

Renewable and Non-Renewable Energy Embodied in International Trade

Filipe Vasconcelos Rocha	UFJF
Fernando Salgueiro Perobelli	UFJF
Weslem Rodrigues Faria	UFJF
Edson Paulo Domingues	UFMG

Resumo

No contexto de crescente integração econômica internacional, impulsionada pela fragmentação da produção global, considerar apenas o país exportador como responsável pelo impacto ambiental pode enviesar os resultados. Portanto, é importante observar as contribuições ambientais de diferentes países no comércio internacional entre 1996 e 2016. Utilizando a base de dados EORA26, analisaram-se 190 países e 26 setores, comparando o comércio virtual de energias renováveis e não-renováveis. A metodologia envolveu a criação do modelo EORA2630 para identificar as exportações e importações líquidas de Energia Renováveis e Não Renováveis dos países, destacando diferenças regionais e setoriais.

Palavras-chave: Insumo-produto, Energia Renovável, Energia Não Renovável, Comércio Internacional.

Temática - Relações Econômicas Internacionais

Apoio: FAPEMIG

1 – Introdução

O comércio internacional sofreu grandes transformações do final do século XX para o início do século XXI. Tais mudanças devem-se em grande parte aos avanços nas tecnologias de informação, que reduziram a relevância da distância geográfica sobre a organização produtiva, e às alterações tarifárias em muitos países sobre o comércio de bens intermediários. Consequentemente, indústrias que antes necessitavam de proximidade para a organização da cadeia produtiva passaram a se beneficiar de uma maior mobilidade dos segmentos dessa cadeia. Por exemplo, um segmento intensivo em capital poderia se instalar em uma região com menor custo de capital, enquanto outro segmento intensivo em mão-de-obra poderia se localizar onde a mão-de-obra fosse mais barata.

Essa reorganização resultou na fragmentação das cadeias produtivas, onde uma indústria originalmente de um país, como a Alemanha, passou a ter segmentos de produção espalhados por diversos países do Leste Europeu. A indústria principal pode permanecer no país de origem, mas segmentos de produção são distribuídos globalmente para minimizar custos, apesar das limitações impostas pelos custos de transporte e outras barreiras, como custos de aprendizagem jurídicas, tributárias de outros países. Assim, formaram-se as Cadeias Globais de Valor (CGV), mesmo que estas, com caráter regional (América do Norte, Europa e Sudeste Asiático).

Este avanço produtivo alterou o padrão comercial global. Desde meados da década de 1980 até o final da segunda década do século XXI, o comércio internacional cresceu significativamente, não apenas devido ao aumento da produção, mas também à fragmentação da produção, o que representa o aumento das exportações de produtos intermediários, como apontado por Veiga e Rios (2017) e Carneiro (2017). Com essa transição, a responsabilidade ambiental pela produção de bens se expandiu além do país produtor, incluindo também os países de origem das cadeias produtivas.

A relação entre sistemas econômico e ecológico é complexa, onde o primeiro, contido no segundo, utiliza recursos do segundo e gera resíduos e emissões. Problemas surgem quando o sistema econômico pressiona excessivamente o sistema ecológico, levando à escassez de recursos não renováveis, ao uso excessivo de recursos renováveis de forma a não permitir sua renovação em proporção necessária e à superação da capacidade de absorção de resíduos e poluição gerados Machado, Schaeffer e Worrel,

(2001). O desenvolvimento sustentável, conforme definido por Güney (2019), é fundamental para garantir que as necessidades atuais sejam atendidas sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

No contexto das cadeias globais de valor, o comércio internacional pode ser utilizado para transferir elos produtivos para outros países, visando reduzir custos ambientais e políticos. Essa prática pode intensificar falhas de mercado em países em desenvolvimento, agravando os danos ambientais regionais e globais. Neste sentido, é possível que de maneira intencional, ou não, países desenvolvidos preservem seus próprios ecossistemas, explorando outros sistemas ecológicos Machado, Schaeffer e Worrel (2001).

A instrumentalização do comércio internacional para a transferência de danos ambientais, sem uma clara responsabilização, torna a questão complexa. A integração dos sistemas econômicos e ecológicos globais implica que a degradação ambiental de um país pode ser atribuída a múltiplos atores. Portanto, a cooperação internacional é crucial para resolver falhas de mercado e mitigar danos ambientais, como observado em Nordstrom et al. (1999).

Além disso, existe uma compatibilidade entre países desenvolvidos em acordos ambientais e países não desenvolvidos fora de acordos, que são utilizados como escape para indústrias “sujas” dos países desenvolvidos (Peters e Hertwich, 2007). Isso pode levar a conflitos de interesse, pois países desenvolvidos podem se opor à participação de certos países em certos acordos, por envolverem questões climáticas. O comércio internacional apresenta duas grandes externalidades: a intensificação do desenvolvimento e crescimento econômico (positiva) e a dissociação entre produção e consumo (negativa), que aprofunda falhas de mercado e problemas ambientais locais.

A função de um acordo ambiental/comercial internacional deve ser mitigar a externalidade negativa sem prejudicar a positiva, através de medidas de regulação assertivas. Isso requer entendimento mútuo e não imposições unilaterais. A interrupção de um acordo comercial não deve ser justificada com base na argumentação de eliminar a externalidade negativa, visto que o comércio e as interações entre países têm a potencialidade positiva de desenvolver as indústrias de um país poluidor, diminuindo as discrepâncias entre suas indústrias e as internacionais em relação às falhas de mercado ambientais. O que pode reduzir o tempo de permanência das características poluidoras

em países em desenvolvimento, diminuindo o impacto ambiental total gerado no longo prazo.

É válido pontuar que a utilização crescente de energia renovável está associada à redução de emissões de CO₂, enquanto a energia não renovável está ligada ao aumento dessas emissões (Shafiei e Salim, 2014; Dogan e Seker, 2016). Estudos indicam que a energia está correlacionada ao crescimento econômico, com a energia renovável tendo um impacto menor em comparação à não renovável (Adams, Klobodu e Apio, 2018). Contudo, países desenvolvidos frequentemente utilizam energias não renováveis em maior medida, ao mesmo tempo em que pressionam países em desenvolvimento a utilizarem energias renováveis.

Diversos estudos analisam as emissões de gases de efeito estufa e o consumo de energia embutido no comércio internacional. Por exemplo, Lenzen (1998) verificou a energia primária e os gases de efeito estufa embutidos na demanda final da Austrália, enquanto Machado, Schaeffer e Worrel (2001) avaliaram o impacto do comércio internacional no consumo de energia e nas emissões de carbono embutido nas exportações e importações do Brasil. Weber e Matthews (2007) estudaram as emissões ambientais e energia no comércio internacional dos Estados Unidos utilizando um MRIO contendo dados de vários países.

Estudos como os de Wiedmann et al. (2007) e Peters e Hertwich (2007) destacam a relevância de modelos multirregionais e discutem opções de políticas climáticas globais para reduzir o impacto do comércio sobre o clima. Su et al. (2010) e Zhou e Yang (2011) elaboram análises sobre as emissões de carbono embutidas no comércio internacional da China, sugerindo a necessidade de alterar o princípio de responsabilidade no comércio virtual de carbono.

Compreendendo estas questões, torna-se necessário utilizar um método de avaliação que leve em consideração não apenas os problemas ambientais oriundos da produção de um determinado país, mas também os problemas ambientais gerados por meios indiretos dos países. Um modelo de Insumo-Produto híbrido, contendo informações de insumo-produto e do uso de energia (renovável e não renovável) por setor econômico, é capaz de fornecer o fundamento para análises energético-econômicas.

Neste estudo, utilizamos a base de dados EORA26, que contém dados para a elaboração de MRIOs para 189 países e 26 setores para os anos de 1996 a 2016. Essa base

permite avaliar o cenário do comércio virtual de energia, captando os efeitos das mudanças de padrões de consumo e emissões sobre o comércio virtual de energia ao longo do tempo. Através desta análise, é possível verificar a responsabilidade da utilização de energia não renovável e investigar a ocorrência de uma transição energética para uma matriz mais limpa, observando os esforços em utilização de energias renováveis de 1996 a 2016.

Diversos estudos analisam as emissões de gases de efeito estufa e o consumo de energia embutido no comércio internacional. Por exemplo, Lenzen (1998) verificou a energia primária e os gases de efeito estufa embutidos na demanda final da Austrália, enquanto Machado, Schaeffer e Worrel (2001) avaliaram o impacto do comércio internacional no consumo de energia e nas emissões de carbono embutido nas exportações e importações do Brasil. Weber e Matthews (2007) estudaram as emissões ambientais e energia no comércio internacional dos Estados Unidos utilizando um MRIO contendo informação de outras 7 economias¹. Tang et al. (2013) analisaram a energia fóssil² embutida no comércio internacional do Reino Unido.

