



A sustentabilidade do subsistema econômico e a aproximação com o valor biofísico

Sessão Temática: 2. Políticas públicas e instrumentos de gestão para o desenvolvimento sustentável

Elen Presotto

Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios – CEPAN, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Rio Grande do Sul/UFRGS
e-mail: elenpresotto@yahoo.com.br

Edson Talamini

Departamento de Economia e Relações Internacionais - DERI, Faculdade de Economia - FCE e Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios – CEPAN, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Rio Grande do Sul/UFRGS
e-mail: edson.talamini@ufrgs.br

Resumo

O subsistema econômico se utiliza de recursos de capital, natural e humano, por vezes se desconsidera a irreversibilidade do processamento de energia e que as atividades econômicas lucram a partir do uso desses recursos da biosfera, que são finitos. O objetivo deste estudo é propor um novo olhar, adentrando no paradigma do valor biofísico a partir da introdução da crítica à teoria neoclássica embasada nas leis da termodinâmica. Trata-se, então, não somente de uma comparação teórico-descritiva dos pensamentos dos autores, mas também apresentar as ideias alternativas a teoria neoclássica no que tange a contribuição dos recursos naturais ao subsistema econômico e propor uma análise a partir do valor biofísico, que avalia a sustentabilidade ou insustentabilidade das atividades econômicas setoriais. A proposta em questão se desenvolve como alternativa para fornecer uma direção, avaliação e desempenho de políticas públicas, com a intensificação de ações coordenadas em setores estratégicos para o alcance do desenvolvimento sustentável. A relação apresentada nesse estudo, expressa uma tentativa de aproximação entre as visões da valoração de bens puramente monetária e o valor biofísico.

Palavras-chave: bioeconomia, energia macroeconômica, economia biofísica;

Abstract

The economic subsystem uses capital, natural and human resources, sometimes disregarding the irreversibility of energy processing and that economic activities profit from the use of these finite biosphere resources. The objective of this study is to propose a new look, entering the biophysical value paradigm by introducing a critique of the

On-line, 09 a 12 de novembro de 2021

XIV Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica

neoclassical theory based on the laws of thermodynamics. It is, then, not only a theoretical and descriptive comparison of the authors' thoughts, but also to present alternative ideas to the neoclassical theory regarding the contribution of natural resources to the economic subsystem and to propose an analysis based on biophysical value, which assesses the sustainability or unsustainability of sectoral economic activities. The proposal in question is developed as an alternative to provide a direction, evaluation and performance of public policies, with the intensification of coordinated actions in strategic sectors to achieve sustainable development. The relationship presented in this study expresses an attempt to bring together the purely monetary views of asset valuation and the biophysical value.

Key words: bioeconomics, macroeconomic emergy, biophysical economics;

1. Introdução

Na teoria econômica, desde a fisiocracia, há uma preocupação frente a origem do valor e a riqueza, para eles a origem do valor está na terra (HUNT; LAUTZENHEISER, 2013). De encontro a isso, o pensamento da economia neoclássica, deixa claro que o sistema econômico deriva da interação entre os agentes (consumidores, firmas e governo). O comportamento desses agentes no mercado, em escolher o melhor para si mesmo (princípio da otimização) a partir do valor da utilidade, conduzem a um equilíbrio de mercado, ou seja, na formação do preço dos bens, um preço em equilíbrio é determinado pelo ponto onde a oferta e a demanda se igualam (VARIAN, 2014).

Ao contrário do que defende a teoria econômica tradicional, os pioneiros como Georgescu-Roegen (1971), Daly (1968) e Odum (1996) desdobraram as leis da termodinâmica para compreender a lógica biofísica da economia (MELGAR-MELGAR; HALL, 2020). Dentro das abordagens encontradas, se percebe uma indefinição sobre se considerar ou não o valor biofísico¹ nas análises, como na teoria econômica neoclássica, economia ambiental² e economia ecológica³.

A medida que os fundamentos da microeconomia estruturam a análise de valor, para a solução básica de formação de preços, a análise marginal neoclássica se embasa na lógica de que a escala ótima é definida como o ponto em que os benefícios marginais do

¹ considera as leis da termodinâmica, ou seja, se refere ao valor de matéria e energia contidas em cada bem, seja de insumos monetários ou da natureza.

²Os primeiros modelos neoclássicos, da chamada economia ambiental surgiram na década de 1960. Os estudos dividiram-se entre a teoria da poluição e a teoria dos recursos naturais. A primeira é baseada na teoria do bem-estar e dos bens públicos de Pigou (1932), que aponta a necessidade de internalização dos custos sociais da poluição visando alcançar um nível ótimo de poluição. Ao contrário disso, a segunda é influenciada pela análise de Hotelling (1931) e foca na necessidade de solucionar a questão da alocação intertemporal da extração dos recursos naturais (MUELLER, 1998; SAES, 2015).

³Seus autores fundadores como Georgescu-Roegen (1971), Odum (1996) e Daly (1968), defendem análises embasadas nas leis da termodinâmica para o estudo de sistemas naturais e sociais (MELGAR-MELGAR; HALL, 2020) um campo transdisciplinar (BARKIN; CARRASCO, 2012); voltada para uma sustentabilidade mais rígida do processo econômico, que acredita, por exemplo, que não existe crescimento sustentável em função da finitude dos recursos (DALY, 2004).

crescimento adicional são iguais aos custos marginais da redução da função do ecossistema que esse crescimento impõe (SPASH, 2020). A macroeconomia, representa esse comportamento agregado, como por exemplo, da renda, crescimento econômico e nível geral de preços (BRESSER-PEREIRA, 1976).

Assim, na macroeconomia tradicional define-se o fluxo circular da renda como fechado, com movimentos infinitos, ou seja, desconsidera-se que a economia é um subsistema da biosfera e necessita também de capital natural para sustentar esse fluxo. Nessas abordagens se retrata o processo econômico como circular e autossustentável nas relações de produção e consumo, dentro da qual o papel dos processos ecológicos simplesmente são desconsiderados (GIAMPIETRO, 2019).

O problema fica ainda mais complexo pelo fato de a preocupação com a sustentabilidade está embasada na lógica de valor monetário. À medida que se admite que a renda nacional pode continuar a crescer mesmo que alguns insumos sejam exauríveis o crescimento passa a ser danoso às gerações futuras quando fica comprometida a qualidade de vida semelhante a geração atual (CECHIN, 2010). Assim, entende-se que as instituições políticas podem afetar a extensão dos danos ambientais, à medida que direcionam políticas ambientais e de desenvolvimento econômico mais rígidas contra a degradação ambiental, por exemplo (CONGLETON, 1992). Com isso, percebe-se a relação direta da influência de políticas públicas e a mitigação de impactos da degradação ambiental.

Dessa forma, a problemática deste estudo reside no pressuposto fundamental de que tudo que entra no processo econômico tem um valor, mesmo que o sistema econômico não estabeleça um preço a todos os insumos. Ou seja, há um *gap*, à medida que matéria e energia entram no processo produtivo e é processada a baixa entropia diminui e o valor monetário aumenta. De tal modo, o valor monetário menospreza parte do valor biofísico. Entretanto, o valor monetário, que é o valor final de um bem no mercado, tem na sua essência a dependência de insumos da natureza de baixa entropia⁴.

