

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA E  
DESENVOLVIMENTO**

**Andrey Luis dos Santos Robinson**

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE ENCADEAMENTO NA BIOECONOMIA E  
NA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL**

Santa Maria, RS

2020

Andrey Luis dos Santos Robinson

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE ENCADEAMENTO NA BIOECONOMIA E NA  
ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Economia e Desenvolvimento.**

Orientador: Prof. Dr. Valny Giacomelli Sobrinho

Santa Maria, RS

2020

Robinson, Andrey

Análise dos Efeitos de Encadeamento na Bioeconomia e  
na Economia de Baixo Carbono no Brasil / Andrey  
Robinson.- 2020.

61 p.; 30 cm

Orientador: Valny Giacomelli Sobrinho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Programa de  
Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, RS, 2020

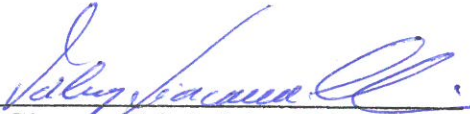
1. Bioeconomia 2. Bioenergia 3. Matriz insumo-produto  
ampliada 4. Encadeamentos I. Giacomelli Sobrinho, Valny  
II. Título.

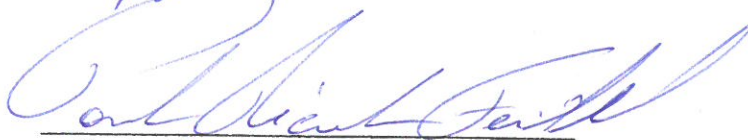
Andrey Luis dos Santos Robinson

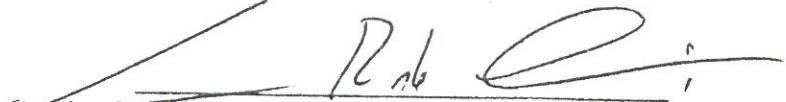
**ANÁLISE DOS EFEITOS DE ENCADEAMENTO NA BIOECONOMIA E NA  
ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Economia e Desenvolvimento**.

**Aprovado em 27 de fevereiro de 2020:**

  
\_\_\_\_\_  
**Valny Giacomelli Sobrinho, PhD. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Paulo Ricardo Feistel, Dr. (UFSM)**

  
\_\_\_\_\_  
**Cassius Rocha de Oliveira, Dr. (FURG) – Videoconferência**

*A minha família*  
*A meus amigos*  
*Ao programa de Economia da UFSM*  
*A CAPES, pelo dispêndio*  
*A Bruno Rodrigues Pereira, pela ajuda*  
*A Valny Giacomelli Sobrinho, pela paciência*  
*Aos professores Paulo e Orlando, pela disposição.*

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E BIOECONOMIA</b>	<b>15</b>
<b>3. METODOLOGIA DOS MODELOS DE INSUMO-PRODUTO AMPLIADOS</b>	<b>22</b>
3.1 ÁLGEBRA DE INSUMO-PRODUTO	24
3.1.1 BASE DE DADOS	27
3.2 EFEITOS DE ENCADEAMENTO	29
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>36</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO A – AGREGAÇÃO E COMPATIBILIZAÇÃO DAS MATRIZES</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO B – MATRIZ INSUMO-PRODUTO AGREGADA, ANO 2013</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO C – MATRIZ INSUMO-PRODUTO AGREGADA COM VALORES DE 2018</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO D – MATRIZ ENERGÉTICA 2018</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO E – MATRIZ BIOENERGÉTICA 2018</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE TABELAS

Tabela 1 - Matriz insumo-produto genérica	25
Tabela 2 - Matriz de coeficientes estendida	27
Tabela 3 - Relação de trabalhos que utilizaram a análise de encadeamentos ( <i>para frente e para trás</i> ) na análise ambiental de insumo-produto	34
Tabela 4 - Setores de atividades e índices de encadeamento	38
Tabela 5 - Linkages e coeficientes de variação da matriz com insumos energéticos	39
Tabela 6 - Linkages e coeficientes de variação da matriz com insumos bioenergéticos	40
Tabela 7 - Matriz insumo-produto brasileira agregada em 14 setores, 2013	54
Tabela 8 - Matriz insumo-produto brasileira agregada em 14 setores, 2018	56
Tabela 9 - Matriz energética, 2018	58
Tabela 10 - Matriz bioenergética, 2018	60

## ÍNDICE QUADROS

Quadro 1 - Modelo de insumo-produto ampliado	23
Quadro 2 - Relação de setores, insumos energéticos e bioenergéticos utilizados	29
Quadro 3 - Agregação setorial da matriz insumo-produto	52
Quadro 4 - Agregação setorial matriz energética	53



## RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento

Universidade Federal de Santa Maria

### **ANÁLISE DOS EFEITOS DE ENCADEAMENTO NA BIOECONOMIA E NA ECONOMIA DE BAIXOCARBONO NO BRASIL**

AUTOR: ANDREY LUIS DOS SANTOS ROBINSON

ORIENTADOR: VALNY GIACOMELLI SOBRINHO

Data e local da defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2020

A estratégia de identificar e investir em setores econômicos capazes de se destacar dos demais remete ao final da década de 1950, quando Hirschman sugeriu a hipótese dos encadeamentos (*linkages*). Segundo ela, a diferença entre setores mais avançados e menos avançados abre margem para ações deliberadas de investimentos induzidos, à maneira do efeito multiplicador keynesiano. O desenvolvimento seria proporcionado por investimentos estatais nas atividades com desempenho acima da média (setores-chave), que propulsionariam os demais. Os encadeamentos para frente identificam os (sub)produtos mais disseminados pela economia, enquanto os encadeamentos para trás ressaltam os setores mais dependentes dos demais. Tais efeitos são medidos por índices calculados a partir das linhas e colunas das matrizes inversas de insumo-produto. Ao que parece, a hipótese dos encadeamentos parece ser adequada ao cenário de transição energética, para verificar como o consumo bioenergético afeta os demais setores da economia. Ampliando-se (IPA) o modelo básico de insumo-produto (IP) com insumos energéticos e utilizando-se a hipótese dos encadeamentos, é possível destacar os setores mais dependentes e os insumos mais utilizados. Portanto, o objetivo deste trabalho é elaborar um modelo que permita não só identificá-los, mas também comparar os resultados obtidos pela matriz tradicional (IP) e pela matriz ampliada (IPA) de insumo-produto. Com essa finalidade, utilizam-se dados para o Brasil em 2018. Assim, quando indistintamente se consideram todos os recursos *energéticos* do país, o setor de Transportes é o mais dependente, e os Derivados de Petróleo são os insumos energéticos mais demandados (disseminados) pela economia. Os resultados mudam quando a ênfase recai sobre os insumos *bioenergéticos*. Nesse caso, o setor de Papel e Celulose é o mais dependente, e a Lixívia é o insumo bioenergético mais consumido. Conclui-se que tais alterações afetam tanto o direcionamento dos investimentos quanto a estratégia de desenvolvimento a ser utilizada. Por exemplo, a redução do uso de combustíveis fósseis (Derivados de Petróleo) prejudicaria os investimentos no setor de Transportes, ao passo que a adoção de uma estratégia bioeconômica de desenvolvimento favoreceria o setor de Papel e Celulose.

**Palavras-Chaves:** Bioeconomia. Bioenergia. Matriz Insumo-Produto Ampliada. Encadeamentos.

## **ABSTRACT**

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento

Universidade Federal de Santa Maria

### **ANALYSIS OF THE LINKAGE EFFECTS IN THE BRAZILIAN BIO- AND LOW-CARBON ECONOMY**

**AUTHOR: ANDREY LUIS DOS SANTOS ROBINSON**

**SUPERVISOR: VALNY GIACOMELLI SOBRINHO**

Defense place and date: Santa Maria, February 27<sup>th</sup>, 2020

The strategy of identifying and investing in those economic sectors capable of standing out of the others dates back to the late 1950s, when Hirschman put forward the linkage hypothesis. According to it, the difference between the most and least advanced sectors paves the way for the deliberate undertaking of induced investments in a Keynesian-like multiplier effect. Development should be set off by governmental investments in sectors with outstanding performance (key sectors), the activity of which would propel that of the others. Forward linkages (FL) single out the most spread (by-) products throughout the economy, whereas backward linkages (BL) highlight the sectors that are the most dependent on the others. Such effects are measured by indices calculated from the rows and columns of inverse input-output matrices. It looks like the linkage hypothesis appears to fit in an energy transition scenario to check how bioenergy consumption affects other sectors of the economy. By adding (IPA) to the basic input-output (IP) model energy inputs and making use of the linkage hypothesis, it is possible to spotlight the most dependent sectors and the most used inputs. Therefore, the objective of this study is to build up a model that allows for not only identifying them, but also for comparing the results disclosed by the standard (IP) and by the augmented (IPA) input-output matrix. To this end, data for Brazil in 2018 are employed. Hence, when all of the country's energy inputs are indistinctively taken into account, the Transport sector is the most dependent one, and Petroleum and Oil Products are the most demanded (spread) energy inputs by the economy. The results change when the emphasis is placed upon *bioenergy* inputs. In this case, the Paper and Pulp sector is the most dependent one, while Black Liquor turns out to be the most widely consumed bioenergy input. It can be concluded that such changes drive both the investments and the development strategy to be designed. For instance, reducing the use of fossil fuels (Oil Products) would harm investments in the Transport sector, whereas the option for a bioeconomic strategy of development would favour the Paper and Pulp sector.

**Key words:** Bioeconomy. Bioenergy. Augmented input-output matrix. Linkage effects.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a época mais distante a humanidade transforma recursos energéticos para atender as suas necessidades mais básicas. Mas, mudanças no papel dos combustíveis e nas tecnologias de conversão têm frequentemente sustentado profundas metamorfoses sociais e geográficas. Ainda no século XX, em virtude da proliferação dos combustíveis fósseis, teve origem a primeira civilização de alta energia<sup>1</sup> da história humana. Embora os impulsos das transições energéticas passadas tenham variado desde a escassez e impactos ecológicos até a necessidade por maior potência e eficiência de conversão, a ideia de uma transição das energias de fósseis para as de baixo carbono não é provocada por algum imperativo técnico ou de escassez. Na verdade, a busca pela descarbonização do sistema energético é motivada pela preocupação com a interferência humana nos ciclos globais de carbono (SMIL, 2019).

Da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (1992), do Protocolo de Kyoto (1998) e do Acordo de Paris (2015), sugeriram estratégias como: *i*) o uso eficiente da energia por unidade de consumida; *ii*) a queima de combustíveis com menor teor de poluentes; *iii*) a captura dos poluentes antes mesmos de serem liberados na atmosfera e; *iv*) o consumo de fontes alternativas de energia (SMIL, 2013). Em essência, esse tipo de mecanismo está alinhado ao suprimento energético de baixo carbono, em que pesem a sustentabilidade e o bem público de mitigar as mudanças climáticas (BRIDGE et al., 2013).

Ironicamente ou não, “as emissões globais de CO<sub>2</sub> aumentaram mais de 60% desde 1992 (SMIL, 2019, p. 70)”. Ao que parece, a globalização provocou deslocamento de fração da produção mundial para regiões intensivas em carbono na Ásia (BRIDGE et al., 2013). Só que mesmo assim, em 2015, aproximadamente 80% da energia primária mundial foi consumida de fontes fósseis. Hoje, pouco mais de 98 milhões de barris de petróleo por dia (mb/d) é produzido. Estima-se que a demanda global de petróleo crescerá aproximadamente 1 mb/d até 2025 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

Embora não exista o roteiro ideal para uma nova transição (FARLA et al., 2012), nos cenários de longo prazo em direção a sociedades de baixo carbono a visão de uma Bioeconomia (BE) tem ganhado notoriedade política nos últimos anos (HAUSKNOST et al., 2017).

<sup>1</sup> Tendo em vista que a característica mais básica da extração de energia fóssil são os elevados custos de instalação, os investimentos nessa fonte energética ocorrem apenas em casos extremos ou quando as condições são favoráveis. Nas sociedades de alta energia, por conta das economias de escala, a oferta do insumo fóssil ocorre com custos unitários decrescentes. Portanto, o preço do insumo é relativamente barato (SMIL, 2016).

Ao considerar as competências regionais e trajetórias históricas, instituições ao redor do mundo<sup>2</sup> lançaram diretrizes para uma economia baseada em recursos biológicos (bioeconomia). Os desafios abordados tangenciam questões como a dependência dos recursos fósseis, a escassez de recursos naturais, as mudanças climáticas e o crescimento econômico sustentável. Em razão disso, a BE está inserida em um contexto de transição energética, cuja oferta de *inputs* materiais procede de resíduos e matéria prima não fossilizada disponíveis na biomassa (MCCORMICK; KAUTTO, 2013). Apesar de questionáveis os alcances e realidades de roteiros como estes (SMIL, 2019), soluções dessa natureza tomam formas à medida que “economias do sul global estão se tornando cada vez mais o local da futura produção e demanda energética (BRADSHAW, 2010, p. 287)”.

Em princípio, “a crescente demanda da OCDE por energia da biomassa significa que os objetivos políticos desses países estão impulsionando transformações no uso da terra além de suas fronteiras, em países do Sul global, onde a produtividade primária líquida é alta (BRIDGE et al., 2013, p. 335)”. Nesses países, as demandas industriais por biomassa se cruzam com práticas distintas. Existem aqueles que almejam a independência energética e o poder de barganha nos acordos climáticos (BRADSHAW, 2010), e também aqueles, nos quais as condições políticas são propícias a investimentos externos e as demandas industriais de biomassa, mas que contam com um grão de desigualdade (BRIDGE et al., 2013).

Em 2010, o consumo da biomassa como energia primária era de aproximadamente 53 EJ (mais ou menos 10% do total energético), dos quais 30% foram transformados em biocombustíveis com tecnologia avançada. Os 70% restantes consumiram-se de maneira tradicional em lugares onde não ocorreu a transição energética para os combustíveis fósseis no século XIX, como nas regiões menos desenvolvidas da África e da Ásia (GOLDEMBERG, 2017).

Já o Brasil, em 2017, consumiu 17% de produtos derivados da cana, 8% de lenha e carvão vegetal e uma parcela de licor negro dentro dos 5,9% pertencentes ao grupo lixívia<sup>3</sup> e outras renováveis. Respectivamente, esses insumos servem a tecnologias avançadas para produção de etanol, à siderurgia, ao ramo de papel e celulose, e, conjuntamente, à produção de eletricidade (EPE, 2019; GOLDEMBERG, 2017).

<sup>2</sup> Dentre as diretrizes estão as da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2009), a Comissão Europeia (EC, 2012) o governo norte americano (USA, 2012), a Confederação Nacional para a Indústria no Brasil (CNI, 2013), a iniciativas do Green Growth Knowledge (GGK) para África do Sul (GGK, 2014), etc.

