

CUSTO DA BAIXA ENTROPIA COMO FATOR LIMITANTE DO SISTEMA ECONÔMICO-ECOLÓGICO

João Pereira do Santos¹

Evellyn Aragão Monteiro²

Resumo

Diante dos desafios ambientais contemporâneos e da crescente escassez de recursos, intensificam-se os debates sobre como a economia deve incorporar os limites ecológicos em suas formulações teóricas. Nesse contexto, o artigo discute a integração entre a formulação keynesiana da precificação de ativos e a abordagem analítico-fisiológica da economia de Georgescu-Roegen, ressaltando os limites da precificação de ativos produtivos que dependem e exploram recursos da natureza. Enquanto Keynes estrutura as decisões de investimentos com base em fluxos de quase-renda, valorização patrimonial, custos de manutenção e prêmio de liquidez, Georgescu-Roegen destaca que todo processo econômico é regido unidirecionalmente pela lei da entropia, implicando em transformação irreversível e irrevogável de recursos de baixa entropia em alta entropia. Assim, o modelo de precificação de ativos de Keynes ignora a dependência material em relação ao capital natural e seus limites biofísicos, a finitude dos recursos e as mudanças qualitativas no ambiente decorrentes da lei da entropia. O estudo, de caráter teórico e interpretativo, utiliza revisão bibliográfica e análise conceitual, articulando contribuições de Keynes e Georgescu-Roegen. Como ilustração, examina-se o caso das minas de minério de ferro, revelando que a precificação de ativos industriais tende a superestimar a rentabilidade ao desconsiderar a finitude dos estoques e o retorno da atividade mineral. Conclui-se que a incorporação da perspectiva da economia ecológica na precificação de ativos é indispensável para internalizar custos ecológicos, orientar políticas públicas e assegurar uma avaliação mais realista, justa e ecologicamente compatível com os limites ambientais.

Palavras-chave: Economia Keynesiana. Economia ecológica. Precificação de ativos. Entropia. Capital natural.

Abstract

In the face of contemporary environmental challenges and growing resource scarcity, debates are intensifying over how economics should incorporate ecological limits into its theoretical formulations. In this context, this article discusses the integration of the Keynesian formulation of asset pricing with Georgescu-Roegen's analytical-physiological approach to economics, highlighting the limits of pricing productive assets that depend on and exploit natural resources. While Keynes structures investment decisions based on quasi-rent flows, asset appreciation, maintenance costs, and liquidity premiums, Georgescu-Roegen emphasizes that every economic process is unidirectionally governed by the law of entropy, implying the irreversible and irrevocable transformation of low-entropy resources into high-entropy resources. Thus, Keynes's asset pricing model ignores material dependence on natural capital and its biophysical limits, the finiteness of resources, and the qualitative changes in the environment resulting from

¹ Professor Doutor da FACECON-UFPA. E-mail: joaopereira@ufpa.br

² Graduanda do curso de Economia da UFPA. E-mail: evellynaragao58@gmail.com

the law of entropy. This theoretical and interpretative study utilizes a literature review and conceptual analysis, articulating contributions from Keynes and Georgescu-Roegen. As an illustration, the case of iron ore mines is examined, revealing that the pricing of industrial assets tends to overestimate profitability by disregarding the finiteness of inventories and the return on mining activity. The conclusion is that incorporating an ecological economics perspective into asset pricing is essential to internalize ecological costs, guide public policies, and ensure a more realistic, fair, and ecologically compatible assessment within environmental limits.

Keywords: Keynesian economics. Ecological economics. Asset pricing. Entropy. Natural capital.

1. Introdução

Schumpeter (1942) explica a diferença entre crescimento e desenvolvimento econômico. A geração de renda e o desenvolvimento vem prioritariamente das transformações qualitativas do processo econômico impulsionadas por inovações. Por outro lado, o crescimento econômico também se origina do aumento da quantidade de produção de commodities. Dessa maneira, as grandes empresas capitalistas obtêm prioritariamente as suas rendas de inovações e tem o papel social de padronizar a produção visando o acesso da massa de trabalhadores aos produtos industriais. Assim sendo, o crescimento da renda envolve transformações qualitativas e mudanças quantitativas do processo econômico.

