

CONCENTRAÇÃO DO CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Douglas de Farias Medeiros – douglas.medeiros@cear.ufpb.br
Universidade Federal da Paraíba, Graduando em Engenharia Elétrica.

Filipe Vanderlei Alencar – filipe.alencar@cear.ufpb.br
Universidade Federal da Paraíba, Graduando em Engenharia de Energias Renováveis.

Edvaldo Pereira Santos Júnior – edvaldo.junior@cear.ufpb.br
Universidade Federal da Paraíba, Graduando em Engenharia de Energias Renováveis

Luanna Maria Silva de Siqueira – luanna.siqueira@cear.ufpb.br
Universidade Federal de Paraíba, Graduanda em Engenharia Elétrica

Luiz Moreira Coelho Junior – luiz@cear.ufpb.br
Universidade Federal de Paraíba, Professor do Centro de Energias Alternativas e Renováveis.

Resumo. *A energia é um importante fator para o desenvolvimento econômico e tecnológico da humanidade, mas o uso energético ainda é dominado pelos recursos exauríveis, o que representa um entrave direto ao desenvolvimento sustentável. Este artigo analisou o consumo mundial das fontes renováveis, com ênfase o Brasil. A mensuração da consumo foi realizada por meio da Razão de Concentração, Índice de Herfindahl-Hirschman e o Índice de Entropia de Theil. Observou-se que a China assumiu a liderança mundial do consumo em energias renováveis no século XXI e os BRIC's estão entre os dez maiores. No período estudado, a Razão de Concentração dos quatro maiores consumidores mundiais em energias renováveis teve uma média de participação de 51,04%, inferindo uma concentração moderadamente alta. Os indicadores de Herfindahl-Hirschman e de Entropia de Theil mostram desconcentração até o final do século XX e apontou indícios de aumento de concentração a partir do Século XXI.*

Palavras-chave: *Fontes renováveis, indicadores de concentração, economia da energia renovável.*

1. INTRODUÇÃO

A energia é um importante fator para o desenvolvimento econômico e tecnológico da humanidade. O uso energético ainda é dominado pelos recursos exauríveis, o que representa um entrave direto ao desenvolvimento sustentável, gerando uma discussão dessa temática (Coelho Junior et al., 2013).

Desde a Revolução Industrial, final do séc. XVIII, o homem necessitou de uma maior oferta de energia para prover as necessidades produtivas dos processos industriais. A sociedade começou a consumir os combustíveis fósseis de forma excessiva, necessitando assim gerar alternativas como as fontes renováveis de energia para suprir a demanda mundial *vis a vis* o crescimento populacional.

Segundo o Banco Mundial (2013), o crescimento médio populacional no período de 1992 a 2012 foi de 2,23% a.a.. Os países com maiores crescimentos foram a Ruanda, com 8,57% a.a., seguido pelos Emirados Árabes e Catar, com 8,28% a.a. e 7,79% a.a., respectivamente. Ao passo que a população vem crescendo, juntamente com avanços tecnológicos, aumenta a dependência dos recursos energéticos, sendo necessária uma maior oferta de energia.

O BP (2013) observou que nos anos de 1965 e 2012, o consumo de alguns combustíveis fósseis (óleo, carvão mineral e gás natural) foi da ordem de 3,54 e 10,85 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (bteo) respectivamente, alcançando um aumento no consumo médio anual de 2,41% a.a. Neste período, o consumo mundial foi mais de 335 bteo. O Brasil, por sua vez, consumiu 1,7 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (mteo) em 1965 e chegou a 13,5 mteo em 2012. Nesse período foram consumidos, no acumulado, 2,585 bteo, com uma taxa de consumo médio anual foi de 4,45% a.a. Com estes padrões de consumo alavancou as emissões de Dióxido de Carbono (CO₂).