<sup>3</sup> Licor negro e lixívia correspondem ao mesmo insumo.

Da perspectiva de uma economia de baixo carbono, o Brasil configura-se como candidato a protagonista ao desenvolvimento bioeconômico, devido a vantagens comparativas relacionadas: *i)* à extensão territorial rica em biodiversidade; *ii)* ao domínio dos processos agroindustriais auxiliado pela ciência e tecnologia e; *iii)* aos custos reduzidos na produção originada da biomassa (DIAS; DE CARVALHO, 2017). Contudo, muitas vezes estes recursos enfrentam condições estruturais desfavoráveis combinadas com incerteza para investimento (CARUS et al., 2014). Daí surge a necessidade de apoio político e financeiro estratégico para maximizar seu potencial (STAFFAS; GUSTAVSSON; MCCORMICK, 2013). Na verdade, um dos principais desafios da agenda bioeconômica é a elaboração de um critério para escolher setores e insumos que se beneficiariam de uma estratégia de desenvolvimento.

Todavia, a estratégia de selecionar os setores-chaves para promover o desenvolvimento econômico através de mecanismos de indução remete ao final da década de 1950, quando Hirschman (1961) sugeriu a hipótese dos encadeamentos (*linkages*). Desde que os mecanismos estejam relacionados à interdependência tecnológica das atividades produtivas, o desenvolvimento seria proporcionado por atividades com elevado potencial em gerar encadeamentos (setores-chaves) (HIRSCHMAN, 1961). Sob a ótica do desenvolvimento desequilibrado “encadeamentos implicam interdependência (BIANCHI, 2007, p. 136)” e são de duas vias. Os para trás, que correspondem ao estímulo enviado para setores que fornecem os insumos para dada atividade. E os para frente, em que produto da atividade motriz induz o estabelecimento de novas atividades (BIANCHI, 2007). A literatura econômica absorveu a hipótese dos encadeamentos sob a forma de índices de desenvolvimento. Eles são mensurados através das linhas e colunas das matrizes inversas de insumo-produto (IP), e permitem destacar o setor e o produto mais básico da economia (BIANCHI, 2007). No entanto, se expandir a estrutura básica do modelo com recursos bio/energéticos, transformando-a num modelo insumo-produto ampliado (IPA), é possível destacar os setores mais dependentes e o (sub)produto (bio/energia) mais utilizados.

Pelo visto, a hipótese dos encadeamentos em um modelo de IPA parece servir como critério para o desenvolvimento bioeconômico. Portanto, objetivo deste trabalho é aplicar essas hipóteses em um modelo que permita não só identificar identifica-las, mas também comparar os resultados obtidos pela matriz tradicional (IP) e pela matriz (IPA). Por isso, utilizam-se os indicadores *Backward Linkage* (BL) (índice de encadeamento vertical ou *para trás*) e *Forward Linkage* (FL) (índice de encadeamento horizontal ou *para frente*) nos modelos tradicional (tipicamente monetário) e estendido com fluxos físicos de bio/energia, com dados para o Brasil em 2018.

Ao investigar o *link* entre economia e recursos bio/energéticos, pretende-se demonstrar como as ligações hirschmanianas podem ajudar a identificar as relações tecnológicas pertinentes para o desenvolvimento bioeconômico. Em outras palavras, identificar atividades que se pretendem controlar e/ou estimular (encadeamentos para trás) devido ao seu consumo bio/energético (encadeamentos para frente). Por essa razão, espera-se justificar com literatura os vínculos encontrados no modelo.

Antes de avançar, destaca-se a estrutura do trabalho. A segunda seção apresenta a evolução do termo BE na literatura econômica e a teoria do desenvolvimento desequilibrado de Hirschman (1961), que fornece a base teórica dessa pesquisa. As considerações metodológicas acerca do modelo de IP e da base de dados estão presentes na terceira seção. Os resultados são analisados na seção quatro, ao passo que a quinta seção conclui o trabalho.

## 2. DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E BIOECONOMIA

O termo bioeconomia remeta à década de 1970, quando Georgescu-Roegen (2012) sugeriu que mitos obscurecem a compreensão humana acerca das fontes energéticas disponíveis na natureza. “O mito do moto contínuo de segunda espécie, segundo o qual podemos utilizar continuamente a mesma fonte de energia e [...] o mito do homem que consegue sempre encontrar novas fontes de energia e novos meios de subjugar-las em seu benefício (GEORGESCU-ROEGEN, 2012, p. 76)”. Estas ideias sugerem que a espécie humana é imortal, e através dos elementos de bioeconomia o autor pretendia a desmistificar a evolução humana.

Para Georgescu-Roegen (2012), a evolução da humanidade transcendeu os limites biológicos. Acontece que, diferente das espécies não humanas que operam com instrumentos endossomáticos (por exemplo, antenas e asas), o homem foi capaz de aumentar sua potência natural através do desenvolvimento de instrumentos exossomáticos. Por via deles, tornou-se possível, por exemplo, deslocar-se pelas águas e voar, mesmo sem estrutura corpórea apropriada.

Como que naturalmente, do desenvolvimento exossomático surgiu um processo econômico – mercados instituições, crédito, moeda, etc. – que infundiram na espécie humana sua dependência. A consequência desse processo levantou duas questões fundamentais. Uma ambiental, relacionada aos resíduos e a escassez de recursos terrestres disponíveis nas fontes de baixa entropia (por exemplo, energias fósseis). E outra social, porque as gerações futuras estariam comprometidas (GEORGESCU-ROEGEN, 2012; MAYUMI; GIAMPIETRO; GOWDY, 1998).

Na verdade, tanto Georgescu-Roegen (2012) quanto Daly (1974) tentaram integrar o sistema econômico com a segunda lei da termodinâmica<sup>4</sup>. O argumento básico sugere que “a atividade econômica extrai do meio ambiente energia e matéria-prima de baixa entropia e converte-a, após utilização, em matéria e energia de alta entropia (FAUCHEUX; NOEL,

<sup>4</sup> A segunda lei da termodinâmica, em termos de entropia, indica que “não ocorrem processos nos quais a entropia de um sistema isolado decresça: em qualquer processo que tenha lugar em um sistema isolado, a entropia do sistema aumenta ou permanece constante (SEARS; SALINGER, 1979, p. 112)”. Da mesma maneira que a entropia, a energia é função do estado de um sistema. Isso significa que a energia não é destruída quando, por exemplo, o carvão é queimado para gerar o vapor que, posteriormente, através do uso de turbinas é convertido em eletricidade. Contudo, a energia contida originalmente no carvão é maior que a energia contida na eletricidade. A diferença energética entre a energia inicial e final é dissipada em forma de calor no meio ambiente. Ou seja, a quantidade de energia disponível para o trabalho útil é inferior a original, porque o calor dissipado não é acessível para trabalhos futuros (NORGAARD, 1994).

1995, p. 57)”. Como resultado, a questão da sobrevivência da raça humana estria ligada ao seu apego pelos instrumentos exossomáticos, que, em virtude da natureza entrópica da sua dimensão real, impõe ao sistema econômico barreiras ecológicas absolutas. Por esse motivo, o problema enfrentado pela humanidade é de cunho “bioeconômico”, pois vai além dos campos tradicionais da biologia e/ou economia (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

Devido aos limites biofísicos do crescimento econômico e da irreversibilidade dos processos termodinâmicos inerentes ao segundo princípio da termodinâmica, Daly (1974) sugere o sistema econômico pode se tornar menos intenso através de uma Economia Estado Estacionário (EEE).

A Steady-state economy is defined by constant stocks of physical wealth (artifacts) and a constant population, each maintained at some chosen, desirable level by a low rate of throughput [...] by low birth rates equal to low death rates and by low physical production rates equal to low physical depreciation rates, so that longevity of people and durability of physical stocks are high. The throughput flow, viewed as the cost of maintaining the stocks, begins with the extraction (depletion) of low entropy resources at the input end, and terminates with an equal quantity of high entropy waste (pollution) at the output end. The throughput is the inevitable cost of maintaining the stocks of people and artifacts and should be minimized subject to the maintenance of a chosen level of stocks (DALY, 1974, p. 15).

A EEE consiste em manter um nível constante dos *stocks* com a ajuda de um *throughput* mínimo, mesmo que isso signifique reduções na taxa de crescimento do Produto Nacional Bruto (PNB), ou crescimento zero. Não satisfeito com essa argumentação, Georgescu-Roegen (2012) retorquia que, no plano físico, o estado estacionário não pode ser assimilado ao estado estável que um sistema termodinâmico pode reconhecer. No plano econômico, isso significa dizer que, para fazer frente à acessibilidade dos recursos de difícil acesso, a tecnologia e o modo de vida de uma população estacionária mudaria constantemente (FAUCHEUX; NOEL, 1995). Por esse ângulo, com intuito de amenizar o prognóstico bioeconômico-apocalíptico da espécie humana, Georgescu-Roegen (2012) sugere que o estado estacionário deveria ser substituído por um estado de decrescimento.

As propostas teóricas de Georgescu-Roegen (2012) e Daly (1974), baseadas no paradigma termodinâmico clássico, tem um forte contra ponto em ideias inspiradas no “paradigma do vivo<sup>5</sup>”. Nele, inspira-se a visão ecológico-evolucionária para compreensão da diversidade biológica da economia.

<sup>5</sup> Fundamentado mais na biologia molecular do que na física, o paradigma do vivo surge a partir da tentativa da interpretação da vida perante a degradação entrópica. Nele estão situadas as contradições entre a estabilidade do mundo físico (por exemplo, leis da mecânica e termodinâmica) e a evolução da vida (tal como em Darwin). É



This view highlights how most of the past seven millennia of development since the origins of agricultural technologies and social organization was a process of ecological system transformation and adaptative social system response. Cultural Knowledge “explained” people’s relations to their environment and prescribed social organization (NORGAARD, 1987, p. 107).

Nessa interpretação, o homem em suas atividades produtivas não é apenas um mero utilizador de energia e de matéria submetidas à entropia, conforme o problema bioeconômico de Georgescu-Roegen (2012). É manifesto que também são construtores e inventores de informação ou de neguentropia<sup>6</sup>. Aqui, a noção schumpeteriana de destruição criadora, quando referida à economia dos recursos naturais e do meio ambiente, ganha toda a sua relevância. Embora devam ser levados em conta as barreiras ecológicas absolutas ao desenvolvimento econômico, elas não devem ser consideradas constantes ou fixas, porque são instáveis e se modificam em função da coevolução. Isso significa que, mediante progresso técnico, tanto a invenção quanto a inovação revelam-se como elementos de neguentropia. Consequentemente, o meio ambiente não pode mais ser considerado apenas como uma mina de obstáculos ao sistema econômico, mas sim, também, como uma rica fonte de aberturas e oportunidades (FAUCHEUX; NOEL, 1995; NORGAARD, 1994).

Daí para frente, a BE reteve muito pouco da visão apocalíptica de Georgescu-Roegen (2012). Na concepção moderna, modelos bioeconômicos emergem da teoria dos recursos naturais renováveis e integram o campo de ação biológico e econômico com objetivo de determinar níveis adequados de captura e estoque dos recursos naturais (KNOWLER, 2002; MAY; LUSTOSA; VINHA, 2010).

Embora todos os recursos naturais sejam governados por fenômenos biológicos<sup>7</sup>, a particularidade dos recursos renováveis consiste em deixar de ser renováveis na medida que se esgotam. Na maioria das vezes o esgotamento acontece devido a incompatibilidade entre as dinâmicas econômica (que determina o ritmo de exploração) e a biológica (que determina a

desse embaraço que a vida tende a organizar a coevolução, porque gradativamente se torna mais complexa (FAUCHEUX; NOEL, 1995).

<sup>6</sup> Enquanto a entropia apresenta tendência para a desordem e/ou desorganização do sistema, a vida, apresenta tendência para organização, isto é, para neguentropia (MORIN, 1973). Em termos práticos, isso significa que, ao mesmo tempo em que o consumo de energia acentua a entropia, o ser vivo combate-a nutrindo-se de informação e energia, descartando tudo aquilo que não consegue assimilar enquanto a vida se reorganiza. O conceito de neguentropia abrange os de produção, reorganização, regeneração, reprodução, inerentes aos sistemas organizados complexos. Assim sendo, a entropia participa da neguentropia, ao passo que, a neguentropia depende da entropia (MORIN, 1979 apud ESTRADA, 2009).

<sup>7</sup> Multiplicação de plantas e animais, desenvolvimento de populações marinhas (peixes), crescimento de árvores, etc.

evolução). Pelo lado biológico, se houverem as condições ambientais mais básicas, o recurso vai expandir até o limite da capacidade de sustentação do seu ecossistema. Pelo lado econômico, o recurso torna-se escasso se a taxa de extração for persistente e superior à taxa de crescimento natural do recurso (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2010).

Como as atividades humanas dependem dos recursos naturais, o desafio dos modelos bioeconômicos é mensurar a trajetória de exploração de uma população biológica, submetida a diferentes níveis de extração. Ou seja, são utilizados modelos de controle ideal e controle populacional para “maximizar o rendimento econômico líquido, mantendo um rendimento sustentável (VAN DER PLOEG; BRAAT; VAN LIEROP, 1987, p. 177)”. É nessa discussão que modelos de manejo para recursos pesqueiros, florestais e da biodiversidade recebem um enfoque especial (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2010).

Todavia, o termo BE “ressurge” a partir dos anos 2000, juntamente com a Economia Verde (EV) e a Economia Circular (EC). Conceitos com soluções alternativas ao modelo econômico baseado no consumo de energia fóssil (D’AMATO et al., 2017).

De maneira geral, o termo BE está relacionado aos *inputs* industriais do sistema econômico (insumos energéticos, químicos, etc.) obtidos de bases biológicas, tendo em vista o processo de transformação material derivado da biomassa renovável, com destaque para pesquisa, inovação, desenvolvimento biotecnológico e utilização de biorefinarias (GUO; SONG, 2019).

Em suas pesquisas, Bugge, Hansen e Klitkou (2016) identificaram “três visões ideais” relacionadas à BE: a visão biotecnológica, a visão dos recursos biológicos e a visão bioecológica. Nas duas primeiras, o crescimento econômico e a criação de novos empregos estão à frente da sustentabilidade ambiental. Isso acontece porque o desenvolvimento tecnológico é orientado para a elaboração de novos produtos. Na terceira visão, destacam-se os processos ecológicos que reduzam a degradação do solo, promovam a biodiversidade e aprimorem o uso de nutrientes e energia. Nessas três perspectivas, o desenvolvimento tecnológico proporciona a maximização do uso da biomassa. Em termos macroeconômicos, isso se traduz como oportunidades para o crescimento e a geração de empregos, e, microeconômicos, o desenvolvimento e políticas locais que promovam, a título de exemplos, o manejo da terra, o aproveitamento de resíduos e promoção do uso da biomassa.

