo da já distante dissolução do bloco comunista, no início da década de 1990, que teve como efeito o colapso de vários arranjos comerciais, especialmente aqueles pactuados com os países integrantes do CEMA²⁸, o que prejudicou o setor de energia (WORLD BANK, 1999, p. 47). O problema ainda tem sido

²⁸ *Comité Européen des groupements de constructeurs du machinisme agricole* (Comitê Europeu das Associações de Fabricantes de Máquinas Agrícolas).

exacerbado pela flutuação, devido a instabilidades climáticas, dos preços da energia elétrica (IMF, 2013, p. 43).

O maior percentual de utilização de energia elétrica pertence, nesse pequeno país dos Balcãs (pouco mais de três milhões de habitantes), ao segmento residencial (CIA, 2016), e o motivo para a alta demanda desse segmento é, no mínimo, insólito: em 2013, menos de 50% da energia fornecida foi devidamente paga (IMF, 2013, p. 43) – os agentes governamentais responsáveis pela cobrança e/ou pela eventual interrupção no serviço são intimidados e ameaçados por uma população armada, e o governo não parece ser capaz de fazer frente a essa afronta (WORLD BANK, 1999, p. 17).

Como é notório em qualquer parte do planeta, onde há fatura gratuita há tendência ao desperdício, o qual, nas circunstâncias atuais da Albânia, acaba por significar uma utilização *per capita* relativamente alta que, contudo, não vem acompanhada de um IDH correspondente, pois a utilização produtiva é, ao contrário, relativamente baixa.

Quanto à Líbia, encontra-se no meio de um processo de reconstrução política, o qual se estende desde 2011, quando, depois de uma violenta guerra civil seguida por intervenção militar internacional, o governo de Muammar Gaddafi foi derrubado, após quatro décadas no poder (CAMPBELL, 2013, p. 23).

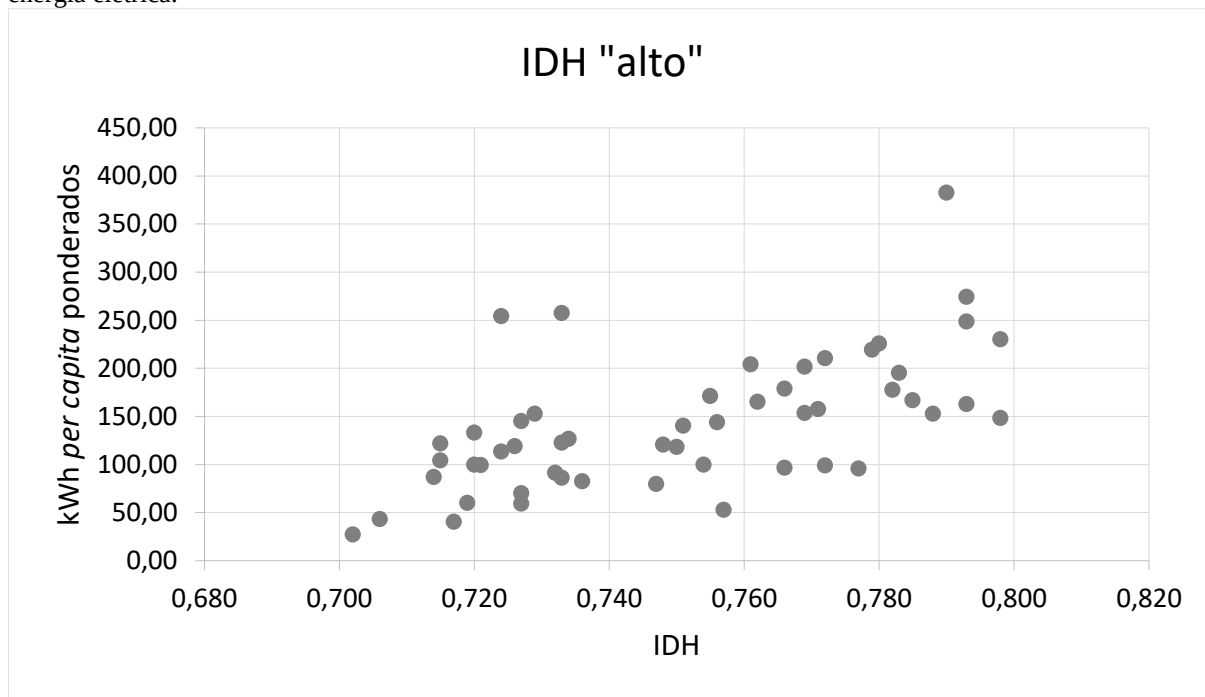
O país norte-africano é totalmente dependente do setor energético: em 2010, o petróleo constituiu de longe o maior setor da economia, representando 70% do PIB e 95% das receitas do governo (ZOUBIR; DRIS-AÏT-HAMADOUCHE, 2013, p. 47), o que explica a expressiva utilização de energia elétrica. Com uma população relativamente pequena (menos de 6,5 milhões de pessoas) (CIA, 2016), as receitas advindas do petróleo resultam em um PIB *per capita* relativamente elevado quando comparado aos dos países que lhe são fronteiriços – consideravelmente maior que os de Níger, Sudão e Chade, e inclusive superando Argélia, Tunísia e Egito (WORLD BANK, 2015) –, embora o conflito e a instabilidade política, antes e depois da intervenção, representem obstáculos para o desenvolvimento humano e para a redução da desigualdade, o que reflete diretamente no IDH. De fato, entre 2009 e 2014 a Líbia caiu 27 posições no *ranking* (UNDP, 2015a) – a maior queda entre todos os países.

Trata-se, pois, as duas exceções, do resultado de variáveis intervenientes que produzem efeitos locais, e parece razoável afirmar, empiricamente, que a utilização *per capita* média mensal ponderada de 222 kWh de energia elétrica consiste-se em requisito para se obter o *status* de IDH “muito alto”, algo que se torna de certa forma intuitivo a partir do Gráfico 24, embora tal utilização não seja, conforme se percebe pelos dados já apresentados, suficiente para ascender aos segmentos superiores desse mesmo *status*.

O grupo imediatamente inferior, que reúne os países de IDH “alto”, pode ser dividido, considerando-se a amplitude de 0,100 dessa faixa, em dois segmentos – entre 0,700 e 0,749 e entre 0,750 e 0,799. O primeiro é composto por 25 países, três a menos que o segundo. Quanto ao segmento inferior, os números são os seguintes: IDH médio de 0,728, utilização *per capita* mensal de 304 kWh, intensidade energética de 2,17 e UPEE de 140 kWh, para uma população de quase 1,67 bilhão de pessoas (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015). O segmento superior, por sua vez, apresenta IDH médio de 0,769, utilização *per capita* mensal de 274 kWh, intensidade energética de 1,55 e UPEE de 176 kWh, relativa a uma população de quase 826 milhões de pessoas (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015).

Chama-se atenção a dois fatos desse grupo. O primeiro diz respeito à utilização *per capita* de energia elétrica, maior no segmento inferior que no superior, situação que, contudo, inverte-se para a esperada normalidade quando se considera a intensidade energética, o que reforça a importância desta última. O segundo fato refere-se à China, país que concentra 82% da população total do segmento inferior. Sem a China, os números desse segmento são os seguintes: IDH médio de 0,730, utilização *per capita* mensal de 157 kWh, intensidade energética de 1,53 e UPEE de 103 kWh (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015). Diferentemente do grupo anterior, no qual a existência de pontos de saturação leva à visualização de padrões gráficos de dispersão horizontais, esse segmento apresenta um (esperado) padrão mais verticalizado, em rota de ascensão em direção aos valores mais altos de IDH, conforme se observa no Gráfico 25.

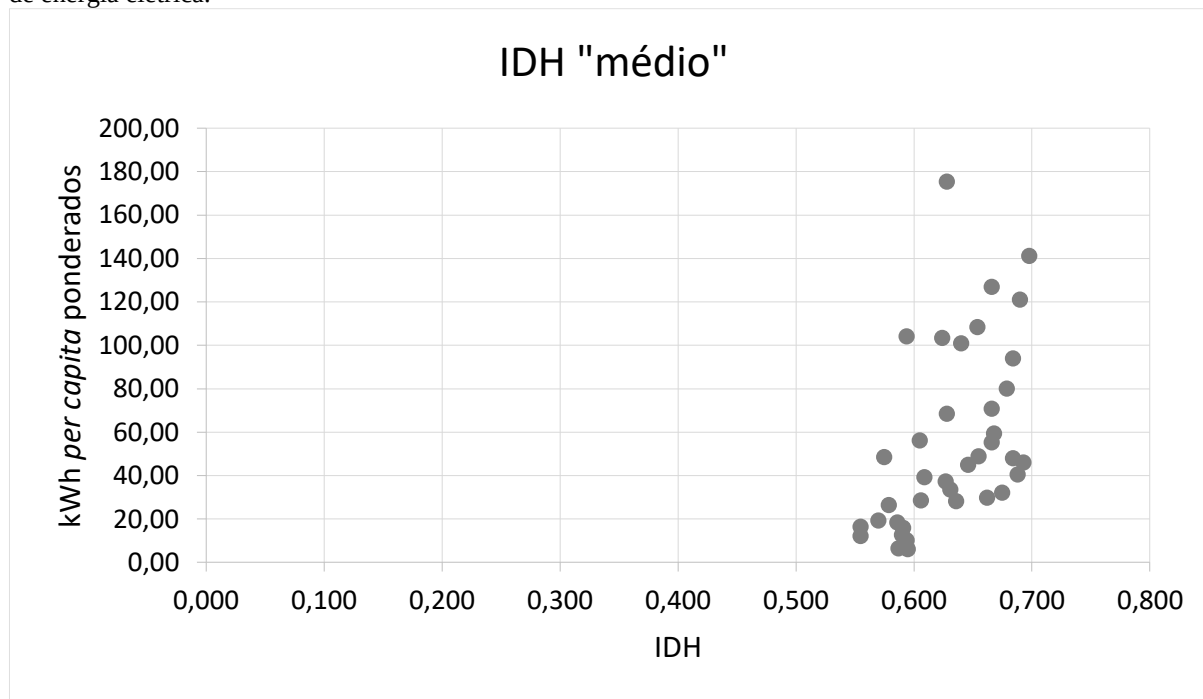
Gráfico 25. Dispersão dos países com IDH “alto” em relação aos valores ponderados de utilização *per capita* de energia elétrica.



Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

Quanto aos 38 países de IDH “médio”, o índice do grupo é de 0,626, a utilização *per capita* mensal de energia elétrica é de 68 kWh, a intensidade energética é de 1,42 e a UPEE é de 48 kWh, para uma população de quase 2,3 bilhões de pessoas, das quais 55% estão na Índia (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015). É nesse segmento que, de modo também esperado, a verticalização do padrão gráfico se torna mais evidente, conforme se verifica no Gráfico 26:

Gráfico 26. Dispersão dos países com IDH “médio” em relação aos valores ponderados de utilização *per capita* de energia elétrica.



Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

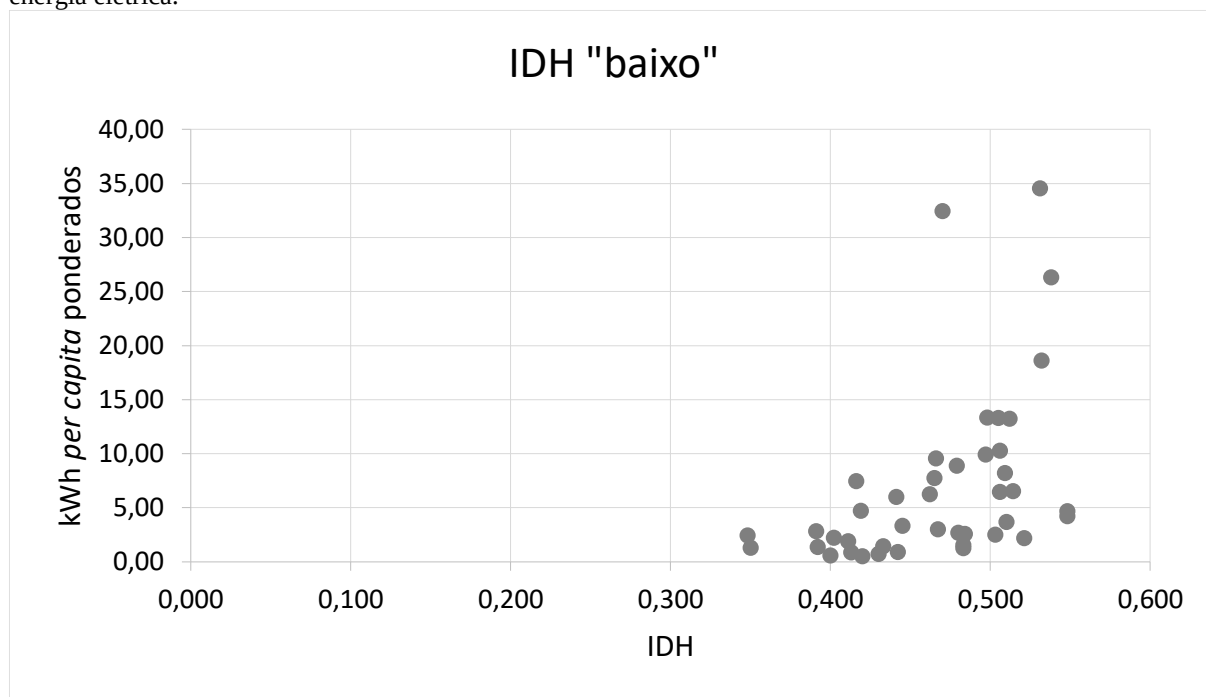
Finalmente, quanto ao grupo dos 43 países cujo IDH é “baixo”, o índice é de 0,487, a utilização *per capita* mensal de energia elétrica é de 15 kWh, a intensidade energética é de 2,47 e a UPEE é de menos de seis kWh, para uma população de mais de 1,16 bilhão de pessoas. Desses 43 países, apenas seis (Nepal, Paquistão, Ilhas Salomão, Iêmen, Haiti e Afeganistão) não estão localizados no continente africano, o qual conta com 54 países independentes (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015).

Esses dois últimos grupos, especialmente o de IDH “baixo”, apresentam uma notória incipiência quanto à utilização de energia elétrica, com valores ponderados que impedem até mesmo o vislumbre de qualquer desenvolvimento, fato que ressalta ainda mais a importância dessa energia. O menor valor dessa utilização é verificado na Guiné-Bissau, país cujo IDH é de apenas 0,420: 0,54 kWh (CIA, 2016; UNDP, 2015a; WORLD BANK, 2015), apenas marginalmente afastado do valor zero, o qual inclusive seria um óbice à utilização na série de dados que dará origem à fórmula, possivelmente logarítmica, destinada à correlação objetiva entre UPEE e IDH²⁹. Quanto ao padrão gráfico desse grupo mais desfavorecido, observa-se

²⁹ A utilização de logaritmo natural implica a escolha de valores maiores que zero, pois não há número x que satisfaça a condição $e^x = 0$. No caso, e é o número irracional conhecido como número de Euler, igual a 2,718281... Cf. NG, Adeline; PARWANI, Rajesh R. **Integrated Mathematics for Explorers**: Intermediate. Singapore: Simplicity Research Institute, 2012.

uma quase completa estagnação na faixa de utilização de até (ínfimos) 10 kWh, o que corrobora a mencionada inviabilidade de desenvolvimento, conforme se constata no Gráfico 27:

Gráfico 27. Dispersão dos países com IDH “baixo” em relação aos valores ponderados de utilização *per capita* de energia elétrica.



Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

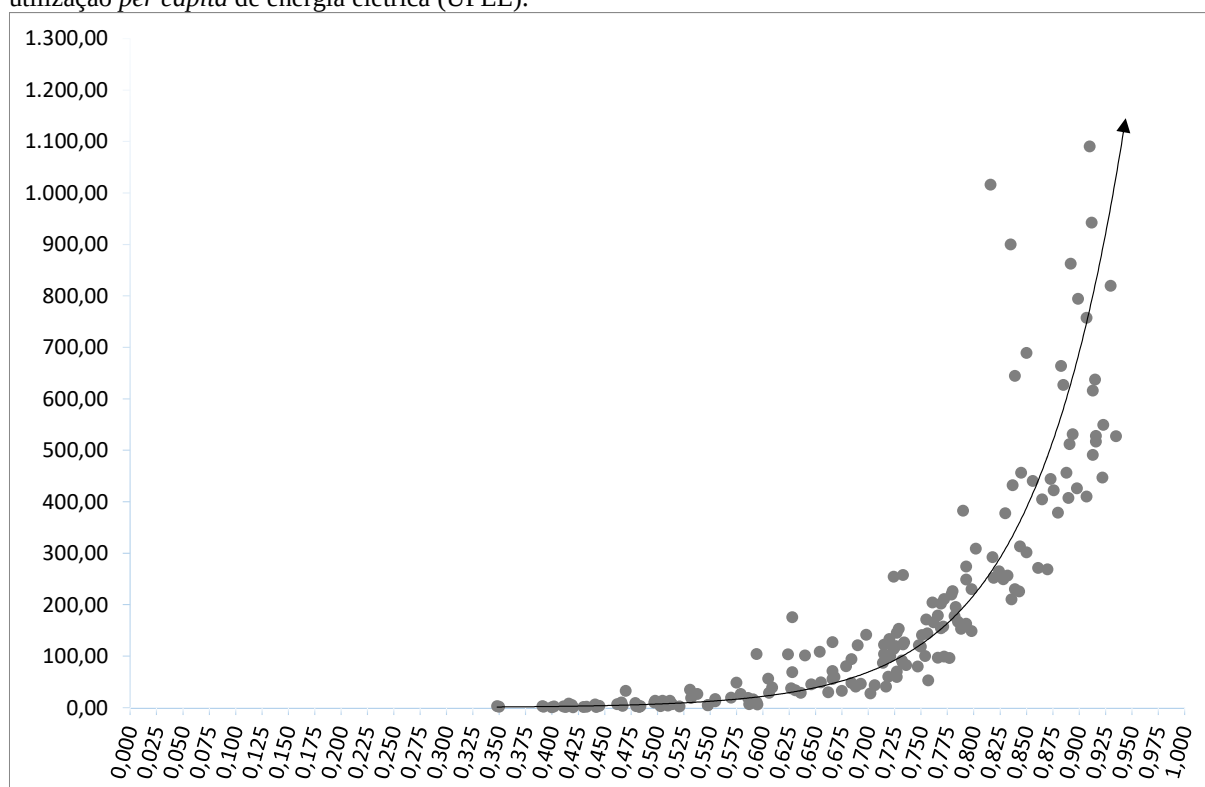
Uma vez realizada a identificação do valor objetivo mínimo da UPEE relacionado ao *status* de IDH “muito alto”, bem como dos valores mínimos, máximos e médios inerentes a cada faixa do IDH, deve-se proceder à verificação da possibilidade de, mediante elaboração de uma fórmula matemática, inferir valores de IDH em função da UPEE. É o que será feito na subseção seguinte.