Segundo o BP (2013), entre os anos de 1965 e 2012, a emissão de CO₂ no cenário mundial foi de 995,2 Bilhões de toneladas de CO₂, enquanto que o Brasil emitiu 11,1 Bilhões de toneladas de CO₂. A taxa média anual de emissão de CO₂ mundial foi de 2,32% a.a. Os maiores crescimentos médios de emissores de CO₂, em ordem decrescente, são: Emirados Árabes – 20,67%, Catar – 12,49%, Tailândia – 11,93%, Malásia – 11,01% e Coréia do Sul – 10,65%, situados no continente asiático. O crescimento brasileiro neste cenário foi de 4,9% a.a. ficando acima média global. Chofi et al. (2004) diz “O planeta Terra manteve o seu processo de equilíbrio entre o sequestro e a emissão de dióxido de carbono na atmosfera até que as emissões antrópicas aumentaram a uma taxa superior à capacidade de armazenamento dos fluxos naturais do planeta”.

Galdino (2009) afirmou que a preocupação com falta de oferta do petróleo, bem como a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na camada atmosférica, une as tecnologias dos países desenvolvidos para solucionar essas problemáticas. A partir desse contexto surgiram as tecnologias de energias renováveis viáveis em relação às condições

de preço da energia dominante. Costa & Prates (2005) afirma que “Energia renovável é uma expressão usada para descrever uma ampla gama de fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica.” Por exemplo, a energias a partir das fontes advindas do sol, dos ventos, dos vegetais etc.

As características das energias renováveis apresentam certas vantagens sobre outras fontes energéticas exauríveis. Costa & Prates (2005) defende que “(...) as novas fontes renováveis têm sido utilizadas como forma de reduzir as diferenças regionais no que diz respeito ao acesso à energia”. A agressão ao meio ambiente causada pelas energias renováveis chega a ser mínima, quando se comparado aos combustíveis fósseis. Juntamente com a característica cíclica, a não agressão ao meio ambiente garante as energias renováveis a sustentabilidade. O Brasil possui uma grande capacidade de produção de energia renovável, como por exemplo, a hidroelétrica de Itaipu (PR) que possui a maior geração de energia elétrica do país. O Creseb (2013) mostra que o potencial eólico de capacidade instalada na região Nordeste chega a 293,18 GW.

BP (2013) mostra que desde o início do século XXI, quatro países destacam-se por serem os maiores consumidores de energias oriundas de fontes renováveis, são eles: Estados Unidos (USA), China (CHN), Brasil (BRA) e Canadá (CAN). Esses países juntos em 2012 representaram 54,27% do consumo mundial de energias renováveis. A China foi o maior contribuinte com 22,92%, seguido do EUA – 11,52, o Brasil com – 10,69% e Canadá com 9,13%. Porém, nesse mesmo ano, alguns países se destacaram em apenas uma energia renovável. A Alemanha consumiu 6,3 mteo de energia solar, representando 30,12% do consumo mundial dessa energia. Já EUA foi o principal consumidor de energia eólica em 2012, com 32 mteo (27,14%) do consumo mundial de energia eólica. Nesse contexto, este trabalho analisou o consumo energético mundial das energias renováveis, enfatizando o consumo brasileiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Objeto de estudo

Os dados utilizados para análise do consumo das energias renováveis no cenário mundial foram obtidos através do Statistical Review of World Energy (Junho de 2013) para o intervalo temporal de 1965 a 2012. Esta informações estão disponíveis em: <<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statisticalreview>> acesso em 12 de novembro de 2013.

2.2 Medidas de concentração

Razão de concentração. Esse índice considera a participação do consumo dos k (sendo $k = 1, 2, \dots, n$) fontes energéticas de determinada indústria. Bain (1959) diz que a forma algébrica da razão de concentração é:

$$CR(k) = \sum_{i=1}^k S_i \quad (1)$$

em que,

$CR(k)$ = Razão de concentração de k fontes energéticas;

s_i = *market share*, em porcentagem, da fonte energética i do total consumido total por determinada indústria.