A partir do que foi construído até aqui, o que se percebe é que as análises que priorizam o valor monetário captam a lógica dos recursos naturais, energia e resíduos através das lentes dos fluxos monetários, ou seja, através dos gastos incorridos ou custos no processo produtivo. Ao contrário disso, os modelos que são propostos a partir do valor

⁴O ser humano se alimenta e sobrevive da transformação de recursos de baixa entropia (forma como os recursos são encontrados na natureza) em alta entropia (produção de bens e serviços). Em termos de entropia as atividades do ser humano produz um *déficit* ao sistema total, pois o custo é maior do que o produto, isso pode ser aplicado para qualquer empreendimento biológico ou econômico (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

biofísico incluem ainda os fluxos físicos de recursos naturais, energia e resíduos utilizados pela economia (SHERWOOD *et al.*, 2020).

A partir disso, o objetivo deste estudo é propor um novo olhar, sobre a discussão do desenvolvimento sustentável e suporte na aplicação de políticas públicas através de uma análise sistêmica macroeconômica, adentrando no paradigma dessa temática com a introdução da crítica do valor monetário puro a partir das leis da física. Enfatiza-se a necessidade de valoração de todos os recursos utilizados pelo subsistema econômico, sejam eles recursos de capital natural, humano ou monetário. Dessarte, a principal contribuição deste estudo é propor uma aproximação da análise emergética e a economia biofísica que sustentam um novo olhar, sistêmico, que inclui o valor biofísico à análise do processo econômico. Ainda permite entender a valoração do processamento de bens pela relação com a baixa entropia: quanto maior for o uso de recursos no processo econômico, maior será o valor emergético e biofísico.

Com o intuito de propor uma nova perspectiva para a discussão já estabelecida na literatura, o artigo está estruturado em quatro seções, incluindo essa introdução. A seção seguinte destaca as principais diferenças e os avanços da literatura com relação às críticas à teoria econômica neoclássica. Posteriormente, são apresentadas as diferentes definições da teoria econômica para o desenvolvimento sustentável. Quarta e última seção, formula a proposta teórica do Modelo de Insumo-Produto Emergético, que está estruturado em uma composição entre a análise emergética⁵ e a Matriz Insumo-Produto⁶.

2. Crítica a abordagem da economia neoclássica a partir das leis da termodinâmica

A partir dos anos de 1960, Georgescu-Roegen insere suas ideias no debate econômico e o aproxima a análise da física, junto com Herman Daly, são conhecidos como fundadores da ideia de biofísica na teoria econômica a partir da economia ecológica (SHERWOOD *et al.*, 2020). A perspectiva apresentada define uma quebra de paradigma, e começam a ficar mais evidentes as críticas aos pressupostos neoclássicos, voltadas ao mecanicismo do processo econômico por desconsiderar a participação da natureza (CECHIN; DA VEIGA, 2010). O autor ainda reforçou sua crença de que os processos históricos são únicos e impossíveis de serem descritos precisamente por uma fórmula matemática (CECHIN; DA VEIGA, 2010; GOWDY; MESNER, 1998).

⁵A metodologia emergética permite calcular índices e comparar as contribuições da natureza e da economia na composição do produto e medir, a sustentabilidade, o impacto ambiental e a capacidade de carga do ecossistema, por exemplo (ORTEGA, H., 2003).

⁶Seus resultados proporcionam uma visão detalhada da estrutura produtiva brasileira e permitem avaliar o grau de interligação setorial da economia e também os impactos de variações na demanda final dos produtos, mediante a identificação dos diversos fluxos de produção de bens e serviços (IBGE, 2020).

Dentro da economia ecológica, as ideias de Georgescu-Roegen são rígidas, principalmente, nas descrições matemáticas, que devem sobressair as relações de preço de mercado, e adentrar a realidade, por ele definida, como um universo físico e social, em que o sistema econômico está embutido (GOWDY; MESNER, 1998), ou seja, a economia é um subsistema de um todo maior. Com isso a economia ambiental, a qual evoluiu da teoria neoclássica, passa a sofrer críticas, por exemplo, na falta de respostas para a medida do valor da utilidade e na incapacidade de fornecer um indicador de satisfação individual.

A teoria neoclássica pressupõe que os consumidores maximizam sua utilidade em suas escolhas, os mesmos estariam o mais felizes possível com suas cestas de bens, o valor de um bem está estabelecido na sua utilidade. Porém, o problema está sobre a utilidade individual perante a outro, a utilidade de cada indivíduo não tem diferença (VARIAN, 2014). Outra dificuldade é que a função de utilidade não leva em consideração a utilização de recursos da natureza, embora os recursos renováveis ou não-renováveis forneçam uma utilidade indireta via consumo final de bens (NEUMAYER, 2013).

Na teoria da firma, define-se alguns conceitos fundamentais, dentre esses, a função de produção, que determina a maior quantidade de produto que pode ser obtida, a partir de uma determinada quantidade de insumos, a mesma possui fatores de produção, como mão-de-obra e capital (VARIAN, 2015). Todavia a função de produção neoclássica, desconsiderar que é a energia que faz o trabalho de produzir riqueza, independente se essa energia derivada da terra, do trabalho ou dos combustíveis fósseis auxiliados pelo capital (HALL, C.; KLITGAARD, 2006). Do mesmo modo, os recursos da natureza utilizados em todos os processos de produção de bens são sub-valorados e o capital natural é desconsiderado como um fator de produção⁷ (DALY, 2017).

Na sua forma tradicional, a função de produção não considera o fator intertemporal, ou seja, se ignora os diferentes intervalos de tempo que se utilizavam os fatores de produção. A partir dessa necessidade, é fundamental distinguir na função de produção, o que são os fundos e os fluxos. Os fundos são os fatores de produção tradicionais da economia, os mesmos se mantêm em um curto espaço de tempo, são a estrutura do processo. Já os fluxos são a matéria e energia (fluxos de entrada) que vem da natureza (insumos da natureza) ou de outro processo produtivo, e que se transformam através do processo produtivo em bens finais, resíduos e poluição (fluxos de saída) (CECHIN, 2010; GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

⁷A função de produção tradicional da economia neoclássica é dada por: $Y = f(K, L)$, onde Y é produto, K é capital e L é trabalho. A função quase sempre é multiplicativa, como no usual Cobb-Douglas.

Ao contrário disso, a proposição de análise econômica pelas leis da termodinâmica⁸ vai de encontro ao *mainstream* da economia. Em resumo, a primeira lei da termodinâmica define que a energia do universo é constante, isso implica que a matéria e energia não são criadas ou destruídas, são apenas transformadas e se apresentam em forma de trabalho ou calor. A segunda lei define que apesar da energia permanecer constante, ao ser transformada, sua qualidade é alterada e uma parte dessa energia acaba por não gerar mais trabalho, ou seja, é dissipada o que leva a formação de entropia (NIELSEN *et al.*, 2020)

A partir disso, percebe-se que os fundadores da economia ecológica se embasam em fortes críticas à economia neoclássica e que define um *gap* entre as análises econômicas que consideram somente o valor monetário do processo econômico. O *gap* é a parte que se desconsidera do valor biofísico de todas as entradas de recursos que são absorvidos da natureza. A atual formação do preço de mercado está ligada aos custos incorridos na produção de bens. Estes custos refletem em valores monetários, que se resumem em gastos com mão-de-obra e o capital de extração desse recurso/insumo da natureza (DALY, 2017) o famoso tripé: terra, capital e trabalho (HALL, C.; KLITGAARD, 2006).