Muito antes das crises ambientais atuais, Georgescu-Roegen (1971) já explicou o conceito de desenvolvimento econômico em termos de transformação de entropia. Para ele a escassez crescente dos recursos naturais decorreu do salto evolutivo do homem, que passou a produzir órgãos exossomáticos (ferramentas, máquinas e tecnologias) em vez de depender apenas da evolução biológica de seus órgãos endossomáticos³. Esse avanço ampliou a capacidade produtiva e a complexidade social, mas também intensificou o consumo e a degradação do capital natural. A pressão sobre os recursos aumentou porque a lógica econômica priorizou a expansão da produção e do consumo, frequentemente direcionada a bens supérfluos que beneficiou elites. Assim, a exploração intensiva reforçou tanto a escassez ecológica quanto os conflitos sociais, criando um círculo vicioso em que o progresso tecnológico acelerou a extração e a exaustão dos recursos, ao mesmo tempo em que aprofundou disputas distributivas.

Georgescu-Roegen (1971) também adicionou uma grande inovação ao debate sobre a precificação dos ativos produtivos, ao inserir a segunda lei da termodinâmica no coração da

³ Órgãos endossomáticos são os instrumentos biológicos naturais dos organismos vivos, como braços, pernas, asas (Georgescu-Roegen, 1971). Para discussão aprofundada, ver seção 2.4.

análise econômica. Para o autor, toda atividade produtiva é, essencialmente, um processo de transformação irreversível de energia e matéria de baixa entropia (ordenada, útil) em alta entropia (desorganizada, inútil), ou seja, a economia, ao transformar recursos naturais (de baixa entropia) em produtos, inevitavelmente gera resíduos e perda de ordem (alta entropia). Isso significa que todo crescimento econômico gera degradação ambiental e não há como evitá-lo completamente.

Por sua vez, Minsky (1982; 1986) afirma que em uma economia monetária de produção, preços, produto e emprego são determinados pela condição de igualdade entre lucros e investimentos. A decisão de investimento depende do bem de capital que é financiado. A aplicação em um bem de capital, por sua vez, depende de um excesso do preço de demanda por investimento, obtido a partir do mercado de ativos de capital, em relação ao preço de oferta da produção de bens de investimento, que depende dos custos do financiamento que deve ser assumido se a produção for produzida e a mão de obra for contratada.

Em contraposição, Georgescu-Roegen (1978, 2012) critica a aplicação do princípio de descontar o futuro sobre uma economia de recursos insubstituíveis. Em sua opinião, cada geração pode utilizar tantos recursos terrestres e produzir tanta poluição quanto sua oferta decidir. Entretanto, as gerações futuras mais distantes ficam excluídas do mercado atual pela simples razão de não poderem estar presentes. Ao invés do desejo de maior lucro possível, a política do governo em relação aos recursos naturais em relação às gerações futuras deve buscar “minimizar os arrependimentos”.

Diante do exposto, pode-se destacar que a escassez de baixa entropia e a escassez de capital são categorias importantes na construção de uma teoria de precificação de ativos de capital. Entretanto, a teoria de precificação de ativo de Keynes (1936) considera a taxa de juros e a taxa de lucro como fatores limitantes do progresso econômico e abstrai a realidade de que a escassez de recursos naturais limita a renda das corporações industriais. Em razão da degradação dos recursos naturais impulsionada pelo sistema capitalista, o principal objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta analítico-fisiológica de precificação de ativos de capital em que o custo da baixa entropia é outro fator limitante das decisões estratégicas de investimento de longo prazo.

Assim sendo, o presente artigo tem por objetivo articular a formulação keynesiana de precificação de ativos com a abordagem analítico-fisiológica de Georgescu-Roegen, de modo a evidenciar os limites da precificação de ativos produtivos que exploram recursos

naturais. Busca-se demonstrar que a lógica monetária e financeira, centrada em fluxos de quase-renda, valorização patrimonial, custo de manutenção e liquidez torna-se insuficiente quando desconsidera os processos irreversíveis de transformação entrópica e a finitude dos recursos naturais. Por fim, espera-se que a precificação de ativos de capital inclua a realidade da degradação dos recursos naturais e os planos governamentais de longo prazo levem consideração a estabilidade do sistema econômico-ecológico.