4.5 ELABORAÇÃO DE FÓRMULA PARA CORRELACIONAR OBJETIVAMENTE A UTILIZAÇÃO *PER CAPITA* PONDERADA DE ENERGIA ELÉTRICA (UPEE) E O IDH

A despeito da possível existência de inúmeras variáveis intervenientes, com diferentes níveis de influência sobre a correlação entre IDH e utilização de energia elétrica, a própria relevância da correlação, discutida previamente, torna tentador imaginar a possibilidade de existência de uma fórmula capaz de sintetizar apropriadamente, para qualquer faixa do IDH, o comportamento do Índice em função da utilização *per capita* ponderada de energia elétrica (UPEE) e vice-versa. O Gráfico 28 indica que uma possível fórmula da correlação entre IDH e UPEE deverá compor, em relação aos países, um sinal de tendência (no gráfico, representado

pela linha com uma seta na extremidade) cujo padrão visual sugere a utilização de uma função potência – isto é, algo definido por uma fórmula do tipo $f(x) = x^n$, sendo n uma constante racional. Eventualmente a fórmula poderá ser uma função exponencial – por exemplo, $f(x) = b^x$. E, considerando-se que $\log_b a = x \leftrightarrow b^x = a$, a função exponencial poderá, ao cálculo de x , valer-se de logaritmos (ADAMI; DORNELLES FILHO; LORANDI, 2015, p. 65, 111, 116), conforme já se havia intuído.

Gráfico 28. Dispersão dos países conforme os valores de IDH em relação aos respectivos valores ponderados de utilização *per capita* de energia elétrica (UPEE).



Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

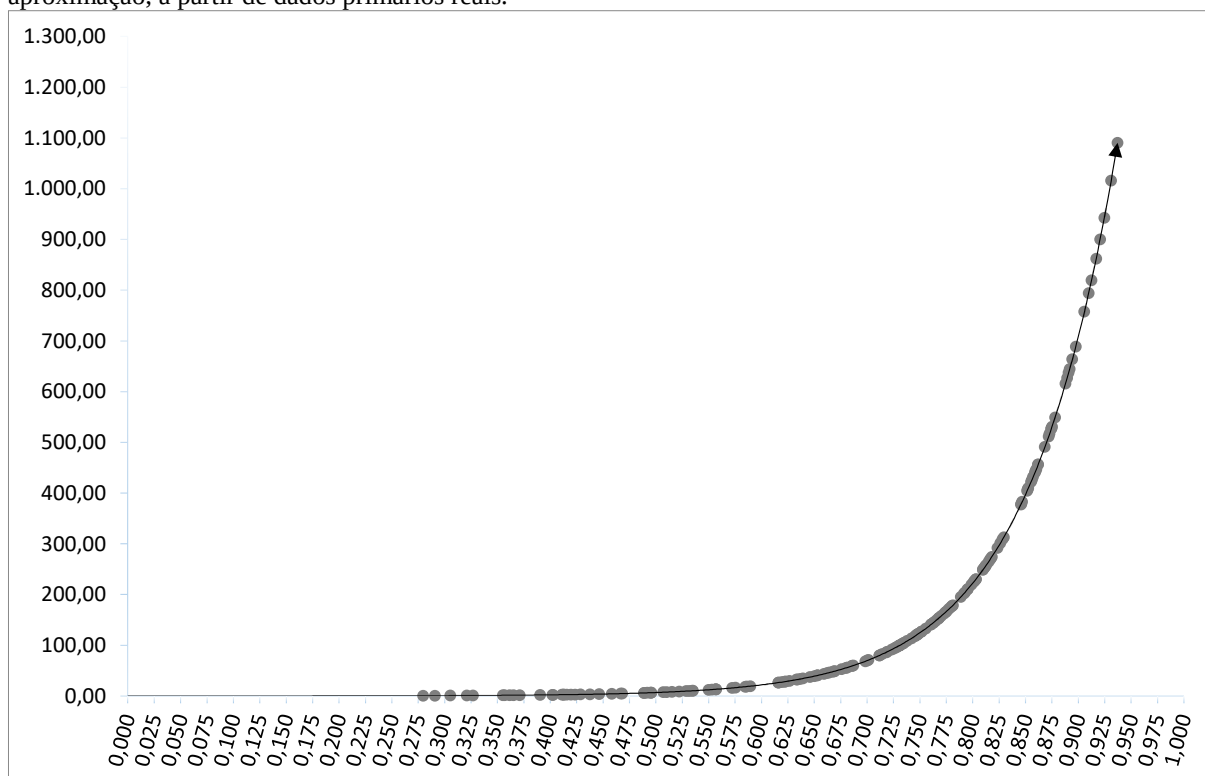
De fato, a simulação computacional indica que essa linha de tendência pode ser descrita pela fórmula $UPEE = 0,0209 * e^{11,59 IDH}$, a qual apresenta, para o conjunto dos 183 países analisados, uma precisão de $R^2 = 0,8934$. Esse “r-quadrado” – informa-se como reminiscência da seção de testes estatísticos – é uma medida que se situa entre zero e um, extremos que representam, respectivamente, representação nula e máxima da realidade. Ou seja, a precisão é, no caso, muito elevada, sendo a imprecisão (igual a 0,1066) caracterizada pela dispersão adjacente à linha de tendência do gráfico.

Desenvolvendo-se matematicamente essa fórmula pode-se obter uma equivalente, válida para representar o valor do IDH em função da UPEE:

$$e^{11,59 IDH} = \frac{UPEE}{0,0209} \leftrightarrow \log_e \left(\frac{UPEE}{0,0209} \right) = 11,59 IDH \leftrightarrow IDH = \frac{\log_e \left(\frac{UPEE}{0,0209} \right)}{11,59}$$

A aplicação dessas fórmulas leva ao padrão visual observado no Gráfico 29:

Gráfico 29. Dispersão dos países conforme os valores de IDH em relação aos respectivos valores ponderados de utilização *per capita* de energia elétrica (UPEE) – valores calculados mediante fórmula logarítmica de aproximação, a partir de dados primários reais.



Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

Apesar de previsível a partir do tratamento paulatino dos dados realizado ao longo deste trabalho, a possibilidade de representar universalmente o IDH em função da UPEE (e vice-versa) por meio de uma fórmula absolutamente simples, mantendo-se um valor de R^2 bastante elevado, atesta, uma vez mais, a elevada correlação entre essas duas variáveis. Mais que isso: utilizando-se dessa fórmula, o valor de UPEE indicado ao IDH 0,800 (o menor da faixa “muito alto”) é de 222,2925 – ou seja, coincidente com o valor mínimo, calculado previamente, como requisito a essa faixa de IDH. Apresenta-se, a propósito, a fórmula para o cálculo da UPEE em função do IDH, conforme a notação utilizada no Excel®:

$$UPEE=0,0209*(EXP(1)^(11,59*IDH))$$

A outra modalidade da mesma fórmula, porém destacando o IDH como variável incógnita, pode ser representada no mesmo programa por:

$$IDH = \text{LOG}(UPEE/0,0209; \text{EXP}(1))/11,59$$

Na verdade, a análise dos padrões gráficos torna possível imaginar uma fórmula ainda mais simplificada – sem logaritmos ou função exponencial – que permita, ainda assim, uma aproximação razoável da realidade. No caso, o cálculo pode ser realizado por meio de uma função potência bastante simples, a qual também foi previamente intuída a partir dos valores típicos das faixas de IDH representados nos Gráficos 24 a 27, e cuja aplicação resulta em uma variação média de 8,39% em relação aos valores reais dos 183 países analisados:

$$IDH = \frac{UPEE^{\frac{1}{2}}}{UPEE^{\frac{1}{3}}} * \frac{1}{3} = \frac{\sqrt{UPEE}}{\sqrt[3]{UPEE}} * \frac{1}{3} = \frac{2 * \sqrt[3]{UPEE^3}}{3 * \sqrt[3]{UPEE^2}} * \frac{1}{3} = \frac{\sqrt[6]{UPEE^3}}{\sqrt[6]{UPEE^2}} * \frac{1}{3} = \frac{\sqrt[6]{UPEE^3}}{\sqrt{UPEE^2}} * \frac{1}{3} = \frac{\sqrt[6]{UPEE}}{3}$$

↔

$$IDH = \frac{\sqrt[6]{UPEE}}{3}$$

Desenvolvendo-se a fórmula, de modo a isolar a variável UPEE, obtém-se:

$$\sqrt[6]{UPEE} = 3 * IDH \leftrightarrow UPEE = (3 * IDH)^6$$

Para utilização no Excel® as notações são, respectivamente:

$$IDH = (UPEE^{(1/6)})/3$$

e

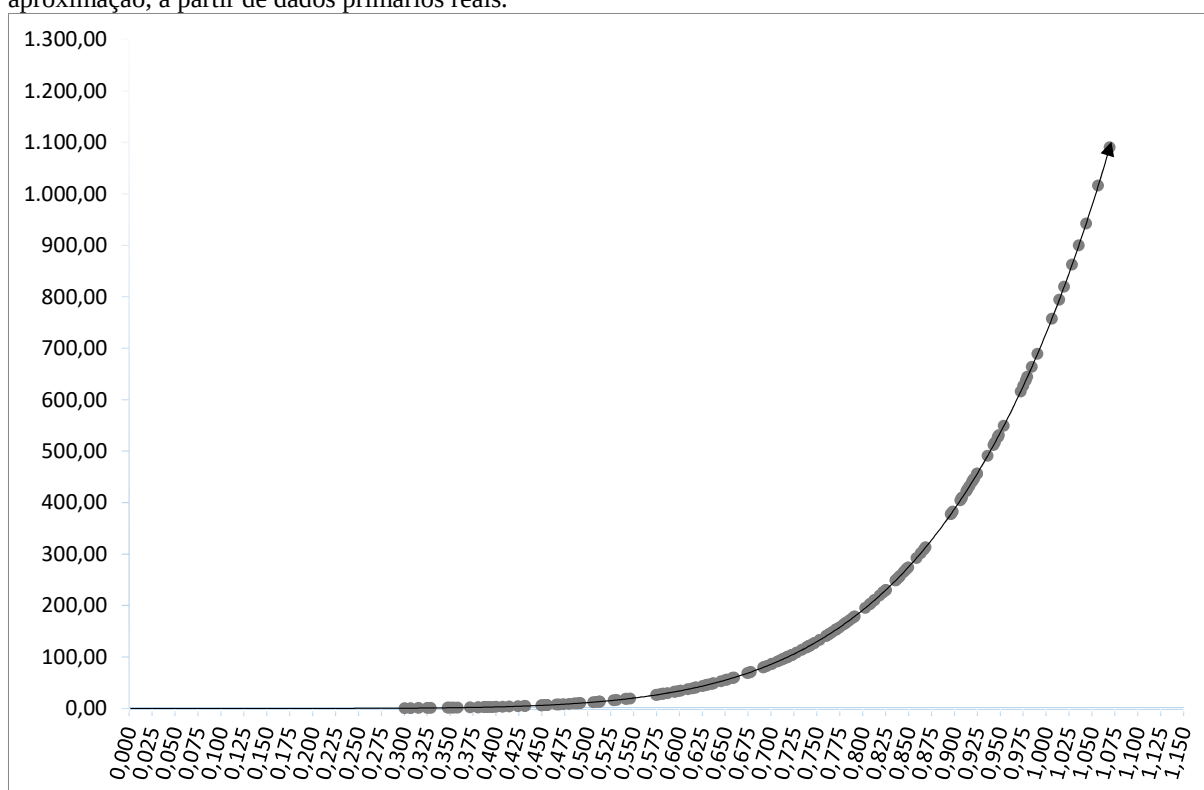
$$UPEE = (3 * IDH)^6$$

Mediante essa fórmula simplificada, aplicada aos dados de UPEE dos 53 países da faixa de IDH “alto”, obtêm-se valores de IDH cuja média de variação, em relação aos valores reais, é de 5,16%, enquanto nos 49 países do nível “muito alto” o valor sobe para 7,77%. Aos 38 países com *status* “médio”, a variação é de 9,01%, alcançando, finalmente, 12,52 % nos 43 países de IDH “baixo”. Nesse ponto, deve-se ponderar que uma menor precisão quanto aos países de IDH “baixo” seria mesmo esperada, dada a inexpressividade do valor médio de UPEE envolvido – recorde-se, menos de seis kWh. Em outras palavras: esse valor é tão baixo que, mesmo que fosse aumentado à razão de, digamos, 1.000%, ainda assim seria, por exemplo,

noventa vezes menor que o da Alemanha, o que sinaliza a inexistência, nesses países de IDH “baixo”, de qualquer estrutura energética minimamente compatível com as dos países mais desenvolvidos. Disso resulta que quaisquer alterações na estrutura do sistema dos países mais pobres, ainda que irrelevantes em um contexto global e de valores absolutos, tendem a representar variações percentuais significativas nos valores locais de utilização, o que aumenta, no caso em estudo, a incerteza probabilística em relação a esses países.

O padrão visual obtido com essas fórmulas mais simplificadas está representado no Gráfico 30:

Gráfico 30. Dispersão dos países conforme os valores de IDH em relação aos respectivos valores ponderados de utilização *per capita* de energia elétrica (UPEE) – valores calculados mediante fórmula simplificada de aproximação, a partir de dados primários reais.



Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

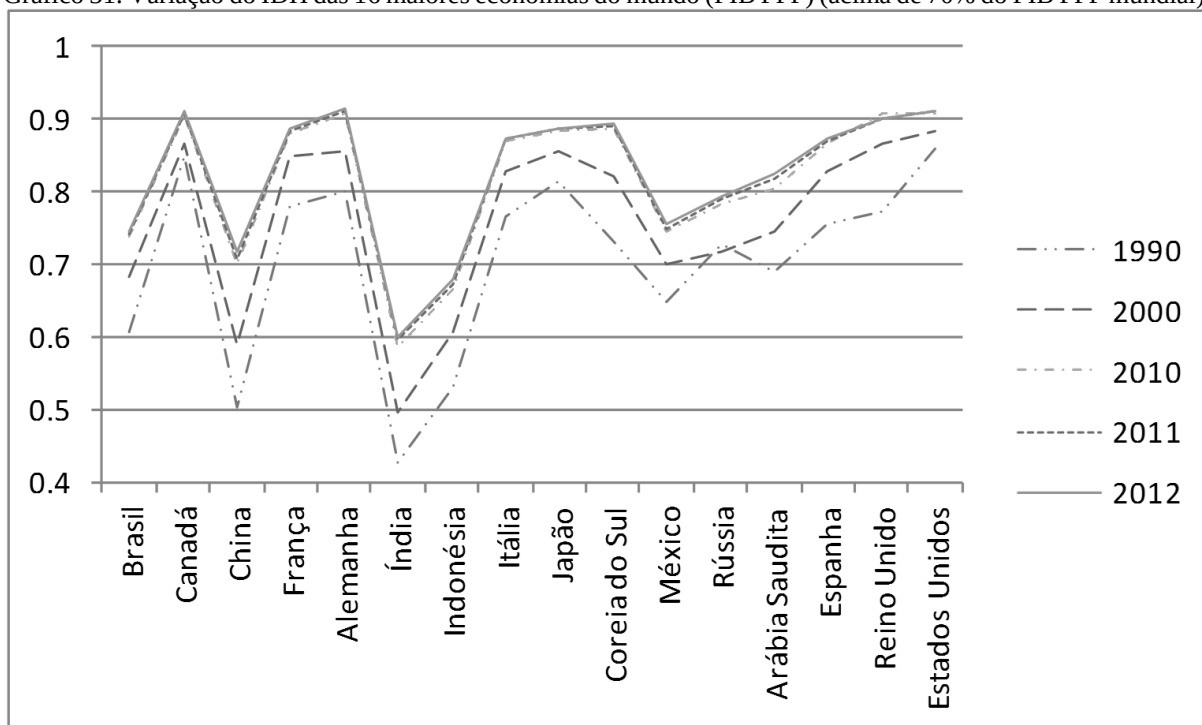
Constata-se, visualmente, a razoável semelhança entre os dois últimos gráficos (29 e 30), a despeito de sua formação implicar, conforme descrito, funções matemáticas diversas.