Wiedmann et al. (2007) destacam a relevância de modelos multirregionais e discutem opções de políticas climáticas globais para reduzir o impacto do comércio sobre o clima. Peters e Hertwich (2007), analisaram o CO₂ embutido no comércio internacional utilizando um MRIO do GTAP para 2001. Identificaram exportadores e importadores líquidos de CO₂ e destacaram que o *carbon leakage* depende fortemente da localização geográfica. E apresentaram discussões relevantes sobre opções de políticas climáticas globais para a redução do impacto do comércio sobre o clima.

Su et al. (2010) avaliando a China e Singapura, apresentou análises sobre as emissões de carbono embutidas no comércio internacional dos países para demonstrar a diferença de resultados dado diferentes tipos de desagregação setorial, na qual foi concluído que um nível setorial superior a 40 setores não é necessário para a captação dos principais resultados de emissões embutidas no comércio internacional. Já Zhou e Yang (2011) desenvolve um estudo sobre as emissões de carbono embutida no comércio internacional da China, na qual o resultado encontrado foi de que a mesma é um exportador líquido de carbono, porém, a principal sugestão é sobre a necessidade de

¹ Canada, China, México, Japão, Alemanha, Reino unido e Coreia do Sul com dados para os anos de 1997, 2002 e 2004.

² Provenientes do petróleo, gás natural e carvão.

atribuir parte da responsabilidade das emissões também aos países consumidores. Também fazendo um estudo para a China, Su e Ang (2013) discutem duas abordagens metodológicas para lidar com as emissões embutidas nas importações de um país, *single-region* e *multi-region*, utilizando dados da China.

Feng et al. (2013) investigaram as emissões de CO₂ embutidas no comércio entre regiões da China e o restante do mundo, destacando a disparidade entre regiões desenvolvidas e menos desenvolvidas. Su e Ang (2014) combinaram as abordagens metodológicas de avaliação de energia embutida *hybrid emission embodied in trade* (HEET) e *step-wise distribution of emissions embodied in trade* (SWD-EET) para estudar como o comércio inter-regional e internacional afetam as emissões das regiões chinesas. Ren et al. (2014) além de questionarem as emissões embutidas no comércio chinês, avaliaram o impacto do investimento direto externo sobre as emissões de CO₂ na China.

Também foram elaborados estudos focados em avaliações de energia embutida em setores de um determinado país. Em Liu et al. (2018) foi abordado o consumo de energia (no total) embutida na indústria da construção chinesa, medindo-a nas importações e exportações da indústria e identificando seu nível de dependência do comércio internacional. O estudo utilizou as matrizes de insumo-produto fornecidas pela WIOD para um período de 15 anos (1995-2009), com 40 regiões.

Estudos com o mesmo intuito, porém, para a avaliação da água embutida no comércio, também foram desenvolvidos. Como em Lenzen et al. (2013.a), que diferenciaram a escassez de água no comércio virtual, utilizando uma base de dados a nível global, a *Eora Global Multi-Region Input-Output*. Em estudos regionais, Zhao et al. (2015) avaliaram a transferência de água física e virtual a nível provincial na China. Enquanto que Zhang e Anadon (2014), examinaram o comércio virtual de água na China e também realizaram uma avaliação de *footprint*.

Cabe ressaltar que a análise detalhada desses estudos revela a importância de modelos multirregionais para entender as interações complexas entre sistemas econômicos e ecológicos. As bases de dados disponibilizadas pela EORA, como exposto em Lenzen et al. (2012), apresentam um mapeamento detalhado da economia global. O que permite uma avaliação abrangente do comércio virtual de energia, fornecendo informações estruturais detalhadas sobre a distribuição de energia renovável e não renovável e possibilitando uma maior capacidade de compreensão da responsabilidade ambiental global.

Em específico, para este estudo é feito uma agregação regional na qual, de 189 países, da matriz EORA26 apresentada por Lenzen et al. (2013.b), forma-se o modelo EORA2630, com 14 países e 16 regiões, no qual mantem-se os setores como no original. Além disso, por meio da base EORA, soma-se a matriz informações de consumo de energia em terajoule por setor de cada país. Por meio da EORA2630 e pela metodologia de avaliação de energia embutida é possível identificar os principais players no comércio virtual de energia como exportadores e como importadores líquidos.

2 – Base de Dados e Metodologia

Primeiramente é apresentada a base de dados utilizada, EORA26. Posteriormente, no segundo subcapítulo, inicia-se uma exposição da estrutura básica de um modelo de Insumo Produto, no qual é considerado os fluxos de produtos entre os setores econômicos em apenas uma região. No terceiro subcapítulo, apresenta-se a generalização necessária para compreender um modelo multi-regional. No quarto, é apresentado o conceito de Intensidade Energética e a metodologia das estimativas de uso de energia pela abordagem da produção e do consumo. Por fim, demonstra-se a metodologia necessária para avaliar as exportações/importações líquidas de energia dos países em avaliação.

2.1 – Base de Dados

A matriz de insumo-produto multi-regional disponibilizada pela base de dados da cadeia de suprimentos global Eora, forneceu todos os dados necessários para a elaboração da matriz de insumo-produto utilizada nesta avaliação. Foi utilizado a EORA26, que consiste em uma matriz multi-regional de insumo-produto a preços básicos, para 190 países contendo 26 setores. Além disso, a base fornece informações de contas ambientais para todos os setores de todos os países.

A licença acadêmica utilizada, forneceu acesso a dados dentro da série temporal de 1990 até 2016 e foram escolhidos três recortes temporais, 1996, 2006 e 2016. Para a avaliação ambiental, utilizou-se 9 contas satélites fornecidas pela Eora em terajoule, sendo 4 delas não renováveis e 5 renováveis, desta forma, somando na respectiva ordem, chega-se a dois vetores colunas (um renovável e outro não renovável) com $n = 4914$ elementos. conforme apresentado na tabela abaixo.

Nonrenewable Energy	Renewable Energy
1 Natural Gas	1 Hydroelectric Electricity
2 Coal	2 Geothermal Electricity
3 Petroleum	3 Wind Electricity
4 Nuclear Electricity	4 Solar, Tide and Wave Electricity
	5 Biomass and Waste Electricity

Tabela 1 – Energias (Não Renovável e Renovável)

Para a elaboração da pesquisa, tornou-se necessário a agregação das matrizes para um menor número de regiões, onde priorizou-se a exposição das quinze maiores economias de 2020 (Tabela 3), com a exceção do Reino Unido, o qual foi agregado a Irlanda para formar a região Ilhas Britânicas.

Regiões
1 Northern Europe
2 British Isles
3 France
4 Germany
5 Rest of Western Europe
6 Rest of Eastern Europa
7 Russia
8 Italy
9 Spain
10 Rest of Southern Europe
11 Canada
12 Mexico
13 USA
14 Central America, Caribbean and Rest of Northern America
15 Brazil
16 Rest of South America
17 Northern Africa
18 Western Africa, Central Africa and Eastern Africa
19 Southern Africa
20 Central Asia
21 China
22 Japan
23 South Korea
24 Rest of East Asia
25 Middle East
26 India
27 Rest of South Asia
28 Southeast Asia
29 Australia
30 Rest of Oceania

Tabela 2 – Regiões EORA26-30

Foram feitas outras agregações, formando outras regiões, o que resultou em um modelo de insumo-produto com 30 regiões (Tabela 2) e 26 setores (Tabela 4), nomeado

como EORA26-30. É apresentado os países contidos em cada região do EORA26-30 nos Anexos I, II e III.

	cod	Países	PIB
1	USA	United States	21.060,50
2	CHN	China	14.687,70
3	JPN	Japan	5.048,79
4	DEU	Germany	3.889,67
5	GBR	United Kingdom	2.704,61
6	IND	India	2.671,60
7	FRA	France	2.639,01
8	ITA	Italy	1.897,21
9	CAN	Canada	1.647,60
10	KOR	Korea, Rep.	1.644,31
11	RUS	Russian Federation	1.493,08
12	BRA	Brazil	1.476,11
13	AUS	Australia	1.326,94
14	ESP	Spain	1.276,96
15	MEX	Mexico	1.090,51

Tabela 3 – 15 Maiores Economias 2020 em Bilhões de Dólares

	Setores
1	Agriculture
2	Fishing
3	Mining and Quarrying
4	Food & Beverages
5	Textiles and Wearing Apparel
6	Wood and Paper
7	Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products
8	Metal Products
9	Electrical and Machinery
10	Transport Equipment
11	Other Manufacturing
12	Recycling
13	Electricity, Gas and Water
14	Construction
15	Maintenance and Repair
16	Wholesale Trade
17	Retail Trade
18	Hotels and Restaurants
19	Transport
20	Post and Telecommunications
21	Financial Intermediation and Business Activities
22	Public Administration
23	Education, Health and Other Services
24	Private Households
25	Others
26	Re-export & Re-import

Tabela 4 – Setores EORA26-30

2.2 – Modelo Básico de Insumo-Produto

Conforme afirmado por Miller and Blair (2009), um modelo básico de Insumo Produto é construído utilizando-se de informações observadas dos fluxos de produtos de cada setor econômico i (como produtor/vendedor) de uma única área econômica (país, região, estado, etc.) para cada um dos setores j (como compradores), inclusive para o próprio, o que é chamado de fluxos intersetoriais ou interindustriais (z_{ij}).