Para alcançar tal objetivo, foi realizada uma pesquisa de caráter teórico e interpretativo, fundamentada em revisão bibliográfica e análise conceitual. O estudo reúne as contribuições de Keynes e Georgescu-Roegen, para estabelecer um diálogo entre a teoria pós-keynesiana da precificação de ativos e a crítica da economia ecológica baseada na lei da entropia. Adota-se como estratégia metodológica o exame analítico-fisiológico, que permite evidenciar a relação entre fatores institucionais e materiais no processo econômico, bem como os limites impostos pelos recursos naturais. Além disso, utiliza-se a precificação de minas de minério de ferro como um exemplo ilustrativo para mostrar a insuficiência do modelo de precificação de ativos produtivos keynesiano e a necessidade de incorporar custos ecológicos e entrópicos na avaliação de ativos.

Para isso, o artigo está dividido em quatro seções além desta introdução. A segunda seção aborda os principais conceitos da abordagem analítico-fisiológica da economia de Georgescu-Roegen. A terceira seção apresenta de forma resumida o modelo de precificação de ativos de Keynes. Já a quarta seção apresenta uma proposta de análise fisiológica da precificação de ativos produtivos, como principal resultado do estudo e a última seção traz as considerações finais do trabalho.

2. Principais Conceitos da Abordagem Analítico-Fisiológica da Economia

Para explicar seu argumento central, qual seja, a luta econômica gira apenas em torno da baixa entropia e que a natureza do processo econômico visto como um todo é puramente entrópica e, portanto, ela está suscetível aos limites biofísicos do planeta, Georgescu-Roegen (1971) mobiliza uma série de conceitos científicos de diversas áreas do conhecimento, especialmente economia, física, biologia, sociologia, teoria institucional e ciência política que serão apresentados nesta seção com o intuito de fornecer o embasamento necessário para compreensão do seu pensamento. Assim, serão apresentados a seguir, os conceitos de entropia e processo econômico; sistemas fechados e abertos; tempo e irrevogabilidade; instrumentos exossomáticos e endossomáticos; fatores culturais e política.

2.1 Entropia e Processo Econômico

Segundo Georgescu-Roegen (1971), a economia dos processos biológicos em todos os níveis é regida pela Lei da Entropia. O processo econômico está intimamente ligado à Lei da Entropia. Por causa da entropia, o processo econômico induz mudanças qualitativas duradouras na natureza e é afetado pela mudança qualitativa do ambiente em que está ancorado. É um processo aberto, dependente e histórico. Dessa maneira, a lei natural da entropia está envolvida em todos os aspectos do comportamento do homem, ou seja, “a lei da entropia influencia as ações econômicas do homem” (Georgescu-Roegen, 1971, p.2).

A compreensão do conceito de processo econômico na visão de Georgescu-Roegen passa pela definição geral do próprio conceito de “processo”, com base na ideia de que ele é delimitado por uma “fronteira” (penumbra). Assim, a fronteira identifica o processo econômico e o separa do restante do mundo. Para Georgescu-Roegen (1971, p. 14, p. 212), esta fronteira é fundamentalmente dialética, porque o mundo é “um todo contínuo” e “a realidade, pelo menos como é vista pela mente humana, muda qualitativamente de maneira contínua”.

Uma vez introduzido o conceito de fronteira, a análise de um processo de produção “reduz-se ao registro apenas do que atravessa a fronteira” (Georgescu-Roegen, 1971, p.215). Georgescu-Roegen identifica duas categorias distintas de elementos que cruzam a fronteira. Primeiro, os elementos de “fluxo” são os objetos da transformação, no sentido de que estão sujeitos a mudanças qualitativas no processo. Eles entram no processo como entradas e saem do processo como saídas de uma forma alterada. Em segundo lugar, os elementos do “fundo” são os agentes do processo que atuam sobre os elementos do fluxo e controlam a sua transformação. Os fundos produzem serviços, mas eles próprios não são transformados pelo processo.

Por outro lado, o sistema fabril é dito “econômico” se os fatores de fundo não ficam ociosos. Entretanto as vantagens do sistema fabril dependem de uma demanda grande o suficiente para que a produção possa ser organizada de modo que nenhum fator de fundo nele empregado fique ocioso. Assim sendo, a procura determina as vantagens econômicas do sistema fabril que, por sua vez, estimula as inovações tecnológicas criando vantagens competitivas (Georgescu-Roegen, 1971).