Convencionalmente, utiliza-se o CR(4) e o CR(8) para análise de concentração industrial, pois na medida em que o valor do índice aumenta, eleva-se também o poder de mercado virtual dos países maiores exportadores. A Tab. 1 ilustra os diferentes níveis de concentração e as respectivas classificações para CR(4) e CR(8). Para o cálculo da razão de concentração, as participações dos países foram ordenadas de forma decrescente.

Tabela 1 – Classificação do grau de concentração.

Grau de Concentração	CR (4)	CR(8)
Muito Alto	75% ou mais	90% ou mais
Alto	65% - 75%	85% - 90%
Moderadamente Alto	50% - 65%	70% - 85%
Moderadamente Baixo	35% - 50%	45% - 70%
Baixo	35% ou menos	45% ou menos

Fonte: Bain (1959).

Índice de Herfindahl-Hirschman. O Índice Herfindahl-Hirschman (*HHI*), também conhecido como Índice Herfindahl, é uma ferramenta de análise de concentração de mercado proposta de forma independente por Hirschman (1945) e Herfindahl (1950). Em 1964, Hirschman (1964) publicou a obra “*The Paternity of an Index*” que reivindica a posse original do índice.

O *HHI* mede a concentração industrial utilizando os dados de todos os países, em dada indústria, por meio da expressão:

$$HHI = \sum_{i=1}^n S_i^2 \quad (2)$$

em que,

n = número de países;

s_i = *market share*, em porcentagem, da país i do total consumido da indústria.

O *HHI* evidencia os pesos relativos da participação de cada país. Ao se elevar ao quadrado o *market share* das fontes energéticas, atribui-se um maior peso aos que têm maior participação. Segundo Resende (1994) o limite inferior do índice é $1/n$, situação em que todos os países têm o mesmo tamanho. Já o limite superior do índice é igual a 1, indicando haver uma concentração máxima, quando há uma situação de monopólio.

Para o uso de análises comparativas, quando ocorre uma variação no número de países em dada indústria, Resende (1994) sugeriu um ajuste na fórmula do *HHI*, da seguinte forma:

$$HHI' = \frac{1}{n-1}(nHHI - 1), n > 1 \quad (3)$$

A utilização dessa equação implica em um intervalo de variação entre 0 e 1 para o *HHI*. Assim, à medida que o índice se afasta de zero maior será a concentração. Ou seja, se a variação ocorre no intervalo $0 \leq HHI' \leq 0,1$, o mercado é desconcentrado. O intervalo $0,1 \leq HHI' \leq 0,18$ indica um mercado pouco concentrado. Mas, quando $HHI' > 0,18$, o mercado é muito concentrado (Resende e Boff, 2002).

Índice de Entropia de Theil (E). Proposto por Theil (1967), o Índice de Entropia foi originalmente formulado para se verificar o conteúdo informacional da mensagem que as firmas transmitiriam, dado o grau de surpresa que as mesmas teriam, diante de certo evento. O índice, porém, pode ser aplicado à economia industrial para medir a concentração das exportações de qualquer setor. A fórmula matemática utilizada para o cálculo da Entropia (E) é:

$$E = - \sum_{i=1}^n S_i \ln(S_i) \quad (5)$$

em que,

n = número de fontes energéticas;

s_i = *market share*, em porcentagem, da fonte energética i do total consumido da indústria;

\ln = logaritmo neperiano.

O índice de Entropia mede o inverso da concentração. Quanto menor o valor do índice mais concentrada são as fontes energéticas. Um número maior de fontes energéticas implica em um valor mais elevado da Entropia, dependendo do quão desigual é o tamanho das mesmas. Em situações de monopólio, o valor da Entropia é igual a zero, o que significa concentração máxima. Já o limite superior do índice é igual a $\ln(n)$, isto é, as empresas possuem parcelas iguais de mercado e concentração mínima (RESENDE & BOFF, 2002).