Finalmente, com vistas à melhor validação de ambas as fórmulas, realizou-se simulação em relação a 133 países, para os quais estão disponíveis informações sobre IDH, utilização de energia elétrica e intensidade energética referentes aos anos de 1990, 2000, 2010, 2011 e 2012. De modo global, a utilização da fórmula logarítmica resulta em uma média de

96,58% dos valores efetivos de IDH, enquanto com a fórmula simplificada a média alcança 96,45%.

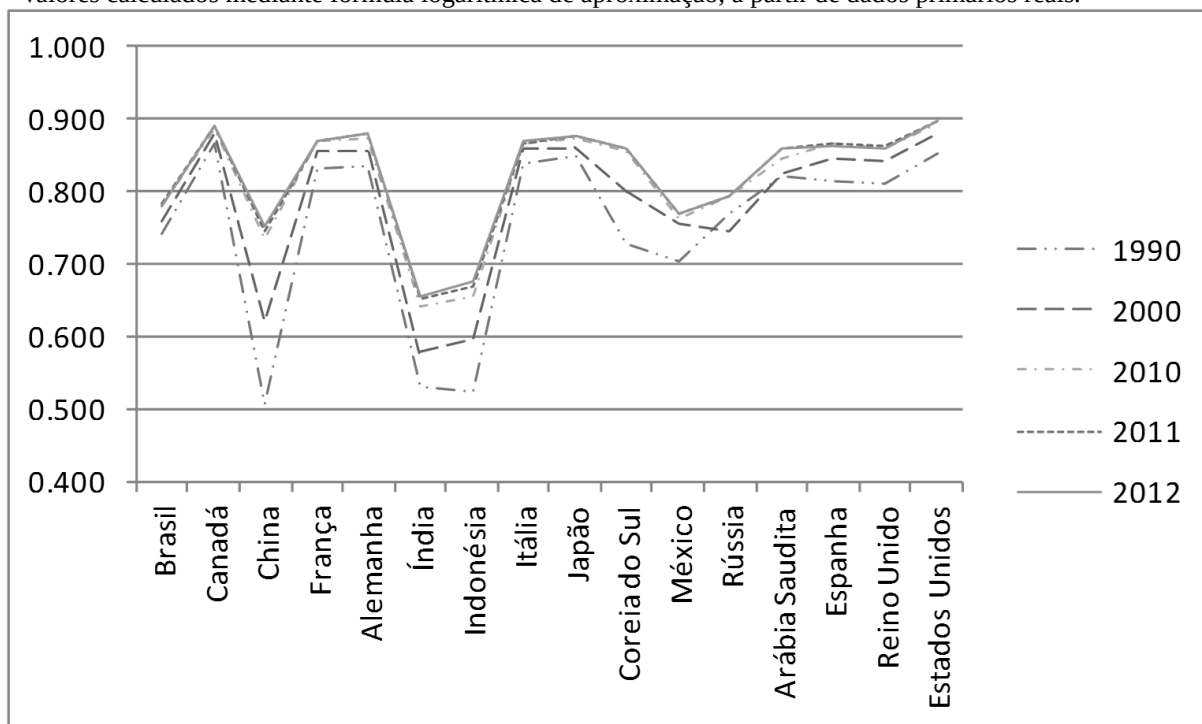
Adicionalmente, elaboraram-se gráficos (31 a 33) referentes às 16 maiores economias do mundo em números absolutos de PIB PPP, estimados para o ano de 2015 (CIA, 2016), as quais representam, na mesma base de comparação, mais de 70% do PIB mundial. A utilização de 16 conjuntos de dados torna possível a representação gráfica adequada, o que seria inviável mediante a utilização dos 133 países mencionados no parágrafo anterior, dadas as limitações visuais inerentes a este tipo de trabalho.

Gráfico 31. Variação do IDH das 16 maiores economias do mundo (PIB PPP) (acima de 70% do PIB PPP mundial).



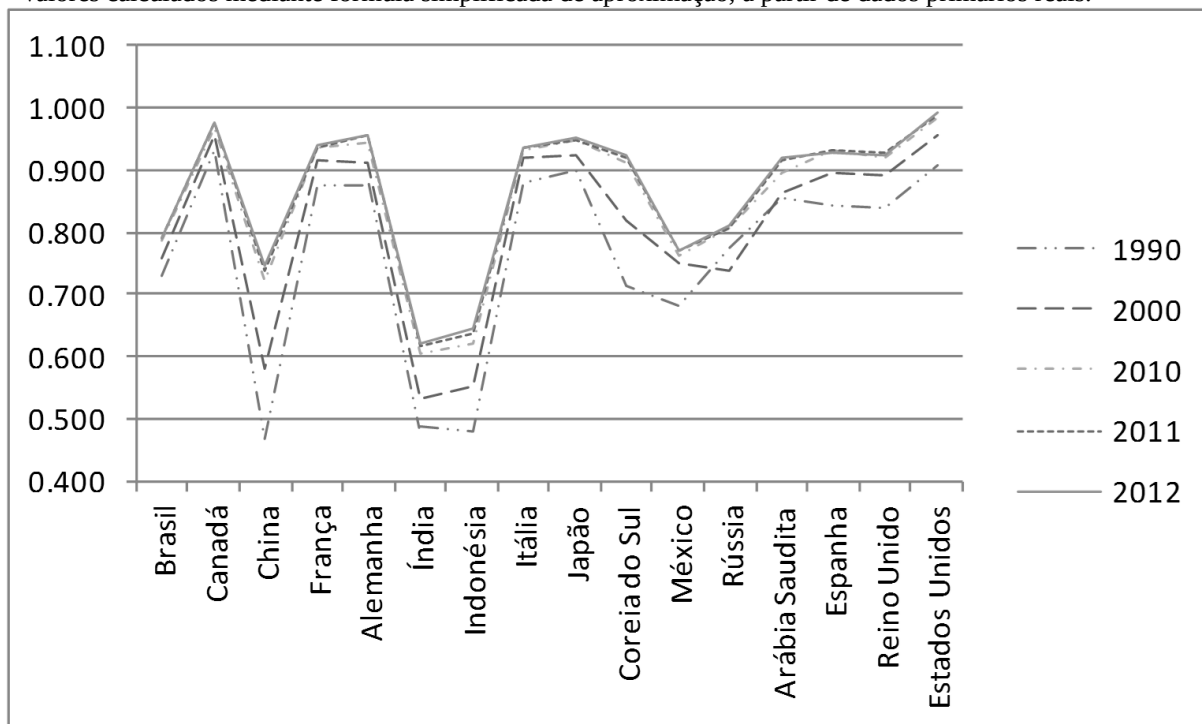
Fonte dos dados primários: UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

Gráfico 32. Variação do IDH das 16 maiores economias do mundo (PIB PPP) (acima de 70% do PIB PPP mundial) – valores calculados mediante fórmula logarítmica de aproximação, a partir de dados primários reais.



Fonte dos dados primários: UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

Gráfico 33. Variação do IDH das 16 maiores economias do mundo (PIB PPP) (acima de 70% do PIB PPP mundial) – valores calculados mediante fórmula simplificada de aproximação, a partir de dados primários reais.



Fonte dos dados primários: UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

Observa-se, em qualquer dos três gráficos acima, a semelhança entre o padrão dos IDH reais (Gráfico 31), dos IDH projetados conforme a fórmula logarítmica (Gráfico 32) e dos IDH

projetados mediante a fórmula simplificada (Gráfico 33), ressaltando-se ainda que o período coberto alcança mais de duas décadas.

4.6 INTERPRETAÇÃO DOS VALORES DE IDH CALCULADOS COM BASE NA UPEE

Conforme se demonstrou nas seções anteriores, é razoável esperar, para certa UPEE, certo valor de IDH, ante a correlação existente entre as duas variáveis. Assim, valores real e previsto muito divergentes entre si indicam que certo país está se valendo melhor ou pior de sua UPEE em relação à média. Trata-se, portanto, a UPEE, de ferramenta de comparação, tal qual o próprio IDH, ambos permitindo contrastar o desempenho de diferentes países em relação a algumas variáveis tidas como importantes. O diferencial finalístico está na essencialidade da energia elétrica, da qual dependem todos os fatores capazes de estimular o desenvolvimento econômico e humano, devendo-se considerar que há, no entanto, gravames na disponibilização dessa energia, tanto sob o ponto de vista financeiro quanto da sustentabilidade, os quais influenciam de maneira mais ou menos negativa o processo como um todo. Ou seja, o desenvolvimento depende da utilização de energia, mas o que se espera é um retorno dessa utilização tão otimizado quanto possível. E, para avaliar essa otimização, depende-se do artifício da comparação – da mesma forma que a intensidade energética permite aferir o desempenho financeiro sobre a utilização de energia primária, a UPEE, que inclusive se vale da intensidade, permite aferir o desempenho do IDH como um todo, pois correlacionada com o próprio Índice.

Em termos práticos, a coexistência de um IDH real relativamente alto e um IDH previsto pela UPEE relativamente baixo indica que, em princípio, o país analisado consegue capitalizar sua utilização de energia de forma eficiente em relação ao desenvolvimento humano. Caso esse país não apresente sinais de saturação na utilização de energia, o incremento da UPEE poderia, provavelmente, incentivar o aumento do IDH.

Por outro lado, um IDH real comparativamente baixo em relação a um IDH previsto pela UPEE relativamente alto pode indicar que a utilização de energia não é otimizada, situação que demandaria, previamente à promoção do crescimento da UPEE, medidas voltadas ao saneamento da cadeia de energia, de modo a se evitar investimentos onerosos em sistemas deficitários, que não oferecem retorno condizente com a utilização. Observe-se, por oportuno, uma vez mais o exemplo da Albânia e da Líbia. No primeiro caso, o IDH calculado em função da UPEE é de 0,813, mas o país possui, de fato, IDH de 0,733 (UNDP, 2015a). Cientes do mencionado problema da utilização espúria de energia elétrica pelos cidadãos, não faria muito

sentido aos decisores políticos, ao menos não em relação à promoção da longevidade, da educação e da renda *per capita* – isto é, em relação ao próprio IDH – incentivar uma maior utilização, pois resta demonstrado que, por sua própria natureza, ela não será revertida em maior desenvolvimento.

Situação semelhante ocorre em relação à Líbia, com IDH previsto de 0,812 e IDH real de 0,724 (UNDP, 2015a). A citada dependência que o país possui em relação ao petróleo, com toda a cautela que, conforme se demonstrou, deve-se manter em relação à vinculação a esse hidrocarboneto, somada à instabilidade política e à desigualdade social, demandam, igualmente, outras prioridades que não a intensificação da UPEE.

Contudo, e conforme já adiantado mais acima, há ao menos uma situação em que a promoção da UPEE poderia ser desaconselhada, ainda que presentes sinais de retorno otimizado em relação à utilização. Trata-se dos casos em que há indicação de saturação, a partir da qual a utilização poderia ter caráter meramente supérfluo. Um exemplo dessa situação é o Reino Unido, país firmemente estabelecido na faixa de IDH “muito alto” e com IDH previsto inferior ao real – respectivamente, 0,853 e 0,907. Conforme se demonstrou no Gráfico 18, há uma evidente sinalização de saturação na utilização de energia elétrica, além de uma correlação relativamente fraca entre IDH e utilização de energia, ambas sugerindo que, no atual estado da arte, eventuais medidas de promoção a essa utilização resultariam em superfluidade. Não por acaso, o Reino Unido é o único país entre as dez maiores economias do mundo a apresentar, nos testes estatísticos de regressão, determinação “baixa” entre as variáveis, conforme restou demonstrado na Tabela 2.

Situação mista ocorre na China, país que se encontra distante de uma utilização saturada, mas que, talvez por conta da velocidade do crescimento, ainda não capitalizou adequadamente sobre a UPEE. A intensidade energética relativamente alta (2,32) também representa empecilho ao desenvolvimento, sobretudo quando considerada a utilização em valores absolutos conjugada com a matriz energética do país, o que provavelmente acaba por afetar os indicadores do IDH, principalmente a renda *per capita*.

Apesar da alta correlação entre as variáveis e da ausência de saturação, na Índia a UPEE não tem sido convertida no nível de IDH que seria esperado. A provável explicação está no (já mencionado) valor incipiente dessa UPEE – 39,23 kWh –, incapaz de suportar o nível de desenvolvimento que seria desejado, assim resultando em baixos índices de expectativa de vida, de educação e de renda. Dada essa incipiência, parece adequado, nesse caso, o investimento na promoção da UPEE, a despeito da baixa capitalização indicada.

Observa-se que, em geral, as indicações dos testes de regressão estatística são confirmadas por meio da fórmula deduzida ao IDH e à UPEE, o que acaba por reforçar os argumentos apresentados em um e outro caso. Países desenvolvidos em que há sinais de saturação apresentam, assim, IDH real superior ao projetado, o que sugere a *priorização* de políticas públicas voltadas a áreas não diretamente vinculadas à questão energética, ao contrário do que ocorre nos países em desenvolvimento, os quais requerem atenção concomitante a essa questão (dada a demanda não atendida), à diminuição da intensidade energética e à redução de desigualdades – nesse último caso, deve-se considerar, precipuamente, a necessária promoção da universalidade de acesso à energia elétrica, seguida pela disponibilização de níveis adequados dessa energia.

As Tabelas 8 e 9 apresentam dois exemplos de simulação, nas quais são indicados o IDH real e o que seria esperado em função da UPEE, assim como a relação entre ambos, a qual indica a eficiência da UPEE induzida ao IDH.

Tabela 9. Cálculo do IDH conforme a metodologia vigente, ao qual se acrescentou o valor esperado conforme a UPEE, mediante a fórmula logarítmica. País: Alemanha³⁰.

Dimensão	Indicador			Mínimo	Máximo
Vida longa e saudável	Expectativa de vida ao nascer (anos)			20	85
Educação	Escolaridade esperada (anos)			0	18
	Escolaridade efetiva (anos)			0	15
Padrão decente de vida	Renda nacional <i>per capita</i> (2011 PPP \$)			100	75,000
Indicador	Expectativa de vida ao nascer (anos)	Escolaridade esperada (anos)	Escolaridade efetiva (anos)	Renda nacional <i>per capita</i> (2011 PPP \$)	kWh mensais <i>per capita</i> ponderados
	Valores verificados	80.9	16.5	13.1	43,919
(2014)				Resultados	Alemanha
Índice de expectativa de vida				0.937	
Índice de escolaridade efetiva				0.871	
Índice de escolaridade esperada				0.914	
Índice de educação				0.893	
Índice de renda				0.919	
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)				0.916	
IDH esperado em função da utilização ponderada <i>per capita</i> de energia elétrica (UPEE)				0.873	
Eficiência da UPEE				104.96%	

Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

³⁰ Os campos com fundo cinza na tabela representam as inovações.

Tabela 10. Cálculo do IDH conforme a metodologia vigente, ao qual se acrescentou o valor esperado conforme a UPEE, mediante a fórmula logarítmica. País: Brasil³¹.

Dimensão	Indicador		Mínimo	Máximo	
Vida longa e saudável	Expectativa de vida ao nascer (anos)		20	85	
Educação	Escolaridade esperada (anos)		0	18	
	Escolaridade efetiva (anos)		0	15	
Padrão decente de vida	Renda nacional <i>per capita</i> (2011 PPP \$)		100	75,000	
Indicador	Expectativa de vida ao nascer (anos)	Escolaridade esperada (anos)	Escolaridade efetiva (anos)	Renda nacional <i>per capita</i> (2011 PPP \$)	kWh mensais <i>per capita</i> ponderados
Valores verificados	74.5	15.2	7.7	15,175	171.30
(2014)				Resultados	Brasil
Índice de expectativa de vida				0.838	
Índice de escolaridade efetiva				0.511	
Índice de escolaridade esperada				0.844	
Índice de educação				0.677	
Índice de renda				0.759	
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)				0.755	
IDH esperado em função da utilização ponderada <i>per capita</i> de energia elétrica (UPEE)				0.778	
Eficiência da UPEE				97.14%	

Fonte dos dados primários: CIA (2016); UNDP (2015a); WORLD BANK (2015).

De modo a auxiliar na utilização das Tabelas 9 e 10, apresenta-se a seguir a transcrição das fórmulas necessárias ao cálculo do IDH, elaboradas conforme a metodologia da ONU (UNDP, 2015b, p. 1-3) e transcritas, no caso, para utilização em programas de folha de cálculo (Excel® ou equivalente):

C82: expectativa de vida observada

E76: valor máximo considerado ao indicador expectativa de vida (valor fixo)

D76: valor mínimo considerado ao indicador expectativa de vida (valor fixo)

E82: escolaridade efetiva observada

E78: valor máximo considerado ao indicador escolaridade efetiva (valor fixo)

D78: valor mínimo considerado ao indicador escolaridade efetiva (valor fixo)

D82: escolaridade esperada observada

E77: valor máximo considerado ao indicador escolaridade esperada (valor fixo)

³¹ Os campos com fundo cinza na tabela representam as inovações.