Com relação ao comportamento humano, Georgescu-Roegen (1971, p.195) afirma que “todos nós [...] agimos com um propósito”. A vida envolve também um processo físico

ativo chamado de atividade ou ação humana que não é derivável da lei da entropia. Existe alguma liberdade deixada à realidade pela lei da Entropia. “E é em virtude dessa liberdade que um organismo vivo pode realizar seu propósito de vida e que a atividade econômica do homem é possível” (Georgescu-Roegen, 1971, p. 194).

Por seu turno, a Entropia é reconhecida pelo próprio Georgescu-Roegen como um conceito complexo (Georgescu-Roegen, 2012). Sem entrar nos detalhes da sua origem, que remonta aos primeiros estudos da física da Termodinâmica⁴ e suas descobertas sobre os processos de transformação de energia e produção de calor, e focando no que importa para o pensamento de Georgescu-Roegen, precisa-se compreender, primeiramente, que existem duas formas de energia: i) a energia utilizável ou livre (que pode ser transformada em trabalho) e; ii) a energia não utilizável ou ligada (que não pode ser transformada em trabalho).

Dito isso, Georgescu-Roegen (2012, p. 81) busca simplificar a definição de entropia a definindo como “índice da quantidade de energia não utilizável contida num dado sistema termodinâmico num determinado momento da sua evolução”. Nesse sentido, dizer que um sistema possui baixa entropia, significa que ele tem baixa quantidade de energia não utilizável, ou de outra forma, que ele possui grande quantidade de energia utilizável.

Outra formulação mais complexa para entropia, que advém da 2ª Lei da Termodinâmica, demonstra que a energia utilizável é continuamente transformada em energia não utilizável até desaparecer completamente, o que corresponde a degradação irrevogável, observada por exemplo no processo de degradação de uma fruta até ela se estragar completamente. Isso implica, que todas as formas de energia são gradativamente transformadas em calor e o calor ao final, torna-se tão difuso que o homem não pode utilizá-lo (Georgescu-Roegen, 2012).

Segundo Georgescu-Roegen (1971) a mudança qualitativa da energia e matéria causada pela lei da entropia é um fato independente e inevitável. Naturalmente, a Entropia de um ser vivo e de um sistema de vida se opõe à tendência de degradação qualitativa a que está sujeita a matéria inerte. Entretanto, um ser vivo só pode escapar à degradação entrópica da sua própria estrutura. Não pode impedir o aumento da entropia de todo o sistema, constituído pela sua estrutura e pelo seu ambiente. Dessa maneira, a presença de vida faz com que a entropia de um sistema aumente mais rapidamente do que aconteceria de outra forma.

⁴ Em *The Entropy Law and Economic Process* Georgescu-Roegen utilizou muitas páginas explicando minuciosamente a origem das leis da Termodinâmica.

Além disso, a essência da Lei da Entropia é que a degradação da energia tende a um máximo em sistema isolado, e que tal processo é irreversível. Os seres vivos conseguem manter sua organização temporariamente, resistindo ao processo entrópico do universo. Os organismos vivos existem, crescem e aumentam sua organização importando energia de qualidade, de baixa entropia, de fora de seus corpos, e exportando entropia, ou seja, aumentando a entropia ao seu redor.

Por outro lado, o domínio econômico está rodeado por uma penumbra dialética muito mais ampla do que a de qualquer ciência natural. Dentro desta ampla penumbra, o econômico entrelaça-se com o social e o político. Por outra parte, o processo econômico depende do fluxo de insumos para manter sua organização material, expandir sua capacidade produtiva e crescer em escala de produção. É o ritmo a que a baixa entropia é bombeada do ambiente para o processo econômico que limita o ritmo deste processo. Além disso, a escassez da baixa entropia determina o equilíbrio do processo de vida e a direção geral do desenvolvimento econômico (Georgescu-Roegen, 1971).

Dessa maneira, há um sério perigo de o planeta ser danificado de forma irreversível se as políticas econômicas dos países não reconhecerem os sistemas econômicos como sistemas constituídos de seres humanos vivos e como partes de ecossistemas que contém outras formas de vida.