A biomassa é uma fonte rica de matéria-prima renovável. Nela está contida toda a matéria orgânica e vegetal existente. Os materiais retirados e convertidos em energia consistem em biofluidos, resíduos orgânicos, vegetais lenhosos e não lenhosos. Os vegetais lenhosos são madeiras em geral. Os não lenhosos reúnem vegetais aquáticos, sacarídeos,

celulósicos e amiláceos. Já os resíduos orgânicos, encontram-se nas áreas agrícolas, urbanas e industriais (ANEEL, 2002).

Não é por acaso que o consumo da biomassa está presente tanto na BE quanto na EV. Seus subprodutos podem ser utilizados para produzir mercadorias, tais como garrafas d'água a partir algas ou energia e papel, ambos obtidos do subproduto da cana-de-açúcar (D'AMATO et al., 2017).

Agora, em contraste com a BE, a EV considera a dimensão social e ecológica derivada da sustentabilidade. Já que relacionados à EV, estão temas como os empregos verdes, o turismo ecológico, educação, conservação do meio ambiente e a eficiência na produção. Conjuntamente, a atuação local da EV assesta o desenvolvimento sustentável, bem-estar, redução dos riscos ambientais e aproveitamento da biomassa renovável principalmente para a produção de energia e reutilização de resíduos no ciclo de vida de produtos (D'AMATO et al., 2017; LOISEAU et al., 2016).

Já a EC, conforme aponta D'Amato (2017), insere-se num contexto de sistemas industriais junto com o ciclo de vida do produto. Ao menos em teoria, isso implica maior eficiência e produtividade dos recursos naturais. Nas palavras de Tisserant et al. (2017, p. 628), “a EC visa estender a vida útil dos materiais e promover a reciclagem, para maximizar o serviço material por recurso empregado, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais e o uso de recursos”. Ou seja, a EC é uma abordagem intersetorial que enfatiza a necessidade de considerar a sustentabilidade e o destino das fontes de matéria-prima. Dessa forma, busca-se aperfeiçoar o uso de *inputs* e minimizar a produção de resíduos, por meio de um “esverdeamento” na cadeia de produção visando ao desenvolvimento sustentável (LOISEAU et al., 2016).

Seja como for, para que a BE contemporânea se propague, investimentos públicos e/ou privados devem alcançar setores de atividade capazes de disseminar tecnologias pertinentes ao desenvolvimento bioeconômico. A estratégia de selecionar setores capazes de influenciar os demais remete ao final da década de 1950, quando Hirschman (1961) sugeriu a hipótese dos *linkages*. Para ele, a diferença entre setores mais avançados e menos avançados abre margem para ações deliberadas de investimentos induzidos, que podem fomentar decisões adequadas para atividades econômicas *sui generis*. A forte ligação dessas atividades com as demais é capaz de induzir investimentos à maneira do efeito multiplicador keynesiano.

Esse argumento se opunha ao dos defensores da teoria do desenvolvimento equilibrado, como Rosenstein-Rodan (1943), Scitovsky (1954), Nurske (1952) e Lewis (1952). Segundo eles, o segmento industrial estagnado deveria ser sobreposto por uma

economia industrial inteiramente nova, “*de uma só vez e ao mesmo tempo*”, com um grande impulso (*big push*). Em vez disso, Hirschman (1961) advertia que o crescimento equilibrado resultaria na soma de elementos cuja oferta é limitada em regiões subdesenvolvidas. Assim, recursos empreendidos em diversos setores e de maneira simultânea poderiam surtir efeitos apenas em países desenvolvidos ou durante oscilações cíclicas da atividade econômica, quando as partes envolvidas<sup>8</sup> já estão presentes e podem conduzir, de forma equilibrada, a recuperação de um sistema momentaneamente interrompido. Porém, justamente por causa das diferenças entre os setores, investimentos deveriam ser deliberadamente tendenciosos para criar uma sucessão de desequilíbrios e promover quantidades de investimentos adicionais.

Basicamente, a teoria do desenvolvimento desequilibrado é uma crítica à teoria do desenvolvimento equilibrado, para a qual o desenvolvimento econômico não poderia ser alavancado por um único setor, em virtude da escassez da mão-de-obra e da baixa demanda por produtos. Para Hirschman (1961), é justamente o afastamento do equilíbrio, induzido por uma cadeia de desequilíbrios prévios nas ligações dinâmicas de setores-chave (isto é, com fortes encadeamentos para trás e para frente), que, a cada nova movimentação, fomenta a demanda sobre a economia. Dessa maneira, criam-se oportunidades não só para o surgimento de novas atividades, mas também para que setores relativamente atrasados possam alcançar os mais avançados. Com isso, devido a uma demanda por insumos superior à média e a uma oferta de mão-de-obra abundante e barata, expande-se a capacidade produtiva da economia (HIRSCHMAN, 1961; LENZEN, 2003).

Em que pesem as diferenças específicas de cada proposição, ambas compartilham o entendimento de que o mercado, sozinho, é incapaz de promover o desenvolvimento capitalista. Por conseguinte, ambas as teorias sugerem algum grau de intervenção e planejamento estatal, o que acabou suscitando o seu declínio (BACKHOUSE, 2007 apud GIACOMELLI SOBRINHO, 2015).

Durante a era de ouro do capitalismo, essas teses forneceram subsídio para a promoção de políticas econômicas e tornaram-se alicerces da prática e do discurso político. Sobrecarregadas de ambições, tensões e esperanças irrealistas, acabaram impregnadas por uma “ideologia desenvolvimentista”, na qual todos os problemas da sociedade capitalista seriam resolvidos por meio do desenvolvimento econômico. Durante as décadas de 1960 e 1970, a promessa revelou-se insustentável. Embora houvesse crescimento econômico durante

<sup>8</sup> A teoria do desenvolvimento equilibrado é, em essência, uma teoria sobre o aumento da produção nacional. As partes envolvidas envolvem fatores de produção ociosos (mão-de-obra, capital, insumos) já presentes nas economias desenvolvidas.

breves períodos, a concentração de renda foi acentuada, e, quando a intensidade do crescimento diminuiu, restou ao próximo período a estagflação (BACKHOUSE, 2007 apud GIACOMELLI SOBRINHO, 2015; HIRSCHMAN, 1961).

Com o passar dos anos, assistiu-se ao declínio das estratégias de desenvolvimento baseadas na instituição Estado-nação que, a partir da década de 1980, ficaram em segundo plano no debate mundial. Com a proliferação de novas temáticas, tanto o desenvolvimento equilibrado quanto o desequilibrado foram dissolvidos em debates acerca da noção de desenvolvimento. Na contramão do envelhecimento das teorias baseadas no aumento da produção nacional, o “novo ideal desenvolvimentista”, ao menos em teoria, volta-se para sustentabilidade física (ecológica), social (inclusiva) e econômica (longo prazo) (BACKHOUSE, 2007 apud GIACOMELLI SOBRINHO, 2015).

Embora a tese do desenvolvimento desequilibrado seja datada no tempo, ela parece servir ao crescente impulso da BE contemporânea. Na prática, as aplicações das hipóteses subjacentes a esses conceitos e as implicações de políticas correspondentes podem ser examinadas nos modelos de insumo-produto com unidades híbridas (IPH), que foi delegado à próxima seção.

### 3. METODOLOGIA DOS MODELOS DE INSUMO-PRODUTO AMPLIADOS

Apesar de representarem um avanço para a teoria econômica, com ampla utilidade prática, os modelos IP tradicionais, desenvolvidos a partir de Leontief (1936), são limitados para compreender a relação entre economia e meio ambiente. As primeiras propostas de estender as tabelas e modelos de IP remetem ao final da década de 1960, com rápida proliferação durante a década de 1970 até meados 1985. Os modelos pioneiros de IPA procuravam contornar a limitação do modelo convencional, incorporando a relação econômica com o meio ambiente. Embora seus autores lhes conferissem diferentes aplicações, todos eles adotavam o mesmo pressuposto de retornos constantes de escala e funções de produção de Leontief (AYRES; KNEESE, 1969; DALY, 1968; LEONTIEF, 1970; PERMAN et al., 2003).

A análise combinada de economia e meio ambiente envolve basicamente três tipos de encadeamentos (*linkages*). O primeiro refere-se aos recursos naturais, que incluem atividades extrativistas, como pesca e extração mineral, consumo de ar limpo ou mesmo belas paisagens. O segundo está relacionado ao processamento e consumo dos recursos naturais, que resultam em resíduos e retornam para o meio ambiente com implicações econômicas ou de bem-estar indesejáveis, como poluição e degradação do solo. Da tentativa de eliminar, mitigar ou compensar esses efeitos indesejáveis é que surge o terceiro *linkage* entre meio ambiente e economia: atividades dedicadas à redução de impactos ou à renovação ambiental (PERMAN et al., 2003).

No Quadro 1, as submatrizes I e VII referem-se ao modelo de IP tradicional, de Leontief. Por hipótese, assume-se que cada indústria produz um único bem homogêneo. Na submatriz I, estão os fluxos de bens e serviços de  $n$  setores intermediários da economia, enquanto a submatriz VII reúne a demanda final. A submatriz II inclui a extração ou uso de recursos naturais pelas indústrias, que envolve a depleção do estoque natural de recursos. As linhas  $i$  e colunas  $j$  da submatriz II registram o montante de recursos  $i$ , medidos em unidades físicas e consumidos pela indústria  $j$  durante dado período de tempo. Por exemplo, se o recurso  $i$  for água, e a indústria  $j$ , abastecimento de água, as entradas nas células  $ij$  representam, respectivamente, a coleta e o processamento de água pelo setor de abastecimento que são entregues para a indústria e consumidores em geral ao longo das linhas  $r + j$  das submatrizes I e VII. Deste modo, e assumindo relação proporcional constante entre insumos oriundos de recursos naturais e produtos industriais, pode-se dizer que a célula  $r_{ij}$  expõe

toneladas (t) de água por  $x$  unidades monetárias (\$) produzidas pela indústria de abastecimento de água ( $t/\$$ ).

		Indústrias 1, 2 ... n	Setores de abatimento n + 1 ... n + m	Consumidor Final n + m + 1 ... h
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Estoque de recursos naturais</div> <span style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">→</span>	1 ⋮ r	II	V	VIII
	r + 1 ⋮ r + n	I Indústrias extrativas e/ou primárias	IV	VII
	Resíduos r + n + 1 ⋮ r + n + m	III	VI	IX

Quadro 1 - Modelo de insumo-produto ampliado

Fonte: Perman et. al (2003, p. 292)

Como existe apenas um número limitado de indústrias envolvidas na extração direta de recursos naturais, parte dos valores da submatriz II é zero. Em geral, recursos naturais processados são classificados como produtos industriais e distribuídos ao longo das fileiras das submatrizes I, IV e VII (PERMAN et al., 2003).

Já os resíduos resultantes de cada indústria estão registrados na submatriz III. À semelhança dos recursos naturais, cada resíduo em particular está descrito em diferentes linhas da matriz. Assim, as células  $gk$  em III registram o tipo de resíduo  $g$  gerado pela indústria  $k$  em dado período de tempo, tal que, sob a hipótese da relação proporcional constante entre a produção industrial e geração de resíduos, pode-se afirmar que a matriz de coeficientes  $w_{gk}$  indica o montante de resíduos  $g$  produzidos por  $x$  unidades monetárias obtidas pela indústria  $k$  (PERMAN et al., 2003).

As colunas  $n + 1$  até  $n + m$  referentes às submatrizes IV, V e VI, representam atividades de abatimento ou tratamento residual. Embora localizadas em quadrantes separados, na prática, esses setores de atividade podem estar presentes junto às demais indústrias geradoras de resíduos. Por exemplo, o mesmo setor que polui a água pode purificá-la antes de devolvê-la novamente ao meio ambiente. Porém, nesse esquema, dispensa-se a esses setores um tratamento em separado. É comum haver situações em que o nível de produção dos setores de abatimento seja zero. Além disso, à semelhança de outras indústrias,

os setores de abatimento podem gerar resíduos, que constam da submatriz VI (PERMAN et al., 2003).

A última coluna no Quadro 1 representa o consumo final e pode ser desagregado até o ponto em que seja possível identificar investimentos e despesas de capital relacionadas com a renovação do estoque de recursos naturais, como regeneração do solo, reflorestamento, renovação do estoque de peixes. Essas atividades são a ligação necessária para fechar o modelo, porque causa da sua relação com o vetor de estoques de recursos naturais no início da sequência ambiente  $\rightarrow$  economia  $\rightarrow$  ambiente. Ademais, na submatriz VIII consta a extração direta ou uso de recursos naturais pelo consumidor final sem o processamento industrial, por exemplo, água não tratada, ar fresco, etc., enquanto a submatriz na IX estão os resíduos gerados pelos domicílios e outros consumidores finais, como sucata, emissão de poluentes, entre outros (PERMAN et al., 2003).

No quadro mais amplo acerca dos modelos ampliados descrito nas linhas acima, constituem a relação entre economia e meio ambiente três *linkages*. O primeiro refere-se aos recursos naturais, o segundo o processamento destes e a geração de resíduos na economia, enquanto o terceiro aponta para as atividades de conservação ambiental. Seguindo essa linha de raciocínio, envolvido pelo objeto de estudo e limitado pela disponibilidade de dados, a proposta metodológica que segue as linhas abaixo está relacionada, principalmente, com o primeiro.

### 3.1 ÁLGEBRA DE INSUMO-PRODUTO

O modelo mais básico de IP, no qual estão excluídos os recursos energéticos, está exposto na submatriz  $y$  da Tabela 1, onde o produto econômico ( $\mathbf{Y}$ ) depende da demanda final por bens ( $\mathbf{F}$ ) e da demanda intermediária de bens e serviços utilizados como insumos  $y_{ij}$ .