D77: valor mínimo considerado ao indicador escolaridade esperada (valor fixo)

F82: renda per capita observada

E79: valor máximo considerado ao indicador renda per capita (valor fixo)

D79: valor mínimo considerado ao indicador renda per capita (valor fixo)

$$\text{IDH}(\text{célula que informará o resultado})=(\text{C84}*\text{C87}*\text{C88})^{(1/3)}$$

Sendo que:

$$\text{C84}=\text{SE}(\text{C82}\leq\text{E76};(\text{C82}-\text{D76})/(\text{E76}-\text{D76});1)$$

$$\text{C87}=(\text{C85}+\text{C86})/2$$

$$\text{C85}=\text{SE}(\text{E82}\leq\text{E78};(\text{E82}-\text{D78})/(\text{E78}-\text{D78});1)$$

$$\text{C86}=\text{SE}(\text{D82}\leq\text{E77};(\text{D82}-\text{D77})/(\text{E77}-\text{D77});1)$$

$$\text{C88}=\text{SE}(\text{F82}\leq\text{E79};(\text{LN}(\text{F82})-\text{LN}(\text{D79})))/(\text{LN}(\text{E79})-\text{LN}(\text{D79}));1)$$

Para se obter diretamente o valor do IDH na célula do resultado, pode-se utilizar a concatenação resultante dessas fórmulas individuais:

$$\text{IDH}(\text{célula que informará o resultado})=\left(\left(\left(\text{SE}(\text{C82}\leq\text{E76};(\text{C82}-\text{D76})/(\text{E76}-\text{D76});1)\right)\right)\left(\left(\text{SE}(\text{E82}\leq\text{E78};(\text{E82}-\text{D78})/(\text{E78}-\text{D78});1)\right)\right)+\left(\text{SE}(\text{D82}\leq\text{E77};(\text{D82}-\text{D77})/(\text{E77}-\text{D77});1)\right)\right)/2*\left(\text{SE}(\text{F82}\leq\text{E79};(\text{LN}(\text{F82})-\text{LN}(\text{D79})))/(\text{LN}(\text{E79})-\text{LN}(\text{D79}));1)\right)^{(1/3)}$$

Em qualquer caso, o que se espera é que a ferramenta de cálculo do IDH em função da UPEE, pautada na indispensabilidade da energia elétrica e na importância da intensidade energética, represente um auxílio à compreensão desses dois fatores, bem como, de modo casuístico, da necessária adequabilidade da estrutura energética de cada país, não se olvidando da atenção que deve ser dispensada à matriz energética, e que dessa compreensão holística possam resultar decisões políticas que favoreçam, contextualmente, o desenvolvimento humano, sobretudo nos países cujo IDH é mais baixo.

4.7 ANÁLISE DO PLANO NACIONAL DE ENERGIA

Conforme se afirmou na revisão da literatura, o histórico e a projeção dos valores atuais de utilização de energia elétrica indicam um satisfatório alinhamento com as metas do PNE 2050.

Contudo, não se pode olvidar de uma circunstância-chave, a qual é, historicamente, uma característica nacional. O Brasil está atualmente na categoria de desenvolvimento humano “alto”, tentando atingir o *status* “muito alto”, mas isso não significa, claro, que toda a população brasileira vive com padrões de alto nível de desenvolvimento, questão que será discutida na subseção seguinte.

4.7.1 Desigualdades na utilização, distorções de correlação e a estimativa do IDH atual dos estados brasileiros

A ONU ressalta que, no cenário brasileiro, a desigualdade social, consideravelmente elevada, implica, na prática, em níveis de desenvolvimento internos muito variados (SCHREIBER, 2015). Tendo em vista essa desigualdade, parece conveniente analisar o desenvolvimento estado a estado. Considerando-se o escopo deste trabalho, o desdobramento ao nível municipal não parece acertado, dada a situação de forte dependência em que estes entes federativos se encontram em relação aos estados de que são parte, a despeito do protagonismo concedido formalmente aos municípios pela Constituição vigente. Em outras palavras, não parece razoável esperar que a esmagadora maioria dos quase 5.600 municípios brasileiros tenha qualquer condição, técnica ou financeira, de entabular e levar a cabo políticas estruturais relacionadas à questão energética³².

Embora os valores mais recentes de IDH sejam, quantos aos países, referentes a 2014 (UNDP, 2015a), os valores municipais e estaduais brasileiros mais recentes são os de 2010. Assim, qualquer cálculo que tenha por base o IDH correlacionado à utilização de energia elétrica deve se valer de estimativas de valores, realizadas a partir dos Índices de 1991, 2000 e 2010, os quais são disponibilizados pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

³² Segundo o censo mais recente, referente a 2010, havia no Brasil, à época, 5.565 municípios, dos quais apenas 325 (5,84%) possuíam entre 50.001 e 100.000 habitantes e apenas 283 (5,09%) mais de 100.000 habitantes. Apenas 38 municípios – 0,68% do total – contavam com mais de 500.000 mil habitantes. Cf. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Número de municípios no Censo Demográfico, por classes de tamanho da população (população presente e residente)**. Séries históricas e estatísticas. Temas e subtemas. População e demografia. População e território. Período: 1950-2010. 18 fev. 2013b. Disponível em: <<https://goo.gl/hYmiBy>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

no Brasil (PNUD) (ONUBR, 2013), e também a partir da média da variação do IDH do Brasil nesses mesmos anos. Projetando-se a diferença a partir desses valores, pode-se estimar uma variação anual média de 0,54% para o período 2011-2014, e, assim, calcular os prováveis IDH dos estados e do Distrito Federal (isto é, das unidades federativas de 2º grau) referentes a 2014. Para verificar a precisão da estimativa, pode-se comparar a média desses valores assim obtidos e o IDH do Brasil no mesmo ano – o já amplamente divulgado 0,755 (UNDP, 2015a). Feitos os cálculos individuais, estado a estado, observa-se, na Tabela 11, uma média de... 0,755 – idêntica ao valor calculado pela ONU para o País (UNDP, 2015a) e, portanto, satisfatória a este estudo.

Tabela 11. Estimativa dos valores estaduais de IDH para 2014 e 2016, mediante a fórmula de correlação.

IDH 2010	IDH estimado em função da eficiência – 2014		População estimada em 1º de julho de 2016	MWh estimados – junho 2016	kWh pc	UPEE	IDH log (fórmula) – 2016	IDH estimado em função da eficiência – 2016	Eficiência IDH / UPEE (2016)
0,739	0,755	Brasil	206.081.432	37.173.929	180,3847	167,53	0,776	0,763	96,930%
0,663	0,677	Acre	816.687	79.155	96,92	90,02	0,722	0,685	94,84%
0,631	0,645	Alagoas	3.358.963	379.631	113,02	104,97	0,735	0,652	88,64%
0,708	0,723	Amapá	782.295	90.108	115,18	106,98	0,737	0,731	99,23%
0,674	0,689	Amazonas	4.001.667	489.543	122,33	113,62	0,742	0,696	93,81%
0,66	0,674	Bahia	15.276.566	2.056.670	134,63	125,04	0,750	0,682	90,85%
0,682	0,697	Ceará	8.963.663	971.787	108,41	100,69	0,732	0,704	96,27%
0,824	0,842	Distrito Federal	2.977.216	541.369	181,84	168,88	0,776	0,851	109,63%
0,74	0,756	Espírito Santo	3.973.697	754.108	189,77	176,25	0,780	0,764	97,99%
0,735	0,751	Goiás	6.695.855	1.227.301	183,29	170,23	0,777	0,759	97,70%
0,639	0,653	Maranhão	6.954.036	563.621	81,05	75,28	0,707	0,660	93,41%
0,725	0,741	Mato Grosso	3.305.531	651.138	196,98	182,95	0,783	0,749	95,61%
0,729	0,745	Mato Grosso do Sul	2.682.386	387.889	144,61	134,30	0,757	0,753	99,53%
0,731	0,747	Minas Gerais	20.997.560	4.518.386	215,19	199,86	0,791	0,755	95,47%
0,646	0,660	Pará	8.272.724	1.535.755	185,64	172,41	0,778	0,667	85,75%
0,658	0,672	Paraíba	3.999.415	424.372	106,11	98,55	0,730	0,680	93,12%
0,749	0,765	Paraná	11.242.720	2.361.384	210,04	195,07	0,789	0,774	98,08%
0,673	0,688	Pernambuco	9.410.336	1.111.504	118,12	109,70	0,739	0,695	94,05%
0,646	0,660	Piauí	3.212.180	283.536	88,27	81,98	0,714	0,667	93,46%
0,761	0,778	Rio de Janeiro	16.635.996	3.024.940	181,83	168,88	0,776	0,786	101,25%
0,684	0,699	Rio Grande do Norte	3.474.998	455.709	131,14	121,80	0,748	0,706	94,44%
0,746	0,762	Rio Grande do Sul	11.286.500	2.367.403	209,76	194,81	0,789	0,770	97,70%
0,69	0,705	Rondônia	1.787.279	235.798	131,93	122,53	0,749	0,713	95,20%
0,707	0,722	Roraima	514.229	69.564	135,28	125,64	0,751	0,730	97,26%
0,774	0,791	Santa Catarina	6.910.553	1.864.333	269,78	250,56	0,810	0,799	98,65%
0,783	0,800	São Paulo	44.749.699	10.233.270	228,68	212,39	0,796	0,809	101,59%
0,665	0,679	Sergipe	2.265.779	303.513	133,96	124,41	0,750	0,687	91,59%
0,699	0,714	Tocantins	1.532.902	192.142	125,35	116,42	0,744	0,722	97,01%

Fonte dos dados primários: ONUBR (2013); IBGE (2013a); EPE (2016c). Tratamento dos dados: o autor.

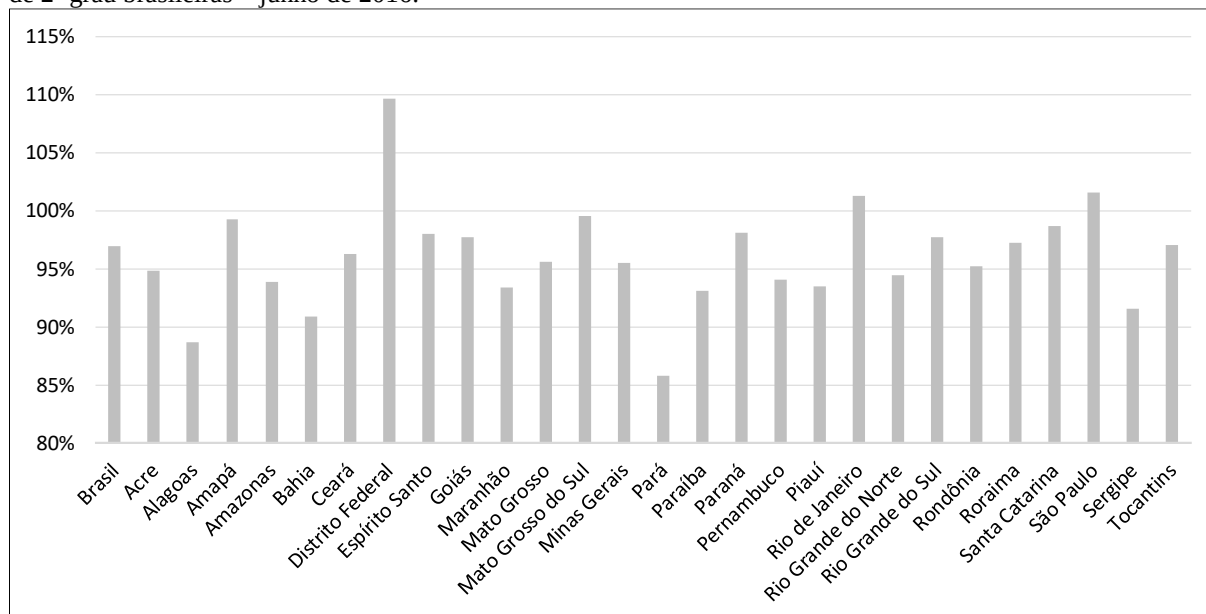
Atendido o critério de acurácia da estimativa, passa-se, a seguir, a projetar os valores de IDH a meados de 2016, pois, neste momento, procurou-se utilizar os valores populacionais e de utilização de energia mais atuais entre os disponíveis – os de junho de 2016 (EPE, 2016c).

Para isso, projetou-se primeiramente a média de variação do IDH real brasileiro, de 2010 a 2014, até meados de 2016, estimando-se que o IDH deverá ter atingido, na ocasião, 0,763. Então, tendo por base os valores estaduais individuais de IDH, estimados segundo a mesma métrica, utiliza-se a fórmula de correlação entre UPEE e IDH, aplicando-se, à ponderação da UPEE, a mencionada intensidade energética de 1,077. Os valores obtidos indicam que, na média, os IDH estimados, por meio da fórmula, para 2010, correspondem a 96,93% dos IDH tornados públicos pela ONU, o que, uma vez mais, parece demonstrar a coerência dos cálculos e da fórmula, a qual apontou, em relação a 2014 (seção 4.10, Tabela 10), uma correspondência apenas ligeiramente melhor, de 97,14%, em relação ao IDH nacional publicado (percentual que, relembra-se, sugere ineficiência na utilização de energia elétrica, em uma base comparativa global, à qual se arbitrou o valor de 100% como paradigma)³³.

Os números individuais dos estados parecem indicar que o motivo da variação reside nas diferenças de eficiência – ou, para ser mais explícito, diferenças na correlação IDH/UPEE – entre os estados. Quanto a isso, observa-se que o estado com menor percentual (portanto, com menor eficiência/correlação) é o Pará, com 85,75%, enquanto a maior eficiência encontra-se no Distrito Federal, com 109,63%. São Paulo, por exemplo, fica com 101,59%, e o Paraná, com 98,08% (Tabela 11 e Gráfico 34).

³³ Destaque-se, por oportuno, que o termo *ineficiência* deve ser interpretado com reservas, pois contempla, por exemplo, diferenças na cadeia produtiva preponderante localmente, algo que, espera-se, seja atenuado em cenários mais amplos e diversificados. Essa é uma limitação inerente ao método utilizado neste trabalho, algo que será mencionado ao final.

Gráfico 34. Variação da eficiência/correlação entre utilização de energia elétrica e IDH das 27 unidades federativas de 2º grau brasileiras – junho de 2016.



Fonte dos dados primários: IBGE (2013a); EPE (2016c).

Há algumas explicações evidentes para as distorções na eficiência/correlação. Conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica, versão 2015, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016d), a distribuição da utilização de energia elétrica no País apresentou, em 2014, as seguintes proporções: residencial, 27,85%; industrial, 37,78%; comercial, 18,9%; rural, 5,4%; poder público, iluminação pública e serviços públicos, 9,39%; uso próprio, 0,69%.

A Região Norte apresenta utilização industrial superior à média nacional – 45,82% – e o estado do Pará, por sua vez, apresenta utilização industrial que se destaca mesmo na Região – 65,66% (EPE, 2016d). Entretanto, tal utilização de energia elétrica não se traduz necessariamente em IDH ou mesmo renda *per capita* mais elevada devido à exogenia do usufruto da produção industrial. Ou seja, há um PIB relativamente elevado, mas uma renda local e um IDH relativamente baixos. Aliás, diga-se de passagem, tal desigualdade atinge proporção extrema: o IDH do Pará é o pior da Região Norte, atrás, em ordem crescente, de Acre, Amazonas, Rondônia, Tocantins, Roraima e Amapá (ONUBR, 2013), embora tenha, de longe, o maior valor *per capita* mensal de utilização de energia elétrica – em junho de 2016, 185,64 kWh, 37,23% superior aos 135,28 kWh de Roraima, que apresenta a segunda maior utilização da Região (EPE, 2016c), o que parece confirmar que há um problema em se analisar conjuntamente, sob certas circunstâncias, unidades geográficas que apresentam elevado nível de desigualdade social entre si (como é o caso dos estados do Brasil).

Entre as 27 unidades federativas brasileiras de 2º grau, o Distrito Federal apresenta o maior IDH – 0,824 –, o único entre as 27 com *status* “muito alto” (PNUD BRASIL, 2013a),

mas apenas a décima maior utilização *per capita* mensal de energia elétrica – 181,84 kWh (EPE, 2016c). A discrepância é ocasionada pela composição do PIB do Distrito Federal, em que uma fatia de 92,28% é agregada por meio de serviços, que demandam relativamente pouca energia, sobrando 7,47% para a indústria e 0,25% para a agropecuária (IBGE, 2013b). Isso explica a aparente desvinculação entre o IDH e a utilização de energia elétrica no Distrito Federal, e afirma-se que a desvinculação é aparente devido ao fato de a atividade produtiva, a qual torna obrigatórios os serviços do Distrito Federal, ser originada em setores cuja utilização de energia é mais intensiva (por exemplo, indústrias). O que há, portanto, é a utilização exógena de energia, a qual só é computada quando se analisam os dados de todo o País em conjunto.