A proposta central da Economia Biofísica⁹ está atrelada a ideia de valor biofísico, onde a análise do sistema econômico é embasada nos princípios ecológicos e das leis da termodinâmica (CLEVELAND, 1987). Com isso, é inevitável que a atividade econômica global seja restringida pelas leis da termodinâmica. A Economia Biofísica deriva da Economia Ecológica, mais rígida, a partir de seus autores fundadores Georgescu-Roegen (1971), Odum (1996) e Daly (1968), (MELGAR-MELGAR; HALL, 2020; CLEVELAND, 1987; SHERWOOD *et al.*, 2020).

Em resumo, a Economia Biofísica considera a forma como as sociedades humanas usam a energia e recursos biológicos e físicos para produzir, consumir e distribuir bens e serviços, o que ocasiona resíduos e impactos ambientais. Ainda se dedica a entender as condições e estruturas de crescimento econômico, assim como, seus limites e defende uma crítica a lógica cartesiana da economia neoclássica (BIOPHYSECO, 2020; PALMER, 2018; SHERWOOD *et al.*, 2020)

Nessa perspectiva, a de se salientar que alguns recursos desafiam a substituição econômica, a matéria e energia dissipada não é reciclável, por mais que a tecnologia atue

⁸ Clausius formulou a primeira e a segunda lei da termodinâmica entre 1850 a 1865. Foi inspirado nos trabalhos de Cournot de 1824, que descobriu a conversão incompleta do calor em trabalho (NIELSEN *et al.*, 2020).

⁹ Termo foi utilizado pela primeira vez por Lotka (1925), na história o pensamento biofísico é traçado e evolui desde os fisiocratas do século XVIII (CLEVELAND, 1987).

para o aumento do rendimento de matéria e energia, ela nunca ultrapassará o limite finito de recursos (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

2.1 Uma nova ideia de valor no subsistema econômico: “o valor biofísico”

A discussão sobre o valor possui na literatura inúmeros pensadores que buscam, através de teorias, analisar esses conceitos utilizando abordagens que são conflitantes e discutem o atual mecanismo de formação de preços e quebras de paradigmas. Dentre as primeiras ideias no pensamento econômico sobre a origem do valor, destaca-se os mercantilistas, que acreditavam que a riqueza de uma nação decorria da quantidade de metais preciosos que ela possuía. Ao contrário disso, os fisiocratas defendiam a terra como a única fonte de valor e riqueza e que as sociedades deveriam ser orientadas pela lei natural (HUNT; LAUTZENHEISER, 2013).

Os fisiocratas foram os primeiros a deixarem duas grandes contribuições na análise econômica, que de certo modo, repercutem na discussão essencial desse estudo. A primeira, frente ao conceito de valor, acreditava-se que a sua origem era da natureza. A segunda, com destaque para François Quesnay, que construiu a ideia de inter-relações entre os setores e a ideia de trocas econômicas interdependentes entre os setores da economia como um fluxo circular (CECHIN, 2010; HUNT; LAUTZENHEISER, 2013). Essas ideias iniciais são um marco, pois posteriormente, evoluíram para se chegar às análises dos modelos de Insumo-produto que são utilizados até hoje.

Nos clássicos como Adam Smith, o valor de cada bem ou riqueza estaria no trabalho empregado para a sua produção de insumos em bens. Assim o crescimento econômico seria determinado e focado no aumento da produtividade por trabalhador, voltado para a divisão de trabalho e especialização (SMITH, 1925). David Ricardo segue evoluindo as ideias de Smith e deixa claro, que até certo ponto, a produtividade do trabalho seria crescente, mas no longo prazo, o limite do crescimento estaria na disponibilidade de oferta de terras. Portanto, só admitia a ideia de retornos decrescentes da produção agrícola, pois mesmo com a utilização de quantidades crescentes de trabalho na terra, no longo prazo o produto por trabalhador diminuiria (DOBB, 1973; HUNT; LAUTZENHEISER, 2013).

Depois disso, a revolução marginalista foi um marco na história do pensamento econômico. Com destaque para três grandes pensadores Jevons, Menger e Walras que empregaram esforços para o grande impacto na análise da economia neoclássica a Teoria do Valor da Utilidade. A mesma tem força na ortodoxia até os dias de hoje; Walras ainda define a teoria do equilíbrio geral e Marshall faz contribuições significativas na Teoria da firma (DOBB, 1973; HUNT; LAUTZENHEISER, 2013). A partir do desenvolvimento da economia neoclássica, e com isso da Teoria do valor da utilidade, o conceito de valor passa a ser medido pelo nível de desejo ou satisfação a consumir bens e serviços, ou seja, pelo valor da utilidade (DOBB, 1973).

As críticas apresentadas pela economia ecológica fundamentam contestações ao valor da utilidade. Entende-se que cada indivíduo tem uma utilidade para cada bem e que,

via de regra, terá um valor semelhante entre os indivíduos. Todavia, o preço do mercado, valor monetário do bem, não depende de qualquer valor ou utilidade estabelecido por um indivíduo isoladamente, mas sim o que seja semelhante a um grupo de indivíduos, ou seja, o valor monetário não é uma relação puramente individual (LOTKA, A. J., 1914).

Para Georgescu-Roegen o valor é derivado de dois componentes: um objetivo que é a qualidade intrínseca ao objeto, que está relacionada com a baixa entropia (matéria e energia disponível) onde os insumos de baixa entropia são transformados pelo trabalho humano e capital em bens; o segundo é subjetivo, que é a satisfação do ser humano, ou seja, a ciência não pode ignorar o homem e seus objetivos e a qualidade dos recursos transformados em dissipativos (CECHIN, 2010; GEORGESCU-ROEGEN, 1971).

Ao contrário da Teoria do valor da utilidade, Odum (1996;1988) defende que a riqueza pode ser mensurada através do trabalho físico realizado, assim o valor seria a emergia e o valor monetário deveria refletir isso (CECHIN, 2010). Ou seja, o valor biofísico definido por Odum (1996, 1988) representa o trabalho incorporado da biosfera, quanto maior o trabalho incorporado na geração de recursos naturais e Serviços Ecossistêmicos, maior é o seu valor de emergia incorporada no processo.

Em síntese, o conceito de valor na economia ecológica é a emergência de um novo valor: o biofísico. O conceito de valor biofísico é embasado na termodinâmica, na análise de sistemas naturais e sociais (MELGAR-MELGAR; HALL, 2020). O valor biofísico é diferente do valor monetário, isso porque o valor de monetário omite ou não considera todos os fatores de produção (ORTEGA, E.; BACIC, 2020). No valor biofísico os recursos da natureza, capital e humano são computados, assim como os recursos de saída como emissões e perda de solo (externalidades), a serem contabilizados em uma unidade de medida energética única, utilizando as devidas transformidades, a emergia total é mensurada em Joule de energia solar equivalente (seJ).

De certa forma, não é uma idéia tão nova assim, pois os fisiocratas, já haviam defendido que a origem da riqueza e do valor estava na natureza, os demais setores só distribuem a riqueza, ou seja, o valor monetário tinha seu valor imbricado nos recursos da natureza, da mesma forma, Lotka (1914) agregou a teoria da evolução de Darwin com as leis da termodinâmica para analisar a economia como biofísica (JI; LUO, 2020).