A leitura algébrica da submatriz  $\mathbf{B}$  (Tabela 1) está definida em (1).

$$Y = y + F \tag{1}$$

onde  $y$  representa uma matriz quadrada ( $i = j$ ) na qual estão dispostas, em unidades monetárias (\$), as compras de insumos  $i$  pelas indústrias ou setores de atividade  $j$ . Formalmente, o modelo de Leontief (1936) é derivado de (1), definindo-se a matriz  $\mathbf{A}$  de coeficientes técnicos de insumo:



$$a_{ij} = y_{ij}/Y_j \quad (2)$$

$$A_{i \times j} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Tabela 1 - Matriz insumo-produto genérica

<b>Setores</b>					
<b>Insumos da biomassa (h = 1,...,p) X Setor (j = 1,...,n)</b>	Setor 1	Setor 2	Setor 3	<b>Vetor de insumos Z</b>	<b>Unidade medida</b>
	<b>z Bioeconomia</b>				
Energia de Biomassa 1	$\mathbf{z}_{h \times j} = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{p1} & \cdots & z_{pn} \end{bmatrix}, p \geq n$			$\mathbf{Z}_h = \begin{bmatrix} Z_1 \\ \vdots \\ Z_p \end{bmatrix}$	tEP*
Energia de Biomassa 2					
<b>Insumos energéticos (s = 1,...,q) X Setor (j=1,...,n)</b>	<b>r Matriz Energética</b>			<b>Vetor de insumos R</b>	
Energia Fóssil 1	$\mathbf{r}_{s \times j} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{q1} & \cdots & r_{qn} \end{bmatrix}, q \geq n$			$\mathbf{R}_s = \begin{bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_q \end{bmatrix}$	tEP*
Energia Fóssil 2					
Energia de Fluxo 3					
Energia de Estoque 4					
<b>Insumos econômicos (i=1,...,m) X Setor (j=1,...,n)</b>	<b>y Economia</b>		<b>Demanda. Final F</b>	<b>Vetor de Produto Y</b>	
Setor 1	$\mathbf{y}_{i \times j} = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & y_{nn} \end{bmatrix}, m = n$		$\mathbf{F}_i = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix}$	$\mathbf{Y}_i = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_m \end{bmatrix}$	\$
Setor 2					
Setor 3					
<b>Fatores de Produção P</b>		$\mathbf{P}_i$			
<b>Total de insumos Econômicos</b>		$\mathbf{Y}_j$			

Elaborado pelo autor;

\*Tonelada Equivalente de Petróleo

Da Eq. (2) vem que:

$$y_{ij} = a_{ij}Y_j$$

Ou, matricialmente:

$$y = AY \quad (4)$$

que, substituindo-se na Eq. (1) resulta em:

$$\begin{aligned}
Y &= AY + F \\
(I - A)Y &= F \\
Y &= (I - A)^{-1}F
\end{aligned} \tag{5}$$

o termo  $I$  representa uma matriz identidade, enquanto  $A$  é a matriz de coeficientes técnicos de insumo (3),  $F$  é o vetor de demanda final. Na Eq. (5), a expressão  $(I - A)^{-1}$  representa a matriz inversa de Leontief, ou matriz de efeitos diretos e indiretos. Nela podem ser identificadas as consequências de um aumento na demanda final sobre os setores industriais e a produção necessária para atender a um eventual aumento exógeno na demanda final. Os elementos  $y_{ij}$  compõem a matriz de demanda intermediária, e, por hipótese,  $a_{ij}$  é constante. Isso significa que a relação entre insumos e produção é fixa, ou seja, não são incorporadas questões de escala e substituição de insumos na produção (MILLER; BLAIR, 2009; PERMAN et al., 2003).

De maneira semelhante à submatriz  $y$ , submatrizes  $r$  e  $z$  são construídas para abranger a quantidade de recursos energéticos e bioenergéticos. Assim, cada  $r_{sj}$  e  $z_{hj}$  representa, respectivamente, a quantidade  $s$  e  $h$  de recursos energéticos e bioenergéticos utilizados pelos  $j$  setores da indústria para obter o produto setorial (Tabela 1).

Dessa forma, a hipótese contida em (2) e as relações básicas do modelo de IP podem ser estendidas para o modelo ampliado, em que o *coeficiente de intensidade bioenergética* é representado por:

$$b_{hj} = z_{hj}/Y_j \text{ (tEP/\$)} \tag{6}$$

e o *coeficiente de intensidade energética*

$$c_{sj} = r_{sj}/Y_j \text{ (tEP/\$)} \tag{7}$$

Da mesma maneira que a equação (2) leva a  $AY$ , a equação (6) conduz a (8), e a equação (7) conduz a (9):

$$Z = BY \tag{8}$$

$$R = CY \tag{9}$$

em que  $Z$  e  $R$  são matrizes que informam, respectivamente, o total de recursos bioenergéticos e energéticos utilizados na economia. Conjuntamente essas matrizes representam o *custo energético*<sup>9</sup>, medido em tEP, da produção econômica. A agregação das informações contidas nas Eqs. (4), (8) e (9) para melhor visualização encontra-se na Tabela 2:

Tabela 2 - Matriz de coeficientes estendida

Insumos X Setor	Setores			Unidade medida
	Setor 1	Setor 2	Setor 3	
	<b>Bioeconomia</b>			
Energia de Biomassa 1				
Energia de Biomassa 2		<i>BY</i>		<i>tEP</i>
	<b>Matriz Energética</b>			
Energia Fóssil 1				
Energia Fóssil 2				
Energia de Fluxo 3		<i>RY</i>		<i>tEP</i>
Energia de Estoque 4				
	<b>Economia</b>			
Setor 1				
Setor 2		<i>AY</i>		\$
Setor 3				

Elaboração própria.

### 3.1.1 Base de dados

Para a aplicação da metodologia descrita acima, foi necessário recorrer a alguns procedimentos. Primeiramente, adotaram-se uma matriz IP do tipo *setor por setor*<sup>10</sup>, elaborada, com certa periodicidade, pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS, 2016), e uma matriz energética, publicada no BEN (Balanço Energético Nacional) (EPE, 2019). A matriz IP é referente a 2013 e desagregada em 68 setores consumidores, enquanto a matriz energética, cujo ano-base é 2018, apresenta 24

<sup>9</sup> O custo energético aqui tem sentido ambíguo, porque se refere tanto a Eq. (6) quanto a Eq. (7).

<sup>10</sup> Atualmente o IBGE disponibiliza matriz IP do tipo *produto por setor*, esse tipo de agregação não é adequado para esse trabalho porque impõe obstáculos na compatibilização.

fontes de energia, disponíveis em tEP (Tonelada Equivalente de Petróleo), e 19<sup>11</sup> setores intermediários. A compatibilização entre os setores de ambas as matrizes foi efetuada com base no Cadastro Nacional de Atividade Econômica 2.0 (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006) e o grau de homogeneidade de suas atividades, conforme a literatura

(FIRME; PEROBELLI, 2012; MONTOYA et al., 2015; SANTIAGO; DE MATTOS; PEROBELLI, 2011). Como resultado, tanto a matriz energética quanto a IP tradicional foram agregadas em 14 grandes setores (Quadro 2). No Anexo A (p. 52) está disponível a alocação dos setores.

Como há divergência entre os anos-base das matrizes econômica (2013) e energética (2018), optou-se por dar um choque de 1,28% na demanda final ( $F$ ) da matriz IP (Eq. (2)). Essa variação corresponde à taxa<sup>12</sup> de crescimento do PIB de 2013 ( $t_{-1}$ ) a 2018 ( $t$ ). O procedimento adotado recalculou as demandas intersetoriais deflagradas pela mudança no produto econômico verificada entre 2013 e 2018. Embora não se trate exatamente de uma atualização de valores, contorna-se, por assim dizer, a defasagem da matriz econômica, mais antiga, em relação à matriz energética, mais atual. Como exigem os pressupostos do modelo de insumo-produto clássico (MILLER; BLAIR, 2009), o artifício de cálculo empregado mantém constantes os coeficientes técnicos de insumo observados em 2013 (último dado disponível). Entretanto, de acordo com a Eq. (2), imprime às demandas intersetoriais os reajustamentos deflagrados pelo crescimento observado da demanda final de 2013 a 2018. Assim, a matriz-base utilizada para extrair os encadeamentos recebe a seguinte notação:

$$Y^{\alpha} = (I - A)^{-1}F^{\alpha} \quad (2)'$$

em que  $F^{\alpha}$  representa o vetor de demanda final após a multiplicação por 1,28%. O termo  $Y^{\alpha}$  denota o novo produto econômico. Para manter  $A$  constante, foi utilizada  $Y^{\alpha'}$  como uma matriz diagonal, a qual foi multiplicada pela matriz de coeficientes técnicos Eq. (3). Note-se que  $A$  em (2) e (2)' é o mesmo, mantendo os pressupostos do modelo.

A matriz compatibilizada está no Anexo B (p. 54), a matriz 2018 está no Anexo C (p. 56). Em relação às matrizes estendidas, foram utilizados 13 insumos energéticos e 5

<sup>11</sup> Na verdade são 21 setores, o consumo residencial e o consumo não identificado foram excluídos da elaboração da matriz estendida.

<sup>12</sup> A fórmula corresponde a  $t/t - 1$ .

bioenergéticos, conforme a disponibilidade da informação. No Quadro 2 estão presentes os setores e insumos que compõem as matrizes energética, Anexo D (p.58) e bioenergética, Anexo E (p. 60).

<b>14 Grandes Setores</b>	<b>13 Insumos Energéticos</b>	<b>5 Insumos Bioenergéticos</b>
Agropecuária	Lenha	Lenha
Mineração e Pelotização	Prod. Cana	Lixívia
Produtos de Minerais não-metálicos	Gás Natural	Prod. Cana
Metalurgia	Energia Eólica	Biodiesel
Não-Ferrosos e outros da metalurgia	Energia Solar	Álcool Etílico
Papel e Celulose	Energia Hidráulica	
Química	Carvão Vapor	
Têxtil e Vestuário	Biodiesel	
Alimentos e Bebidas	Carvão Vegetal	
Comércio e Serviços	Álcool Etílico	
Transportes	Coque Carvão Mineral	
Público	Derivados de Petróleo	
Outros Setores da Indústria	Gás Cidade	
Setor Energético		

Quadro 2 - Relação de setores, insumos energéticos e bioenergéticos utilizados

Elaborado pelo autor

Para tentar captar o efeito do consumo energético derivado do petróleo na atividade produtiva brasileira, foi agregado na linha “derivados de petróleo” o consumo de óleo diesel, de óleo combustível, de gasolina, de GLP (gás liquefeito de petróleo) e de querosene. Por outro lado, o consumo de energia do grupo “eletricidade” foi desagregado em energia hidráulica (66,6%), eólica (7,5%) e solar (0,5%), totalizando 74,6% conforme indica o relatório emitido pela Empresa de Pesquisa e Energia (EPE, 2019).

### 3.2 EFEITOS DE ENCADEAMENTO

Desde a formulação do modelo analítico de Hirschman (1961), as matrizes inversas dos modelos de Insumo-Produto (IP) são amplamente utilizadas para rastrear as ligações tecnológicas para frente (FL) e para trás (BL). Conjuntamente, esses indicadores mostram quais produtos (linhas) e quais setores (colunas) tem efeito multiplicador no crescimento

econômico acima da média. Por conta da interdependência tecnológica existente entre as atividades, os setores acima da média são considerados setores-chaves da atividade econômica que podem estimular as outras atividades no sentido de Hirschman (JONES, 1976). Enquanto os encadeamentos verticais, ou “para trás”, denotam a composição dos *inputs*, os encadeamentos horizontais, ou “para frente”, referem-se à alocação dos *outputs*. Em outras palavras, essas matrizes informam de onde os produtos e/ou insumos vêm e para onde eles vão (TEMURSHOEV, 2004). Isso significa que os encadeamentos para trás estão relacionados com a oferta de insumos para determinado setor, e encadeamentos para frente, com a utilização do produto de determinada atividade como insumo por outra (JONES, 1976). Esse tipo de análise pode ser encontrado em Beyers (1976), Andreosso-O’Callaghan e Yue (2004), Temurshoev (2004), Cristóbal e Biezma (2006) e Marconi, Rocha e Magacho (2016).

Na presente pesquisa, para obter os efeitos de encadeamento da atividade econômica, conforme os autores supracitados, e os encadeamentos do consumo energético, deve-se, primeiramente, substituir a Eq. (5) na Eq. (8) e na Eq. (9):

$$Z = B[(I - A)^{-1}F] \quad (10)$$

$$R = C[(I - A)^{-1}F] \quad (11)$$

Tanto na Eq. (10) quanto na Eq. (11), a carga energética consumida pelas relações na Eq. (4) é modulada pelas matrizes híbridas **B** e **C**. Conseqüentemente, ao se derivarem as Eqs. (5), (10) e (11) em relação à **F**, obtêm-se os *multiplicadores de insumo* Eq. (12) e os *de depleção* de insumos bioenergéticos Eq. (13) e energéticos Eq. (14) (GIACOMELLI SOBRINHO, 2015; MILLER; BLAIR, 2009)

$$dY/dF = (I - A)^{-1} = L \quad (12)$$

$$dZ/dF = B(I - A)^{-1} = K \quad (13)$$

$$dR/dF = C(I - A)^{-1} = V \quad (14)$$

Por meio das matrizes **L**, **K** e **V**, podem-se calcular os efeitos de encadeamento que se manifestam através dos fluxos de produto e recursos energéticos das atividades econômicas. Contudo, se por um lado, a soma dos elementos localizados nas colunas das matrizes **L**, **V** e **K** fornecem os requerimentos totais de *insumos econômicos* e *recursos bio/energéticos*

ponderados pelo produto do setor  $j$ , que são necessários para medir os encadeamentos para trás, por outro lado, a soma das linhas dessas mesmas matrizes não é uma medida adequada para mensurar os encadeamentos para frente. É que as matrizes  $L$ ,  $V$  e  $K$  foram construídas a partir da matriz inversa de compras (matriz de insumos), com base na matriz  $A$  obtida pela Eq. (2). De acordo com Jones (1976, p. 327), “a soma das linhas da matriz inversa de Leontief [...] não fornece uma medida de encadeamentos para frente simétrica à fornecida pelas colunas para os encadeamentos para trás”. Para obter os encadeamentos verticais, Jones (1976) propõe transformar a matriz  $L$  em uma matriz inversa de vendas (matriz de produtos). Por conta disso a matriz  $A$  deve ser substituída por outra matriz, denominada  $A^*$ , que tem seus elementos definidos como:

$$a_{ij}^* = y_{ij}/Y_i \quad (15)$$

Com procedimentos algébricos semelhantes aos da Eq. (2), pode-se extrair das matrizes (8) e (9) novos multiplicadores, dos quais serão extraídos, a partir da leitura vertical da matriz insumo-produto, os encadeamentos para frente. Formalmente, a Eq. (1) pode ser reescrita como:

$$Y' = y + P \quad (16)$$

onde  $Y'$  é uma matriz transposta. Da Eq. (15) se obtém:

$$y_{ij} = a_{ij}^* Y_i \quad (17)$$

com alguns procedimentos algébricos na Eq. (16), pode-se chegar a:

$$Y' = Y'A + P \quad (18)$$

$$Y' = P(I - A)^{-1} \quad (19)$$

Conforme Miller e Blair (2009), a Eq. (16) equivale a:

$$Y = (I - A^{*'})^{-1} P' \quad (20)$$

De modo semelhante, com alguns ajustamentos nas Eqs. (8) e (9) vem que:

$$Z' = Y'B' \quad (21)$$

e

$$R' = Y'C' \quad (22)$$

ao substituir a Eq. (19) nas Eq. (21) e (22), se obtém:

$$Z' = P(I - A)^{-1}B' \quad (23)$$

e

$$R' = P(I - A)^{-1}C' \quad (24)$$

Ao tomar as derivadas em relação a  $\mathbf{F}$ , as Eqs. (5), (10) e (11) foram transformadas nas Eq. (12), (13) e (14). Da mesma maneira, só que agora em relação a  $\mathbf{P}$ , Eqs. (19), (23) e (24), transformam-se em:

$$dY'/dP = (I - A^*)^{-1} = L^* \quad (25)$$

$$dZ'/dP = (I - A^*)^{-1}B' = dZ/dP' = B(I - A^{*'})^{-1} = K^* \quad (26)$$

$$dR'/dP = (I - A^*)^{-1}C' = dR/dP' = C(I - A^{*'}) = V^* \quad (27)$$

Dessa forma, as médias dos somatórios das linhas de  $L^*$ ,  $K^*$  e  $V^*$  e das colunas  $L$ ,  $K$  e  $V$  são utilizadas para construir razões em relação à média total dessas mesmas matrizes. São essas razões que definem os encadeamentos para trás,  $BL_j$  (28), e para frente,  $FL_{i,h,s}$  (29).