Disso se extrai que as eficiências energéticas, ao menos quanto à sua representatividade enquanto indutora de desenvolvimento humano, é consideravelmente variável no País, corroborando a afirmação acerca das desigualdades, o que sugere que as políticas pertinentes ao tema deveriam ser regionais, e não nacionais. Em outras palavras, as políticas energéticas públicas não deveriam ser desenhadas em “tamanho único” para todos os estados, e isso justificaria a adoção de agências e políticas regionais em alguns países, embora deva ser admitido que os valores mínimos ótimos de utilização indiquem, de fato, uma homogeneização.

4.7.2 Sobre a factibilidade das premissas do Plano Nacional de Energia vinculadas à energia elétrica

As constatações sobre os números estaduais permitem outras inferências. O valor total brasileiro de utilização no mês analisado (junho de 2016) foi de 37,17 TWh (EPE, 2016c), o qual, conforme se afirmou, está vinculado a um IDH presumido nacional de 0,763. Utilizando-se uma vez mais a fórmula de correlação, com vistas à verificação dos valores estaduais necessários a um Índice de 0,800 (valor mínimo de IDH “muito alto”), observa-se que a utilização somada dos estados deveria atingir, em 2030 (para uma população estimada em 216,41 milhões de pessoas), 60,26 TWh – 62,12% superior à utilização real, considerando-se que a eficiência seja melhorada, em um valor percentual idêntico entre os estados, de modo que a média nacional seja igualada à atual média mundial atual, cujo valor serve de paradigma e é arbitrado como o valor da unidade, ou 100%. Dito de outro modo, calcula-se que o País será capaz de atingir IDH (tido atualmente como) “muito alto” por volta de 2030, com uma UPEE que deverá estar em torno de 260 kWh, conforme a Tabela 12.

Tabela 12. Estimativa dos valores estaduais e nacional de IDH para 2030, mediante a fórmula de correlação.

2030	População	MWh / mês	kWh pc	UPEE	IDH log (fórmula)	Eficiência IDH/UPEE	IDH estimado em função da eficiência
Brasil	216.410.030	60.266.411	278,48	258,64	0,813	100,00%	0,801
Acre	857.619	256.921	299,58	278,23	0,819	97,85%	0,802
Alagoas	3.527.311	2.088.151	592,00	549,82	0,878	91,45%	0,803
Amapá	821.503	161.058	196,05	182,08	0,783	102,38%	0,801
Amazonas	4.202.227	1.407.615	334,97	311,10	0,829	96,78%	0,802
Bahia	16.042.212	7.384.765	460,33	427,54	0,856	93,73%	0,803
Ceará	9.412.913	2.453.101	260,61	242,04	0,807	99,32%	0,802
Distrito Federal	3.126.431	254.793	81,50	75,69	0,707	113,11%	0,800
Espírito Santo	4.172.855	920.321	220,55	204,84	0,793	101,10%	0,802
Goiás	7.031.445	1.594.293	226,74	210,58	0,795	100,80%	0,802
Maranhão	7.302.565	2.550.774	349,30	324,41	0,833	96,37%	0,802
Mato Grosso	3.471.201	966.621	278,47	258,63	0,813	98,64%	0,802
Mato Grosso do Sul	2.816.825	537.585	190,85	177,25	0,780	102,68%	0,801
Minas Gerais	22.049.937	6.221.258	282,14	262,04	0,814	98,50%	0,802
Pará	8.687.345	7.293.131	839,51	779,70	0,908	88,47%	0,804
Paraíba	4.199.862	1.510.739	359,71	334,08	0,835	96,07%	0,802
Paraná	11.806.194	2.580.435	218,57	202,99	0,792	101,19%	0,802
Pernambuco	9.881.973	3.225.688	326,42	303,17	0,827	97,03%	0,802
Piauí	3.373.171	1.171.886	347,41	322,66	0,832	96,42%	0,802
Rio de Janeiro	17.469.776	2.849.008	163,08	151,46	0,767	104,46%	0,801
Rio Grande do Norte	3.649.161	1.144.559	313,65	291,30	0,823	97,43%	0,802
Rio Grande do Sul	11.852.168	2.685.987	226,62	210,48	0,795	100,80%	0,802
Rondônia	1.876.856	544.397	290,06	269,39	0,817	98,22%	0,802
Roraima	540.002	127.654	236,40	219,55	0,799	100,35%	0,802
Santa Catarina	7.256.903	1.501.580	206,92	192,18	0,787	101,78%	0,801
São Paulo	46.992.510	7.434.563	158,21	146,94	0,764	104,81%	0,801
Sergipe	2.379.338	1.009.550	424,30	394,07	0,849	94,49%	0,803
Tocantins	1.609.730	389.977	242,26	225,00	0,801	100,09%	0,802

Fonte dos dados primários: IBGE (2013a); EPE (2016c). Tratamento dos dados: o autor.

Desconsiderando-se eventuais variações mês a mês, a diferença representa 277 TWh anuais³⁴. Como comparação, Itaipu ultrapassou, nos últimos dias de 2016, favorecida pelas

³⁴ Trata-se, tal estimativa, de exercício hipotético de simplificação matemática, o qual considera apenas o aporte na utilização de energia que seria necessário para cada estado atingir IDH “muito alto”. Isso faz com que sejam esperadas diferenças na vida real, pois a utilização de energia pelos estados cujo IDH atualmente esteja

chuvas ao longo do ano, a marca de 100 TWh anuais, o que representou um novo recorde mundial (MARTINS, 2016). A diferença a ser perseguida equivale, portanto, a 2,77 Itaipus – algo, sem dúvida, de vulto considerável. Em termos financeiros, podem-se utilizar os valores relativos a Belo Monte, relativamente recentes, para verificar o investimento necessário.

Seriam necessárias quase sete usinas de Belo Monte para suprir tal necessidade³⁵. Embora a Aneel (2010) ainda divulgue o valor definido em março de 2010, de R\$ 19 bilhões, sabe-se que Belo Monte foi leiloada, também em 2010, por R\$ 25,8 bilhões (DILMA..., 2016), e que o valor já superava, em 2013, R\$ 30 bilhões (CUSTO..., 2013), havendo indícios de que R\$ 3,2 bilhões teriam sido superfaturados (TCU, 2016). Considerando-se esse último valor, de R\$ 30 bilhões, os investimentos chegariam a quase R\$ 210 bilhões, ou 3,5% do PIB brasileiro de 2015 (OLIVEIRA, 2016).

O valor é expressivo, porém convém ponderar que não se trata de dispêndio imediato, mas sim a ser diferido ao longo de vários anos. Além disso, deve-se relativizá-lo, considerando-se a mudança estrutural que ele implicaria. A respeito dessa relativização, pode-se mencionar que recentemente (dezembro de 2016) o presidente do Senado Federal encaminhou, em decisão monocrática, para sanção do presidente da República, o Projeto de Lei da Câmara 79/2016, que altera a Lei Geral das Telecomunicações. Tal projeto, se aprovado, produzirá efeitos, segundo avaliação do Tribunal de Contas da União, da ordem de R\$ 100 bilhões em desfavor dos cofres públicos, ao operar uma mudança radical na prestação de serviços de telecomunicação, estando previstos a conversão de contratos de concessão para autorização, o perdão de multas e a transferência de patrimônio público para empresas privadas (STF, 2016)³⁶.

Adicionalmente, quanto ao aspecto prático, deve-se considerar que ao longo de 12 meses, entre outubro de 2015 e outubro de 2016, a capacidade total de fornecimento de energia elétrica no Brasil foi acrescida em 9.283 MW, atingindo 148.555 MW (MME, 2016, p. 15). Desse acréscimo, 5.215 MW estão relacionados a fontes hidráulicas, 2.980 MW a fontes

relativamente próximo desse nível de IDH não ficará *congelada*, esperando ser alcançada pelo nível de utilização daqueles que possuem IDH inferior.

³⁵ A “garantia assegurada” da usina é de 4.571 MW médios, os quais se comparam com os 14.000 MW de Itaipu. Cf. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Leilão de energia – Belo Monte – Usina hidrelétrica – Perguntas e Respostas**. 23 mar. 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/HxOmvi>>. Acesso em: 18 dez. 2016; ITAIPU BINACIONAL. **Geração**. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/2VuwoB>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

³⁶ Sob a alegação de que a competência para o encaminhamento do Projeto de Lei seria do colegiado do Senado, e não do presidente da Casa, um grupo de 13 senadores impetrou mandado de segurança no Supremo Tribunal Federal, com pedido de liminar, para suspender o ato do presidente. O STF decidirá sobre a questão. Cf. SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL (STF). **Senadores questionam aprovação de Nova Lei das Telecomunicações**. Notícias STF, 21 de dezembro de 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/QGV9uz>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

eólicas, 1.087 MW a fontes térmicas e 2 MW a fontes solares (MME, 2016, p. 15). Observe-se que esses montantes não incluem importações contratadas de 5.650 MW (com o Paraguai, referente à parcela que esse país detém em Itaipu) e de 200 MW (com a Venezuela) (MME, 2016, p. 15).

O crescimento já tem se mostrado, portanto, muito expressivo, a ponto de inclusive contradizer algumas informações oficiais, provavelmente tidas como insuperáveis e, assim, congeladas no imaginário popular. Uma delas, reproduzida na seção 2.4 deste trabalho e mantida atualmente (dezembro de 2016) no *site* da instituição, dá conta de que Itaipu representa 15% da capacidade instalada do País, algo que não mais corresponde à realidade – Itaipu correspondeu, em outubro/2016, não a 15%, mas a 9,08% da capacidade instalada. Destaque-se ainda que Belo Monte, que entrou em operação em abril de 2016 e que foi, portanto, contabilizada no mencionado acréscimo entre outubro de 2015 e outubro de 2016, totalizava, à época dos cálculos, 1.988,49 MW – 21,42% do total acrescido no período³⁷. Ou seja, ainda que se desconte a participação dessa notória usina, o acréscimo em 12 meses foi de 5,24%, o que representa mais de meia Itaipu. Em energia fornecida (MWh), equivaleria a 50 TWh, ou quase um quarto do total necessário a, segundo a fórmula de correlação, um IDH “muito alto” no Brasil. Isso em apenas 12 meses, o que sugere que os necessários 277 TWh anuais adicionais seriam possíveis, em tese, antes mesmo de 2030.

É de se destacar, ainda, que os empreendimentos parecem ser relativamente pulverizados. Além de Belo Monte, outras 33 usinas hidrelétricas³⁸ passaram a operar comercialmente em 2016, respondendo por uma capacidade calculada, a partir dos números acima, em 3.226,51 MW (ANEEL, 2016).

Observa-se, mediante todos esses cálculos, que a meta proposta no PNE 2050, de 971 TWh para o ano de 2030, seria mais do que suficiente a, segundo a fórmula de correlação, induzir IDH “muito alto” no Brasil – 723,2 TWh seriam, em tese, suficientes, o que também é

³⁷ Em 20 de dezembro uma outra turbina de Belo Monte, de 611,11 MW, foi sincronizada ao Sistema Interligado Nacional, o que elevou a capacidade atual da usina a 2.599,6 MW. Quando em pleno funcionamento em condições hídricas favoráveis, a capacidade máxima da usina será de 11.233,1 MW, embora a capacidade média seja prevista, conforme informado na nota de rodapé nº 35, em relativamente baixos 4.571 MW, devido à sazonalidade hídrica local. Cf. NORTE ENERGIA. **4ª turbina de Belo Monte já está gerando energia para o Brasil**. 20.12.2016. Disponível em: <<https://goo.gl/am7dne>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

³⁸ São elas: Agudo, Cachoeira Caldeirão, Cabeça de Boi, Cantú 2, Capivari, Caquende, Cazuza Ferreira, Colíder, Da Fazenda, Dores de Guanhões, Fazenda Velha, Figueira, Fortuna II, Inxú, Jacaré, Juliões, Lajeado, Lajes (Fontes Velha), Manopla, Mata Velha, Rênic, Rio do Sapo, Salto Bandeirantes, Salto Apiacás, Salto Curucaca, Santa Carolina, Santa Cecília, Santa Maria, São Roque, Senhora do Porto, Serra das Agulhas, Tigre e Volta Grande. Cf. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Usinas hidrelétricas em implantação e com início da operação comercial em 2016**. 8/1/2016 (Reprodução da fl. 3 do Ofício nº 006/2016-SFG/ANEEL). Disponível em: <<https://goo.gl/17UJ19>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

inferior aos 833,87 TWh que a projeção da evolução histórica indica para 2030. Disso se conclui que: 1) a redução da meta, no PNE 2050, em relação ao PNE 2030, parece ser acertada, pois, conforme já se demonstrou, a utilização de energia assume a forma de uma curva assintótica (uma utilização cada vez maior de energia implica IDH também cada vez maior, porém a uma taxa de crescimento cada vez menor, tendendo à saturação na utilização indutora de desenvolvimento); e 2) de qualquer forma, o PNE 2050 não se trata de “missão impossível”, pois representaria, anualmente, de 2016 a 2030, um acréscimo de capacidade que é pouco superior à metade do verificado em 2016 (27,65 TWh requeridos anualmente, e 50 TWh verificados em 2016).

Tudo considerado, observa-se que a meta pode inclusive ser reduzida uma vez mais, considerando-se a estimativa de evolução populacional no período, da ordem de 7% (de 202,22 milhões para 216,41 milhões de pessoas) (IBGE, 2013a)³⁹, e que a evolução previsível no estado da arte indica claramente o aumento da eficiência energética, notadamente quanto à possibilidade de resfriamento solar, que permitiria uma diminuição anual de 26 TWh na utilização de energia elétrica; da introdução de equipamentos eletroeletrônicos com capacidade de autoatendimento energético, o que evitaria a utilização de cerca de 24 TWh; de aquecimento solar de água, que proporcionaria três TWh de economia; e da geração distribuída de pequeno porte, principalmente fotovoltaica, com a diminuição de outros 30 TWh – cenário esse que é estimado, de forma conjunta, para cerca de 2050 (EPE, 2016, p. 136-137).

Há uma questão, porém, que fica por ser respondida. Ela diz respeito ao eventual posicionamento que o País atingiria, em tal cenário, nas tabelas do IDH. Afinal, não se pode esperar que os países desenvolvidos, com IDH atualmente mais elevado, fiquem estagnados no período. A história demonstra precisamente o contrário – o Brasil e outros países em desenvolvimento têm se mantido há muitas décadas em processo de *catching up*, sem

³⁹ Conforme se indicou, o número informado diz respeito à estimativa do IBGE. O documento *Demanda de Energia – 2050* apresenta, quanto à estimativa de população, uma flagrante imprecisão. À página 11, prevê-se, em relação a 2015, “cerca de 50% de aumento de população até 2050”. Isso significaria 100 milhões a mais de habitantes, o que não é vislumbrado nem nas previsões atuais mais radicais (a estimativa do IBGE indica uma população em 2050 inclusive ligeiramente inferior à de 2030, após um pico de cerca de 219 milhões de pessoas em 2040). Já à página 28 do mesmo documento afirma-se que o Brasil “terá o desafio de incluir novos 30 milhões de habitantes” – número consideravelmente mais modesto que o anterior, mas ainda assim exagerado. O mesmo “acréscimo de cerca de 30 milhões de pessoas em 2050” é mencionado à página 96, mas agora referindo-se ao “aumento da população urbana”. Em quaisquer dos casos mencionados, afirma-se expressamente (e comprova-se contextualmente) que se está a falar do Brasil, mas a confusão pode ter ocorrido porque foi utilizado o percentual de aumento previsto para o mundo – “[...] perspectivas de crescimento da população mundial até 2050 – evoluindo de seis bilhões de pessoas no ano 2000 para cerca de nove bilhões no final do horizonte”, conforme indicado à página 18. Cf. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota Técnica DEA 13/15**. Demanda de Energia – 2050. Série Estudos da Demanda de Energia. Brasília: EPE, janeiro de 2016a; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeção da população do Brasil – 1980-2050**. 23 fev. 2013a (última modificação). Disponível em: <<https://goo.gl/zL1Mlu>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

efetivamente demonstrar uma capacidade convincente de alcançar os países desenvolvidos. Assim, há a possibilidade de que o IDH hoje tido como “muito alto” seja eventualmente atingido, mas em um momento no qual os países que hoje detêm tal *status* estariam muito à frente – por exemplo, com um hipotético IDH “ultra alto”.

A EPE parece, ainda que tacitamente, comungar dessa expectativa, ao prever, por exemplo, que “[...] o cenário do PNE 2050 estima que o crescimento da renda *per capita* da população brasileira a colocará próximo aos patamares **atuais** da Alemanha e Holanda” (EPE, 2016a, p. 28. Grifo nosso). Igualmente, informa-se que “No horizonte de longo prazo, estima-se que o nível médio de renda *per capita* atinja patamares da ordem de US\$ 36 mil/habitante/ano, compatível com a média de países da OCDE” (EPE, 2016a, p. 34). Essa média dos países da OCDE, conforme já se viu, é a atual, e não uma projeção futura.

Parece ser razoável dizer, portanto, que o significado desses números projetados, se alentador ou desanimador, é questão de opinião. Argumentativamente, uma década e meia (considerando-se as estimativas para 2030) pode ser vista, no máximo, como médio prazo, principalmente no que diz respeito a questões estruturais. Porém, a dinâmica atual é muito mais ágil que antigamente, o que faz com que o estado da arte seja radicalmente mudado em período de tempo relativamente curto. Apenas para exemplificar, a internet existe praticamente há uma década e meia⁴⁰, e foi só nos últimos cinco anos que surgiu a chamada “internet das coisas”⁴¹. Ou, servindo-se de um exemplo talvez ainda mais incisivo, convém ter em mente que em vários países europeus, inclusive na Alemanha, não se vislumbra a fabricação de veículos movidos a combustão a partir de 2030 (TAYLOR, 2016).