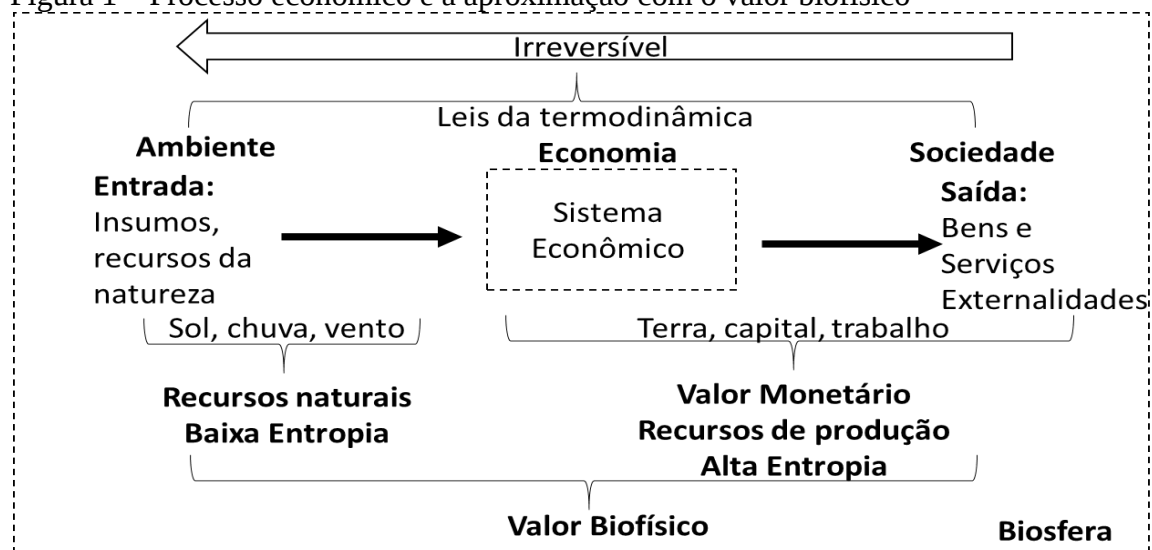
Há uma diferença clara que se entende como um *gap*, entre o que o sistema econômico valora frente ao valor monetário de um bem e o valor biofísico do mesmo. Isso porque o processo econômico tem seu foco no valor monetário, porém o fluxo metabólico e entrópico se evidencia como a fonte de vida e riqueza, caracterizado pela dependência na baixa entropia (DALY, 2017) e da irreversibilidade do processo (ARTUZO *et al.*, 2021; GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

Em resumo, a irreversibilidade termodinâmica se define a partir de que a maioria dos processos físicos tende a evoluir para uma mudança de estado, e por mais regeneradoras ou

renovadoras que a tecnologia ou a evolução das práticas agrícolas possam se tornar, ainda assim os processos são entrópicos como um todo e nunca serão inteiramente negentrópicos (ARTUZO *et al.*, 2021).

O referido *gap* pode ser visualizado na Figura 1, onde os recursos de entrada são entendidos com valor biofísico, e que parte deles não são valorados pelo sistema monetário. Com isso o funcionamento dos sistemas, como o econômico são dependentes da utilização de recursos da biosfera¹⁰, ficando sujeito a possíveis desequilíbrios ou colapsos, tanto do ecossistema como do sistema econômico na falta de recursos ou catástrofes.

Figura 1 – Processo econômico e a aproximação com o valor biofísico



Fonte: adaptado de (PRESOTTO; TALAMINI, 2021)

A Figura 1 desenvolve a lógica da economia biofísica de forma gráfica, na medida que as sociedades utilizam baixa entropia dos recursos da natureza e recursos de produção, para produzir bens e serviços. Esses processos induzem a formação de resíduos e impactos ambientais, as externalidades. Acrescido a isso o valor monetário é proporcionalmente desigual frente ao valor biofísico, se constrói uma relação inversa, isso porque à medida que um bem é processado maior é o valor monetário no sistema econômico, porém menor é a baixa entropia, ou seja, há perda de matéria e energia em cada processamento.

A partir da crítica à teoria neoclássica, entende-se que para se analisar a sustentabilidade do processo econômico é necessária uma visão sistêmica que se conecte ao valor biofísico. Com isso, a seção que segue busca mapear as diversas abordagens teóricas e aplicadas sobre o desenvolvimento sustentável na utilização de recursos no

¹⁰ É o conjunto de todos os ecossistemas da Terra, mais detalhes em (ODUM, H. T. *et al.*, 1987).

processo produtivo. Apresenta-se ainda um panorama geral de abordagens e análises que norteiam a discussão sobre sustentabilidade.

3. Abordagens sobre o desenvolvimento sustentável: uma aproximação com o valor biofísico

A partir de políticas públicas sólidas, um projeto de desenvolvimento depende de relações culturais complexas da sociedade humana e da evolução da biosfera. Por estes motivos, a sustentabilidade das civilizações humanas vai depender da capacidade de utilização dos recursos naturais, e isso torna-se o foco do desenvolvimento sustentável (SACHS, 2004). Para se alcançar o desenvolvimento sustentável deve-se buscar o desenvolvimento economicamente sustentado ou eficiente, socialmente desejável ou incluyente e ecologicamente prudente ou equilibrado (ROMEIRO, 2012).

Tudo isso, está em função da capacidade de carga¹¹ da natureza que de certa forma, depende das trocas entre o ambiente físico e biótico, da tecnologia e do estado da estrutura de produção e consumo das atividades humanas (ARROW et al., 1996). Com isso, os estoques de recursos naturais, são capazes de limitar o crescimento de uma nação.

Todavia a falta de acesso a necessidades básicas e a insegurança alimentar podem piorar, com medidas tomadas por políticas públicas para mitigar a degradação ambiental do processo econômico produtivo. Essas, quando mal estruturadas, podem provocar a oscilação dos preços, piorando a situação dos mais pobres que já enfrentam problemas de acesso (HASEGAWA *et al.*, 2018; MOZ-CHRISTOFOLETTI; PEREDA, 2021).

Estudos revelam que entre 1990 a 2001, para cada US\$100 de aumento da renda per capita mundial, apenas US\$0,6 dólares (menos de 1%) contribuíram para reduzir a pobreza (WOODWARD; SIMMS, 2006). Assim, para que haja desenvolvimento sustentável é necessário diagnósticos dos ecossistemas modificados pelo homem. Para tanto, se faz necessário abandonar a visão de que o sistema econômico é fechado e circular (CECHIN, 2010; DALY, 2017; MELGAR-MELGAR; HALL, 2020).

Na literatura, a Teoria Econômica incorpora a preocupação com a sustentabilidade em suas análises, porém, as vertentes que emergiram são, de certa forma, divergentes, tendo como principal diferença a substitutibilidade dos recursos. A temática é dividida em três grandes vertentes de pensamento, definidas por Veiga (2010), sendo elas: a abordagem convencional, a ecológica e uma visão que o autor chama de terceira via é conhecida na literatura como *decoupling*.

¹¹ Pode ser entendida como o limite que a natureza suportaria de atividade humana.