Estes fluxos são medidos para um período em particular (como anual) e em termos monetários (geralmente em dólar), usualmente coletados das estatísticas nacionais, ou regionais, como as disponibilizadas pelas Matrizes de Contabilidade Social (MCS). Apresenta-se as transações em termos monetários e não físicos, devido à dificuldade de se relacionar numericamente a produção de um setor com outro distinto em termos físicos (mil carros, 20 mil geladeiras, duas toneladas de soja, etc).

Nesta região a atividade econômica é separada em um número n de setores produtivos (aqui chamados apenas de setores ou indústrias). As transações de cada setor i para cada setor j (incluindo para o mesmo, quando $j = i$), são designadas como z_{ij} (também reconhecidas como vendas intermediárias). Salientando que de acordo com a estrutura de uma matriz de insumo-produto, i representa as linhas (as vendas dos setores) e j representa as colunas (as compras dos setores), sendo assim z_{11} representa as vendas realizadas pelo setor 1 para o comprador setor 1.

Além disso, também há vendas para compradores que estão externos aos setores industriais da região, que constituem a demanda final, como o consumo das famílias, gastos do governo e o comércio exterior. Estes são determinados de forma não relacionada a produção dos setores (exógeno). A demanda final total pela produção no setor i é representada por y_i , ou seja, as vendas do setor i para a demanda final. Desenvolvendo uma simples equação contábil que apresente como cada setor i distribui sua produção por meio de vendas para outros setores e para a demanda final, chegamos a x_i , que representa a produção total do setor i , representada abaixo:

$$x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + y_i \quad (1)$$

A partir desta equação, pode-se apresentar a identificação da produção total de cada setor, como exposto abaixo:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= z_{11} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + y_1 \\
 &\vdots \\
 x_i &= z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i \\
 &\vdots \\
 x_n &= z_{n1} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + y_n
 \end{aligned} \tag{2}$$

Que pode ser reorganizado como a seguir:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \dots & z_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \tag{3}$$

Usualmente, usa-se letras minúsculas para vetores e letras maiúsculas para matrizes, porém, optou-se por utilizar a mesma notação apresentada em Cortés-Borda et al (2015). Temos \mathbf{X} e \mathbf{Y} como vetores colunas com n linhas e \mathbf{Z} como uma matriz com dimensão n^2 . Sabendo que \mathbf{i} como um vetor coluna de dimensão n onde todos seus elementos tem valor 1, pode-se apresentar a equação (3) em notação matricial:

$$\mathbf{X} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{Y} \tag{4}$$

Utiliza-se a pós-multiplicação de \mathbf{Z} por \mathbf{i} porque por meio disto, o resultado é um vetor coluna que representa a soma de todas as linhas da matriz \mathbf{Z} ³.

Além disto, demanda dos setores estará relacionada a produção do setor no mesmo período (insumos para produção), conforme realçado por Miller and Blair, um pressuposto fundamental é o de que os fluxos intersetoriais de i para j , em um determinado período, depende inteiramente do total produzido pelo setor j para o mesmo período, conforme abaixo:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} = \frac{\text{valor de } i \text{ comprado por } j \text{ no período}}{\text{valor produzido por } j \text{ no período}} \tag{5}$$

³ \mathbf{i}' é um vetor linha com dimensão n onde todos os elementos são 1. A pré-multiplicação de \mathbf{Z} por \mathbf{i}' resulta em um vetor linha que seus elementos representam a soma das colunas de \mathbf{Z} . Para mais informações, recomenda-se a leitura de Miller and Blair (2009).

A equação acima é conhecida na literatura de insumo-produto como a representação dos coeficientes técnicos, os quais são determinados pela tecnologia de produção. Assume-se que a_{ij} é constante⁴ no curto-prazo, manifestando-se uma relação fixa entre o produto e o insumo de um setor, no qual opera-se o sistema de Leontief, caracterizado pelos retornos constantes de escala. Introduzindo a mesma generalização matricial na equação 5, temos que:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Compreendendo a definição dos coeficientes técnicos em (5), pode-se reescrever a equação (4) conforme abaixo:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{Y} \quad (7)$$

Reconhecendo \mathbf{I} como uma matriz identidade de dimensão n^2 , temos que a demanda final \mathbf{Y} pode ser representada por:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{X} = \mathbf{Y} \quad (8)$$

A partir do qual, chegamos à equação final do modelo básico de insumo-produto:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{Y} \quad (9)$$

Essa equação final, contendo a Inversa de Leontief (primeiro componente a direita), expressa com clareza a dependência de cada um dos produtos brutos dos valores de cada uma das demandas finais.

2.3 – Modelo Multi-Regional de Insumo-Produto

Os modelos de insumo-produto usualmente continham apenas uma região descrita, com o objetivo de avaliar aspectos setoriais da mesma. Contudo, modelos mais sofisticados, que incluem mais de uma região são cada vez mais comuns, possibilitando avaliações comparativas entre diferentes regiões, chamados de modelos de insumo-produto multi-regional. O ponto central do desenvolvimento destes modelos está na consideração das transações entre diversas regiões e seus setores (como afirma Miller and

⁴ É presumido como constante no período retratado pelo modelo de insumo-produto, desta forma as economias de escala na produção são ignoradas. Ou seja, o pressuposto determina constância no curto-prazo (no período avaliado).

Blair (2009), em adiç3o as transa73es internas). Um modelo multi-regional cont3m p regi3es individuais, cada uma delas com n setores

Assim como usa-se o subscrito i para designar setores, neste presente trabalho, utiliza-se o sobrescrito r para designar a regi3o. Desta forma, como x_i denota a produ73o total do setor i , x^r denota a produ73o total da regi3o r , e logo, x_i^r denota a produ73o total do setor i na regi3o r . Seguindo esta nomenclatura e replicando o desenvolvimento feito por Cortes-Borda et al. (2015), desagrega-se a matriz A em p^2 sub-matrizes $A^{rr'}$, as quais descrevem as transa73es econ4micas entre as regi3es r (em linha) e r' (em coluna), conforme exposto abaixo:

$$A = \begin{bmatrix} A^{11} & \dots & A^{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{p1} & \dots & A^{pp} \end{bmatrix}, \quad A^{rr'} = \begin{bmatrix} a_{11}^{rr'} & \dots & a_{1n}^{rr'} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^{rr'} & \dots & a_{nn}^{rr'} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Observe que $a_{11}^{rr'}$ representa a mesma raz3o vista em a_{ij} na equa73o (5), por3m, em uma matriz multi-regional, onde leva-se em considera73o a intera73o inter-regional e intra-regional. Observe que o mesmo pode ser feito para Z .

$$Z = \begin{bmatrix} Z^{11} & \dots & Z^{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z^{p1} & \dots & Z^{pp} \end{bmatrix}, \quad Z^{rr'} = \begin{bmatrix} z_{11}^{rr'} & \dots & z_{1n}^{rr'} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1}^{rr'} & \dots & z_{nn}^{rr'} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Al3m disso, cada regi3o r' (em coluna) pode demandar tantos produtos dos setores locais quanto de setores de outras regi3es. Desta forma, define-se $Y^{r'}$ como a demanda final da regi3o r' para os seus pr3prios setores e os setores de todas as outras regi3es, o que 3 apresentado po um vetor coluna de np elementos. A demanda final de r' compreende um conjunto de p vetores $Y^{rr'}$, no qual cada um destes cont3m n elementos, representando as vendas dos setores i da regi3o r (linha) para a demanda final da regi3o r' (coluna), ou seja, estes n elementos se desdobram em $y_i^{rr'}$ que representa os produtos demanda da regi3o r' (coluna) pelos produtos dos setores i da regi3o r (linha). Abaixo 3 apresentado a notaq3o correspondente a $Y^{r'}$ e a $Y^{rr'}$:

$$Y^{r'} = \begin{bmatrix} Y^{1r'} \\ \vdots \\ Y^{rr'} \\ \vdots \\ Y^{pp'} \end{bmatrix}, \quad Y^{rr'} = \begin{bmatrix} y_1^{rr'} \\ \vdots \\ y_i^{rr'} \\ \vdots \\ y_n^{rr'} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Além disso, temos a demanda final total do modelo, que consiste na soma dos vetores colunas das demandas finais regionais, no qual, seus elementos representam a demanda final total para os setores de todas as regiões, logo, sendo um vetor coluna com np elementos.