Ou seja, a realidade tende a ser transformada de modo cada vez mais rápido, o que faz com que uma situação atualmente tida como adequada talvez não o seja em uma década e meia.

⁴⁰ Embora a Internet já estivesse disponível para uso geral, especialmente nos países desenvolvidos, por volta de 1995, a revolução dessa tecnologia começou pouco depois do ano 2000. Em apenas sete anos a introdução da rede de banda larga amplificou a capacidade de telecomunicações mundial por um fator de 29, de 2,2 exabytes otimamente comprimidos, em 2000, para 65 exabytes, em 2007. Cf. HILBERT, Martin; LÓPEZ, Priscila. The world's technological capacity to store, communicate, and compute information. *Science* [0036-8075], 2011 v. 332, n. 6.025 p. 60-65. p. 63.

⁴¹ A Internet das coisas (em inglês, IoT, de *Internet of Things*) foi definida na Recomendação UIT-T Y.2060, de 06/2012 (a UIT – *Union internationale des télécommunications*, ou União Internacional de Telecomunicações, em português – é uma agência especializada da ONU), como uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados por meio da interconexão de elementos (físicos e virtuais) com base na informação interoperável existente e em evolução e nas tecnologias de comunicação. A Iniciativa de Normas Globais sobre a Internet das Coisas concluiu suas atividades em julho de 2015, na sequência da decisão do Grupo Consultivo de Normalização das Telecomunicações (em inglês, TSAG, de *Telecommunication Standardization Advisory Group*) de estabelecer o novo Grupo de Estudo 20 sobre “Internet das coisas e suas aplicações, incluindo cidades e comunidades inteligentes”. Cf. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Internet of Things Global Standards Initiative** [2016]. Disponível em: <<https://goo.gl/F0p7IE>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

Em termos práticos, o desenvolvimento almejado pode não ser, ao tempo de sua consecução, significativo, revelando-se incapaz de livrar o País da permanente situação de *catching up* quanto ao desenvolvimento econômico e humano. Dito de outro modo, os países desenvolvidos estão sempre elevando os padrões a um próximo nível, e isso obriga, ao menos idealmente, que as metas dos países menos desenvolvidos sejam relativamente ousadas, sob pena de, não o sendo, aumentar-se ainda mais o abismo que os separa dos países desenvolvidos. Sob esse ponto de vista, atingir, apenas em 2030, cerca de 280 kWh *per capita* mensais de utilização de energia elétrica e IDH de 0,800 pode não ser algo digno de comemoração, ao menos não em uma base comparativa. Afinal, os países desenvolvidos, inclusive as grandes economias em valores absolutos, já possuíam números superiores a esses no início dos anos 90 – portanto, há quase duas décadas e meia (UNDP, 1990, 1991, 1992).

4.7.3 O relativo alinhamento do padrão brasileiro de utilização de energia elétrica ao cenário global

Conveniência dos números à parte, há um último aspecto a ser considerado – a preponderância cada vez maior da energia elétrica na matriz energética brasileira, hipótese que, conforme se discutiu nas seções precedentes, parece ser global e é fundamental a este trabalho.

Das fontes de energia secundária, o percentual de energia elétrica era, em 1970, de 11,25%, passando a 14,34% em 1980, a 19,67% em 1990, a 21,61% em 2000, a 23,43% em 2005, a 23,80% em 2010 e a 24,20% em 2015 (EPE, 2016b). Isso significa crescimento médio anual de 1,72% em um período de 45 anos, tendo alcançado, entre 1980 e 1990, 3,21% ao ano, embora nos últimos 10 anos a média anual esteja em 0,32%. Demonstra-se, assim, que houve nas últimas décadas uma expressiva *eletrização* na utilização energética brasileira, a qual continua a caminhar nesse sentido, embora de modo mais atenuado, o que sugere que a manutenção do movimento está cada vez mais dependente da evolução do estado da arte. Um próximo *boom* de utilização seria passível de ocorrer com a mudança paradigmática dos meios de transporte – algo que, conforme já se afirmou, parece ser o caminho a ser adotado na Europa –, embora isso dependa das fontes primárias de energia a serem adotadas. No caso brasileiro, as expectativas não são, quanto a essa questão específica, muito otimistas.

Em parceria com a *Energy UK and Brazil* e com o Programa de Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE UFRJ), a EPE disponibiliza a Calculadora 2050 – “uma ferramenta que permite a construção de diferentes cenários energéticos para o horizonte até 2050” (EPE, 2016e). Os cálculos são realizados mediante a

predefinição, pelo usuário, de algumas premissas básicas, compondo cenários variáveis. Quanto ao transporte, o cenário mais otimista, assim entendido como aquele em que haveria maior participação de veículos elétricos, é a opção, válida para 2050, em que “os veículos híbridos e elétricos atingem 31% da frota de leves, principalmente com híbridos-flex.” (EPE, 2016e) Destaque-se que a versão original da Calculadora, desenvolvida pelo governo do Reino Unido (a qual pode inclusive ser acessada a partir da página de internet que hospeda a calculadora da EPE), prevê, também para 2050 e a exemplo da expectativa alemã previamente mencionada, que 100% dos carros sejam do tipo “emissão zero”, movidos a baterias (UNITED KINGDOM, 2011).

Observou-se, portanto, ao longo desta seção, que as políticas públicas brasileiras voltadas à questão energética como um todo e à energia elétrica em particular, manifestadas nos PNE e nas obras efetivamente concluídas e em andamento, refletem, ainda que de modo mediato (muitas vezes como consequência do desenvolvimento econômico), preocupações mundiais vinculadas ao desenvolvimento humano – ou seja, os decisores políticos nacionais parecem estar relativamente cientes da importância de níveis adequados de utilização de eletricidade⁴².

Esses níveis variam estado a estado, dadas as notórias desigualdades regionais, embora seja possível mensurar um patamar mínimo de utilização. Esse patamar pode ser calculado por meio da fórmula desenvolvida nesse trabalho, a qual se mostra capaz de, partindo-se de uma única variável – a utilização ponderada *per capita* de energia elétrica –, estimar com adequada precisão o correspondente IDH, real e a ser atingido. Assim, o que havia sido demonstrado como válido em relação aos países de diversos níveis de desenvolvimento humano mostra-se igualmente oportuno também em cenários menos abrangentes – no caso, os estados brasileiros.

Dada a grande quantidade de variáveis envolvidas nos planos de longo prazo voltados à questão energética, o que não raro acaba por implicar resultados conflitantes entre si, a fórmula de correlação IDH/UPEE pode servir como um ponto de partida e de controle das políticas públicas afeitas à questão, pois mostra-se capaz de indicar possíveis desvios de medição, auxiliando, portanto, no processo de agenda política da questão energética, ao evitar a manipulação de inúmeras variáveis que, devido a vieses de interpretação, acabam por levar

⁴² Conforme se apontou no PNE 2030: “O crescimento econômico no Brasil apresenta estreita relação com o consumo de energia elétrica no país. A otimização dos recursos energéticos, através de medidas de racionalização do uso de energia apresenta-se como uma alternativa com potencial de alavancar o crescimento econômico através do aumento da produtividade, reduzindo os elevados investimentos na infra-estrutura, e ainda reduzindo os impactos ambientais associados ao crescimento. É, portanto, parte essencial no processo de desenvolvimento sustentável.” Cf. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: EPE, 2007, p. 209-210.

aos resultados conflitantes. Serve, além de tudo, para demonstrar a posição relativa de certo ente federativo no que respeita a eficiência energética, indicando, conforme o caso, a necessidade de aporte energético, de melhor gerenciamento na utilização da energia disponível ou de ambos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para além da simples constatação empírica apoiada pelo senso comum, concluiu-se, com base em dados estatísticos, que há uma considerável correlação entre utilização de energia elétrica e desenvolvimento humano. Essa correlação ocorre de modo bastante direto, quanto aos países em desenvolvimento, e de forma intervista, sendo a renda e/ou o PIB *per capita* a variável interveniente, quanto aos países desenvolvidos, restando demonstrado, também estatisticamente, que a correlação direta também se fez presente, historicamente, nos estágios menos avançados das economias desenvolvidas.

Apesar dessa interdependência temática, verificou-se que o tratamento dispensado à energia elétrica no IDH e em seus respectivos relatórios anuais tem sido, na melhor das hipóteses, errático, com a alternância entre momentos de relativa ênfase e outros de completa indiferença.

Embora se possa argumentar que o desenvolvimento contínuo implica níveis de utilização de energia cada vez maiores, a diminuição da intensidade da correlação direta nos estágios de desenvolvimento mais avançados parece indicar a existência de pontos de saturação na utilização de energia, inclusive a elétrica, enquanto indutora de desenvolvimento econômico e humano, algo corroborado pela comparação dos dados de países que apresentam níveis de desenvolvimento diferentes. Longe de significar a prescindibilidade da energia elétrica, isso apenas demonstra que é possível o alcance de uma situação de equilíbrio, a qual se manifesta, atualmente, somente com níveis de utilização relativamente elevados, a exemplo do que ocorre nos países desenvolvidos. Esses pontos de saturação são dependentes do estado da arte e condicionados pela intensidade energética prevalecente, a qual deve ser, idealmente, a mais baixa concebível para certa atividade produtiva, de modo a proporcionar, tanto quanto possível, a maior produção com a menor quantidade de energia.

Atualmente, a maior parte das fontes primárias de energia, das quais se obtêm energias secundárias (como a elétrica), advém de combustíveis fósseis. Problemas ambientais à parte, a insustentabilidade desse modelo é patente sob o ponto de vista da disponibilidade. Tendo-se por parâmetro os níveis de utilização atuais desses combustíveis, as previsões sobre o crescimento populacional (mesmo as mais conservadoras) e os recursos e reservas disponíveis, prevê-se sua inviabilidade em não mais do que meio século (BP PLC, 2016; EIA, 2015), o que significa que o processo de transição, em direção a fontes renováveis e ambientalmente mais apropriadas, deve ser iniciado o mais rapidamente possível, reservando-se os hidrocarbonetos às aplicações para as quais, devido à necessidade de elevada densidade energética, não se

vislumbram substitutos em curto prazo – nomeadamente, como combustíveis de motores a reação de aeronaves comerciais e, conforme o caso, de naves espaciais.

Às demais aplicações, a utilização preeminente ou mesmo exclusiva de energia elétrica, a qual pode ser obtida a partir de fontes renováveis e ambientalmente sustentáveis – a radiação solar é um exemplo –, mostra-se não apenas possível, mas, essencialmente, indispensável, e assim é, ainda que de modo concomitante e subsidiário, mesmo em relação às duas exceções mencionadas e, de resto, à própria exploração dos combustíveis fósseis.

Tomando-se por base essa indispensabilidade e a mencionada correlação, seria conveniente, e de fato mostrou-se possível, mensurar objetivamente um valor mínimo de utilização *per capita* ponderada de energia elétrica – no caso, 222 kWh mensais – o qual é atualmente compatível com o desejável *status* “muito alto” de desenvolvimento, conforme a metodologia do IDH. A hipótese dessa possibilidade de mensuração tem suporte em projeções estatísticas e matemáticas obtidas, em ambos os casos, a partir dos dados de utilização observados em diferentes países, em conjunto com os respectivos valores de IDH tornados públicos mediante os relatórios do Índice.

Esses mesmos dados primários tornaram possível a elaboração de duas fórmulas, sendo a primeira delas mais precisa, logarítmica, e a segunda, simplificada, baseada em função potência, ambas capazes de representar o valor de IDH correspondente à utilização ponderada de energia elétrica em certo país/região, o que, ao mesmo tempo, permite um vislumbre da eficiência energética local, em uma base comparativa.

Na esteira da recomendação da própria ONU – de que, para proporcionar uma imagem mais completa do desenvolvimento humano em qualquer país, o índice seja complementado com outros indicadores importantes do desenvolvimento humano (UNDP, 1995, p. 12) –, sugere-se a incorporação, nas tabelas do IDH, do valor calculado por meio da primeira fórmula, o que, espera-se, conferiria ao Índice uma melhor representação da realidade, tornando-o uma ferramenta aprimorada à finalidade de subsidiar o processo cíclico – identificação do problema, definição de agenda, formulação, alocação de recursos, execução e avaliação – das políticas públicas, de modo a torná-las mais aderentes à sustentabilidade de forma ampla, inclusive mediante a promoção da redução de desigualdades sociais que ocorrem não por escolha pessoal, mas impostas aos indivíduos por circunstâncias estruturais e estruturantes da própria sociedade, as quais estão vinculadas, conforme inclusive observado ocasionalmente nos relatórios do IDH, à disponibilização adequada de energia elétrica.

No Brasil essa desigualdade é manifesta, algo que se torna evidente à luz dos valores estaduais de IDH e de utilização de energia, com o País possuindo conjuntamente um nível de utilização de energia comparativamente baixo.

A concomitância das circunstâncias hipotéticas e empíricas tratadas neste trabalho, em conjunto com a realidade brasileira quanto ao tema energia elétrica, havia permitido a intuição, *a priori*, acerca da possibilidade de tratamento objetivo da questão, o que, no processo de construção teórica, demonstrou-se válido, de modo geral, em relação a quaisquer países. Esse tratamento, quando utilizado em um cenário menos abrangente em termos de autonomia política e gestão estratégica – no caso, os estados brasileiros –, mostrou-se igualmente válido, permitindo cumprir o objetivo prático principal do trabalho, que consistiu em analisar a compatibilidade das políticas energéticas brasileiras, no que respeita ao nível de utilização *per capita* de energia elétrica, com o almejado alcance de um IDH “muito alto”.

Concluiu-se, afinal, quanto à política energética brasileira sumarizada no atual plano nacional de energia (PNE – 2050), que as projeções de utilização de energia elétrica, devidamente amparadas pelos dados históricos, são compatíveis com o atingimento, em médio prazo (por volta de 2030), do nível de IDH “muito alto”. Todavia, considerando-se que a própria mensuração do IDH só faz sentido em uma base comparativa, não se pode deixar de mencionar uma reflexão incômoda. Dado o esperado avanço dos países desenvolvidos – o qual tem sido uma constante, podendo-se inclusive dizer que são esses países que modelam o estado da arte, sendo então seguidos pelos demais –, o abismo que os separa do Brasil talvez não venha a ser transposto, tendo-se por base as metas brasileiras atuais, as quais encontram eco apenas naquelas de décadas atrás desses países mais ricos. Ou seja, o processo de *catching-up* tenderia a permanecer vigente, situação em que somente faria sentido dizer que a situação do País é melhor quando comparada à situação pretérita do próprio País – melhora que, portanto, deve ser relativizada.

Do procedimento de verificação de compatibilidade entre o PNE 2050 e o IDH “muito alto” restou evidente uma limitação à utilização da fórmula de correlação apresentada neste trabalho. Ela está vinculada a distorções muito expressivas, provenientes de particularidades locais, idiossincráticas em relação ao entorno, as quais acabam por implicar variáveis intervenientes que tendem à imponderabilidade estatística. Por conta dessa limitação, a avaliação de entes menores que um estado (municípios, por exemplo) pode não ser satisfatória – se tomada individualmente como base para a definição da agenda política haveria o risco, inclusive, de ser imprópria e inoportuna, pois poderia levar a resultados espúrios. Um exemplo é a possível existência de município cujo principal indutor de desenvolvimento, econômico e

humano, seja proveniente de uma única grande indústria, por exemplo. Sugere-se, nesses casos, atenção redobrada quanto a indicações de correlação locais que estejam muito desviadas em relação ao estado ou ao país de abrangência, o que, de qualquer modo, indica que a fórmula possui utilidade – no caso, revelar os possíveis desvios, ainda na fase política de identificação do problema.

Mesmo nos cenários acima descritos a fórmula servirá, de qualquer forma, para indicar a distorção, contribuindo para o tratamento mais objetivo das questões sociais no campo energético e afastando a controvérsia que advém das tentativas de se definir a direção da causalidade dos eventos estudados.

Cumprido destacar, finalmente, que o estudo desenvolvido neste trabalho é, no todo, essencialmente probabilístico, e não determinístico, atribuindo-se assim às conclusões o caráter de provisoriedade, considerando-as adequadas até sua refutação, a qual pode ser inclusive resultado da superveniência, motivada por novos fatos, de um modelo interpretativo mais apropriado, em conformidade com o método hipotético-dedutivo.

Sugere-se, como estudos adicionais, a verificação da evolução média temporal da acurácia (R^2) da fórmula logarítmica, o que permitiria seu refinamento, ainda que à custa da simplicidade. Saliente-se, aqui, uma vez mais, a importância da incorporação, no cálculo da UPEE, da intensidade energética, o que automaticamente atualiza a fórmula conforme avança o estado da arte.

Adicionalmente, estudos futuros poderiam considerar, sem maiores inconvenientes (dada a simplicidade inerente ao cálculo), a utilização da fórmula em investigações históricas sobre processos decisórios voltados à formulação de políticas energéticas, o que poderia hipoteticamente indicar ou refutar sua validade. E, nos estudos que porventura tratem, à semelhança deste trabalho, do IDH, poderia ser útil verificar a correlação entre a utilização de energia elétrica e cada componente isolada do IDH, o que poderia, uma vez mais, refinar a fórmula, aumentando seu coeficiente de determinação.