A primeira abordagem, dita convencional, é a que permanece dominante, fundamentada na teoria neoclássica, defende que, a partir de determinado nível de desenvolvimento econômico, conseguir-se-ia mais melhorias ambientais do que deteriorações. De certa forma, por esta abordagem crê-se que para conseguir a sustentabilidade é necessário maximizar o crescimento econômico (VEIGA, 2010). Chega até certo ponto, passar uma visão de solução simplista e prática de todo o problema histórico estrutural e de desigualdade social enfrentado por diversos países.

Os autores dessa abordagem (GROSSMAN; KRUEGER, 1995) ficaram conhecidos pela formulação da Curva Ambiental de Kuznets, devido a semelhança ao trabalho de Simon Kuznets publicado anos antes em 1954. O trabalho desenvolvido por Kuznets foi notório para a época, porém com os dados precários. A sua teoria era de que existia uma relação entre o crescimento da renda e a desigualdade social. Apesar disso, acreditava que no início do crescimento a desigualdade seria maior, depois de um determinado nível de renda, defendia que essa desigualdade iria diminuir (KUZNETS, 1954). Porém, depois da metade do século XX, foi possível descartar essa perspectiva (VEIGA, 2010).

Ao contrário desta primeira, a segunda abordagem conhecida como a abordagem ecológica se embasa no estado estacionário (no sentido de condição estável) para se chegar à sustentabilidade, onde a qualidade de vida da sociedade melhora, mas sem que essa condição exija expansão do subsistema econômico (VEIGA, 2010). O desenvolvimento sustentável, faz sentido somente se “[...] entendido como o desenvolvimento sem crescimento – a melhoria qualitativa de uma base econômica física que é mantida num estado estacionário¹² (DALY, 2004, p.198).” Ainda segundo o autor, é mantida pelo processamento da matéria e energia que estão dentro das capacidades regenerativas e assimilativas do ecossistema (DALY, 2004).

A segunda abordagem teve nas discussões de Daly a ideia de “*steady state*”¹³. O conceito de “*steady state*”, surge de economistas clássicos remodelada, em que a sustentabilidade seria atingida se a qualidade de vida de uma sociedade continua-se melhorando, sem que para isso esteja refém de uma expansão do subsistema econômico, ou seja, a base do conceito de “*steady state*” está em duas populações físicas, os seres humanos e os elementos de um sistema natural (DALY, 1991).

¹² Mais detalhes em DALY, H. Epílogo: “*Algunos malentendidos comunes y otros problemas relacionados con una economía en estado estacionario*”, p. 371-72

¹³ Pode ser entendido como uma “condição estável” (Veiga, 2010).

Em análise mais rígida sobre a sustentabilidade ainda na economia ecológica, anterior a Daly, Georgescu-Roegen defende que a implantação de medidas para um programa bioeconômico mínimo como uma redução do consumo e que assim, o decrescimento seria a solução. Dentre estas medidas pode-se destacar: a proibição da produção de artefatos bélicos e guerras; o que faz com que haja mais força de produção, por exemplo, para se alcançar em todas as nações um padrão de vida decente, sem luxo, e reduzir a população até que a agricultura orgânica seja suficiente para alimentar a todos devidamente, entre outras medidas pautadas em um decrescimento (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

A terceira abordagem é definida como o caminho do meio, parte do princípio de que a aplicabilidade da abordagem ecológica é impraticável e a convencional é inconsistente frente aos diversos problemas ambientais e à ruptura climática (VEIGA, 2010). Alguns outros economistas a intitulam como “ecodesenvolvimentista”, estes rejeitavam a ideia de crescimento zero e se preocupavam com perdas ambientais, pobreza e concentração de renda, por exemplo (ROMEIRO, 2012).

A terceira via, aposta na reconfiguração do processo produtivo, a partir de uma desmaterialização do processo econômico na produção de bens e serviços, ficando cada vez menos intensivo em energia, e com isso ganharia ecoeficiência. Esse raciocínio tem sido chamado na literatura de “*decoupling*”¹⁴ para evitar o dilema do crescimento, porém há de se observar que os ganhos de eficiência ao longo da história não representam redução de escalas (VEIGA, 2010).

O desacoplamento pode ser entendido como uma estratégia de longo prazo para se reduzir as pressões ambientais com aumento de bem estar, seja por alcance de eficiência, menos quantidade de recurso por unidade de PIB (desacoplamento de recursos), ou um aumento do PIB com redução de impacto ambiental (desacoplamento de impacto) (SOARES; ALMEIDA, 2019). Percebe-se uma carência de estudos, que evidenciem, de forma mais clara, essa perspectiva. A dificuldade desses trabalhos está em função dos diversos tipos de impactos causados pela atividade econômica, como a poluição, atmosférica, água, da terra, da biodiversidade, por exemplo (SOARES; ALMEIDA, 2019).

Na prática para o alcance do desenvolvimento sustentável há um ponto de convergência claro relacionado a redução do consumismo, entre a terceira via e

¹⁴ O desacoplamento, expressa uma trajetória de longo-prazo com crescimento econômico e redução da pressão sobre o meio ambiente, com um menor consumo de recursos e poluição e aumento do bem-estar, este conceito foi utilizado pela OCDE, em 2001. (SOARES; ALMEIDA, 2019)

Georgescu-Roegen (2012) e Daly (2004), é necessário que se rompa a lógica social do consumismo e uma macroeconomia que reconheça os limites naturais à expansão das atividades econômicas.

Frente a perspectiva teórica construída até aqui se percebe uma carência de uma visão teórica sistêmica macroeconômica e que tenha o valor biofísico em sua essência. Assim, este estudo defende uma visão alternativa às que se sustentam até aqui, na busca analisar o processo econômico como parte de um todo, ou seja, é um subsistema na busca do desenvolvimento sustentável, denominada “*systemic decoupling*”¹⁵. O conceito surge como uma crítica ao distanciamento entre o que se define como valor biofísico e a lógica do valor puramente monetário do sistema econômico, parte do princípio que a análise de desenvolvimento sustentável deve levar em consideração a desmaterialização do processo produtivo e ainda considerar, que a economia é parte de um sistema maior e por isso precisa de uma lógica de análise sistêmica para embasar as análises a partir da ótica do valor biofísico do processo econômico.

Por isso, o que se fundamenta no *systemic decoupling*, é um conceito que evolui da ideia de *decoupling da OCDE* de desmaterialização do processo produtivo no longo prazo, somado ao um olhar sistêmico, que deve ser fundamentado no valor biofísico e não somente na busca de estratégias de eficiência energética (desacoplamento de recursos) ou de redução de danos ambientais (desacoplamento de impacto). Ou seja, a visão analítica proposta por este estudo, evolui de discussões da economia, entende-se que por si só o desacoplamento, seja ele de recursos ou de impacto, não é suficiente. Isso porque não resolve o problema do uso recursos da natureza no processo produtivo que extrapolam a capacidade de carga do ecossistema (ORTEGA, H., 2003) ou o EROI mínimo sustentável (HALL, C. . S.; BALOGH; MURPHY, 2009).