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1^1 \\ \vdots \\ y_i^r \\ \vdots \\ y_n^p \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{Y}^r \\ \vdots \\ \mathbf{Y}^p \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y}^r = \begin{bmatrix} y_1^r \\ \vdots \\ y_i^r \\ \vdots \\ y_n^r \end{bmatrix} \quad (13)$$

Também pode-se afirmar que \mathbf{Y} pode ser dividido em p vetores \mathbf{Y}^r com dimensão n , no qual está contido a demanda final total por setor da região r .

Ao observar o produto total na economia \mathbf{X} , a mesma lógica se aplica, compreende-se que este é dividido p submatrizes (vetores colunas) \mathbf{X}^r correspondentes ao produto total por região, de dimensão n , correspondente ao produto total por setor do país.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1^1 \\ \vdots \\ x_i^r \\ \vdots \\ x_n^p \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{X}^r \\ \vdots \\ \mathbf{X}^p \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X}^r = \begin{bmatrix} x_1^r \\ \vdots \\ x_i^r \\ \vdots \\ x_n^r \end{bmatrix} \quad (14)$$

2.4 – Intensidade Energética

O conceito de “Intensidade Energética” é definido como a quantidade de energia utilizada por unidade monetária comercializada em cada país e setor. Para encontrá-la, é necessário um vetor de Uso de Energia em terajoule (\mathbf{E}), por setor e país (e_i^r) e efetuar a razão entre o mesmo com o produto total (\mathbf{X}) por setor e país correspondente (x_i^r).

$$ei_i^r = \frac{e_i^r}{x_i^r} \quad (15)$$

Logo, pode-se encontrar o vetor de Intensidade Energética (\mathbf{EI}) de dimensão np , como representado abaixo:

$$\mathbf{EI} = [ei_1^1 \quad \dots \quad ei_i^r \quad \dots \quad ei_n^p] \quad (16)$$

A notação pode ser expressa utilizando-se de p submatrizes regionais \mathbf{EI}^r com n elementos representando os setores da região:

$$\mathbf{EI} = [\mathbf{EI}^1 \quad \dots \quad \mathbf{EI}^r \quad \dots \quad \mathbf{EI}^p] \quad (17)$$

$$\mathbf{EI}^r = [ei_1^r \quad \dots \quad ei_i^r \quad \dots \quad ei_n^r] \quad (18)$$

2.5 – Comércio Internacional

Para o cálculo da energia embutida nas transações entre a região r para com a r' ($Embodied^{rr'}$) é encontrado pela soma da energia embutida nas vendas intermediárias⁵ e a parcela desta energia embutida na demanda final desta região para com os produtos da mesma região⁶ ($\mathbf{Y}^{rr'}$).

$$Embodied^{rr'} = \mathbf{EI}^r \cdot (\mathbf{Z}^{rr'} \cdot \mathbf{i}) + \mathbf{EI}^r \cdot \mathbf{Y}^{rr'} \quad (22)$$

Com a finalidade de simplificação, os $Embodied^{rr'}$ podem ser agrupados em uma matriz quadrada, chamada de (\mathbf{EE}) conforme exposta na equação (23). Nos elementos da diagonal principal desta matriz, no qual $r = r'$, encontra-se as vendas de no interior da mesma região, enquanto que nos demais elementos, encontram-se a Energia Embutida no comércio ($Energy_T$).

$$\mathbf{EE} = \begin{bmatrix} Embodied^{11} & \dots & Embodied^{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Embodied^{p1} & \dots & Embodied^{pp} \end{bmatrix} \quad (23)$$

A Energia Embutida total no comércio internacional ($Energy_T$) corresponde a soma de todos os elementos da matriz \mathbf{EE} , com exceção da diagonal principal desta matriz ($r = r'$). Abaixo representa-se a $Energy_T$ e uma matriz semelhante a \mathbf{EE} , porém, sem a diagonal principal (\mathbf{EED}). Observe que a soma dos elementos de \mathbf{EED} é igual ao valor de $Energy_T$.

$$Energy_T = \sum_{r=1}^p \sum_{r'=1}^p Embodied^{rr'} \quad \forall r \neq r' \quad (24)$$

⁵ Primeiro termo no lado direita da equação (22).

⁶ Segundo termo no lado direito da equação (22).

$$\mathbf{EED} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & Embodied^{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Embodied^{p1} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Com a matriz \mathbf{EED} , pode-se estudar se determinada r é uma região importadora líquida ou exportadora líquida do tipo de energia em avaliação. Salienta-se que as linhas da matriz \mathbf{EED} representam as vendas de r para todas as outras⁷ r' . Desta forma, a Energia Exportada ($Energy_EX$) de cada região é representada pela equação abaixo:

$$Energy_EX = \mathbf{EED} \cdot \mathbf{i} \quad (26)$$

Logo, $Energy_EX$ é um vetor coluna com p elementos (um para cada região), expressando o quanto de energia daquele tipo é exportado pela região. De forma similar, ao saber-se que as colunas da matriz \mathbf{EED} representam as compras de r' com todas as outras regiões, tem-se que a Energia Importada ($Energy_IMP$) de cada região é representada conforme abaixo:

$$Energy_IMP = \mathbf{i}' \cdot \mathbf{EED} \quad (27)$$

$Energy_IMP$ é um vetor linha, com p elementos, no qual por meio deste e da $Energy_EX$, as Importações/Exportações Líquidas de Energia das regiões são encontradas pela diferença entre as exportações e importações da energia da mesma região. De forma equacional, deve-se tirar a diferença do vetor $Energy_EX$ com a transposta do vetor $Energy_IMP$, conforme abaixo:

$$NET = Energy_EX - Energy_IMP' \quad (28)$$

Observe que cada elemento do vetor NET representa a importação/exportação líquida de energia da região r (net^r). Uma região é considerada exportadora líquida quando $net^r > 0$ e importadora líquida quando $net^r < 0$.

⁷ Como foi retirado a diagonal principal, não há as vendas de uma região para ela mesma, apenas para as demais.

3 – Resultados

3.1 Resultados Mercado Virtual de Energia Não Renovável

Para leitura dos figura 1 e 2, a cor azul representa as regiões Importadoras Líquidas de ENR e a cor vermelha representa as regiões Exportadoras Líquidas, enquanto a intensidade da cor demonstra a magnitude de exportação ou importação.

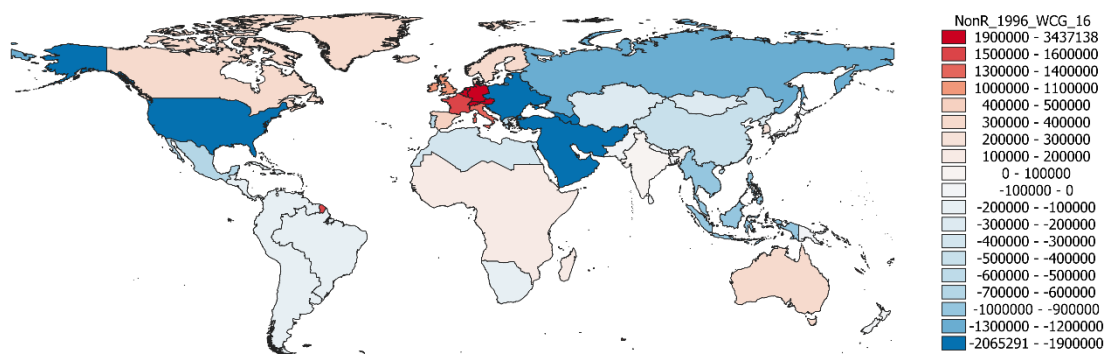


Figura 1: Comércio Virtual de Energia Não Renovável em 1996

Ao observar a Figura 1, verifica-se que, em 1996, a ENR embutida no comércio internacional originava-se de países da Europa (Com exceção do Leste Europeu e Restante do Sul da Europa), do Canadá, Austrália e Oeste-centro-leste da África. Os principais importadores eram os Estados Unidos, Leste Europeu, Oriente Médio, Rússia e do Sudeste Asiático, seguidos em menor grau por China e México, com pouca representatividade para as demais regiões.

Observa-se que, apesar de o Oriente Médio ser um dos principais exportadores de petróleo, em sua matriz energética, o petróleo utilizado na produção de seus bens exportados não é de magnitude suficiente para, ao menos, equiparar as exportações de ENR com suas importações. Logo, percebe-se a diferenciação entre a exportação de petróleo cru e a sua utilização com fins energéticos para produção.

Observando estes resultados em 1996, é notável que o comércio virtual de ENR encontrava-se, predominantemente, no hemisfério Norte. Parte interessante dos resultados demonstra que o Japão dispunha de pouca participação neste comércio, mesmo este país detendo uma matriz energética formada, primordialmente, por combustíveis fósseis e tendo grande participação no comércio internacional. A utilização dos países do

Sudeste Asiático como destino de parte considerável de elos das cadeias produtivas japonesas talvez indique a razão para esse cenário⁸.