$$BL_j = \frac{\frac{1}{\bar{W}} T_j}{\frac{1}{\bar{W} \times J} \sum_{j=1}^J T_j} \quad (28)$$

$$FL_{i,h,s} = \frac{\frac{1}{J} T_{i,h,s}^*}{\frac{1}{\bar{W} \times J} \sum_{i,h,s=1}^W T_{i,h,s}^*} \quad (29)$$



onde  $\mathbf{T}$  e  $\mathbf{T}^*$  representam, respectivamente, matrizes genéricas para as matrizes  $\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{V}$  e  $\mathbf{L}^*$ ,  $\mathbf{K}^*$ ,  $\mathbf{V}^*$ ;  $T_{i,h,s}^*$  é o somatório da linhas e  $T_j$  o somatório das colunas, ambos da matriz genérica  $\mathbf{T}$ ; os elementos das colunas  $j = 1, \dots, J$  referem-se às indústrias; enquanto  $i, h, s = 1, \dots, W$  refere-se as linhas; as condições descritas como  $i = j = 1, \dots, W$  sendo que,  $h \geq j$  e  $s \geq j$ , indicam que as matrizes  $\mathbf{L}$  e  $\mathbf{L}^*$ , referente ao modelo IP mais básico são quadradas, enquanto que no modelo estendido com recursos bio/energéticos,  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{V}$ ,  $\mathbf{K}^*$  e  $\mathbf{V}^*$ , são retangulares. Isso significa que pode haver mais ou menos produtos ou insumos energéticos  $i, h, s$  que setores econômicos.

Quando  $B_j > 1$  e  $FL_{i,h,s} > 1$ , tem-se determinada indústria alocada na coluna  $j$ , e determinado produto ou recurso bio/energético na linha  $i, h$  ou  $s$  que possuem efeitos de encadeamento acima da média. Noutras palavras, os encadeamentos para trás indicam o setor econômico mais dependente, enquanto os encadeamentos para frente apontam para o produto/recurso mais utilizado pela economia.

Relacionados com a oferta e demanda setorial, o  $BL_j$  e o  $FL_{i,h,s}$  podem ser complementados a razão (30):

$$BL_j / FL_{i,h,s} \quad (30)$$

que permite verificar o impacto de cada real investido no setor com maior  $BL_j$  no maior  $FL_{i,h,s}$ .

Também são utilizados indicadores de variabilidade das médias de cada linha e coluna. Este indicador permite identificar se a influência de um setor nas atividades econômicas é forte ou fraca. Quando a variabilidade é alta, a influência de determinado produto ou recurso bio/energético na economia se concentra em poucas atividades. Do contrário, quando a variabilidade é baixa, a influência se espalha por toda economia. Assim, considerando mais uma vez a matriz genérica  $\mathbf{T}$ , a Eq. (31) indica a variabilidade para os encadeamentos verticais, enquanto a Eq. (32) registra a variabilidade para os encadeamentos para frente, formalmente:

$$U_j = \frac{\sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{i,h,s=1}^W (T_{i,h,s,j} - \frac{1}{W} T_j)^2}}{\frac{1}{W} T_j} \quad (31)$$

$$U_{i,h,s} = \frac{\sqrt{\frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (T_{i,h,s,j}^* - \frac{1}{J} T_{i,h,s}^*)^2}}{\frac{1}{J} T_{i,h,s}^*} \quad (32)$$

O setor com os mais fortes encadeamentos para trás será aquele que possuir tanto  $BL_j > 1$  quanto  $U_j$  *baixo*, já o recurso bio/energético com os encadeamentos mais fortes será aquele que  $FL_{i,h,s} > 1$  e  $U_{i,h,s}$  *baixo*.

Na literatura, os índices de encadeamento (Eqs. (28) e (29)) foram utilizados por uma série de autores para mensurar as relações entre meio ambiente, a Tabela 3 apresenta alguns.

Tabela 3 - Relação de trabalhos que utilizaram a análise de encadeamentos (*para frente e para trás*) na análise ambiental de insumo-produto

Autor	Proposta	Extensão	Região	Conclusões*
Lin e Chang (1997)	Verificar o impacto do consumo de petróleo na qualidade ambiental e nas relações interindustriais.	Energia e poluentes	Taiwan	Os setores de geração de energia, os transportes, outros produtos químicos, minerais não metálicos, borracha, são identificados como setores importantes no que tange o impacto ambiental. Os investimentos nessas indústrias devem ser ajustado para uma melhor eficiência energética.
Lenzen (2003)	Identificar setores chaves em termos de fatores de produção ambientalmente importantes	Água, energia, uso da terra, poluentes.	Austrália	Indústrias de pastoreio, metais, química, têxtil, carne e laticínio, atacado e varejo, apresentam encadeamentos acima da média. Também, parte considerável da pressão ambiental e de recursos é exercida ao longo dos caminhos de exportação.
Tarancón e Del Rio (2007)	Identificar as relações intersetoriais em termos de emissões de CO <sub>2</sub> .	CO <sub>2</sub>	Espanha	As emissões dos setores de produção energética, alimentos, construção, transporte e residencial devem ser combatidas para que as emissões totais sejam reduzidas.
Zhao et al. (2015a)	Verificar os encadeamentos e as emissões setoriais de CO <sub>2</sub>	Energia relacionada ao CO <sub>2</sub>	África do Sul	Os encadeamentos totais de carbono do sistema industrial são de 171,32 milhões de toneladas (Mt). O que representa 81,58 Mt de ligações para trás e 89,71 Mt de ligações para frente.
Zhao et al. (2015b)	Investigar as relações industriais em termos de CO <sub>2</sub> .	CO <sub>2</sub>	China	Agências como mineração, petroquímica e minerais possuem grande produção e são exportadores líquidos de CO <sub>2</sub> . Enquanto a construção e outros serviços são importadores líquidos.
Beidari, Lin e Lewis (2017)	Analisar o consumo setorial de energia e as emissões de CO <sub>2</sub> .	Energia e CO <sub>2</sub>	África do Sul	O setor de eletricidade é o principal consumidor de energia e emissor de CO <sub>2</sub> .
He et al. (2019)	Análise do consumo de energético da Austrália	Energia	Austrália	Devido aos fortes encadeamentos, o setor de manufatura é o maior candidato à redução do consumo energético.

Elaboração pelo autor; \*são consideradas apenas as conclusões em termos de *linkages*

No geral, as análises da Tabela 3 foram efetuadas em cima dos *coeficientes de requerimentos* diretos, indiretos e totais de insumos energéticos e/ou poluentes. Grosso modo, essa medida indica que as relações de compra e/ou venda de um insumo entre os setores (ou regiões) está sendo feita em termos de energia ou poluentes (MILLER; BLAIR, 2009).

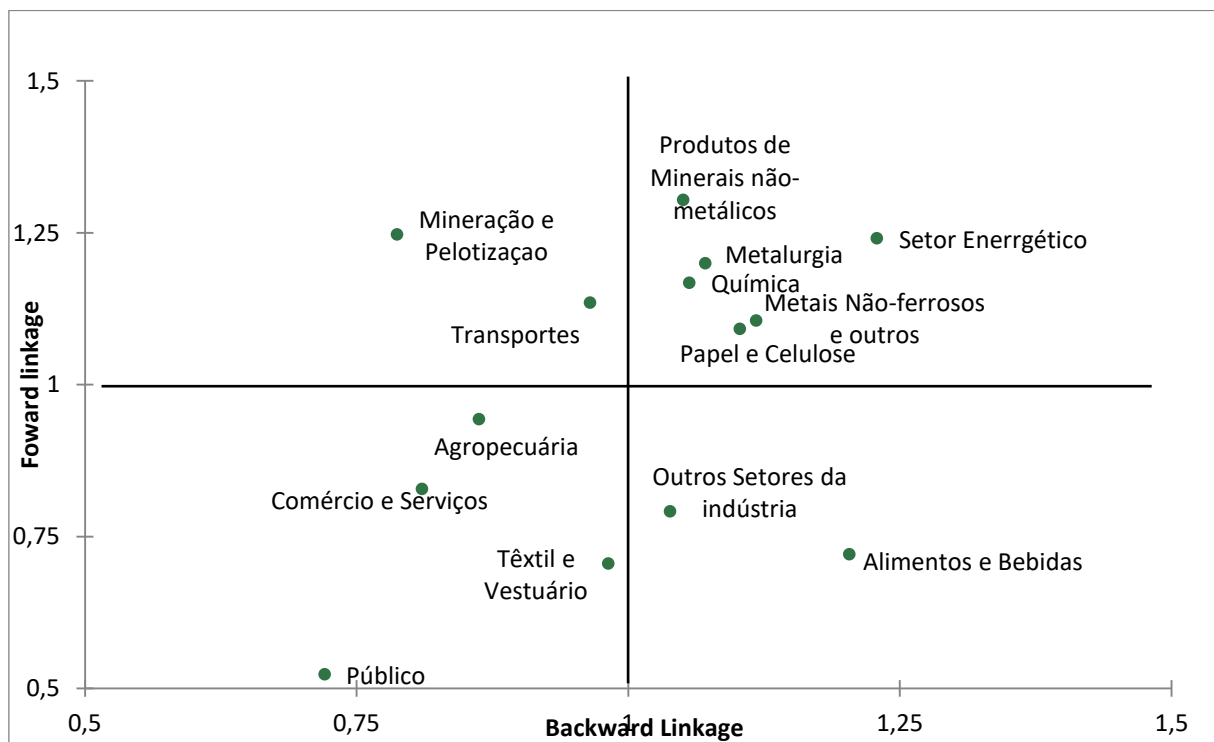
Mas desde que a expansão da produção implique o consumo de recursos energéticos (Quadro 1), estabelece-se uma relação íntima entre atividades produtivas e o meio ambiente. Logo, a intensidade tecnológica que suporta a produtividade do sistema econômico pode coincidir com uma intensidade ecológica insustentável no longo prazo. De outro modo, tratando-se do progresso bioeconômico, a análise em um modelo de Insumo-Produto Ampliado (IPA), permite avaliar em que medida a interdependência tecnológica dos setores de atividade intensifica a depleção dos recursos naturais (coeficientes tecnológicos e de depleção na Tabela 2). Diferente da análise estritamente econômica de IP, quando é avaliada a expansão da atividade econômica por meio dos principais setores (matrizes  $L$  e  $L^*$ ), a lógica do modelo ampliado pode sugerir também que elevados encadeamentos devam ser controlados e os investimentos, quando necessários, devem recair sobre setores menos dependentes (matrizes  $K, V, K^*$  e  $V^*$ ), porque o controle e a baixa interdependência tecnológica com demais setores ajudam a mitigar efeitos negativos da atividade econômica (GIACOMELLI SOBRINHO, 2015). Afinal, o avanço para a bioeconomia não será completo sem limitar a expansão dos setores que intensificam a utilização dos recursos não bioeconômicos.

Embora não seja suficiente, a interdependência tecnológica é necessária para os efeitos de encadeamentos. Na verdade, elevada interdependência sugere encadeamentos potenciais cuja relação causal deve ser examinada logo depois. Por fim, ainda que inexistam vínculos causais, os encadeamentos podem reunir algum significado econômico. Por exemplo, Jones (1976) destaca que o setor elétrico possui elevados índices de encadeamentos para frente. Contudo, esta relação não é causal porque a expansão desse setor é vista como resultado da expansão de setores usuários com fortes encadeamentos para trás. Nesse mesmo sentido, as relações de causalidade dos recursos naturais com elevados encadeamentos para frente podem ser relacionadas às atividades de indústrias usuárias com elevados encadeamentos para trás.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os efeitos captados pelos BL e FL estão relacionados aos fornecimentos de insumos de uma atividade para outra (BL) e à utilização dos produtos de determinada atividade como insumos em outra (FL), ou seja, os produtos de uma determinada atividade induzirão tentativas de utilizá-lo como insumo em algumas novas atividades (HIRSCHMAN, 1961; TEMURSHOEV, 2004). Dessa forma, na análise mais básica dos indicadores de Hirschman-Rasmussen é possível verificar o comportamento da estrutura interna de atividades da economia e identificar setores-chave, que podem ser independentes ou dependentes da demanda e oferta interindustrial (MARCONI; ROCHA; MAGACHO, 2016).

Gráfico 1 - Índices *para frente* (Forward Linkages, FL) e *para trás* (Backward Linkages, BL), Brasil, 2018



Elaborado pelo autor com base em Marconi, Rocha e Magacho (2016).

Localizadas no quadrante superior direito, estão atividades com elevado potencial para impulsionar as demais e os principais fornecedores de insumos da economia ( $FL_i BL_j > 1$ ). Os setores-chave do Brasil são: Fabricação de Produtos Minerais não Metálicos, Setor Energético, Metalurgia, Química, Metais não Ferrosos e outros, Papel e Celulose. Como se

nota, o Setor Energético ( $BL_j = 1,23$ ) é o setor mais dependente, enquanto o produto do setor Fabricação de Produtos Minerais não Metálicos ( $FL_i = 1,30$ ) é o mais básico nas atividades econômicas (Gráfico 1 e Tabela 4).

Esse resultado não é de todo surpreendente, porque a Fabricação de Produtos Minerais Não-Metálicos faz parte da cadeia da construção (cimento, cerâmica, gesso, dentre outros), que, juntamente com o setor energético, foi alvo do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento), nas regiões mais pobres do país. Esse programa procurou viabilizar projetos que se concentravam na ampliação e melhoria da infraestrutura logística e energética do país. Muito dessa iniciativa foi motivada não só pela mão de obra barata e expansão do mercado consumidor, mas também pela integração competitiva internacional dos setores intensivos em recursos naturais (COELHO, 2017).