Com isso, o conceito de *systemic decoupling* se apoia em análises que priorizam o valor biofísico, a fim de orientar estratégias que reduzam os impactos causados a natureza e prolongue o uso de recursos no tempo. O conceito de *systemic decoupling* se assemelha a proposta gráfica de Giampietro (2019) que define o conceito de bioeconomia circular¹⁶, porém a ideia de *systemic decoupling* vai além, e define gráfica e teoricamente, uma proposta do que seria o Modelo de Insumo-Produto Emergético (MIPE). O MIPE permite

¹⁵ ou desacoplamento sistêmico.

¹⁶ Parte do princípio que os sistemas metabólicos, incluindo as sociedades humanas, devem ser considerados abertos e dependem da existência de condições de contorno favoráveis determinadas por processos fora do controle humano.

mensurar essa visão sistêmica embasada no valor biofísico do processo econômico, a partir da composição entre a análise emergética e do Modelo de insumo-produto ecológico.

4. A economia na sua expressão de valor biofísico e o Modelo de Insumo-Produto Emergético (MIPE)

A construção das ideias apresentadas até aqui, permitiu um olhar diferente para as interações entre o processo econômico, o uso dos recursos naturais e a qualidade de vida da sociedade. A ideia apresentada se sustenta como forma de minimizar o *gap* definido anteriormente a partir da construção de valor biofísico e, com isso, definir uma nova abordagem de análise para a economia tradicional, que deriva da economia ecológica e se propõe a uma tentativa de solucionar a formulação de fluxos de fundos. Estruturando indicadores que podem servir como base para a formulação de políticas públicas aplicadas ao desenvolvimento sustentável de cada país ou setores.

O modelo original de insumo-produto de Leontief¹⁷, representa a interdependência do fluxo anual de renda de bens e serviços finais que eram sustentados por um fluxo intermediário de mercadorias, os insumos (MILLER; BLAIR, 2009). Em análises tradicionais, os prejuízos gerados pelo processo econômico, não tem contrapartida na análise dos coeficientes técnicos medidos monetariamente (AYRES; KNEESE, 1969) e o capital natural, por vezes, é desconsiderado (DALY, 2017).

Todavia, a metodologia proposta por Odum (1996), permite identificar que o fluxo de emergia de um bem é, por definição, a medida de trabalho de auto-organização do planeta para fazê-lo, onde a natureza fornece recursos por meio de padrões de interação. No processamento de energia de um bem, há uma memória¹⁸ energética ou energia incorporada, que é o resultado da energia necessária e utilizada para a produção desse bem. Em resumo, o termo emergia pode ser definido como sendo a energia disponível e necessária, de um tipo de energia anteriormente usado, direta ou indiretamente, para produzir um recurso (serviço ou produto) (ODUM, H. T., 2007), ou seja, é o trabalho da natureza para gerar insumos de baixa entropia que serão utilizados para a manutenção e crescimento do sistema econômico.

¹⁷O primeiro artigo de Leontief, com estimações empíricas intitulado “*Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States*” foi publicado em 1936. Porém, em 1928 publicou parte de sua tese escrita em Berlim num trabalho com o título “A Economia como processo circular”. Leontief se apoiou em Quesnay e na representação formal de Walras. Porém seu interesse e estudo sobre a economia compreendida através de um esquema fisiocrático são anteriores. Seu trabalho começa a ser conhecido em 1920 (BORGES; LOPES, 2015).

¹⁸Convencionou-se em utilizar o termo emergia com M, por estar ligado com o trabalho realizado pela natureza na geração de produtos e serviços, também é utilizado como um sinônimo de “energia incorporada” ou de “memória energética” (do inglês *embodied energy*) (ODUM, 1996).

A proposta do Modelo de Insumo-Produto Emergético (MIPE) é justamente uma composição dessas duas metodologias: a análise emergética e o modelo de insumo-produto ecológico¹⁹. Por meio de um vetor, o modelo permite a inclusão do uso de fatores primários, ou seja, a vantagem desse procedimento é que o mesmo incorpora as unidades físicas “fora do modelo”. Assim, admite-se, de maneira convencional, calcular a inversa de Leontief e converter as unidades monetárias em unidades físicas (MONTROYA; FINAMORE, 2019).

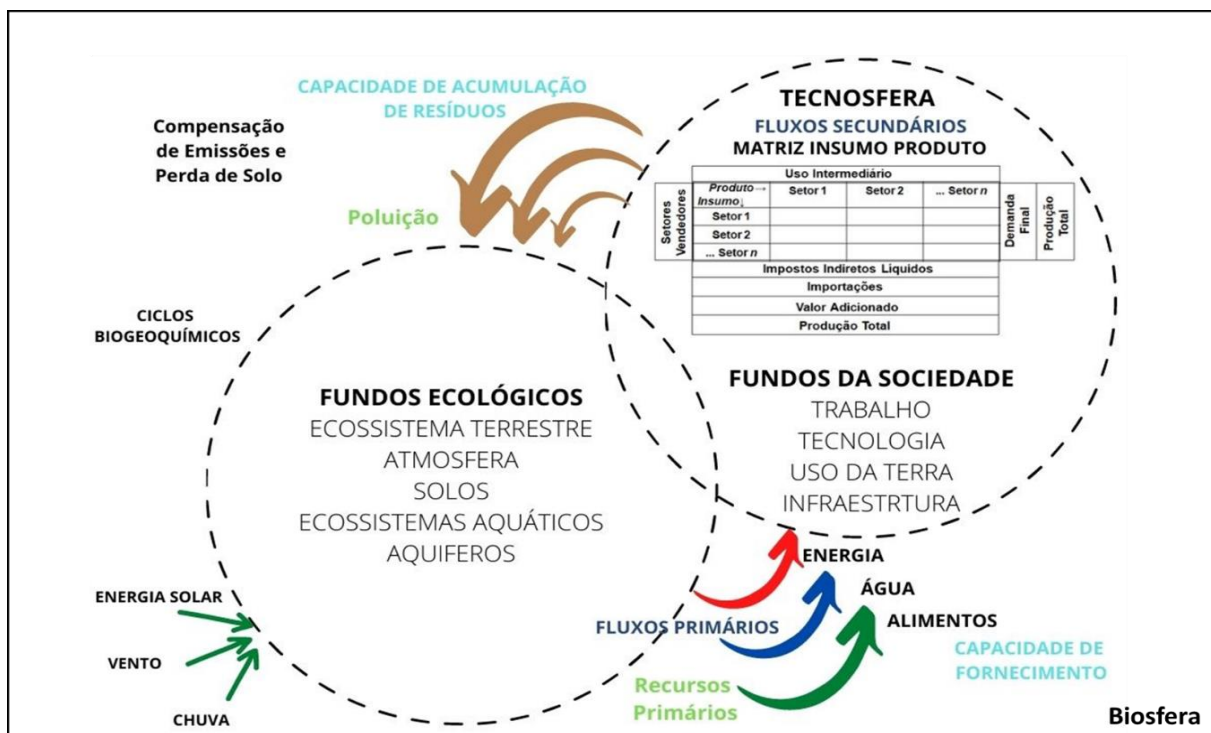
O MIPE possibilita mensurar, detalhadamente, o comportamento setorial do processo produtivo nacional a partir da interação circular do uso dos recursos de capital, humano, da natureza e distinguir o que são os fundos e os fluxos. Nesse caso, os fundos são os fatores de produção tradicionais da economia (força de trabalho, uso da terra, solo), ou seja, são os agentes capazes de produzir e consumir fluxos. Já os fluxos são a matéria e energia que vem da natureza (energia, água) ou de outro processo produtivo, e que se transformam através do processo produtivo em bens finais, resíduos e poluição (fluxos de saída).