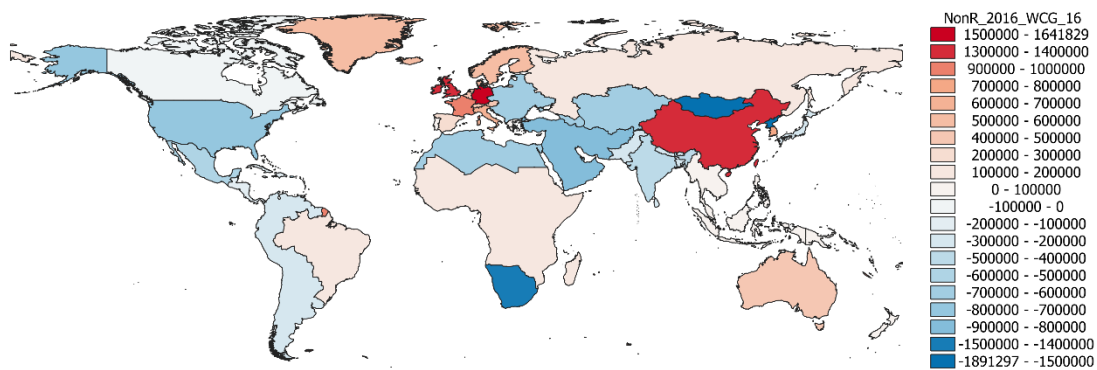


Figura 2: Comércio Virtual de Energia Não Renovável em 2016

Utilizando-se da Figura 2, é perceptível que a notabilidade Europeia permaneceu em 2016, sendo que ocorreu um aumento de relevância das exportações geradas pelas Ilhas Britânicas, constância na relevância Alemã e uma diminuição na França e na Itália. Todavia, no que tange a Ásia, verifica-se a uma forte transição na China, de importadora de média relevância para exportadora de alta relevância. Outras transições nessa direção ocorreram na Rússia e no Brasil, enquanto que a Índia e o Canadá incorreram em uma transição em sentido inverso, de exportadores para importadores.

A hierarquia das importações se alterou e uma grande relevância se manteve sobre os Estados Unidos, o Leste Europeu e o Oriente Médio. Porém, regiões como o Restante do Leste da Ásia (Mongólia, Coreia do Norte, Taiwan, Hong Kong, Macao SAR), Ásia Central e Sul da África passaram a ser os maiores importadores. A concentração das importações também se dissipou para outras regiões, como o Restante do Sul da Ásia, Norte da África e a Índia, que ganharam grande relevância como importadores. No lado das exportações, verifica-se que a Austrália e o Norte da Europa ganharam proeminência pelo lado das exportações.

⁸ Para uma conclusão sobre a indagação, cabe uma investigação sobre o nível de intensidade energética destes elos.

	British Isles		France		Germany		Rest of Western Europe		Russia		Canada		USA		Brazil		China		Japan		Middle East		Australia	
	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016
1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,61%	0,00%	0,00%	-2,87%	0,00%	0,00%	0,00%	-3,70%	0,00%	-7,19%	0,98%	-7,09%	0,00%	-1,40%	-0,80%	-2,75%	-2,29%	0,95%	3,24%
2	0,10%	0,43%	0,00%	0,87%	0,01%	0,13%	0,02%	0,00%	-0,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,64%	0,00%	-0,07%	0,00%	-0,46%	-0,34%	-0,07%	-0,06%	0,10%	0,33%
3	2,04%	5,01%	1,28%	2,37%	0,67%	2,50%	1,51%	1,43%	0,00%	29,88%	50,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	41,14%	0,00%	0,00%	-22,00%	-9,08%	0,00%	0,00%	56,02%	46,66%
4	0,00%	0,44%	0,00%	0,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-4,39%	0,00%	0,00%	-0,15%	-3,77%	-5,09%	-3,58%	0,00%	-3,58%	0,00%	-6,31%	-6,92%	-3,11%	-4,44%	2,22%	2,62%
5	0,00%	0,00%	0,00%	0,16%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,44%	0,00%	0,00%	-2,66%	-5,85%	-6,11%	-6,87%	0,00%	-1,27%	3,76%	-1,07%	-3,38%	-8,58%	-5,46%	0,53%	0,26%
6	0,00%	1,03%	0,00%	0,86%	0,32%	0,93%	0,00%	0,06%	-2,55%	0,00%	0,00%	0,00%	-3,03%	-4,34%	-1,58%	9,58%	-6,95%	0,00%	-1,14%	-1,45%	-2,49%	-2,20%	0,06%	0,66%
7	93,51%	56,82%	90,31%	50,33%	85,81%	46,79%	91,11%	48,17%	0,00%	32,69%	43,77%	-0,49%	-11,51%	0,00%	-24,11%	0,00%	0,00%	56,63%	0,00%	0,00%	-27,77%	0,00%	39,29%	26,22%
8	2,45%	6,68%	2,11%	6,50%	4,68%	11,49%	3,38%	8,48%	-2,34%	18,73%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,44%	6,60%	-13,64%	0,00%	-8,44%	0,00%	-2,46%	-1,52%	1,59%	12,03%
9	1,63%	15,74%	1,47%	13,45%	4,00%	13,18%	2,36%	14,91%	-11,55%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,43%	-0,53%	-10,84%	3,38%	-27,47%	1,32%	0,00%	0,00%	-14,07%	-37,93%	0,00%	4,83%
10	0,00%	0,00%	0,00%	0,62%	0,00%	1,23%	0,00%	0,00%	-1,68%	0,00%	0,00%	0,00%	-10,91%	-11,40%	-8,60%	0,00%	-5,57%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,83%	-6,43%	0,00%	0,00%
11	0,00%	0,40%	0,34%	1,79%	0,96%	0,96%	0,51%	1,64%	0,00%	6,42%	0,00%	-0,58%	-2,04%	-0,68%	-1,12%	4,47%	0,00%	7,04%	-0,11%	-0,44%	-3,97%	-4,38%	0,00%	0,77%
12	0,00%	0,25%	0,00%	0,00%	0,05%	0,21%	0,06%	0,19%	0,00%	4,41%	0,00%	-2,30%	0,00%	0,00%	-2,20%	0,00%	0,00%	0,32%	0,00%	0,00%	-1,04%	-0,89%	0,10%	0,35%
13	0,16%	0,40%	2,05%	4,77%	2,00%	6,90%	0,00%	0,00%	-1,49%	0,00%	5,18%	0,00%	-4,11%	-4,77%	-1,73%	0,00%	-1,07%	0,00%	-43,13%	-35,23%	-1,99%	-0,75%	0,00%	0,00%
14	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-9,44%	0,00%	0,00%	-3,83%	-11,01%	-6,99%	-8,77%	0,00%	-20,73%	0,00%	-4,21%	-2,65%	-5,54%	-4,45%	0,00%	0,00%
15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,17%	0,00%	0,00%	-0,09%	-0,05%	-0,01%	-0,02%	0,01%	-0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,35%	-0,31%	0,00%	0,00%
16	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,23%	0,00%	0,00%	-1,56%	-0,61%	0,00%	-0,22%	0,11%	-0,29%	0,05%	0,00%	0,00%	-1,30%	-1,40%	0,00%	0,00%
17	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-4,96%	0,00%	0,00%	-2,49%	-1,57%	-0,65%	-0,50%	0,21%	-0,57%	0,13%	-0,03%	0,00%	-1,10%	-1,09%	0,00%	0,00%
18	0,00%	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,77%	0,00%	0,00%	-0,98%	-1,92%	-1,50%	-0,69%	0,00%	-0,03%	0,25%	-3,38%	-3,84%	-0,89%	-0,58%	0,00%	0,55%
19	0,00%	12,61%	2,37%	18,01%	1,49%	15,69%	0,65%	25,10%	-6,52%	7,86%	1,01%	-53,83%	0,00%	0,00%	-7,86%	34,48%	-3,19%	30,50%	0,00%	0,00%	-3,87%	0,00%	0,00%	4,74%
20	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,82%	0,00%	0,00%	-3,78%	-2,14%	-2,54%	-1,31%	0,00%	-0,46%	0,00%	0,00%	-0,74%	-0,49%	-1,47%	0,00%	0,00%
21	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-8,77%	0,00%	0,00%	-7,24%	-4,83%	-3,05%	-0,92%	0,00%	-2,70%	0,00%	-1,28%	-2,16%	-3,44%	-5,72%	0,00%	0,00%
22	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,37%	0,00%	0,00%	-4,52%	-13,67%	-40,80%	-1,77%	0,00%	-0,15%	0,00%	-0,19%	-0,41%	-3,74%	-10,45%	0,00%	0,00%
23	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-8,98%	0,00%	0,00%	-3,19%	-16,86%	-11,46%	-6,08%	0,00%	-3,94%	0,00%	-6,84%	-5,15%	-7,11%	-6,48%	0,00%	0,00%
24	0,10%	0,01%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,29%	0,02%	-3,71%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,07%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,04%	0,09%	0,00%	
25	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,00%	-23,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,20%	0,00%	0,00%	-0,01%	-0,06%	-0,14%	0,01%	0,00%
26	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,56%	0,00%	0,00%	-12,30%	0,00%	-0,01%	-1,97%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-27,38%	-0,98%	-1,52%	0,00%	0,00%

Table 3.1 – Virtual Trade in Nonrenewable Energy at sectoral level for 1996 and 2016

Quando observado a nível setorial, por meio da tabela 3.1, os países exportadores líquidos de (ENR), em 1996 e 2016, verifica-se que a Europa Ocidental apresenta um padrão de concentração das exportações nos setores 7, 8, 9, 13 e 19. Para a Austrália, verifica-se a concentração nos setores 3, 7 e 8.