Por outro lado, não deixam de ser curiosos os baixos encadeamentos internos da Agropecuária e do grupo Têxtil e Vestuário, que, junto com as atividades Comércio e Serviços e Público, estão localizada no quadrante inferior esquerdo, onde predominam atividades menos dependentes das demais ( $BL_j, FL_i < 1$ ), (Gráfico 1). Nas estimativas de Marconi, Rocha e Magacho (2016) para o período 2000-2009, esse quadrante é dominado pelos produtos *non-tradeables* (aqui representados por público e comércio e serviços, Gráfico 1). Para eles, esse resultado indica algum grau de interdependência entre atividades manufatureiras desenvolvido ao longo do Programa de Substituição de Importações (PSI). De certa forma esse resultado também é observado no Gráfico 1. Contudo, a presença da Agropecuária e do grupo Têxtil e Vestuário como setores independentes sugere um relativo descolamento dessas atividades ante a produção de insumos e a demanda interindustrial brasileira. Embora não seja uma hipótese suficiente, é razoável supor que os baixos encadeamentos internos da Agropecuária e da atividade Têxtil e Vestuário esteja relacionada a elevados encadeamentos externos, no que tange a demanda de insumos e oferta de produtos ao mercado internacional.

No quadrante superior esquerdo ( $FL_i > 1; BL_j < 1$ ), estão setores com baixa capacidade de aumentar a produção nas demais atividades da economia, mas que dependem da demanda intersetorial (Transportes e Mineralização e Pelotização). No quadrante inferior direito ( $FL_i < 1; BL_j > 1$ ), localizam-se setores dependentes da oferta interindustrial (Alimentos e Bebidas e Outros Setores da Indústria) e cujas atividades estimulam a produção de bens intermediários nos demais setores da indústria.

Tabela 4 - Setores de atividades e índices de encadeamento

<b>Setores</b>	<b><math>BL_j</math></b>	<b><math>FL_i</math></b>
Agropecuária	0,86	0,94
Mineração e Pelotização	0,79	1,25
Produtos de Minerais não-metálicos	1,05	<b>1,30</b>
Metalurgia	1,07	1,20
Metais não-ferrosos e outros	1,12	1,11
Papel e Celulose	1,10	1,09
Química	1,06	1,17
Têxtil e Vestuário	0,98	0,71
Alimentos e Bebidas	1,20	0,72
Comércio e Serviços	0,81	0,83
Transportes	0,97	1,13
Público	0,72	0,52
Outros Setores da Indústria	1,04	0,79
<b>Setor Energético</b>	<b>1,23</b>	1,24

Elaborado pelo autor.

Agora, diferente da análise mais básica dos indicadores de Hirschman-Rasmussen descrita nas linhas acima, no modelo ampliado, ponderado pelos insumos energéticos consumidos na estrutura produtiva, é possível identificar o insumo bio/energético mais utilizado na economia brasileira ( $FL_{s,h}$ ) e o setor que mais dele depende ( $BL_j$ ).

Quando se consideram as principais fontes de recursos da matriz energética, o maior  $BL_j$  corresponde ao setor de Transportes (3,30), ao passo que o maior  $FL_s$ , isto é, o insumo mais utilizado corresponde ao grupo Derivados de Petróleo (3,63). Embora o setor de transportes seja o maior responsável pela disseminação desses insumos, o consumo dessa fonte energética está relativamente concentrado em poucos setores ( $U_s = 1,44$ ) e ( $U_j = 2,16$ ), (Tabela 5).

Por certo, essa relação se estabeleceu no país porque houve desenvolvimento de um sistema modal rodoviário para transporte de pessoas e cargas, cujo objetivo principal foi integrar o território nacional para atender as demandas do período de industrialização pesada da economia brasileira a partir da década de 1950 (BARAT, 1978). Apesar dos esforços empreendidos para diversificar a matriz energética após o primeiro choque do petróleo ocorrido em meados da década de 1970, “a associação entre petróleo e transporte rodoviário

constitui-se [...] em um sistema tecnológico dominante [...] na economia brasileira (FURTADO, 2019, p. 156)”, porque a expansão da oferta de insumos energéticos derivados de petróleo no país ficou atrelada ao dinamismo do setor de transporte no que tange ao consumo de gasolina automotiva e óleo diesel. É como se o esforço de diversificar a matriz energética acabasse por aprisionar o consumo interno de derivados de petróleo a um sistema tecnológico firmado no binômio petróleo-transporte rodoviário que é pouco flexível a novos padrões de inovação (FURTADO, 2019; TADEU, 2010).

Tabela 5 - Linkages e coeficientes de variação da matriz com insumos energéticos

Setores	$BL_j$	$U_j$	Insumos Energéticos	$FL_s$	$U_s$
Agropecuária	0,56	1,46	Lenha	1,36	1,23
Mineração e Pelotização	0,40	1,49	Prod. Cana	1,62	1,30
Produtos de Minerais não-metálicos	1,12	1,27	Gás Natural	1,54	0,71
Metalurgia	1,71	1,15	Eólica	0,19	0,79
Metais não-ferrosos e outros	1,38	1,27	Solar	0,01	0,79
Papel e Celulose	1,57	1,27	Hidráulica	1,71	0,79
Química	0,58	1,29	Carvão Vapor	0,60	1,22
Têxtil e Vestuário	0,33	1,26	Biodiesel	0,20	1,58
Alimentos e Bebidas	1,20	1,57	Carvão Vegetal	0,36	1,83
Comércio e Serviços	0,23	1,25	Álcool Etílico	0,72	1,87
<b>Transportes</b>	<b>3,30</b>	<b>2,16</b>	Coque Carvão Mineral	0,92	1,76
Público	0,15	1,37	<b>Derivados de Petróleo</b>	<b>3,63</b>	<b>1,44</b>
Outros Setores da Indústria	0,53	1,01	Gás Cidade	0,14	1,87
Setor Energético	1,13	1,73			

Elaborado pelo autor.

Desafortunadamente, o consumo de energia fóssil é o componente principal da preocupação humana e sua interferência nos ciclos globais de carbono (SMIL, 2019). No caso brasileiro, a redução do uso de insumos derivados de petróleo requer o controle das atividades do setor de transportes. Caso contrário, se investimentos públicos e/ou privados recaírem nesse setor, para cada real investido em transportes, a promoção desse insumo será de R\$ 0,91 (Eq. (30)).

Ao considerar os encadeamentos intersetoriais de um modelo bioeconômico de desenvolvimento, o setor que detém o maior  $BL_j$  é o de Papel e Celulose (4,76), enquanto o

insumo bioenergético com o maior  $FL_h$  corresponde à Lixívia (1,71). Tal como a relação entre o setor de transportes e os insumos derivados de petróleo, o consumo dessa fonte energética está relativamente concentrado em poucos setores ( $U_s = 2,00$ ) e ( $U_j = 1,48$ ), (Tabela 6).

Tabela 6 - Linkages e coeficientes de variação da matriz com insumos bioenergéticos

Setores	$BL_j$	$U_j$	Insumos Bioenergéticos	$FL_h$	$U_h$
Agropecuária	0,48	0,98	Lenha	1,15	1,23
Mineração e Pelotização	0,25	1,08	<b>Lixívia</b>	<b>1,71</b>	<b>2,00</b>
Produtos de Minerais não-metálicos	1,16	1,35	Prod. Cana	1,37	1,30
Metalurgia	0,37	0,90	Biodiesel	0,16	1,57
Metais não-ferrosos e outros	0,29	1,21	Álcool Etílico	0,61	1,86
<b>Papel e Celulose</b>	<b>4,76</b>	<b>1,48</b>			
Química	0,39	0,94			
Têxtil e Vestuário	0,27	0,66			
Alimentos e Bebidas	1,37	1,39			
Comércio e Serviços	0,18	0,80			
Transportes	2,74	1,15			
Público	0,10	0,94			
Outros Setores da Indústria	0,30	0,67			
Setor Energético	1,31	1,96			

Elaborado pelo autor.

Contextualizado em um mercado de alta competitividade internacional, o setor de papel e celulose é um ramo intensivo em recursos naturais e capital, onde 100% da produção brasileira tem origem em florestas plantadas (SOUSA et al., 2018). Por conta disso, a produção de madeira e, conseqüentemente, a energia, que fazem parte da cadeia de produção de papel e celulose (OLIVEIRA; PEREIRA; NASCIMENTO, 2018), tornam a sustentabilidade do processo produtivo um importante vetor de competição internacional.

Contudo, embora o setor seja considerado energo-intensivo (BAJAY; GORLA; BORDONI, 2009), em muito, os resultados encontrados são explicados pela autossuficiência energética dos produtores de celulose que aproveitam a biomassa da madeira não utilizada no processo produtivo. Na verdade, o subproduto da produção de celulose, a lixívia ou licor negro, é reprocessado na caldeira de recuperação, e parte da energia gerada no processo é



transformada em energia elétrica, com o excedente destinado à venda para sistema (HORA; NADER; MENDES, 2018).

Em todo caso, em função dos resultados encontrados, o setor Papel e Celulose é o principal responsável pela disseminação de Lixívia na economia brasileira. Logo, a expansão dessa fonte de energia depende do crescimento desse setor (Tabela 6); Em outros termos, para cada real investido no setor de papel e celulose, as vendas de produtos derivados da lixívia aumentam em R\$ 2,78 (Eq. (30)).

## 5. CONCLUSÃO

Historicamente, os índices de encadeamento forneceram um critério objetivo para a tomada de decisões e elaboração de política econômica. Neste trabalho, procurou-se demonstrar como eles podem ser úteis à formulação integrada das políticas econômicas e energética. Ao adicionar os insumos bio/energéticos no modelo de IP transformando-o em um modelo IPA, por meio dos índices de encadeamento pode-se verificar qual insumo energético é o mais demandado ( $FL$ ), bem como a atividade econômica que dele mais depende ( $BL$ ).

Com base nisso, considerando os fluxos físicos de consumo bio/energético na estrutura produtiva brasileira (Eqs. (6) e (7)) foram elaborados os multiplicadores de depleção de recursos bio/energéticos (matrizes  $K, K^*, V$  e  $V^*$ ). Os resultados do modelo estendido com a matriz energética (Tabela 5) indicaram que o setor de Transportes ( $BL_j$ ) é o mais dependente dos insumos Derivados de Petróleo ( $FL_s$ ). Ao considerar a matriz bioenergética (Tabela 6), verificou-se que a atividade de Papel e Celulose ( $BL_j$ ) é dependente do consumo de Lixívia ( $FL_h$ ).

Como se nota, os resultados do modelo ampliado são diferentes do modelo tipicamente monetário (matrizes  $L$  e  $L^*$ ), que identificou no setor Energético ( $BL_j$ ) e nos Produtos de Minerais não-metálicos ( $FL_i$ ) as principais atividades da economia brasileira (Tabela 4). Na verdade, não só os resultados são diferentes, mas também a interpretação dos *linkages* no modelo estendido *pode* ser diferente, no sentido de ser muito mais uma análise de controle e dispersão de efeitos indesejados da atividade econômica, do que estímulo à atividade produtiva indutora.

Dado que os recursos energéticos são a base das atividades econômicas, em vez de buscar pela redução ou promoção deles à deriva, a política energética pode-se beneficiar da informação gerada nos modelos IPA e concentrar-se nas ligações tecnológicas das atividades mais dependentes (índices de ligação para trás acima da média). Por exemplo, por definição, o impulso bioeconômico pode ser proporcionado por meio do controle da tecnologia fóssil e a partir de setores capazes de disseminar a tecnologia bioenergética através dos encadeamentos intersetoriais da economia. Portanto, uma estratégia de desenvolvimento bioeconômica favoreceria investimentos no setor de Papel e Celulose. Ao passo que o setor de transportes seria prejudicado, porque está diretamente ligado aos Derivados de Petróleo. Tal proposta é *relativamente* diferente da política de crescimento econômico de Hirschman, que enxergou nos *linkages* um caminho para o desenvolvimento econômico.

Complementarmente, as relações encontradas foram examinadas na literatura. Os resultados foram satisfatórios. Primeiramente, porque identificou na economia brasileira o que parece ser uma tendência histórica do setor de transporte modal rodoviário firmar-se no consumo de energias derivadas de petróleo. Em segundo lugar, percebe-se no setor de Papel e Celulose uma biorrefinaria, porque a lixívia é um resíduo da produção utilizado em forma de combustível na indústria de celulose.

Em essência, isso significa que a hipótese dos encadeamentos, alinhada ao instrumento aos modelos de insumos ambientais (IPA), parecem adequados ao cenário de transição energética.

Apesar dos resultados apresentados, este trabalho possui algumas limitações. Primeiramente, o modelo é estático, o vetor tempo ficou à margem da análise. Em segundo lugar, infelizmente a agregação reduz drasticamente o número de setores. Por fim, não foi considerado o potencial da biomassa, estimado com base em fatores biofísicos.

De resto, estas limitações podem servir como insumos para futuras pesquisas. Mas também outras mais podem ser sugeridas. Por exemplo, a inclusão da economia circular na análise demandaria apenas um critério de seleção com subprodutos reutilizados na produção setorial.

## REFERÊNCIAS

- ANDREOSSO-O'CALLAGHAN, B.; YUE, G. Intersectoral Linkages and Key Sectors in China, 1987-1997. **Asian Economic Journal**, v. 18, n. 2, p. 165–183, 2004. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-8381.2004.00188.x>>. Acesso em: 1 jan. 2020.
- ANEEL. **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL - Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)**, 2002.
- AYRES, Robert U.; KNEESE, Allen V. Production , Consumption , and Externalities. **The American Economic Review**, v. 59, n. 3, p. 282–297, 1969.
- BAJAY, Sergio Valdir; GORLA, Filipe Debonzi; BORDONI, Orlando Frederico José Godoy. Os Segmentos Industriais Energo-Intensivos De Maiores Potenciais Técnicos De Conservação De Energia No Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, p. 89–107, 2009.
- BARAT, Josef. **A evolução dos transportes no Brasil**, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Instituto de Planejamento Econômico e Social, 1978.
- BEIDARI, Mohamed; LIN, Sue Jane; LEWIS, Charles. Multiplier effects of energy consumption and CO2 emissions by input-output analysis in South Africa. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 17, n. 6, p. 1566–1578, 2017.
- BEYERS, W. B. Empirical Identification of Key Sectors: Some Further Evidence. **Environment and Planning A: Economy and Space** , v. 8, n. 2, p. 231–236, 1976.
- BIANCHI, Ana Maria. Albert Hirschman na América Latina e sua trilogia sobre desenvolvimento econômico. **Economia e Sociedade**, v. 16, n. 2, p. 131–150, 2007.
- BRADSHAW, Michael J. Global energy dilemmas: A geographical perspective. **Geographical Journal**, v. 176, n. 4, p. 275–290, 2010.
- BRIDGE, Gavin et al. Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. **Energy Policy**, v. 53, p. 331–340, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>>
- BUGGE, Markus; HANSEN, Teis; KLITKOU, Antje. What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. **Sustainability**, v. 8, n. 7, p. 691, 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/8/7/691>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

CARUS, Michael et al. Proposals for a reform of the renewable energy directive to a renewable energy and materials directive. **Industrial Biotechnology**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 269–274, 2014

CNI. **Bioeconomia: uma Agenda para Brasil - Portal da Indústria - Confederação Nacional da Indústria (CNI)**. 2013. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/4/bioeconomia-uma-agenda-para-brasil/>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

COÊLHO, Vitarque Lucas Paes. A política regional do governo Lula (2003-2010). In: NETO, Aristides Monteiro; CASTRO, César Nunes De; BRANDÃO, Carlos Antonio (Eds.). **DESENVOLVIMENTO REGIONAL NO BRASIL políticas, estratégias e perspectivas**. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017. p. 65–98.