Assim, a partir da conjuntura estruturada até aqui, a Figura 2, retrata graficamente a ideia de que o processo econômico-tecnosfera²⁰ não é fechado. A tecnosfera interage com fluxos circulares com a biosfera e depende de condições favoráveis determinadas por processos fora do controle humano, como a capacidade de acumulação de resíduos e a capacidade de fornecimento da biosfera. A ideia é reduzir os problemas de aproximação entre o *gap* da abordagem econômica de modelos em valores monetários e as leis da termodinâmica.

Figura 2 – O subsistema econômico e a sua relação com o valor biofísico

¹⁹ Representa uma extensão da estrutura interindustrial para incluir setores “ecossistêmicos” adicionais, onde os fluxos serão registrados entre os setores econômicos e ecossistêmicos ao longo das linhas de um modelo de insumo-produto, mais detalhes em (MILLER; BLAIR, 2009).

²⁰ Representa a leitura biofísica da economia circular na economia convencional (GIAMPIETRO, 2019).



Fonte: adaptada de (PRESOTTO; TALAMINI, 2021)

Como definido, a Figura 2 defende uma alternativa de análise de setorial e composição do valor biofísico e a viabilidade metodológica aplicada de indicadores como: Taxa de Eficiência Emergética (*EYR*), Taxa de Carga Ambiental (*ELR**), Índice de Sustentabilidade Emergética (*ESI*), Índice de Insustentabilidade Emergética (*EUI*) e Taxa de Renovabilidade (*R**) originalmente desenvolvidos em análises de sistemas por Odum (1996), Ortega; Anami; Diniz, (2002), Brown; Ulgiati (1997), Artuzo et al., (2020) e Ortega; Anami; Diniz, (2002), respectivamente. Os mesmos quando mensurados a partir do valor biofísico fornecerão uma base de suporte para a avaliação de políticas aplicadas à análise de desempenho de setores mais ou menos sustentáveis ou insustentáveis, por exemplo.

A análise sistêmica do Modelo de Insumo-Produto Emergético proporciona um novo olhar, que sobressai às dificuldades da economia ambiental e ecológica, pois incorpora minimamente o valor biofísico do processo de produção de bens (fluxos de entrada e saída). Há de se salientar que o assunto não se esgota e que muito ainda pode-se evoluir nessa temática. A proposta teórica do MIPE contribui para lançar a possibilidade de cálculo de indicadores setoriais que agreguem de forma sistêmica a análise o uso dos recursos renováveis da natureza (sol, chuva e vento), os recursos da natureza não renováveis (carvão, gás, por exemplo) ainda permite que seja acrescentado ao processo produtivo as emissões CO₂ e a perda de solo.

5. Considerações Finais

O trabalho proporcionou a estruturação de um panorama sobre a evolução das principais discussões que permeiam as relações de produção, crescimento, desenvolvimento econômico e sustentabilidade. A discussão trouxe ineditismo, principalmente, sobre a interdependência do processo econômico dos recursos naturais, a partir do valor biofísico. Ainda despendeu um esforço em entender como o sistema econômico é uma parte de um sistema maior, e por isso depende da manutenção da biosfera para a sua continuidade.

A perspectiva neoclássica tradicional se mostrou falha, tanto em abordagens da microeconômica como em modelos macroeconômicos para abordar a complexidade relacionada às variáveis que estão envolvidas com o conceito de desenvolvimento sustentável, no que tange discussões embasadas no valor biofísico. Além disso, os esforços empregados em alguns modelos, por vezes, estão escassos de uma realidade condizente com as reais perspectivas sobre a dependência do processo econômico. Todavia, não há como negar a importância dos estudos da escola neoclássica, principalmente, por conseguirem com um rigor matemático chegar a parâmetros robustos para a realidade da época.

Com isso, a principal contribuição deste estudo está, justamente, na proposição de uma nova perspectiva para a análise do processo econômico de forma a integrar os recursos utilizados sejam eles em valores monetários ou/e físicos. Além disso, a proposta tem o potencial de embasar políticas públicas, principalmente pelo fato de que se conseguirá, a partir de uma análise aplicada, mensurar o desempenho econômico e dos recursos naturais utilizados em cada setor econômico. Com isso, as políticas públicas podem ser direcionadas a setores que precisam melhorar seu desempenho no alcance do desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem a contribuição do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq para o apoio financeiro (Processo nº 303956 / 2019-4) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) para bolsa de doutorado (número do processo) 88882.439350/2019-01). Agradecemos aos membros do Grupo de Pesquisa em Bioeconomia Aplicada ao Agronegócio (NEB-Agro) pelas discussões.

Referências

ARROW, K. *et al.* Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Environment and Development Economics**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 104–110, 1996. Available at: <https://doi.org/10.1017/S1355770X00000413>
ARTUZO, F. D. *et al.* Science of the Total Environment Emergy unsustainability index for

agricultural systems assessment : A proposal based on the laws of thermodynamics. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 759, p. 1–13, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143524>

AYRES, R. U.; KNEESE, A. V. Production , Consumption , and Externalities. **American Economic Association Production**, [s. l.], v. 59, n. 3, p. 282–297, 1969.

BARKIN, D.; CARRASCO, M. E. F. La significación de una Economía Ecológica radical. **Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica**, [s. l.], v. 19, n. 0, p. 1–14, 2012.

BIOPHYSECO, (The biophysical economics Policy Center). **What Is Biophysical Economics?**. [S. l.], 2020. Available at: <https://biophyseco.org/biophysical-economics/what-is-biophysical-economics/>.

BORGES, R. E. S.; LOPES, T. C. Breve histórico das tabelas de insumo-produto no Brasil. **Revista de Economia Política e História Econômica**, [s. l.], n. January 2015, p. 23, 2015.

BRESSER-PEREIRA, L. C. **Da macroeconomia clássica à keynesiana**. [S. l.], 1976. Available at: <http://www.bresserpereira.org.br/view.asp?cod=649>. Acesso em: 14 mar. 2021.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 9, n. 1–2, p. 51–69, 1997. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00033-5)

CAMPBELL, D. E. Emergy Analysis of Human Carrying Capacity and Regional Sustainability: an Example Using the State of Maine. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 51, n. 1/2, p. 531–569, 1998. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1006043721115>. Acesso em: 24 set. 2019.

CECHIN, A. D. **A natureza como limite da economia : a contribuição de Georgescu-Roegen**. São Paulo: [s. n.], 2010.

CECHIN, A. D.; DA VEIGA, J. E. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 438–454, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0101-31572010000300005>

CLEVELAND, C. J. Biophysical economics: Historical perspective and current research trends. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 38, n. 1–2, p. 47–73, 1987. Available at: [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(87\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0304-3800(87)90044-5)

CONGLETON, R. D. Political institutions and pollution control. **Review of Economics & Statistics**, [s. l.], v. 74, n. 3, p. 412–421, 1992. Available at: <https://doi.org/10.2307/2109485>

DALY, H. E. Crescimento sustentável? Não, obrigado. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 197–202, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200012>. Acesso em: 14 jun. 2019.