Quando se analisa os países que transitaram de importadores líquidos para exportadores líquidos, a Rússia, em 1996, possuía uma pauta de importação de ENR com maior importância dos setores 9, 14 e 25. Em 2016, sendo um exportador líquido, os principais setores responsáveis por essa transição foram o 3, 7 e 8 (apresentando uma pauta semelhante ao do Canadá em 1996). Para o Brasil, os principais setores importadores em 1996 eram os 7, 9 e 14, como exportador, em 2016, os principais setores eram os 3, 6 e 19.

Já os setores mais influentes para as importações da China em 1996, foram os setores 8, 9 e 14. Enquanto que, para as suas exportações líquidas em 2016, os mais consideráveis foram os setores 7, 11 e 19. Quando observado o caso canadense, de transição inversa das anteriores, em 1996 os setores mais relevantes para suas exportações eram os 3, 7 e 13, e para o ano de 2016, estando como importador líquido, os setores mais relevantes eram os 19, 21 e 26.

Em contraste ao caso dos exportadores líquidos em 1996 e 2016, os importadores líquidos em ambos os anos apresentam uma pauta mais diversa, indicando que os mesmos apresentam necessidades distintas. Os Estados Unidos apresentam uma constância em relevância nos setores 10, 14, 22, e 23. Já o Japão, apresenta essa permanência nos setores 3, 4, 13 e 23. Enquanto que o Oriente médio, apresenta uma padronização apenas nos setores 9 e 23, sendo o caso de maior alteração setorial entre 1996 e 2016. Uma observação pertinente é que os setores de Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products (7), Metal Products (8), Electrical and Machinery (9) e Transport (19) demonstram deter grande relevância no comércio virtual global de ENR, evidenciando esses como setores intensivos em ENR, tanto em 1996 quanto em 2016.

3.2 Resultados Mercado Virtual de Energia Renovável

Para leitura das figuras 3 e 4, compreende-se que a cor verde representa as regiões Exportadoras Líquidas de ER, a cor roxa representa as regiões Importadoras Líquidas e a relevância é indicada pela intensidade da cor.



Figura 3: Comércio Virtual de Energia Renovável em 1996

De acordo com a Figura 3, em 1996, o comércio virtual de energia renovável concentrava-se especialmente na América do Norte, tendo como principal exportador líquido o Estados Unidos e como principal importador líquido o Canadá. Além disso, verifica-se com menor intensidade, as exportações da Alemanha, França, Ilhas Britânicas e China. Entre os demais importadores líquidos com relevância, está o Brasil, África Ocidental-Central-Oriental, América Central-Caribe-Resto da América do Norte, Rússia, Índia e o Sudeste Asiático.

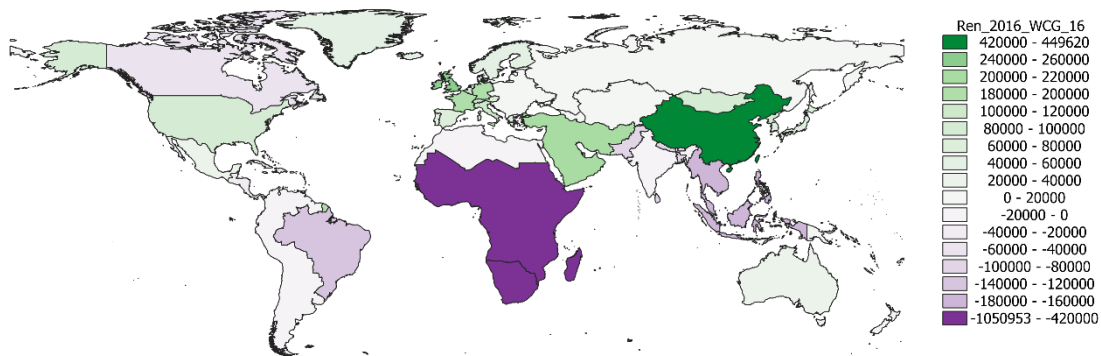


Figura 4: Comércio Virtual de Energia Renovável em 2016

Em 2016, conforme a figura 4, observa-se um cenário consideravelmente distinto. Persiste o mesmo padrão de compensação verificado em 1996 para os Estados Unidos e Canadá, porém, a nível global, o grau de relevância diminui significativamente. A Europa Ocidental, apresenta um crescimento perceptível das suas exportações no mercado, com

o ganho de destaque de regiões como a França, Itália, Espanha, Norte da Europa e, principalmente, as Ilhas Britânicas.

O Oriente Médio ganha relevância e torna-se um exportador significativo no mercado. No entanto, não comparando-se ao caso chinês, país o qual é notável o esforço exercido para uma transição na utilização de ENR para ER na produção de bens exportados, passando de um importador de baixa relevância para o maior no mercado.

Contrastando com a diminuição da importação líquida ocorrida no Canadá, a África Ocidental-Central-Oriental torna-se a região com maior nível de importação, enquanto o Sul da África transicionou da posição de exportador de baixa relevância para o segundo maior importador. Outras regiões que apresentam relevância para as importações são o Sudeste Asiático, o Brasil e o Restante do Sul Asiático.

No mercado virtual de ER, a maioria das regiões apresentadas na tabela 3.2 são exportadores líquidos. A nível setorial, com exceção da Rússia em 2016, a pauta de todos esses contém o setor 7 como o mais relevante. Novamente, ocorre uma grande concentração entre os setores 6 e 9, tanto a nível de importação quanto exportação. O caso de transição russo, como importador líquido em 1996 com concentração nos setores 7, 23 e 25, passa a ser exportador líquido em 2016, sobretudo nos setores 3, 8 e 13.

Há também os países que persistiram nesses dois períodos como importadores líquidos de ER. O caso canadense concentra suas importações nos setores 7, 22 e 26, com observação para o setor 19 em 2016. Examinando o Brasil, os setores⁹ mais relevantes nas importações foram o 7, 8, 13 e 19.

Como no mercado de ENR, o padrão de concentração nos setores Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products (7), Metal Products (8) e Electrical and Machinery (9) se manteve em 1996 e 2016, reafirmando a intensidade energética nesses setores. A relevância total no mercado de ER obteve a adição dos setores Wood and Paper (6) e Electricity, Gas and Water (13), que demonstraram serem intensivos, ao menos, em energia renovável.

⁹ Com observação para o setor 4 em 2016.