2.2 Sistemas fechados e abertos

A compreensão dos sistemas econômicos e suas interações com o ambiente é essencial para entender a economia como parte de um sistema maior e finito, sujeito às leis da termodinâmica e ciclos naturais. A adoção de modelos mais sustentáveis, que reconheçam a finitude dos recursos e a interdependência entre economia e meio ambiente, é crucial para a sustentabilidade econômica.

Nesse contexto, Georgescu-Roegen (2012) aprofunda a análise da dinâmica dos sistemas fechados e abertos, ressaltando suas implicações para a sustentabilidade ecológica. Para ele, os sistemas fechados, como a terra, trocam apenas energia, mantendo a matéria constante, enquanto, os sistemas abertos como os processos econômicos trocam matéria e energia com o ambiente, gerando variações de entropia. Assim, as atividades produtivas e de consumo estão sujeitas às limitações impostas pela degradação energética e pela finitude dos recursos naturais, o que reforça a necessidade de uma abordagem econômica compatível com esses limites.

Não obstante as elucidações de Georgescu-Roegen, conforme Cechin e Veiga (2010), a economia convencional continua a ver a natureza como um setor separado na macroeconomia, sendo apenas uma parte do sistema econômico, ao contrário da economia ecológica que vê a economia como um sistema aberto de um sistema maior e finito, que é o ecossistema. De acordo com esta visão, a natureza é considerada como um sistema finito e materialmente fechado, condição para entender os limites do crescimento econômico, com particular ênfase na finitude de recursos e a capacidade limitada de eliminação de resíduos.

Os autores Saes e Romeiro (2018) também analisam a distinção entre sistemas abertos e fechados no contexto das abordagens da economia ecológica e da economia neoclássica. Eles argumentam que a economia neoclássica adota uma visão de sistema fechado, tratando o sistema econômico como isolado e autossuficiente, com relações determinísticas entre variáveis. Essa perspectiva é criticada por desconsiderar a interdependência entre a economia e o ambiente natural, bem como a complexidade e a incerteza dos sistemas econômicos reais. Em contraposição, a economia ecológica adota uma visão de sistema aberto, compreendendo a economia como um subsistema inserido em um ecossistema global finito, dependente dos fluxos de energia e matéria. Essa abordagem permite uma análise mais dinâmica e interdisciplinar dos processos econômicos, incorporando elementos como incerteza, irreversibilidade e complexidade.

Essa distinção entre sistemas abertos e fechados, discutida por Saes e Romeiro (2018), tem suas raízes nas análises prévias de Dow (1997; 2005), a qual sublinha que os sistemas abertos têm fronteiras e variáveis não predeterminadas, permitindo uma lógica mais ampla e flexível. Em contraste, os sistemas fechados possuem fronteiras e variáveis bem definidas, o que limita sua capacidade de interação com o ambiente externo. Essa diferença tem importantes consequências para a compreensão da economia, influenciando tanto a epistemologia quanto a ontologia da disciplina.

Outra contribuição importante para a temática de sistemas, foi a de Chick (2004), no qual enfatiza que sistemas fechados são completos e imutáveis, enquanto os sistemas abertos são dinâmicos, com limites semipermeáveis e variáveis suscetíveis a mudanças em função da atividade humana. Essa concepção sobre sistemas abertos e fechados foi aprofundada por ambas as autoras Chick e Dow (2005, p. 365), que definem sistema como uma rede interconectada, “dentro do qual os agentes agem, principalmente de maneiras que reproduzem e reforçam o sistema, mas às vezes de maneiras que levam o sistema a evoluir” (Chick, 2004, p. 5). Entretanto, as conexões não são completas. As instituições atuam como uma fonte

poderosa de conexões e barreiras, tanto restringindo quanto possibilitando a tomada de decisões e ações. Elas definem as regras dentro das quais certas atividades ocorrem, e algumas atividades são excluídas.