DALY, H. E. **Steady-State Economics Second Edition**. Washington, DC: 2nd ed, 1991.

DALY, H. E. Trump’ s growthism: its roots in neoclassical economic theory. **Real-World Economics Review**, [s. l.], n. 78, p. 86–97, 2017.

DOBB, M. Theories of Value and Distribution Since Adam Smith. **Labour History**, [s. l.], n. 28, p. 57, 1973. Available at: <https://doi.org/10.2307/27508172>

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento. Entropia. Ecologia. Economia**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge; Grã-Bretanha: [s. n.], 1971.

GIAMPIETRO, M. On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 162, n. November 2018, p. 143–156, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.001>

GOWDY, J.; MESNER, S. The Evolution of Georgescu-Roegen's Bioeconomics. **Review of Social Economy**, [s. l.], v. LVI, n. 2, p. 22, 1998.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic Growth and the Environment. **The Quarterly Journal of Economics**, [s. l.], v. 110, n. 2, p. 353–377, 1995. Available at: <https://doi.org/10.2307/2118443>. Acesso em: 30 abr. 2020.

HALL, C. S.; BALOGH, S.; MURPHY, D. J. R. What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? **Energies**, [s. l.], v. 2, p. 25–47, 2009. Available at: <https://doi.org/10.3390/en20100025>

HALL, C.; KLITGAARD, K. The need for a new, biophysical-based paradigm in economics for the second half of the age of oil. **International Journal of Transdisciplinary Research**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 4–22, 2006.

HASEGAWA, T. *et al.* Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 8, n. 8, p. 699–703, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x>. Acesso em: 24 ago. 2019.

HUNT, E. K.; LAUTZENHEISER, M. **História do Pensamento Econômico Uma Perspectiva crítica**. [S. l.: s. n.], 2013. ISSN 2386-5768.v. 3 Available at: <https://doi.org/10.5209/ijhe.53115>

IBGE. **Matriz de Insumo-Produto**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?=&t=o-que-e>.

JI, X.; LUO, Z. Opening the black box of economic processes: Ecological Economics from its biophysical foundation to a sustainable economic institution. **Anthropocene Review**, [s. l.], 2020. Available at: <https://doi.org/10.1177/2053019620940753>

KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **The American Economic Review**, [s. l.], v. 45, p. 1–28, 1954. Available at: <https://doi.org/10.2307/1811581>. Acesso em: 30 abr. 2020.

LOTKA, A. J. An objective standard of value derived from the principle of evolution. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 14, p. 409–418, 1914.

LOTKA, A. J. Elements of Physical Biology. **Nature**, [s. l.], v. 116, n. 2917, p. 461, 1925. Available at: <https://doi.org/10.1038/116461b0>

MELGAR-MELGAR, R. E.; HALL, C. A. S. Why ecological economics needs to return to its roots: The biophysical foundation of socio-economic systems. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 169, n. November 2019, p. 106567, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106567>

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis Foundations and Extensions**. 2nd Edition. New York: Cambridge University Press, 2009.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. **AS RELAÇÕES INTERSETORIAIS DOS RECURSOS HÍDRICOS NA ECONOMIA BRASILEIRA**. [S. l.: s. n.], 2019.

MOZ-CHRISTOFOLETTI, M. A.; PEREDA, P. C. Winners and losers: the distributional impacts of a carbon tax in Brazil. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 183, n. February, p. 106945, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106945>

MUELLER, C. **Avaliação de duas correntes da economia ambiental: escola neoclássica e a economia da sobrevivência**. [S. l.: s. n.], 1998.

NEUMAYER, E. Weak versus Strong Sustainability. **Weak versus Strong Sustainability**, [s. l.], 2013. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781849805438>

NIELSEN, S. N. *et al.* Thermodynamics in ecology-An introductory review. **Entropy**, [s. l.], v. 22, n. 8, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3390/E22080820>

ODUM, H. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making**. New York: [s. n.], 1996.

ODUM, H. T. Environment, power, and society for the twenty-first century: the hierarchy

of energy. **Choice Reviews Online**, Gainesville, v. 45, n. 4, p. 45-1996-45-1996, 2007. Available at: <https://doi.org/10.5860/choice.45-1996>

ODUM, H. T. *et al.* **SISTEMAS AMBIENTAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS**. Gainesville: University of Florida, 1987.

ODUM, T. H. Self-Organization, Transformity, and Information. **Science**, [s. l.], v. 242, p. 1132-1139, 1988.

ORTEGA, E.; BACIC, M. J. **USO DA METODOLOGIA EMERGETICA NA ANALISE DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E CONSUMO**. Campinas: Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada - LEIA, 2020. Available at: <https://www.unicamp.br/fea/ortega/Brasil/valor.htm>

ORTEGA, E.; ANAMI, M. H.; DINIZ, G. Certification of food products using emergy analysis. In: , 2002, Venere, Italy. **Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies**. Venere, Italy: [s. n.], 2002. p. 227-237.

ORTEGA, H. Engenharia ecológica: conceitos básicos e importância do trabalho de H. T. Odum. **Engenharia ecológica e agricultura sustentável: Uma introdução à metodologia emergética**, [s. l.], p. 1-16, 2003.

PALMER, G. Energy Modelling. **Energies**, [s. l.], n. 1, p. 1-17, 2018. Available at: <https://doi.org/10.3390/en11040839>

PRESOTTO, E.; TALAMINI, E. A PROPOSIÇÃO DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICO COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO DE POLÍTICAS PÚBLICAS SUSTENTÁVEIS. In: **POLÍTICAS PÚBLICAS NO BRASIL: FERRAMENTAS ESSENCIAIS AO DESENVOLVIMENTO (EM ELABORAÇÃO)**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2021.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: Uma perspectiva econômicoecológica. **Estudos Avancados**, [s. l.], v. 26, n. 74, p. 65-92, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>

SACHS, I. Desenvolvimento sustentável: desafio do século XXI. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 214-216, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2004000200016>

SAES, B. M. **Macroeconomia Ecológica: O Desenvolvimento De Abordagens E Modelos a Partir Da Economia Ecológica**. 2015 f. 2015. [s. l.], 2015.

SHERWOOD, J. *et al.* Putting the Biophysical (Back) in Economics : A Taxonomic Review of Modeling the Earth - Bound Economy. **Biophysical Economics and Sustainability**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 1-20, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41247-020-00069-0>

SMITH, A. **An Inquiry Into the Nature and Causes of the Wealth of Nations**. [S. l.: s. n.], 1925. ISSN 00130133. Available at: <https://doi.org/10.2307/2221259>

SOARES, layza da rocha; ALMEIDA, L. togeiro de. DESACOPLEMENTO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO BRASIL. **Journal of Chemical Information and Modeling**, [s. l.], v. 53, n. 9, p. 1689-1699, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

SPASH, C. L. A tale of three paradigms: Realising the revolutionary potential of ecological economics. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 169, n. September 2019, p. 106518, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106518>

VARIAN, H. R. **Intermediate Microeconomics Modern Approach**. Ninth Edited. New York: W. W. Norton & Company, 2014.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: uma abordagem moderna**. 9ªed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. ISSN 15206882. Available at: <https://doi.org/10.1021/ac00130a760>

VEIGA, J. E. da. Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor. **Editora Senac**, São Paulo, 2010.