De forma análoga ao sugerido para o *HHI*, Resende (1994) sugeriu que, para análises intertemporais, a expressão para o cálculo da Entropia seja ajustada da seguinte forma:

$$E' = - \frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n S_i \ln(S_i) \quad (6)$$

Assim, a entropia passa a variar entre 0, monopólio (concentração máxima), e 1, concorrência perfeita (concentração mínima).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tab. 2 apresenta os quinze maiores consumidores em energias renováveis do mundo, no período de 2000 a 2012. A América destaca-se por se manter como maior consumidora nos últimos 12 anos, participando com 1,5 Bte, seguida pela Ásia, Europa e Eurásia, que consumiram respectivamente 846, 567 e 190 em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mte). É perceptível a participação que os países americanos têm com o consumo das fontes renováveis, especialmente os Estados Unidos da América. Apesar de serem conhecidos como um dos maiores usuários de

combustíveis fósseis e também como um dos maiores emissores de gases do efeito estufa, eles também são os maiores consumidores de fontes alternativas do planeta.

No séc. XXI, o Brasil manteve-se na terceira colocação entre os países que mais consumiram energias renováveis no mundo. Os Estados Unidos da América (USA), por sua vez, permanecem como maior consumidor de recursos renováveis há mais de quarenta anos apresentando um aumento no consumo em torno de 69 Mteo em um intervalo de quarenta e sete anos. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (2013), em 2012, 75% do consumo energético brasileiro em média é proveniente da hidroeletricidade. O Brasil consumiu 94,5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, o que representa aproximadamente 89,4% do total.

Tabela 2 – Maiores consumidores de fontes renováveis entre 2000 e 2012.

	País	2000	País	2003	País	2006	País	2009	País	2012
1°	Canada	82,78	US	81,86	China	100,07	China	146,24	China	226,69
2°	US	80,67	Canada	78,41	US	88,84	US	96,14	US	113,93
3°	Brasil	71,36	Brasil	72,67	Brasil	83,21	Brasil	94,33	Brasil	105,73
4°	China	51,05	China	65,02	Canada	82,89	Canada	86,3	Canada	90,36
5°	Rússia	37,43	Rússia	35,75	Rússia	39,76	Rússia	39,97	Rússia	37,92
6°	Noruega	32,26	Japão	26,34	Índia	28,74	Índia	30,35	Índia	37,04
7°	Japão	22,79	Noruega	24,16	Noruega	27,37	Noruega	29,04	Noruega	32,8
8°	Suécia	18,81	Índia	16,89	Japão	27	Japão	23,24	Alemanha	30,79
9°	Índia	18,16	França	14,44	Venezuela	18,46	Alemanha	21,4	Japão	26,48
10°	França	16,04	Venezuela	13,7	Alemanha	16,2	Venezuela	19,45	Suécia	22,07
11°	Venezuela	14,23	Suécia	13,29	Suécia	16,03	Suécia	18,01	Itália	20,29
12°	Itália	11,63	Espanha	12,88	França	14,1	Espanha	16,68	Espanha	19,57
13°	Áustria	9,84	Itália	10,86	Espanha	12,02	França	15,8	França	18,6
14°	Espanha	9,27	Alemanha	10,18	Itália	11,83	Itália	15,69	Venezuela	18,56
15°	México	8,93	Argentina	9,11	Argentina	10,51	Áustria	10,68	Turquia	14,72
	Outros	111,36	Outros	117,57	Outros	138,52	Outros	144,72	Outros	173,36
	Total	596,61	Total	603,13	Total	715,55	Total	808,04	Total	988,91

Fonte: Statistical Review of World Energy 2013.

A Fig. 1 mostra o grau de concentração dos consumidores mundiais de energias renováveis. O CR(4) do período estudado foi em média 51,04%, de acordo com Bain (1959) mantendo-se moderadamente alto. Neste período, o menor valor registrado para o índice foi de 46,26% e o maior foi de 55,81%. No intervalo entre 1965 e 1975 não houve muita variação da medida de concentração, em média o valor apontado foi de 54,16% variando de 53,08% a 55,81%.