Finalmente, e especificamente quanto ao caso dos estados brasileiros, seria útil enfrentar a questão das *ineficácias* pontuais, estado a estado, o que proporcionaria uma relativização mais apropriada ao termo, ultrapassando, ao mesmo tempo, a limitação matemática imposta, nesta dissertação, pela simplificação dos dados nacionais como um todo, tornando possível estimar com mais precisão o valor ponderado *per capita* de utilização de energia elétrica necessário ao alcance individual do IDH “muito alto”.

REFERÊNCIAS

- ACARAVCI, A.; OZTURK, I. Electricity consumption-growth nexus: evidence from panel data for transition countries. **Energy Economics**, v. 32, n. 3, 2010, p. 604-608.
- ADAMI, Adriana Miorelli; DORNELLES FILHO, Adalberto Ayjara; LORANDI, Magda Mantovani. **Pré-Cálculo**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.
- ADAMS, Richard N. Cultural Evolution and Energy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 1. Amsterdam: Elsevier, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Fatores de Conversão**. 16 jan. 2009 (última modificação). Disponível em: <<https://goo.gl/gNYdom>>. Acesso em: 18 dez. 2016.
- _____. **Leilão de energia – Belo Monte – Usina hidrelétrica – Perguntas e Respostas**. 23 mar. 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/HxOmvi>>. Acesso em: 18 dez. 2016.
- _____. **Usinas hidrelétricas em implantação e com início da operação comercial em 2016**. 8/1/2016 (Reprodução da fl. 3 do Ofício nº 006/2016-SFG/ANEEL). Disponível em: <<https://goo.gl/17UJ19>>. Acesso em: 18 dez. 2016.
- AHAMAD, M.; ISLAM, A. K. M. Electricity consumption and economic growth nexus in Bangladesh: revisited evidences. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, 2011, p. 6.145-6.150.
- AKARCA, A. T.; LONG, T. V. On the relationship between energy and GNP: a reexamination. **J Energ Dev**, 1980; 5, p. 326-331.
- AKKEMIK, K.; GÖKSAL, K. Energy consumption-GDP nexus: heterogeneous panel causality analysis. **Energy Economics**, v. 34, n. 4, 2012, p. 865-873.
- ALLSOPP, Christopher; FATTOUH, Bassam. The Oil Market: Context, Selected Features, and Implications. In: GOLDTHAU, Andreas. **The Handbook of Global Energy Policy**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2013.
- ALTINAY, G.; KARAGOL, E. Electricity consumption and economic growth: evidence from Turkey. **Energy Economics**, v. 27, 2005, p. 849-856.
- APERGIS, N.; PAYNE, J. A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus. **Energy Economics**, v. 33, n. 5, 2011b, p. 770-781.
- _____. Energy consumption and growth in South America: evidence from a panel error correction model. **Energy Economics**, v. 32, n. 6, 2010a, p. 1.421-1.426.
- _____. Renewable and non-renewable electricity consumption-growth nexus: evidence from emerging market economies. **Applied Energy**, v. 88, n. 1, 2011c, p. 5.226-5.230.
- _____. Renewable energy consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, 2010c, p. 656-660.

_____. Renewable energy consumption and growth in Eurasia. **Energy Economics**, v. 32, n. 6, 2010b, p. 1.392-1.397.

_____. The renewable energy consumption–growth nexus in Central America. **Applied Energy**, v. 88, n. 1, 2011a, p. 343-347.

ARENDDT, Hannah. **Between past and future**. Six exercises in political thought. New York, NY: The Viking Press, 1961. p. 48-49.

ASAFU-ADJAYE, J. The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. **Energy Economics**, v. 22, 2000, p. 615-625.

BACHA, Carlos José Caetano. **Macroeconomia aplicada à análise da economia brasileira**. São Paulo: Edusp, 2004.

BALCILAR, M.; OZDEMIR, Z.; ARSLANTURK, Y. Economic growth and energy consumption causal nexus viewed through a bootstrap rolling window. **Energy Economics**, v. 32, n. 6, 2010, p. 1.398-1.410.

BASU, Kaushik; KANBUR, Ravi. **Arguments for a Better World: Essays in Honor of Amartya Sen: Volume I: Ethics, Welfare, and Measurement**. Oxford: Oxford University Press, 2008.

BENNETT, Scott. **Encyclopedia of Energy**. Delhi: Global Media, 2007.

BHATTACHARYYA, Subhes C. Energy Access and Development. In: GOLDTHAU, Andreas (Ed.). **The Handbook of Global Energy Policy**. Oxford, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2013, Chapter 14, p. 227-243.

BIANCIARDI, Carlo; ULGIATI, Sergio. Entropy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 2. Amsterdam: Elsevier, 2005.

BISQUERRA, Rafael; SARRIERA, Jorge Castellá; MARTÍNEZ, Francesc. **Introdução a Estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS**. Porto Alegre: Artmed, 2007. p. 146-147.

BIZONY, Piers. **The Space Shuttle: Celebrating Thirty Years of NASA's First Space Plane**. Minneapolis, MN: Zenith Press, 2015.

BOHI, D.; TOMAN, M.; WALLS, M. **The Economics of Energy Security**. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1996.

BP PLC. **Statistical Review of World Energy 2015**. London: BP PLC, 2016. Disponível em: <<http://goo.gl/FsffhN>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília: **Diário Oficial da União**, 5 out. 1988. Disponível em: <<http://goo.gl/wUgZP>>. Acesso em: 6 fev. 2016.

_____. Decreto Nº 5.184, de 16 de agosto de 2004. Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial da União**, 17 ago. 2004b. Disponível em: <<https://goo.gl/XiPVoM>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

_____. Emenda Constitucional Nº 26, de 14 de fevereiro de 2000. Altera a redação do art. 6º da Constituição Federal. Brasília: **Diário Oficial da União**, 15 fev. 2000. Disponível em: <<http://goo.gl/kEcKDd>>. Acesso em: 6 fev. 2016.

_____. Emenda Constitucional Nº 64, de 4 de fevereiro de 2010. Altera o art. 6º da Constituição Federal, para introduzir a alimentação como direito social. Brasília: **Diário Oficial da União**, 4 fev. 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/UNyoky>>. Acesso em: 6 fev. 2016.

_____. Emenda Constitucional Nº 90, de 15 de setembro de 2015. Dá nova redação ao art. 6º da Constituição Federal, para introduzir o transporte como direito social. Brasília: **Diário Oficial da União**, 16 set. 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/VmgLcx>>. Acesso em: 6 fev. 2016.

_____. Lei Nº 10.847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial da União**, 16 mar. 2004a. Disponível em: <<https://goo.gl/Xmy18f>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM). **The International System of Units (SI)**. 8th edition. Sèvres: Organisation Intergouvernementale de la Convention du Mètre, 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/JsXBjy>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

CAMPBELL, Horace. **NATO's Failure in Libya: Lessons for Africa**. Pretoria: African Books Collective, 2013.

CASTELLS, Manuel. Information technology and global capitalism. In: HUTTON, Will; GIDDENS, Anthony (Ed.). **On the Edge: Essays on a Runaway World**. London: Jonathan Cape, 2000.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA). **The World Factbook 2014-15**. Washington, D.C.: Central Intelligence Agency, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/vq2fmQ>>. Acesso em: 6 fev. 2016.

CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 1. Amsterdam: Elsevier, 2005.

CLEVELAND, Cutler J.; KAUFMANN, Robert K.; STERN, David I. Aggregation of Energy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 1. Amsterdam: Elsevier, 2005.

CONSUMIR. In: Dicionário Houaiss [eletrônico]. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, junho de 2009.

CONSUMIR. In: Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [on line], 2008-2013. Disponível em: <<http://goo.gl/q7aMR6>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

CROW, Mariesa L.; SHETTY, Nirup. Electric Power Measurements and Variables. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 2. Amsterdam: Elsevier, 2005.

CUMMING, Geoff. **Understanding the New Statistics: Effect Sizes, Confidence Intervals, and Meta-Analysis**. New York, NY: Routledge, 2012.

CUSTO da usina de Belo Monte já supera os R\$ 30 bilhões. Veja.com, Economia, 12 maio 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/sdvKuk>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

DESAI, Meghnad et al. **How Well Are People Participating in the Benefits of Technological Progress?** Technology Achievement Index (TAI). NEW York, NY: UNO, UNDP, 2001.

_____. Measuring the Technology Achievement of Nations and the Capacity to Participate in the Network Age. **Journal of Human Development**, v. 3, n. 1, 2002, p. 95-122.

DIAS, Rubens A.; MATTOS, Cristiano R.; BALESTIERI, José A. P. The limits of human development and the use of energy and natural resources. **Energy Policy**, 34, p. 1.026-1.031, 2006.

DILMA inaugura usina hidrelétrica de Belo Monte. Portal Brasil, Infraestrutura, 05/05/2016 10h30 (última modificação: 06/05/2016 12h28). Disponível em: <<https://goo.gl/yA6iQu>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

DUROY, Quentin; GOWDY, John. Evolutionary Economics and Energy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 2. Amsterdam: Elsevier, 2005.

DYE, Thomas R. **Understanding public policy**. 14. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2013.

DYSON, F. J. Search for Artificial Sources of Infrared Radiation. **Science** **131**: 1667-1668, 1960. Disponível em: <<https://goo.gl/hOh6dS>>. Acesso em: 6 fev. 2016.

ECO, Umberto. **Como se faz uma tese**. 26. ed. rev. e atual. São Paulo: Perspectiva, 2016.

EDDINGTON, A. S. **The nature of the physical world**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1929.

EGGOH, J.; BANGAKE, C.; RAULT, C. Energy consumption and economic growth revisited in African countries. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, 2011, p. 7.408-7.421.

EHRlich, Robert. **Renewable Energy: A First Course**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014.

EICHLER, Michael. Causal Inference in Time Series Analysis. In: BERZUINI, Carlo; DAWID, Philip; BERNARDINELLI, Luisa (Ed.). **Causality: statistical perspectives and applications**. Hoboken, NJ: Wiley, 2012, p. 327–354.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015**. 2016d. Disponível em: <<http://goo.gl/iMiMzO>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

_____. **Nota Técnica DEA 13/15.** Demanda de Energia – 2050. Série Estudos da Demanda de Energia. Brasília: EPE, janeiro de 2016a.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília: EPE, 2007.

_____. **Balanço Energético Nacional.** 25 ago. 2016b (última modificação). Disponível em: <<https://goo.gl/8ovgqD>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

_____. **Calculadora 2050.** 22 nov. 2016e. Disponível em: <<https://goo.gl/a0bWj7>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

_____. **Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2014.** 10 jul. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/gfZyj0>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

_____. **Consumo de energia elétrica.** Dados preliminares. 15 nov. 2016c (última atualização). Disponível em: <<https://goo.gl/VuMBLX>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.** Dez. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/4HcFdn>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

EVANS, Ben. **Space Shuttle Columbia.** Her Missions and Crews. Chichester, UK: Springer, in association with Praxis Publishing, 2005.

EVERITT, Brian; SKRONDAL, Anders. **The Cambridge Dictionary of Statistics.** Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010.

FALLAHI, F. Causal relationship between energy consumption (EC) and GDP: a Markov-switching (MS) causality. **Energy**, v. 36, n. 7, 2011, p. 4.165-4.170.

FIELD, Andy. **Descobrimos a estatística usando o SPSS.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FRANK, Robert H.; BERNANKE, Ben S. **Princípios de economia.** 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2012.

FUINHAS, J.; MARQUES, A. Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: an ARDL bounds test approach (1965-2009). **Energy Economics**, v. 34, n. 2, 2012, p. 511-517.

FURTADO, André. Crise energética e trajetórias de desenvolvimento tecnológico. **Ciclo de Seminários Brasil em Desenvolvimento – 2003** (texto preliminar). Rio de Janeiro: IE-UFRJ e Cepal, 2003.

GADELHA, Sérgio Ricardo de Brito; CERQUEIRA, Renata Miyabara Gagliardi. **Consumo de Eletricidade e Crescimento Econômico no Brasil, 1952-2010:** Uma Análise de Causalidade. Brasil: Tesouro Nacional, Ministério da Fazenda, Textos para Discussão, Nº 016, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/TMBsW2>>. Acesso em: 5 fev. 2016.

GERI, Laurance R.; MCNABB, David E. **Energy Policy in the U.S.** Politics, Challenges, and Prospects for Change. Boca Raton: CRC Press, 2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisas**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.

_____. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1999.

GOLDEMBERG, José. **Energy: What Everyone Needs to Know?** New York, NY: Oxford University Press, 2012.

GRANGER, Clive W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. **Econometrica**, 37 (3), p. 424-438, 1969.

_____. **Time Series Analysis, Cointegration, and Applications**. Nobel Lecture, The Prize in Economic Sciences, December 8. Kamera Communications (webcasting). Stockholm: Stockholm University, 2003b. Disponível em: <<https://goo.gl/WYrj1j>>. Acesso em: 21 ago. 2016.

_____. **Time Series Analysis, Cointegration, and Applications**. Nobel Lecture, The Prize in Economic Sciences, December 8. Stockholm: Stockholm University, 2003a.

GROSS, Alan G.; HARMON, Joseph E. **The Internet Revolution in the Sciences and Humanities**. Oxford: Oxford University Press, 2016.

GRÜBLER, Arnulf. Transitions in Energy Use. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 6. Amsterdam: Elsevier, 2005.

GUERRA, Sinclair Mallet Guy; FANTINELLI, Jane Tassinari. A aproximação entre tecnologia e economia: os emergentes papéis da energia. **Revista de Estudos Sociais**, ano 3, n. 5, p. 33-58, 2001.

GURGUL, H.; LACH, L. The electricity consumption versus economic growth of the Polish economy. **Energy Economics**, v. 34, n. 2, 2012, p. 500-510.

_____. The role of coal consumption in the economic growth of the polish economy in transition. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, 2011, p. 2.088-2.099.

HAQ, Mahub ul. **Reflections on Human Development**. Oxford: Oxford University Press, 1995.

HARLAND, David M. **The Story of the Space Shuttle**. Chichester, UK: Springer, in association with Praxis Publishing, 2004.

HILBERT, Martin; LÓPEZ, Priscila. The world's technological capacity to store, communicate, and compute information. **Science** [0036-8075], 2011 v. 332, n. 6.025 p. 60-65.

HU, J.; LIN, C. Disaggregated energy consumption and GDP in Taiwan: a threshold co-integration analysis. **Energy Economics**, v. 30, n. 5, 2008, p. 2.342-2.358.

HUBBARD, Raymond. Alphabet Soup. Blurring the distinctions between p's and a's in psychological research. **Theory & Psychology**, v. 14, n. 3, p. 295-327, 2004.

_____; BAYARRI, M. J. Confusion over measures of evidence (p's) versus errors ($[\alpha]$'s) in classical statistical testing. **The American Statistician**, v. 57, n. 3, p. 171-182, 2003.

HUME, David. **Philosophical Works**. Volume 1. Edinburgh: Adam and Charles Black, 1854.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Número de municípios no Censo Demográfico, por classes de tamanho da população (população presente e residente)**. Séries históricas e estatísticas. Temas e subtemas. População e demografia. População e território. Período: 1950-2010. 18 fev. 2013b. Disponível em: <<https://goo.gl/hYmiBy>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

_____. **Projeção da população do Brasil – 1980-2050**. 23 fev. 2013a (última modificação). Disponível em: <<https://goo.gl/zL1Mlu>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Coal Information – 2016 Preliminary Edition**. Paris: IEA, 2016.

_____. **Key World Energy Statistics 2015**. Paris: IEA, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/uHfvB7>>. Acesso em: 8 maio 2016.

INTERNATIONAL MONETARY FUND (IMF). European Dept. **Albania: First Review under the Extended Arrangement and Request for Modification of Performance Criteria – Staff Report; and Press Release**. Washington, D.C.: International Monetary Fund, 2014.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Internet of Things Global Standards Initiative** [2016]. Disponível em: <<https://goo.gl/F0p7IE>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

ITAIPU BINACIONAL. **Geração**. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/2VuwoB>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

JACKSON, C. I. (Ed.). **Human Settlements and Energy: An Account of the ECE Seminar on the Impact of Energy Considerations on the Planning and Development of Human Settlements**. Sydney: Pergamon Press, 2011.

JOHANSSON, Thomas B. Forward. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 1. Amsterdam: Elsevier, 2005.

JUMBE, C. B. L. Cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi. **Energy Economics**, v. 26, 2004, p. 61-68.

KAHSAI, M. et al. Income level and the energy consumption–GDP nexus: evidence from Sub-Saharan Africa. **Energy Economics**, v. 34, n. 3, 2012, p. 739-746.

KAKU, Michio. **Physics of the future: how science will shape human destiny and our daily lives by the year 2100**. New York: Doubleday, 2011.

KANT, Immanuel. **Critique of Pure Reason**. Unified Edition. Translated by Werner S. Pluhar. Indianapolis, IN: Hackett Publishing Co., 1996.