D'AMATO, D. et al. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 716–734, 2017.

DALY, Herman E. On Economics as a Life Science. **The University of Chicago Press**, v. 76, n. 3, p. 392–406, 1968.

DALY, Herman E. The Economics of the Steady State. **American Economic Association**, v. 64, n. 2, p. 15–21, 1974.

DIAS, R. F.; DE CARVALHO, C. A. A. **Bioeconomy in Brazil and in the world: Current situation and prospects** *Revista Virtual de Química*, 2017. Disponível em: <<http://rvq.sbq.org.br>>. Acesso em: 28 dez. 2019.

EC. **Bioeconomy policy | Bioeconomy - Research & Innovation - European Commission (EC)**. 2012. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm?pg=policy&lib=strategy>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

EPE. **EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE)**. 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/>>.

ESTRADA, Adrian Alvarez. OS FUNDAMENTOS DA TEORIA DA COMPLEXIDADE EM EDGAR MORIN. **Akrópolis - Revista de Ciências Humanas da UNIPAR**, v. 17, n. 2, 2009.

FARLA, Jacco et al. Sustainability transitions in the making: A closer look at actors,

strategies and resources. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 6, p. 991–998, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.02.001>>

FAUCHEUX, Sylvie; NOEL, Jean-François. **Economia dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente**, 1995.

FIRME, Vinicius Azevedo Couto; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. O Setor Energético Brasileiro: Uma Análise Via Indicadores de Insumo-Produto e o Modelo Híbrido para os Anos de 1997 e 2002. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 39, 2012.

FURTADO, Tosi. Indústria do Petróleo e Gás Natural : uma vocação desperdiçada. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 14, p. 155–175, 2019.

GEORGESCU-ROEGEN, Nichoalas. **O decrescimento: entropia, ecologia e economia**. São Paulo, Brazil: Senac, 2012.

GGK. **South Africa The Bio-Economy Strategy | Green Growth Knowledge (GGK) Platform**. 2014. Disponível em: <<https://www.greengrowthknowledge.org/national-documents/south-africa-bio-economy-strategy>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

GIACOMELLI SOBRINHO, Valny. ECONOMIA SUSTENTÁVEL E OS MODELOS AMPLIADOS DE INSUMO-PRODUTO. Em: **Economia Ecológica**. Ciência & Ambiente ed. 50 Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

GOLDEMBERG, José. Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia Current and Prospects in the Use of Biomass for Energy Generation Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia. **Rev. Virtual Quim**, v. 9, n. 1, p. 15–28, 2017. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br>>

GUO, Mingxin; SONG, Weiping. The growing U.S. bioeconomy: Drivers, development and constraints. **New Biotechnology**, v. 49, p. 48-57, 2019.

HAUSKNOST, Daniel et al. A transition to which bioeconomy? An exploration of diverging techno-political choices. **Sustainability**, v. 9, n. 4, 2017.

HE, He et al. Assessing net energy consumption of Australian economy from 2004–05 to 2014–15: Environmentally-extended input-output analysis, structural decomposition analysis, and linkage analysis. **Applied Energy**, v. 240, p. 766–777, 2019.

HIRSCHMAN, Albert Olist. **Estratégia do desenvolvimento econômico**. [s. l.], 1961.

HORA, André Da; NADER, Leonardo; MENDES, Rodrigo. Papel e Celulose. Em: **Agendas Setoriais Para o Desenvolvimento**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS), 2018. p. 119–142.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas, versão 2.0 (CNAE 2.0)**. 2006. Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/documentacao/cronologia/204-concla/classificacao/portema/1365-cnae-2-0.html>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2018: Electricity. **Report**, p. 661, 2018. Disponível em: <[www.iea.org](http://www.iea.org)>

JONES, Leroy P. The Measurement of Hirschmanian Linkages. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 90(2), p. 323–333, 1976.

KNOWLER, Duncan. A review of selected bioeconomic models with environmental influences in fisheries. **Journal of Bioeconomics**, v. 4, n. 2, p. 163–181, 2002.

LENZEN, Manfred. Environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 14, n. 1, p. 1–34, 2003.

LEONTIEF, Wassily. Environmental Repercussions and the Economic Structure : An Input-Output Approach. **The Review of Economics and Statistics**, v. 52, n. 3, p. 262–271, 1970.

LEONTIEF, Wassily W. Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. **The Review of Economics and Statistics**, v. 18, n. 3, p. 105, 1936. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/1927837?origin=crossref>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

LEWIS, W. A. Some aspects of economic development. **Some aspects of economic development**, 1969.

LIN, Sue J.; CHANG, Yih F. Linkage effects and environmental impacts from oil consumption industries in Taiwan. **Journal of Environmental Management**, v. 49, n. 4, p. 393–411, 1997.

LOISEAU, Eleonore et al. Green economy and related concepts: An overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 361–371, 2016.

MARCONI, Nelson; ROCHA, Igor L.; MAGACHO, Guilherme R. Sectoral capabilities and productive structure: An input-output analysis of the key sectors of the Brazilian economy. **Revista de Economia Política**, v. 36, n. 3, p. 470–492, 2016.

MAY, Peter; LUSTOSA, Maria Cecília; VINHA, Valéria. **Economia do Meio Ambiente**. Elsevier Brasil, 2010.

MAYUMI, Kozo; GIAMPIETRO, Mario; GOWDY, John M. Georgescu-Roegen/Daly versus Solow/Stiglitz Revisited. **Ecological Economics**, v. 27, n. 2, p. 115–117, 1998.

MCCORMICK, Kes; KAUTTO, Niina. The Bioeconomy in Europe: An Overview. **Sustainability**, v. 5, n. 6, p. 2589–2608, 2013.

MILLER, Ronald E.; BLAIR, Peter D. **Input–Output Analysis: Foundations and Extensions**, 2009.

MONTOYA, Marco Antonio et al. As relações intersetoriais do setor energético na economia brasileira: uma abordagem insumo-produto. **Revista Teoria e Evidência Econômica** v. 21, n. 44, 2015.

MORIN, Edgar. **O paradigma perdido: a natureza humana**. ed. Lisboa, 1973,

NEREUS. **Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo**. 2016.

NORGAARD, R. B. **Development betrayed: the end of progress and a coevolutionary revisioning of the future**. 1994.

NORGAARD, Richard B. The Economics of Biological Diversity: Apologetics or Theory? In: **Sustainable Resource Development in the Third World**. p. 103–117, 1987.

NURKSE, Ragnar. Some International Aspects of the Problem of Economic Development. **American Economic Review**, v. 42, p. 571–583, 1952.

OECD. **The Bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda**. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 2009.

OLIVEIRA, Allison Bezerra; PEREIRA, Jesus Marmanillo; NASCIMENTO, Amanda Araújo. Cadeia Produtiva de Papel e Transformações no Sudoeste Maranhense. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 12, p. 135, 2018.

PERMAN, Roger et al. **Natural Resource and Environmental Economics**. 3. ed. Pearson Addison Wesley, 2003.



ROSTEIN-RODAN, P. N. Problems of Industrialisation of Eastern and South-Eastern Europe. **Economic Journal**, v. 53, p. 202–211, 1943.

SAN CRISTÓBAL, J. R.; BIEZMA, M. V. The mining industry in the European Union: Analysis of inter-industry linkages using input-output analysis. **Resources Policy**, v. 31, n. 1, p. 1–6, 2006.

SANTIAGO, Flaviane Souza; DE MATTOS, Rogério Silva; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. Um modelo integrado econométrico+insumo-produto para previsão de longo prazo da demanda de combustíveis no Brasil. **Nova Economia**, v. 21, n. 3, p. 423–455, 2011.

SEARS, Francis Weston; SALINGER, Gerald L. **Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística**, 1979.

SMIL, Vaclav. **ENERGY IN THE TWENTIETH CENTURY: Resources, Conversions, Costs, Uses, and Consequences**. Disponível em: <[www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)>. Acesso em: 27 dez. 2019.

SMIL, Vaclav. Reducing the Carbon and Sulfur load of the atmosphere assessing global decarbonization and desulfurization and the future of a low-carbon world. **Gaia**, v. 22, n. 4, p. 255–262, 2013.

SMIL, Vaclav. Examining energy transitions: A dozen insights based on performance. **Energy Research and Social Science**, v. 22, p. 194–197, 2016.

SMIL, Vaclav. What We Need to Know about the Pace of Decarbonization. **Substantia**, p. 69–73, 2019.

SOUSA, Paulo Renato de Paulino et al. Terceirização das Atividades Florestais na Indústria de Celulose e Papel. **Revista de Administração IMED**, v. 8, p. 260–280, 2018.

STAFFAS, Louise; GUSTAVSSON, Mathias; MCCORMICK, Kes. Strategies and policies for the bioeconomy and bio-based economy: An analysis of official national approaches. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 2751–2769, 2013.

TADEU, Hugo Ferreira Braga. **Cenários de Longo Prazo para o Setor de Transportes e Consumo**. 2010. Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais, 2010.

TARANCÓN, Miguel Ángel; DEL RÍO, Pablo. CO2 emissions and intersectoral linkages. The case of Spain. **Energy Policy**, v. 35, n. 2, p. 1100–1116, 2007.

TEMURSHOEV, Umed. Key Sectors in the Kyrgyzstan Economy. **CERGE-EI Discussion Paper Series No. 2004 – 135**, n. December 2004, 2004. Disponível em: <[https://www.cerge-ei.cz/pdf/dp/DP135\\_2004.pdf](https://www.cerge-ei.cz/pdf/dp/DP135_2004.pdf)>

TISSERANT, Alexandre et al. Solid Waste and the Circular Economy: A Global Analysis of Waste Treatment and Waste Footprints. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 628–640, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12562>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

UNFCCC. **THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE** (UNFCCC), 1992.

UNFCCC. **KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE UNITED NATIONS** (UNFCCC), 1998.

UNFCCC. **ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT AGREEMENT** (UNITED NATIONS FRAME WORK CONVERTION ON CLIMATE CHANGE), 2015.

USA. **National Bioeconomy Blueprint Released | whitehouse.gov**. 2012. Disponível em: <<https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2012/04/26/national-bioeconomy-blueprint-released>>. Acesso em: 1 jan. 2020.

VAN DER PLOEG, S. W. F.; BRAAT, L. C.; VAN LIEROP, W. F. J. Integration of resource economics and ecology. **Ecological Modelling**, v. 38, n. 1–2, p. 171–190, 1987.

ZHAO, Yuhuan et al. Linkage analysis of sectoral CO<sub>2</sub> emissions based on the hypothetical extraction method in South Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 916–924, 2015. a.

ZHAO, Yuhuan et al. Inter-regional linkage analysis of industrial CO<sub>2</sub> emissions in China: An application of a hypothetical extraction method. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 428–437, 2015. b.

## ANEXO A – AGREGAÇÃO E COMPATIBILIZAÇÃO DAS MATRIZES

(Continua)

<b>1</b>	<b>Agropecuária</b>
1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita
2	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária
3	Produção florestal; pesca e aquicultura
<b>2</b>	<b>Mineração e Pelotização</b>
4	Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos
5	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio
6	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração
7	Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos
<b>3</b>	<b>Produtos de minerais não-metálicos</b>
8	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos
<b>4</b>	<b>Metalurgia</b>
9	Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura
10	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos
<b>5</b>	<b>Metais não-ferrosos e outros</b>
11	Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais
<b>6</b>	<b>Papel e Celulose</b>
12	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel
<b>7</b>	<b>Química</b>
13	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico
14	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros
15	Fabricação de defensivos, desinfestantes, tintas e químicos diversos
16	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal
17	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos
<b>8</b>	<b>Têxtil e vestuário</b>
18	Fabricação de produtos têxteis
19	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios
20	Fabricação de calçados e de artefatos de couro
<b>9</b>	<b>Alimentos e Bebidas</b>
21	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca
22	Fabricação e refino de açúcar
23	Outros produtos alimentares
24	Fabricação de bebidas
25	Fabricação de produtos do fumo
<b>10</b>	<b>Comércio e Serviços</b>
26	Telecomunicações
27	Atividades imobiliárias
28	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
29	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores
30	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar
31	Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas
32	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação
33	Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D
34	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas
35	Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual
36	Outras atividades administrativas e serviços complementares
37	Atividades de vigilância, segurança e investigação
38	Educação privada
39	Saúde privada
40	Edição e edição integrada à impressão
41	Construção
42	Impressão e reprodução de gravações
43	Alojamento
44	Alimentação
45	Água, esgoto e gestão de resíduos

46	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos
47	Organizações associativas e outros serviços pessoais
48	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem
49	Serviços domésticos
<b>11</b>	<b>Transportes</b>
50	Transporte terrestre
51	Transporte aquaviário
52	Transporte aéreo
53	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio
<b>12</b>	<b>Administração Pública</b>
54	Administração pública, defesa e seguridade social
55	Educação pública
56	Saúde pública
<b>13</b>	<b>Outros Setores da indústria</b>
57	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos
58	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos
59	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos
60	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças
61	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores
62	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores
63	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas
64	Fabricação de produtos da madeira
65	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
<b>14</b>	<b>Setor Energético</b>
66	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades
67	Fabricação de biocombustíveis
68	Refino de petróleo e coquerias