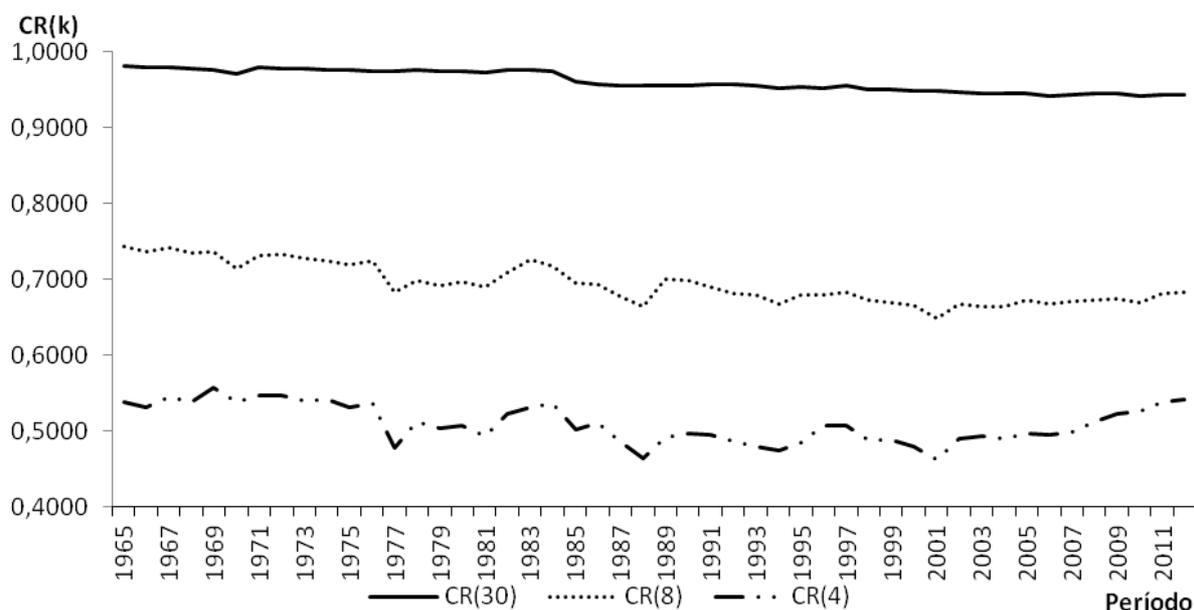


Figura 1 – Razões de concentração do consumo mundial de fontes renováveis.

No ano de 1977, o resultado do índice teve um decaimento considerável de 5,84% tendo entre 1977 e 1981 o valor médio de 49,93%. Isso se deu mediante o fim da guerra fria, que deu início ao processo de globalização, e a segunda fase da crise do petróleo, que elevou absurdamente o preço do petróleo e levou mais países a investir nas fontes alternativas de energia como forma de driblar este problema, consequentemente causou uma diminuição da concentração do consumo em uma minoria. Esse índice continuou caindo até que em 1989 atingiu um dos menores valores da razão de concentração para $k = 4$, que foi 46,4%. Ainda em meio à crise do petróleo, mas desta vez já na sua quarta fase, o valor de concentração apresentou o menor valor para CR(4), 46,26%. Entre 1977 e 2001 a concentração dos consumidores preservou-se moderadamente baixa, porém, após 2001 apresentou um crescimento no seu grau de concentração, caracterizando-se moderadamente alto.

Na década de 70 observa-se um decréscimo do índice, mas esse efeito é mais leve se os oito maiores países consumidores forem considerados, pois neste caso há a participação de um número maior de países na análise da concentração. No período anterior a esta queda, entre 1965 e 1976, o CR(8) médio foi de 73,8% sendo qualificado como moderadamente alto. Fato que difere no intervalo entre 1977 e 1988, quando a concentração foi considerada moderadamente baixa, sendo em média 69,54%. Percebe-se, portanto, que o CR(4) e CR(8) apresentaram um decaimento proveniente de vários fatores históricos, mas além disso, quando a quantidade de países analisados aumenta muito, como por exemplo $k = 30$, o valor do índice começa a se aproximar de 1, o que de fato já era esperado, pois isso confirma o modelo de monopólio existente no consumo mundial de fontes renováveis.