	British Isles		France		Germany		Rest of Western Europe		Russia		Canada		USA		Brazil		China		Japan		Middle East		Australia	
	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016	1996	2016
1	0,00%	0,09%	0,55%	0,23%	0,71%	0,38%	0,43%	0,20%	-3,20%	0,00%	-2,54%	-1,21%	0,18%	0,37%	-2,38%	-1,38%	0,29%	0,30%	0,00%	0,00%	1,81%	0,98%	0,00%	0,46%
2	0,06%	0,03%	0,13%	0,07%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	-0,46%	0,00%	-0,31%	-0,10%	0,04%	0,05%	-0,35%	-0,56%	0,01%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
3	0,71%	0,38%	0,28%	0,18%	0,20%	0,35%	0,16%	0,08%	0,00%	14,07%	-1,51%	-0,18%	0,01%	2,01%	-0,43%	-0,35%	0,26%	0,00%	0,00%	1,29%	12,91%	9,23%	1,61%	0,00%
4	1,77%	2,37%	2,79%	2,85%	1,53%	2,37%	1,50%	0,00%	-5,32%	0,00%	-2,47%	-0,13%	1,71%	0,00%	-2,32%	-20,69%	3,21%	1,15%	0,12%	0,00%	0,00%	1,23%	0,00%	0,00%
5	0,00%	1,19%	0,51%	0,83%	0,73%	0,99%	0,07%	0,77%	-2,18%	0,00%	-1,55%	-1,20%	0,00%	0,00%	-2,07%	-0,53%	7,31%	8,35%	0,00%	0,00%	0,04%	2,76%	2,12%	1,10%
6	8,36%	8,43%	0,00%	4,14%	10,45%	11,88%	4,98%	9,87%	-1,29%	10,79%	-1,80%	0,00%	0,00%	0,00%	-1,09%	0,00%	9,06%	12,87%	0,00%	0,00%	0,32%	2,10%	12,52%	11,40%
7	59,52%	55,62%	53,77%	50,23%	43,30%	39,25%	78,12%	57,13%	-23,48%	0,00%	-40,85%	-37,71%	68,43%	66,60%	-23,75%	-32,72%	48,92%	41,86%	41,60%	42,94%	70,51%	44,30%	59,59%	47,50%
8	2,31%	4,06%	1,35%	2,16%	2,91%	6,41%	1,35%	6,18%	-1,56%	40,92%	-6,03%	-2,93%	0,22%	2,16%	-4,08%	-10,70%	1,76%	5,62%	3,74%	8,03%	0,00%	6,12%	5,26%	15,66%
9	5,48%	19,73%	8,92%	28,18%	7,36%	17,25%	8,65%	21,78%	-7,13%	0,09%	-3,62%	-3,81%	9,12%	9,55%	-3,20%	0,00%	4,08%	16,47%	21,16%	17,69%	0,00%	14,03%	4,83%	15,63%
10	0,00%	0,24%	1,08%	0,27%	1,70%	0,99%	0,00%	0,00%	-0,83%	0,00%	-3,78%	-2,77%	0,00%	0,00%	-2,64%	-1,31%	0,00%	0,03%	5,53%	3,13%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
11	0,00%	1,30%	3,26%	2,83%	1,38%	1,53%	3,93%	2,92%	-1,14%	4,97%	-1,33%	0,00%	0,20%	0,00%	-0,27%	0,00%	8,67%	7,66%	2,98%	2,17%	0,00%	5,73%	2,64%	3,51%
12	0,44%	0,84%	0,00%	0,01%	0,23%	0,59%	0,45%	0,60%	0,00%	1,74%	-0,33%	-0,10%	0,57%	8,89%	-1,49%	-0,35%	0,34%	0,56%	0,64%	2,48%	5,31%	3,00%	1,57%	1,95%
13	20,86%	1,94%	27,84%	6,60%	28,66%	15,24%	0,00%	0,00%	0,00%	22,68%	-1,10%	0,00%	17,57%	9,06%	-40,23%	-12,13%	13,44%	0,39%	12,57%	7,53%	5,02%	1,36%	9,77%	1,89%
14	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-9,99%	0,00%	-4,85%	-3,89%	0,00%	0,00%	-2,60%	-1,41%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,21%	0,00%	0,00%
15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,17%	0,00%	-0,11%	-0,08%	0,00%	0,00%	-0,01%	0,00%	0,01%	0,00%	0,02%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
16	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,19%	0,00%	-1,38%	-1,05%	0,00%	0,00%	-0,08%	-0,02%	0,00%	0,00%	0,45%	1,51%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
17	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	-4,86%	0,00%	-3,07%	-2,23%	0,00%	0,00%	-0,17%	-0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,00%	0,06%	0,00%	0,00%
18	0,00%	0,39%	0,00%	0,00%	0,12%	0,01%	0,00%	0,00%	-0,38%	0,01%	-0,37%	-0,41%	0,00%	0,00%	-0,22%	-0,71%	0,33%	0,12%	0,00%	0,50%	0,00%	0,89%	0,00%	0,00%
19	0,35%	2,85%	0,03%	1,64%	0,73%	3,08%	0,21%	0,59%	-5,62%	4,73%	-0,84%	-17,03%	0,31%	0,83%	-7,60%	-11,56%	0,82%	4,90%	5,95%	12,38%	0,01%	7,42%	0,00%	1,35%
20	0,00%	0,10%	0,00%	0,01%	0,09%	0,04%	0,00%	0,00%	-0,40%	0,00%	-0,22%	-2,57%	0,00%	0,00%	-0,62%	-0,65%	0,08%	0,00%	0,18%	0,00%	0,00%	0,32%	0,00%	0,00%
21	0,00%	0,38%	0,00%	0,00%	0,54%	0,00%	0,00%	0,00%	-6,31%	0,00%	-3,14%	-3,19%	0,00%	0,00%	-1,03%	-1,11%	0,21%	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%	0,18%	0,00%	0,00%
22	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,18%	0,00%	-6,86%	-5,79%	0,00%	0,00%	-0,55%	-0,46%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,23%	0,00%	0,00%
23	0,00%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-10,43%	0,00%	-2,69%	-4,08%	0,00%	0,00%	-1,68%	-1,46%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,74%	0,00%	0,00%
24	0,06%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,25%	0,09%	-1,76%	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	1,33%	0,01%	0,08%	0,01%	2,22%	0,02%	0,04%	0,00%
25	0,10%	0,00%	0,02%	0,00%	0,03%	0,00%	0,32%	0,00%	-10,85%	0,00%	0,00%	0,00%	1,73%	0,84%	-0,10%	-0,29%	0,03%	0,00%	4,47%	0,21%	3,66%	0,00%	0,05%	0,00%
26	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,28%	0,00%	-9,24%	-9,56%	0,00%	0,00%	-1,02%	-1,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Table 3.2 – Virtual Trade in Renewable Energy at sectoral level for 1996 and 2016

4 – Conclusão

Em 1996, a ENR embutida no comércio internacional tinha origem na Europa Ocidental (com exceção do Restante do Sul Europeu), do Canadá, Austrália e Oeste-centro-leste da África. Os principais importadores eram os Estados Unidos, Leste Europeu, Oriente Médio, Rússia e Sudeste Asiático. Desta forma, observa-se que o comércio virtual de ENR encontrava-se, sobretudo, no hemisfério Norte.

Em 2016, a importância Europeia permaneceu, porém, no que diz respeito à Ásia, verifica-se a ocorrência de uma forte transição na China, que passou de importadora de média relevância para exportadora de alta relevância. Outras transições nesta direção ocorreram na Rússia e no Brasil, enquanto que a Índia e o Canadá incorreram em uma transição em sentido inverso, de exportadores para importadores líquidos neste mercado.

A hierarquia das importações se alterou, com grande relevância mantendo-se sobre os Estados Unidos, Leste Europeu e Oriente Médio. No entanto, regiões como o Restante do Leste da Ásia (Mongólia, Coreia do Norte, Taiwan, Hong Kong e Macao SAR), Ásia Central e Sul da África passaram a ser os maiores importadores.

Em termos setoriais, para os anos 1996 e 2016, verifica-se que a Europa Ocidental apresenta um padrão de concentração das exportações nos setores 7, 8, 9, 13 e 19. Além disso, quando contraposto as regiões que se mantiveram como importadores líquidos ou exportadores líquidos em 1996 e 2016, as pertencentes ao primeiro grupo apresentam uma pauta diversa, com variações entre regiões e entre os períodos temporais. Em contrapartida, as regiões exportadoras apresentaram estabilidade em suas concentrações setoriais no mercado, o que indica diferenças nas necessidades das regiões exportadoras e importadoras.

Uma observação relevante é que os setores de Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products (7), Metal Products (8), Electrical and Machinery (9) e Transport (19) mostraram-se de grande relevância no comércio virtual global de ENR e evidenciando estes como setores intensivos em ENR, tanto em 1996 quanto em 2016.

Com relação ao Comércio Virtual de Energia Renovável, este, em 1996, concentrava-se, sobretudo, na América do Norte, tendo como principal exportador líquido os Estados Unidos e como principal importador líquido o Canadá.

Avançando para 2016, observa-se um cenário consideravelmente distinto. O padrão verificado para os Estados Unidos e Canadá em 1996 preservou-se, porém, com grande perda de relevância. Com relação a Europa Ocidental, verificou-se um crescimento em suas exportações no mercado, com destaque para as Ilhas Britânicas. Conduzindo para os resultados de Importação Líquida, a perda de relevância do Canadá, em proporção no mercado, teve equivalência com o aumento das importações da África Ocidental-Central-Oriental e do Sul da África.

Em nível setorial, assim como no mercado de ENR, o padrão de concentração nos setores Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products (7), Metal Products (8) e Electrical and Machinery (9) se manteve em 1996 e 2016, reafirmando a intensidade energética destes setores¹⁰. A relevância total no mercado de ER obteve a adição dos setores Wood and Paper (6) e Electricity, Gas and Water (13), apresentando-se como intensivos, ao menos, em energia renovável.

¹⁰ O setor 7 destaca-se por deter a maior proporção dentre todos os países, com exceção da Rússia em 2016.

CARNEIRO, Flávio. Fragmentação Internacional da produção e cadeias globais de valor. In: OLIVEIRA, Ivan; CARNEIRO, Flávio; FILHO, Edison. Cadeias globais de valor, políticas públicas e desenvolvimento. Brasília: Ipea, 2017. p. 87-12)

VEIGA, Pedro; Rios, Sandra. Cadeias Globais de Valor e implicações para a Formulação de Políticas. In: OLIVEIRA, Ivan; CARNEIRO, Flávio; FILHO, Edison. Cadeias globais de valor, políticas públicas e desenvolvimento. Brasília: Ipea. p. 17-48, 2017.