- KENNY, David A. **Correlation and Causality**. New York, NY: John Wiley & Sons, 1979.
- KRAFT, J.; KRAFT, A. On the relationship between energy and GNP. **J Energ Dev**, 1978; 3(2), p. 401-403.
- KUCINSKI, Bernardo. **Jornalismo econômico**. São Paulo: Edusp, 2007.
- KÜMMEL, Reiner. **The Second Law of Economics**. Energy, Entropy, and the Origins of Wealth. New York, NY: Springer, 2011.
- LAMBERT, Jessica G. et al. Energy, EROI and quality of life. **Energy Policy**, 64, p. 153-167, 2014.
- LANE, Jan-Erik. **Comparative Politics**. The principal-agent perspective. London: Routledge, 2008.
- LAPPONI, Juan Carlos. **Estatística usando Excel**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2005.
- LEE, C. C. Energy consumption and GDP in developing countries: a cointegrated panel analysis. **Energy Economics**, v. 27, 2005, p. 415-427.
- LEE, C.; CHANG, C. Energy consumption and GDP revisited: a panel analysis of developed and developing countries. **Energy Economics**, v. 29, n. 6, 2007, p. 1.206-1.223.
- LEE, Tae-Woo. **Aerospace propulsion**. Chichester: John Wiley & Sons, 2014.
- LEMIEUX, Pierre. **The public debt problem**. New York: Palgrave Macmillan, 2013.
- LENZA, Pedro. **Direito constitucional esquematizado**. São Paulo: Saraiva, 2012.
- LISE, W.; MONTFORT, K. E. Energy consumption and GDP in Turkey: is there a co-integration relationship? **Energy Economics**, v. 29, 2007, p. 1.166-1.178.
- LOEWENSTEIN, Karl. **Teoria de la Constitución**. Barcelona: Ariel, 1986.
- MARTINS, Laís. **Itaipu bate recordes de geração com 100 mi MWh no ano**. Itaipu Binacional (reproduzindo Reuters), 20/12/2016. Disponível em: <<https://goo.gl/j4S7uI>>. Acesso em: 21 dez. 2016.
- MCGILL, Brian. **Statistical machismo?** Dynamic ecology, September 11, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/zUEuvm>>. Acesso em: 19 ago. 2016.
- MEDLOCK III, Kenneth B. Economics of Energy Demand. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 2. Amsterdam: Elsevier, 2005.
- MEKSENAS, Paulo. **Pesquisa social e ação pedagógica**. São Paulo: Edições Loyola, 2002.
- MELLO, Marco. **Qual teste estatístico devo usar?** 17 maio 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/2fb9z4>>. Acesso em: 3 ago. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Outubro/2016. Disponível em: <<https://goo.gl/z0MBhG>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

MOAN, Jaina L.; SMITH, Zachary A. **Energy Use Worldwide**. A Reference Handbook. Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, Inc., 2007.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONUBR). **Agenda 2030**. 13 de outubro de 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/c4aWgP>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

_____. **Declaração Universal dos Direitos Humanos**. Rio de Janeiro: Centro de Informação das Nações Unidas, 2009.

_____. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento no Brasil. **Ranking IDHM Unidades da Federação 2010**. Rio de Janeiro: Centro de Informação das Nações Unidas, 2013.

NARAYAN, P.; NARAYAN, S.; POPP, S. A note on the long-run elasticities from the energy consumption-GDP relationship. **Applied Energy**, v. 87, n. 1, 2010a, p. 1.054-1.057.

_____. Does electricity consumption panel Granger cause GDP? A new global evidence. **Applied Energy**, v. 87, n. 1, 2010b, p. 3.294-3.298.

NARAYAN, P.; NARAYAN, S.; PRASAD, A. A structural VAR analysis of electricity consumption and real GDP: evidence from the G7 countries. **Energy Policy**, v. 36, n. 7, 2008, p. 2.765-2.769.

NARAYAN, P.; PRASAD, A. Electricity consumption–real GDP causality nexus: evidence from a bootstrapped causality test for 30 OECD countries. **Energy Policy**, v. 36, n. 1, 2008, p. 910-918.

NARAYAN, P.; SINGH, B. The electricity consumption and GDP nexus for the Fiji Islands. **Energy Economics**, v. 29, n. 1, 2007, p. 1.141-1.150.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Wings in Orbit**. Scientific and Engineering Legacies of the Space Shuttle. 1971-2010. Washington, D.C.: Government Printing Office, 2011.

NG, Adeline; PARWANI, Rajesh R. **Integrated Mathematics for Explorers: Intermediate**. Singapore: Simplicity Research Institute, 2012.

NORTE ENERGIA. **4ª turbina de Belo Monte já está gerando energia para o Brasil**. 20.12.2016. Disponível em: <<https://goo.gl/am7dne>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

ODHIAMBO, N. Electricity consumption and economic growth in South Africa: a trivariate causality test. **Energy Economics**, v. 31, n. 5, 2009, p. 635-640.

OH, W.; LEE, K. Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: the case of Korea 1970-1999. **Energy Economics**, v. 26, 2004, p. 51-59.

OLIVEIRA, Jarbas Rodrigues de (Org.). **Biofísica**: para ciências biomédicas. Porto Alegre: EdUPUCRS, 2014.

OLIVEIRA, Nielmar de. **IBGE**: PIB fecha 2015 com queda de 3,8%. EBC – Agência Brasil, Economia. Rio de Janeiro, 03/03/2016 09h14. Disponível em: <<https://goo.gl/g6MEfx>>. Acesso em: 21 dez. 2016.

OUEDRAOGO, Nadia S. Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. **Energy**, 63, p. 28-41, 2013.

OZTURK, I.; ACARAVCI, A. Electricity consumption and real GDP causality nexus: evidence from ARDL bounds testing approach for 11 MENA countries. **Applied Energy**, v. 88, n. 8, 2011, p. 2.885-2.892.

_____. The causal relationship between energy consumption and GDP in Albania, Bulgaria, Hungary and Romania: evidence from ARDL bound testing approach. **Applied Energy**, v. 87, n. 6, 2010, p. 1.938-1.943.

OZTURK, I. A literature survey on energy-growth nexus. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 340-349, 2010.

PALFREMAN, Jon; SWADE, Doron. **The Dream Machine**: Exploring the Computer Age. London: BBC Books, 1993.

PARSONS, June Jamrich; OJA, Dan; LOW, Stephanie. **Computers, Technology, and Society**. Boston, MA: Course Technology, 1999.

PAYNE, J. E. A survey of the electricity consumption-growth literature. **Applied Energy**, v. 87, p. 723-731, 2010.

PEET, John. Economic Systems and Energy, Conceptual Overview. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 1. Amsterdam: Elsevier, 2005.

POPPER, Sir Karl Raimund. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 2013.

SANTOS, Herivelto Tiago Marcondes dos; DIAS, Rubens Alves; BALESTIERI, José Antônio Perrella. Application of factorial analysis to a Brazilian metropolitan region considering the Millennium Development Goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 59, p. 276-291, 2016.

SCHMITZ, Christoph (Ed.). **Handbook of Aluminium Recycling**. Essen: Vulkan-Verlag GmbH, 2006.

SCHREIBER, Mariana. **Brasil 'avança em desenvolvimento humano' ou cai em ranking do IDH?** Como interpretar relatório da ONU. BBC Brasil, Notícias, 14 dezembro 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/uKJjm5>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Abastecimento de água**: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento. Guia do profissional em treinamento – nível 2. Salvador: ReCESA, 2008.

SHAHIDUZZAMAN, M. D.; ALAM, K. Cointegration and causal relationships between energy consumption and output: assessing the evidence from Australia. **Energy Economics**, v. 34, n. 6, 2012, p. 2.182-2.188.

SHELLY, Gary; VERMAAT, Misty. **Discovering Computers: Fundamentals**. Boston, MA: Cengage Learning, 1998.

SHIU, A.; LAM, P. L. Electricity consumption and economic growth in China. **Energy Policy**, v. 32, 2004, p. 47-54.

SMIL, Vaclav. **Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties**. Cambridge, MA: MIT Press, 2003.

_____. **Power Density: A Key to Understanding Energy Sources and Uses**. Cambridge, MA: MIT Press, 2015.

_____. World History and Energy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 6. Amsterdam: Elsevier, 2005.

SOLOMON, Barry D. Economic Geography of Energy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 2. Amsterdam: Elsevier, 2005.

SOYTAS, U.; SARI, R. Energy consumption and income in G-7 countries. **Journal of Policy Modeling**, v. 28, p. 739-750, 2006.

STERN, David I. Economic Growth and Energy. In: CLEVELAND, Cutler J. (Ed.). **Encyclopedia of Energy**. Volume 2. Amsterdam: Elsevier, 2005.

STIGLITZ, Joseph E.; SEN, Amartya; FITOUSSI, Jean-Paul. **Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress**. 24 de fevereiro de 2016 (última modificação). Disponível em: <<https://goo.gl/7DD8NO>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

STIPANUK, Martha H.; CAUDILL, Marie A. **Biochemical, physiological, and molecular aspects of human nutrition**. St. Louis, MO: Elsevier Health Sciences, 2013.

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL (STF). **Senadores questionam aprovação de Nova Lei das Telecomunicações**. Notícias STF, 21 de dezembro de 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/QGV9uz>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

TANJA, Winther. **The impact of electricity: development, desires, and dilemmas**. New York: Berghahn Books, 2011.

TAYLOR, Edward. German push to ban combustion-engine cars by 2030 wins support. **Reuters**, Edition United States, Environment, Sat Oct 8, 2016. New York, NY. Disponível em: <<https://goo.gl/hAZLzZ>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

THE INTERNET'S Coming of Age. Committee on the Internet in the Evolving Information Infrastructure. Computer Science and Telecommunications Board. Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications. National Research Council. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001.

TIPLER, Paul A. **Física**. Mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. Volume 1. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

TOLMASQUIM, Mauricio T. Apagão nunca mais. **Estado de Minas**, 14 de junho de 2006.

TORRES, Ricardo Lobo. A metamorphose dos direitos sociais em mínimo existencial. In: SARLET, Ingo Wolfgang. **Direitos fundamentais sociais**: estudos de direito constitucional, internacional e comparado. Rio de Janeiro: Renovar, 2003.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). TCU identifica superfaturamento de R\$ 3,2 bilhões em Belo Monte. **Portal TCU**, 17/11/16, 17:46. Disponível em: <<https://goo.gl/XnrItp>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

TURNER, Martin J. L. **Rocket and Spacecraft Propulsion**. Principles, Practice and New Developments (Third Edition). Chichester, UK: Springer, in association with Praxis Publishing, 2009.

UNITED KINGDOM. Department of Energy & Climate Change. **2050 energy calculator**. London: UK Government, 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/E2NMPP>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Frequently Asked Questions – Human Development Index (HDI)**. 17 abr. 2014b. Disponível em: <<http://goo.gl/uxcULP>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1990**. New York, NY: Oxford University Press, 1990. Disponível em: <<http://goo.gl/K8JIfA>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1991**. New York, NY: Oxford University Press, 1991. Disponível em: <<http://goo.gl/5jf4Bi>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1992**. New York, NY: Oxford University Press, 1992. Disponível em: <<http://goo.gl/J47fJg>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1993**. New York, NY: Oxford University Press, 1993. Disponível em: <<http://goo.gl/0sqq6>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1994**. New York, NY: Oxford University Press, 1994. Disponível em: <<http://goo.gl/tAmLhO>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1995**. New York, NY: Oxford University Press, 1995. Disponível em: <<http://goo.gl/CgNMYJ>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1996**. New York, NY: Oxford University Press, 1996. Disponível em: <<http://goo.gl/d41FVQ>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1997**. New York, NY: Oxford University Press, 1997. Disponível em: <<http://goo.gl/o0DMxm>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1998**. New York, NY: Oxford University Press, 1998. Disponível em: <<http://goo.gl/Lv0ARu>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 1999**. New York, NY: Oxford University Press, 1999. Disponível em: <<http://goo.gl/WmkS4R>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2000**. New York, NY: Oxford University Press, 2000. Disponível em: <<http://goo.gl/9VmegU>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2001**. Making New Technologies Work for Human Development. New York, NY: Oxford University Press, 2001. Disponível em: <<http://goo.gl/ugKagc>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2002**. Deepening Democracy in a Fragmented World. New York, NY: Oxford University Press, 2002. Disponível em: <<http://goo.gl/BBpxV9>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2003**. Millennium Development Goals: A Compact Among Nations to End Human Poverty. New York, NY: Oxford University Press, 2003. Disponível em: <<http://goo.gl/lFBgRb>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2004**. Cultural Liberty in Today's Diverse World. New York, NY: Oxford University Press, 2004. Disponível em: <<http://goo.gl/shHGAI>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2005**. International cooperation at a crossroads: Aid, trade and security in an unequal world. New York, NY: United Nations Development Programme, 2005. Disponível em: <<http://goo.gl/vyGTxx>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2006**. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. New York, NY: Palgrave Macmillan, 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/Yxnt4G>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2007/2008**. Fighting climate change: Human solidarity in a divided world. New York, NY: Palgrave Macmillan, 2007. Disponível em: <<http://goo.gl/94DYwh>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2009**. Overcoming barriers: Human mobility and development. New York, NY: Palgrave Macmillan, 2009. Disponível em: <<http://goo.gl/EhwtUy>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2010**. The Real Wealth of Nations: Pathways to Human Development. New York, NY: Palgrave Macmillan, 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/0YvlIR>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2011**. Sustainability and Equity: A Better Future for All. New York, NY: Palgrave Macmillan, 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/wxRdQ3>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2013**. The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World. New York, NY: United Nations Development Programme, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/vQfEBi>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2014**. Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience. New York, NY: United Nations Development Programme, 2014a. Disponível em: <<http://goo.gl/Qhu2Z5>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2015**. Technical notes. New York, NY: United Nations Development Programme, 2015b. Disponível em: <<https://goo.gl/7gW0QF>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

_____. **Human Development Report 2015**. Work for Human Development. New York, NY: United Nations Development Programme, 2015a. Disponível em: <<https://goo.gl/LNuqOp>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Education**. Data centre. Institute for Statistics. 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/NWkE9t>>. Acesso em: 29 maio 2016.

UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (UNSD). **Handbook of the International Comparison Programme**. Department of Economic and Social Affairs, Economic and Social Development Home, Annex II – Methods of Aggregation, The Geary system. New York, NY: United Nations Statistics Division, 30 abr. 2015.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR). Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Governança Pública. **Conheça o PGP**. Curitiba: UTFPR, 2010.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **Petroleum, Natural Gas, Coal, Electricity, Renewables, Total Energy, Indicators, Country**. International Energy Statistics. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/5aqwJT>>. Acesso em: 3 abr. 2016.

WANG, Y. et al. Energy consumption and economic growth in China: a multivariate causality test. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, 2011, p. 4.399-4.406.

WITTGENSTEIN, Ludwig. **Tractatus logico-philosophicus**. São Paulo: Edusp, 2008.

WOLDE-RUFAEL, Y. Disaggregated industrial energy consumption and GDP: the case of Shanghai, 1952-1999. **Energy Economics**, v. 26, 2004, p. 69-75.

_____. Energy demand and economic growth: the African experience. **Journal of Policy Modeling**, v. 27, 2005, p. 891-903.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introductory Econometrics: A Modern Approach**. Mason, OH: Cengage Learning, 2013.

WORLD BANK. **Non-Payment in the Electricity Sector in Eastern Europe and the Former Soviet Union**. World Bank Technical Paper N. 423. Washington, D.C.: World Bank Publications, 1999.

_____. **World Development Indicators**. Washington, D.C.: The World Bank Group, 22/12/2015 (last updated date). Disponível em: <<http://goo.gl/c9XRi>>. Acesso em: 8 fev. 2016.

WORLD ENERGY COUNCIL. **Energy Efficiency: A Worldwide Review – Synopsis**. London: World Energy Council, 2004.

YALTA, A.; CAKAR, H. Energy consumption and economic growth in China: reconciliation. **Energy Policy**, v. 41, n. 1, 2012, p. 666-675.

YANG, H. Y. A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan. **Energy Economics**, v. 22, 2000, p. 309-317.

YOO, S. H. Electricity consumption and economic growth: evidence from Korea. **Energy Policy**, v. 33, 2005, p. 1.627-1.632.

_____; KIM, Y. Electricity generation and economic growth in Indonesia. **Energy**, v. 31, 2006, p. 2.890-2.899.

YOO, S.; KWAK, S. Electricity consumption and economic growth in seven South American countries. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, 2010, p. 181-188.

YUAN, J. et al. Electricity consumption and economic growth in China: cointegration and co-feature analysis. **Energy Economics**, v. 29, 2007, p. 1.179-1.191.

_____. Energy consumption and economic growth: evidence from China at both aggregated and disaggregated levels. **Energy Economics**, v. 30, n. 6, 2008, p. 3.077-3.094.

ZIGMOND, Michael J.; ROWLAND, Lewis P.; COYLE, Joseph T. **Neurobiology of Brain Disorders: Biological Basis of Neurological and Psychiatric Disorders**. London, UK: Elsevier, 2014.

ZOUBIR, Yahia H.; DRIS-AÏT-HAMADOUCHE, Louisa. **Global Security Watch – The Maghreb: Algeria, Libya, Morocco, and Tunisia**. Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, 2013.

ZUMERCHIK, John (Ed.). **Macmillan encyclopedia of energy**. New York, NY: Macmillan Reference USA, 2001.