Entre 1965 e 2012 o índice de concentração do consumo de energias alternativas dos oito maiores países consumidores manteve-se em média em torno de 69,45%, variando entre 64,92% e 74,39%. Já para os 30 maiores países o valor da média foi 96,09%, tendo valor mínimo de 94,15% e valor máximo de 98,12%.

Na Fig. 2 são mostrados os indicadores HHI e HHI' para os países consumidores de energias renováveis e a energia hidroelétrica. De 1965 a 2012 há uma tendência de desconcentração até 2001, quando o indicador teve o ser menor valor, aproximadamente 0,0687. Nesse mesmo período também ocorreu o maior valor, em 1969 o valor registrado para o HHI foi 0,1173. A partir de 2002 é evidente o crescimento do indicador, o que consequentemente acarretou em uma concentração do consumo, que permanece até 2012.

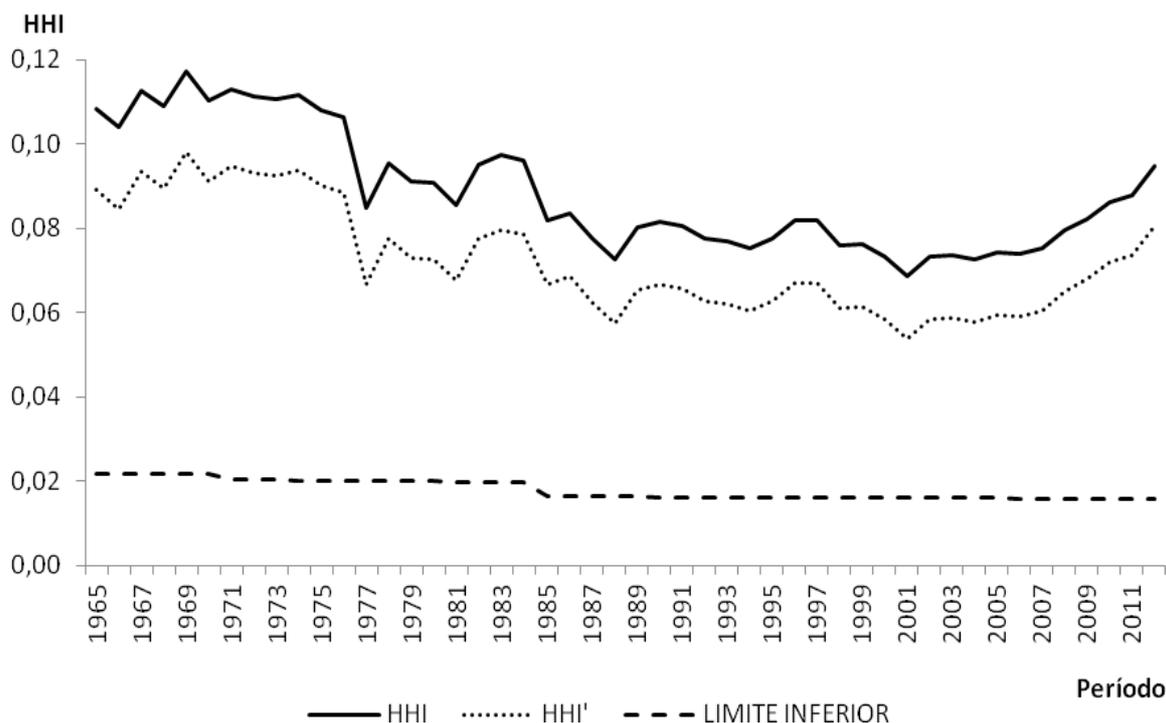


Figura 2 – Índice de Herfindahl-Hirschman

O HHI' possui comportamento semelhante ao HHI. Atinge, em 1969, o valor de 0,0981 que representa a diminuição da concentração. Em 2001 chega ao seu menor valor 0,0536 que também indica a diminuição do grau de concentração do consumo de energias renováveis.