Quadro 3 - Agregação setorial da matriz insumo-produto

Fonte: elaborado pelo autor

<b>1</b>	<b>Agropecuária</b>
1	Agropecuária
<b>2</b>	<b>Mineração e Pelotização</b>
2	Mineração e pelotização
<b>3</b>	<b>Produtos de minerais não-metálicos</b>
3	Cerâmica
4	Cimento
<b>4</b>	<b>Metalurgia</b>
5	Ferro-Gusa e Aço
6	Ferro-Ligas
<b>5</b>	<b>Metais não-ferrosos e outros</b>
7	Não-Ferrosos e outros da metalurgia
<b>6</b>	<b>Papel e Celulose</b>
8	Papel e Celulose
<b>7</b>	<b>Química</b>
9	Química
<b>8</b>	<b>Têxtil e Vestuário</b>
10	Têxtil
<b>9</b>	<b>Alimentos e Bebidas</b>
11	Alimentos e Bebidas
<b>10</b>	<b>Comércio e Serviços</b>
12	Comercial
<b>11</b>	<b>Transportes</b>
13	Rodoviário
14	Ferrovário
15	Aéreo
16	Hidroviário
<b>12</b>	<b>Administração Pública</b>
17	Público
<b>13</b>	<b>Outros Setores</b>
18	Outros
<b>14</b>	<b>Setor Energético</b>
19	Setor Energético

Quadro 4 - Agregação setorial matriz energética

Fonte: Elaborado pelo autor

## ANEXO B – MATRIZ INSUMO-PRODUTO AGREGADA, ANO 2013

Tabela 7 - Matriz insumo-produto brasileira agregada em 14 setores, 2013

<b>ECONOMIA (mil)</b>							
<b>Matriz Insumo-Produto do tipo Setor por Setor (14x14)</b>	<b>Agropecuária</b>	<b>Mineração e Pelotização</b>	<b>Produtos de Minerais Não-Metálicos</b>	<b>Metalurgia</b>	<b>Metais-não Ferrosos e Outros Metais</b>	<b>Papel e Celulose</b>	<b>Química</b>
<b>Agropecuária</b>	19492,89691	27,91498638	187,9874241	631,796267	41,96476569	2965,382091	1653,2468
<b>Mineração e Pelotização</b>	413,1448835	8966,599634	5225,587294	16721,97346	6130,68615	656,7091084	4688,2178
<b>Produtos de minerais não-metálicos</b>	3693,053327	220,5560613	8207,027053	373,9405666	20,76782898	145,5541347	1315,6895
<b>Metalurgia</b>	1164,663129	3196,334311	936,3657329	36006,40378	1280,559869	213,8546688	2664,1479
<b>Metais não-ferrosos e Outros</b>	97,33221267	132,2445257	100,5128154	2490,947363	6776,611574	180,6229947	676,7091
<b>Papel e Celulose</b>	398,1465683	112,3779244	1444,28796	1014,411476	18,94471978	9175,853626	3430,1044
<b>Química</b>	45047,45956	4629,538972	4790,235198	4014,152781	889,2296365	4470,069924	79340,807
<b>Têxtil e Vestuário</b>	466,7531102	276,005352	52,54989969	141,9648486	6,521298297	145,6395593	759,34033
<b>Alimentos e Bebidas</b>	12753,9656	331,5092652	63,99117033	215,1720648	32,54540212	439,6618495	4129,5679
<b>Comércio e Serviços</b>	27488,59229	34516,56088	13847,46912	26351,04255	9778,907265	11989,23533	59001,634
<b>Transportes</b>	7121,370942	18942,39813	3760,62982	11278,08258	1357,150438	4498,47422	17421,814
<b>Público</b>	274,277215	720,010711	198,7195156	491,9310361	175,9175618	204,1232863	1532,1312
<b>Outros setores da indústria</b>	1123,647488	8557,371081	2469,093513	7357,388245	1694,588982	2246,200547	3452,9135
<b>Setor Energético</b>	18552,92528	6464,185838	6119,7334	5560,400369	2928,937661	2365,760477	20528,989
<b>Prod. Nacional</b>	<b>138088,2285</b>	<b>87093,60767</b>	<b>47404,18992</b>	<b>112649,6074</b>	<b>31133,33315</b>	<b>39697,14182</b>	<b>200595,31</b>
<b>Valor da Produção</b>	<b>409500</b>	<b>302172</b>	<b>86780</b>	<b>197259</b>	<b>49609</b>	<b>66502</b>	<b>370595</b>

(Continua)

(Continuação)

Têxtil e Vestuário	Alimentos e Bebidas	Comércio e Serviços	Transportes	Público	Outros setores da indústria	Setor Energético	Consumo Intermediário total	Demanda Total (Y <sub>i</sub> )
2035,61	197794,96	22740,74	25,69	2692,99	3555,95	17955,92	<b>277322,44</b>	<b>499006,16</b>
185,88	1418,13	10208,29	95,30	708,03	1294,73	162644,65	<b>229145,92</b>	<b>371318,64</b>
92,23	2839,74	68995,14	59,42	638,77	3811,82	1828,29	<b>95398,56</b>	<b>106614,85</b>
256,16	7194,73	55160,69	263,29	1421,61	59262,33	2538,38	<b>181954,62</b>	<b>242437,69</b>
25,23	661,18	6027,90	91,65	78,99	20742,41	66,69	<b>40542,01</b>	<b>60975,37</b>
1738,70	6437,87	18506,46	495,07	1482,13	4529,99	210,68	<b>52555,78</b>	<b>81728,14</b>
7480,55	17317,95	54856,00	6698,37	6008,93	38224,39	3580,10	<b>309544,94</b>	<b>454905,76</b>
34919,18	438,16	5255,77	488,10	1150,53	3510,12	226,24	<b>48254,18</b>	<b>178644,43</b>
3130,29	81400,39	57484,19	549,01	8402,59	869,59	11418,78	<b>185196,31</b>	<b>692808,64</b>
28343,01	119353,17	1060457,63	79368,28	232858,08	158103,79	55358,21	<b>1958331,19</b>	<b>5079987,38</b>
4310,19	47080,25	112310,99	60169,65	15062,77	34045,64	13710,86	<b>365708,44</b>	<b>543054,50</b>
237,73	2959,75	13603,11	1403,09	2328,66	2634,70	863,43	<b>28446,00</b>	<b>1262109,48</b>
1889,09	4349,21	80376,74	16883,81	7682,61	161496,28	7456,30	<b>313176,57</b>	<b>940160,78</b>
2188,78	13368,85	69591,25	73535,01	10910,12	8422,40	186714,03	<b>441341,15</b>	<b>653821,07</b>
<b>454905,76</b>	<b>178644,43</b>	<b>692808,64</b>	<b>5079987,38</b>	<b>543054,50</b>	<b>1262109,48</b>	<b>940160,78</b>		

## ANEXO C – MATRIZ INSUMO-PRODUTO AGREGADA COM VALORES DE 2018

Tabela 8 - Matriz insumo-produto brasileira agregada em 14 setores, 2018

ECONOMIA (mil)							
Matriz Insumo-Produto do tipo Setor por Setor (14x14)	Agropecuária	Mineração e Pelotização	Produtos de Minerais Não-Metálicos	Metalurgia	Metais não Ferrosos e Outros	Papel e Celulose	Química
<b>Agropecuária</b>	24745,68783	5,73560165	240,6013107	08,9310552	53,73409476	3796,54624	2114,125347
<b>Mineração e Pelotização</b>	524,4758829	11478,66699	6688,123731	21410,26204	7850,082447	840,7774848	5995,160462
<b>Produtos de minerais não-metálicos</b>	4688,227984	282,3466735	10504,00832	478,7811402	26,5923203	186,3513658	1682,466536
<b>Metalurgia</b>	1478,507292	4091,813914	1198,435607	46101,40914	1639,70236	273,7957922	3406,836984
<b>Metais não-ferrosos e Outros</b>	123,5605237	169,2939278	128,6443242	3189,326661	8677,162436	231,2496434	865,3564714
<b>Papel e Celulose</b>	505,4359409	143,8615332	1848,515016	1298,818921	24,25790663	11747,74498	4386,320518
<b>Química</b>	57186,49091	5926,542764	6130,925368	5139,588526	1138,620668	5722,981606	101458,7819
<b>Têxtil e Vestuário</b>	592,5300284	353,3305437	67,25755622	181,7670992	8,350244661	186,4607339	971,0229484
<b>Alimentos e Bebidas</b>	16190,80288	424,384339	81,90100764	275,4991989	41,67300098	562,8942545	5280,774684
<b>Comércio e Serviços</b>	34895,99965	44186,66207	17723,0963	33739,0031	12521,4747	15349,68679	75449,62158
<b>Transportes</b>	9040,38138	24249,26828	4813,154221	14440,08412	1737,77332	5759,347315	22278,52366
<b>Público</b>	348,1872589	921,7276914	254,337098	629,8522369	225,2549438	261,3368096	1959,246081
<b>Outros setores da indústria</b>	1426,439082	10954,78966	3160,142964	9420,156697	2169,849002	2875,785979	4415,488245
<b>Setor Energético</b>	23552,42012	8275,181186	7832,523289	7119,352824	3750,379902	3028,857249	26251,89098
<b>Valor da Produção (Y<sub>j</sub>)</b>	<b>519848,8051</b>	<b>386827,9954</b>	<b>111067,9709</b>	<b>252563,9029</b>	<b>63522,21115</b>	<b>85141,78284</b>	<b>473906,4126</b>

(Continua)



(Continuação)

<b>Têxtil e Vestuário</b>	<b>Alimentos e Bebidas</b>	<b>Comércio e Serviços</b>	<b>Transportes</b>	<b>Público</b>	<b>Outros setores da indústria</b>	<b>Setor Energético</b>	<b>Consumo Intermediário total</b>	<b>Demanda Total (Y<sub>t</sub>)</b>
2120,637752	206056,523	23690,58254	26,76034415	2805,474223	3704,479489	18705,90994	<b>288905,7288</b>	<b>519848,8051</b>
193,6441654	1477,361873	10634,67736	99,27539134	737,5980222	1348,812181	169438,0427	<b>238716,9607</b>	<b>386827,9954</b>
96,08266332	2958,353778	71876,9469	61,89737002	665,4513174	3971,032516	1904,654822	<b>99383,1937</b>	<b>111067,9709</b>
266,856713	7495,242435	57464,65543	274,2886582	1480,992286	61737,62007	2644,402701	<b>189554,5594</b>	<b>252563,9029</b>
26,28422549	688,7930098	6279,68043	95,48142152	82,29390038	21608,7824	69,47499974	<b>42235,38437</b>	<b>63522,21115</b>
1811,318523	6706,770682	19279,44623	515,7523085	1544,037679	4719,195817	219,475149	<b>54750,95121</b>	<b>85141,78284</b>
7793,000485	18041,29481	57147,23965	6978,146011	6259,917297	39820,95459	3729,62999	<b>322474,1146</b>	<b>473906,4126</b>
36377,69168	456,464102	5475,294923	508,4885963	1198,58745	3656,735233	235,6901665	<b>50269,6713</b>	<b>186106,1095</b>
3261,033583	84800,34507	59885,20982	571,9384266	8753,55192	905,9130777	11895,72832	<b>192931,6496</b>	<b>721746,0911</b>
29526,85323	124338,3554	1104751,161	82683,35855	242584,1752	164707,5157	57670,42488	<b>2040127,388</b>	<b>5292169,913</b>
4490,221651	49046,71594	117002,0293	62682,83734	15691,91241	35467,6728	14283,53986	<b>380983,4616</b>	<b>565736,9778</b>
247,6644714	3083,371255	14171,29389	1461,698244	2425,927364	2744,75073	899,4894977	<b>29634,13757</b>	<b>1314825,674</b>
1967,996107	4530,874128	83733,93715	17589,01658	8003,495856	168241,7116	7767,741652	<b>326257,4247</b>	<b>429,7151</b>
2280,202688	13927,24293	72497,95963	76606,44535	11365,82128	8774,187437	194512,7612	<b>459775,226</b>	<b>681130,0758</b>
<b>186106,1095</b>	<b>721746,0911</b>	<b>5292169,913</b>	<b>565736,9778</b>	<b>1314825,674</b>	<b>979429,7151</b>	<b>681130,0758</b>		

## ANEXO D – MATRIZ ENERGÉTICA 2018

Tabela 9 - Matriz energética, 2018

ENERGIA (tEP)		Mineração e Pelotização	Produtos de Minerais não-metálicos	Metalurgia	Metalurgia de		
Matriz Insumo-Produto do tipo insumo energético por Setor (13x14)	Agropecuária				Metalurgia de Metais não Ferrosos e Outros Metais	Papel e Celulose	Química
Lenha	3054,398945	0	2113,053401	68,32067133	0	2013,23758	46,14843585
Prod. Cana****	0	0	0	0	0	33,49305496	0
Gás Natural	0	434,6777979	1246,222511	1173,234066	415,8268765	969,2266604	2422,281706
Eólica**	1,759759735	0	0	0	0	0	0
Solar**	3343,56223	0	0	0	0	0	42,43791048
Hidráulica**	180382,1136	186666,0135	95033,66632	290448,2426	804523,3815	27817,1874	597,8631433
Carvão Vapor	0	275,9868443	118,7089122	2407,38561	620,5519724	97,05507144	190,3274567
Biodiesel	434,7783112	32,78284235	6,45748826	3,080563545	1,046600823	18,70370031	1,615560609
Carvão Vegetal	8,835114519	0	88,79579611	3061,965938	11,38187243	0	16,59288844
Álcool Etílico	8,67	0	0	0	0	0	0
Coque Carvão Mineral	0	45,4529267	43,60138601	7431,046574	255,8346936	0	0
Derivados de Petróleo	4365,918434	448,6530138	290,3075253	147,4836018	624,0722421	509,5996538	309,4539828
Gás Cidade	0	0	0	1244,465093	0	0	0

(Continua)



## ANEXO E – MATRIZ BIOENERGÉTICA 2018

Tabela 10 - Matriz bioenergética, 2018

<b>ENERGIA (tEP)</b>							
<b>Matriz Insumo-Produto do tipo insumo energético por Setor (5x14)</b>	<b>Agropecuária</b>	<b>Mineração e Pelotização</b>	<b>Produtos de Minerais não-metálicos</b>	<b>Metalurgia</b>	<b>Metais não Ferrosos e Outros</b>	<b>Papel e Celulose</b>	<b>Química</b>
Lenha	3054,398945	0	2113,053401	68,32067133	0	2013,23758	46,14843585
Lixívia	0	0	0	0	0	6909,952662	0
Prod. Cana	0	0	0	0	0	33,49305496	0
Biodiesel	434,7783112	32,78284235	6,45748826	3,080563545	1,046600823	18,70370031	1,615560609
Álcool Etílico	8,67	0	0	0	0	0	0

(Continua)

(Continuação)

<b>Têxtil e Vestuário</b>	<b>Alimentos e Bebidas</b>	<b>Comércio e Serviços</b>	<b>Transportes</b>	<b>Público</b>	<b>Outros setores da indústria</b>	<b>Setor Energético</b>
60,24408134	2239,414811	86,53406218	0	0	844,1650038	0
0	0	0	0	0	0	0
0	13199,08982	0	15717,54323	0	0	14295,98439
0,085211781	21,27237429	2,053292441	3643,391448	0,175743389	8,625551565	0
0	0		15717,54323		0	0