COSTA, V. R. À margem da lei. Em Pauta, Rio de Janeiro, n. 12, p. 131-148, 1998.

MACHADO, G; SCHAEFFER, R; WORREL, E. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input–output approach. Ecological Economics, n. 39, p. 409-424, 2001.

GÜNEY, T. Renewable energy, non-renewable energy and sustainable development. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, p. 1-9. DOI: 10.1080/13504509.2019.1595214

LENZEN, M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. Energy Policy, v. 26, n. 6, p. 495-506, 1998.

WEBER, C; SCOTTMATTHEWS, H. Embodied Environmental Emissions in U.S. International Trade, 1997-2004. Environ. Sci. Technol. n. 41, p. 4875-4881, 2007.

WIEDMANN, T; LENZEN, M; TURNER, K; BARRETTA, J. Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 2: Review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. Ecological Economics. N. 61. P. 15-26. 2007.

PETERS, G; HERTWICH, E. CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy.

Energy Economics 32 (2010) 166–175 Input–output analysis of CO2 emissions embodied in trade: The effects of sector aggregation Bin Su a,*, H.C. Huang a, B.W. Ang a,b, P. Zhou b,c

Advanced Materials Research Vols 171-172 (2011) pp 183-187 Carbon Emissions Embodied in the International Trade of China Hui Zhou 1, a, Yong Yang 1

Biogeosciences, 9, 3247–3276, 2012 A synthesis of carbon in international trade G. P. Peters¹, S. J. Davis^{2,3}, and R. Andrew¹

Energy Policy 56(2013)83–87 Input–output analysis of CO2 emissions embodied in trade: Competitive versus non-competitive imports Bin Su a,b,n, B.W. Ang a,b

Analysis of energy embodied in the international trade of UK Xu Tang a,n, Simon Snowden b, Mikael Höök c

Ecological Economics 94 (2013) 78–85 International trade of scarce water Manfred Lenzen a,*, Daniel Moran a, Anik Bhaduri b, Keiichiro Kanemoto a, Maksud Bekchanov b, Arne Geschke a, Barney Foran a

PNAS | July 9, 2013 | vol. 110 | no. 28 | Outsourcing CO2 within China Kuishuang Fenga, Steven J. Davisb, Laixiang Suna,c,d, Xin Lie, Dabo Guane,f,g, Weidong Liuh, Zhu Liuf,i, and Klaus Hubaceka

China Economic Review 28 (2014) 123–134 International trade, FDI (foreign direct investment) and embodied CO2 emissions: A case study of Chinas industrial sectors Shenggang REN *, Baolong YUAN 1, Xie MA1, Xiaohong CHEN 2

Ecological Economics 100 (2014) 159–172 A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China Chao Zhang a,b,c,*, Laura Diaz Anadon c,1

Applied Energy 114 (2014) 377–384 Input–output analysis of CO2 emissions embodied in trade: A multi-region model for China Bin Su a,†, B.W. Ang a,b

Physical and virtual water transfers for regional water stress alleviation in China Xu Zhaoa, Junguo Liua,1, Qingying Liua, Martin R. Tillotsonb, Dabo Guanc, and Klaus Hubacekd

Energy 165 (2018) 689-700 Vertical specialisation measurement of energy embodied in international trade of the construction industry Bin Liu a, Dedong Wang b, Youquan Xu b, Chunlu Liu a, *, Mark Luther a

Dogan and Seker (2016) - Renewable Energy 94 (2016) 429-439 _ Revista : Renewable Energy – Título _ Determinants of CO2 emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy. Autors - Eyup Dogan a, *, Fahri Seker b

Shafiei and Salim (2014) - Energy Policy 66 (2014) 547–556 _ Título - Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis _ Autors: Sahar Shafiei a, RuhulA.Salim b,n

Adams, Klobodu and Apio (2018) - Renewable Energy 125 (2018) 755-767 _ Título Renewable and non-renewable energy, regime type and economic growth _ Autors: Samuel Adams a, *, Edem Kwame Mensah Klobodu b, Alfred Apio a

Energy 82 (2015) 578e588 Solar energy embodied in international trade of goods and services: A multi-regional input-output approach D. Cortes-Borda a, G. Guillen-Gosalbez a, b, *, L. Jimenez a

Lenzen M, Kanemoto K; Moran D, and Geschke A (2012) Mapping the structure of the world economy. *Environmental Science & Technology* 46(15) pp 8374–8381. DOI: 10.1021/es300171x

Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Geschke, A. (2013) Building Eora: A Global Multi-regional Input-Output Database at High Country and Sector Resolution. *Economic Systems Research*, 25:1, 20-49, DOI:10.1080/09535314.2013.769938

ANEXO I

Northern Europa	Rest of Western Europa	Rest of Eastern Europa
DNK Denmark	AUT Austria	ALB Albania
FIN Finland	BEL Belgium	BLR Belarus
ISL Iceland	LIE Liechtenstein	BIH Bosnia and Herzegovina
NOR Norway	LUX Luxembourg	BGR Bulgaria
SWE Sweden	MCO Monaco	HRV Croatia
	NLD Netherlands	CZE Czech Republic
	CHE Switzerland	EST Estonia
British Isles		HUN Hungary
IRL Ireland	Rest of Southern Europa	LVA Latvia
GBR UK	AND Andorra	LTU Lithuania
	CYP Cyprus	MNE Montenegro
Rest of South America	GRC Greece	POL Poland
ARG Argentina	MLT Malta	MDA Moldova
BOL Bolivia	PRT Portugal	ROU Romania
CHL Chile	SMR San Marino	SRB Serbia
COL Colombia		SVK Slovakia
ECU Ecuador	Northern Africa	SVN Slovenia
GUY Guyana	DZA Algeria	MKD TFYR Macedonia
PRY Paraguay	EGY Egypt	UKR Ukraine
PER Peru	LBY Libya	USR Former USSR
SUR Suriname	MAR Morocco	ARM Armenia
URY Uruguay	SUD Sudan	AZE Azerbaijan
VEN Venezuela	TUN Tunisia	GEO Georgia
Southern Africa	Central Asia	Rest of East Asia
BWA Botswana	AFG Afghanistan	PRK North Korea
LSO Lesotho	KAZ Kazakhstan	HKG Hong Kong
NAM Namibia	KGZ Kyrgyzstan	MAC Macao SAR
ZAF South Africa	TJK Tajikistan	MNG Mongolia
SWZ Swaziland	TKM Turkmenistan	TWN Taiwan
	UZB Uzbekistan	
Middle East	Rest of South Asia	Southeast Asia
BHR Bahrain	BGD Bangladesh	BRN Brunei
IRN Iran	BTN Bhutan	KHM Cambodia
IRQ Iraq	MDV Maldives	IDN Indonesia
ISR Israel	NPL Nepal	LAO Laos
JOR Jordan	PAK Pakistan	MYS Malaysia
KWT Kuwait	LKA Sri Lanka	MMR Myanmar
LBN Lebanon		PHL Philippines
PSE Gaza Strip	Rest of Oceania	SGP Singapore
OMN Oman	FJI Fiji	THA Thailand
QAT Qatar	PYF French Polynesia	VNM Viet Nam
SAU Saudi Arabia	NCL New Caledonia	
SYR Syria	NZL New Zealand	
TUR Turkey	PNG Papua New Guinea	
ARE UAE	WSM Samoa	
YEM Yemen	VUT Vanuatu	

ANEXO II

Western Africa, Central Africa and Eastern Africa

BEN Benin
BFA Burkina Faso
CPV Cape Verde
COG Congo
CIV Cote d'Ivoire
COD DR Congo
GMB Gambia
GHA Ghana
GIN Guinea
LBR Liberia
MLI Mali
MRT Mauritania
NER Niger
NGA Nigeria
SEN Senegal
SLE Sierra Leone
TGO Togo
AGO Angola
CAF Central African Republic
TCD Chad
GAB Gabon
STP Sao Tome and Principe
BDI Burundi
CMR Cameroon
DJI Djibouti
ERI Eritrea
ETH Ethiopia
KEN Kenya
MDG Madagascar
MWI Malawi
MUS Mauritius
MOZ Mozambique
RWA Rwanda
SYC Seychelles
SOM Somalia
SDS South Sudan
UGA Uganda
TZA Tanzania
ZMB Zambia
ZWE Zimbabwe

ANEXO III

Central America, Caribbean and Rest of Northern America

BMU Bermuda
GRL Greenland
ATG Antigua
BHS Bahamas
BRB Barbados
BLZ Belize
CRI Costa Rica
CUB Cuba
DOM Dominican Republic
SLV El Salvador
GTM Guatemala
HTI Haiti
HND Honduras
JAM Jamaica
NIC Nicaragua
PAN Panama
TTO Trinidad and Tobago
ABW Aruba
VGB British Virgin Islands
CYM Cayman Islands
ANT Netherlands Antilles