No período entre 1973 e 1989 aconteceram as crises do petróleo, que aumentaram consideravelmente o preço do próprio e levou os países em busca de outras alternativas energéticas para consumo. Isso é evidenciado no decréscimo do HHI entre os anos de 1976 (0,1064) e 1977 (0,085) provocando a desconcentração no consumo. Após este período até 1988, teve algumas instabilidades do indicador, bem como a concentração do consumo. Em 1988, o HHI atingiu o menor valor, aproximadamente 0,0725 (segundo menor valor do HHI registrado), entre 1973 e 1989. Em 1991 o HHI foi 0,0805 e decresceu, possivelmente, por conta do desmembramento da União Soviética que aumentou o número de países, até 1994 quando chegou a 0,0752.

Na Fig. 3 é apresentado o índice de Entropia de Theil para o consumo mundial de energias renováveis. De 1965 até 2012 o índice mostra uma tendência de crescimento, diminuindo a concentração do consumo. Durante esse período o maior valor (3,1157) foi atingido em 2001, representando uma melhor distribuição do consumo. Em 1967, teve o menor valor (2,7238), evidenciando uma maior concentração nesse ano.

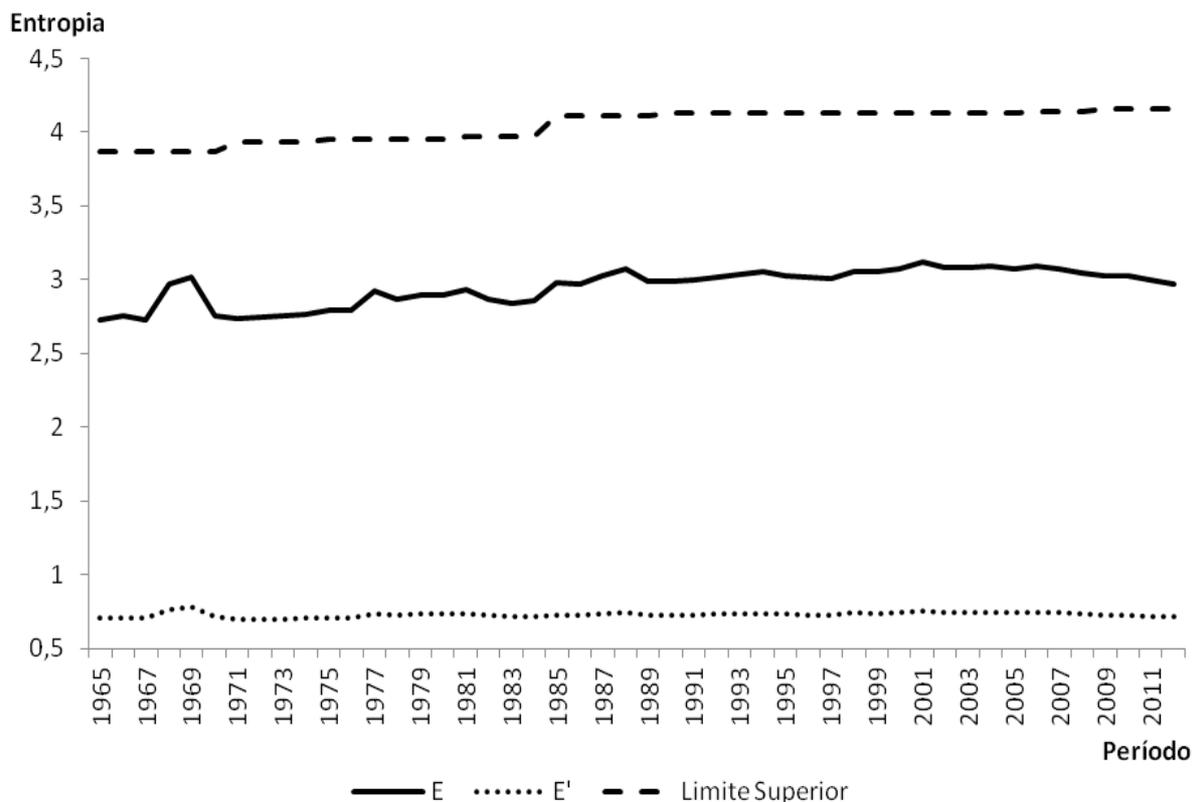


Figura 3 – Índice de entropia de Theil

O E' não apresenta tendência em crescimento ou decréscimo. O maior, entre os anos 1965 e 2012, foi em 1969 com 0,7788 representando distribuição mais igualitária nesse período. O valor médio do E' foi de 0,7294.

4. CONCLUSÃO

A China assume a liderança mundial de consumo em energias renováveis no século XXI e os BRIC's estão entre os dez maiores.

No período estudado, a Razão de Concentração dos quatro maiores consumidores mundiais em energias renováveis teve uma média de participação de 51,04%, inferindo uma concentração moderadamente alta.

Os indicadores de Herfindahl-Hirschman e de Entropia de Theil mostram desconcentração até o final do século XX e apontou indícios de aumento de concentração a partir do Século XXI.

REFERÊNCIAS

- BP. **Statistical Review Of World Energy**. 2013. Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf>. Acesso em: 21 de novembro 2013.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf> Acesso em: 20 de novembro de 2013.
- Chohfi, F. M.; Dupas, F. A. & Lora, E. E. S.. **Balanco, análise de emissão e sequestro de CO2 na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100031&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 23 Nov. 2013.
- Coelho Junior, L. M.; Rezende, J. L. P.; Oliveira, A. D. Concentração das exportações mundiais de produtos florestais. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 691-701, 2013.
- Costa, R. C.; Prates, C. P. T. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**. 2005.p. 7-8. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4210/BNDES_O-papel-das-fontes-renov>

- [%C3%A1veis-de-energia-no-desenvolvimento-do-setor-energ%C3%A9tico-e-barreiras-%C3%A0-sua-penetra%C3%A7%C3%A3o-no-mercado-2005.pdf?sequence=>](#). Acesso em: 21 Novembro 2013.
- Creseb. Potencial Eólico-Elétrico Estimado. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. 2013. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_analise.zip. Acesso em: 22 Novembro 2013.
- Galdino, Marco A.E. et al. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. **Revista da DIRENG–Diretoria de Engenharia Aeronáutica**, 2009. Disponível em: http://www.lourivalgomes.com.br/Contexto_Energia_Renovavel.pdf. Acesso em: 23 Novembro 2013.
- The World Bank. **Urban Development**. Disponível em: <http://api.worldbank.org/v2/en/indicator/sp.urb.totl?downloadformat=excel> . Acesso em: 21 de novembro 2013.
- Bain, J. Industrial organization. New York: J. Wiley, 1959. 274 p.

CONCENTRATION OF THE CONSUMPTION WORLD OF RENEWABLE ENERGY

Abstract. *Energy is an important factor for economic and technological development of humanity, but energy use is still dominated by exhaustible resources, which is a direct obstacle to sustainable development. This article examined the global consumption of renewable sources, with emphasis on Brazil. The measurement of consumption was performed by Ratio concentration, the Herfindahl-Hirschman index and the Theil Entropy Index. Noted that China has taken the global lead in renewable energy consumption in the XXI century and the BRIC countries are among the top ten. In the period studied, the concentration ratio of the four largest global consumer of renewable energy had an average interest of 51.04%, implying a moderately high concentration. Indicators of Herfindahl-Hirschman and Theil Entropy show devolution until the late twentieth century and made signs of increasing concentration from the XXI Century.*

Key words: *Renewable sources, concentration indicators, renewable energy economy.*