Assim sendo, Chick e Dow (2005) argumentam que, enquanto os sistemas fechados exigem relações previsíveis entre variáveis, os sistemas abertos são mais flexíveis, podendo suas fronteiras e interações serem alteradas ao longo do tempo. Em outras palavras, as interações e a ausência de interação que caracterizam um sistema não precisam ser fixas. As conexões são geralmente mutáveis; instituições e comportamentos evoluem. As ideias mudam em resposta às mudanças no mundo real, ao discurso e ao exercício da imaginação; novas ideias podem levar a novas conexões (Chick e Dow, 2005, p. 365). Dessa maneira, as autoras concluem que sistemas abertos e fechados não são antagonistas, mas fazem parte de um espectro, sendo os modelos fechados ferramentas temporais para uma abordagem mais ampla e aberta.

Estas abordagens são complementadas por Bobulescu (2017), que resgata a metodologia de Georgescu-Roegen, que vê a economia como parte de um sistema maior, interagindo com outros subsistemas físicos, biológicos e históricos, que evita a falácia reducionista comum na economia neoclássica e exige a consistência temporal entre os diferentes campos.

De forma semelhante, Martinez-Alier (1996) reforça esta visão, sugerindo que a economia deve ser entendida intrinsecamente conectada aos ecossistemas naturais, dos quais extraí recursos e para os quais devolvem resíduos. Esta interdependência é fundamental para a compreensão dos limites físicos e ecológicos do crescimento econômico e sinaliza e implica em necessidade de modelos que considerem esses aspectos.

2.3 Tempo e Irrevogabilidade

A distinção entre irreversibilidade e irrevogabilidade, conforme apresentada por Georgescu-Roegen (1971), é fundamental para entender a evolução dos sistemas e a direção do tempo. Enquanto processos irreversíveis podem retornar ao caminho anterior, mas não ao mesmo estado, os processos irrevogáveis, como a degradação entrópica, não podem ser repetidos. Esta é a condição necessária para a evolução, pois ela depende da irrevogabilidade de certos eventos.

Conforme Georgescu-Roegen (1971) a entropia, como uma lei evolucionária, define a seta do tempo, com o aumento inevitável da entropia indicando a direção objetiva do

tempo. Dessa maneira, a flecha do tempo da ciência depende de processos irrevogáveis, como a entropia. A seta do tempo é importante para entender a irreversibilidade dos processos fundamentais de entropia, tanto nos domínios da natureza como no domínio econômico. E sem essa irreversibilidade, o tempo perdido não teria sentido e a ciência seria especulativa e ineficaz.

Para Bobulescu (2017), com essa visão, Georgescu-Roegen reconcilia a visão histórica e física do tempo, levando em conta que, ao tentar perceber o tempo termodinâmico (T) em vez do tempo mecânico (t), seria possível alinhar o tempo físico T com o tempo histórico. A visão mecanicista do mundo, de acordo com condições estáveis, atemporais, reversíveis e mensuráveis seria assim substituída por uma noção de mudança permanente e transformação qualitativa, guiada pela crescente entropia e pela evolução exossomática.

No mesmo sentido, Cechin e Veiga (2010) fornecem uma crítica adicional à mecânica clássica, ao afirmar que, ao contrário do que sugere a premissa da mecânica, os processos naturais são, na verdade, reunidos predominantemente por irreversibilidade, tal como o movimento unidirecional do calor. No caso da economia, as transformações que ocorrem nas matérias-primas, tornando-as produtos e resíduos, também, são irreversíveis, o que impossibilita pensar a economia como um ciclo fechado, pois implica em retirar recursos do meio ambiente e doá-los de volta em forma de resíduos. Essa visão contradiz a concepção mecanicista da economia.

Por fim, Bobulescu (2017) enfatiza que, de acordo com Georgescu-Roegen, o tempo histórico não apenas é irreversível, mas também irrevogável. O autor argumenta que os processos econômicos possuem essa irrevogabilidade porque estão intrinsecamente ligados a contextos físicos, sociais e biológicos, que se desdobram ao longo do tempo. Nesse aspecto, a irrevogabilidade surge como uma condição essencial para a evolução, uma vez que um sistema não pode retornar a uma condição anterior.

2.4 Instrumentos exossomáticos e endossomáticos

Tendo como referência os estudos de Alfred J. Lotka (1925), Georescu-Roegen (1971) afirma a necessidade de compreensão da diferença entre instrumentos endossomáticos e exossomáticos. O primeiro termo refere-se aos instrumentos que todos os organismos vivos individuais são dotados ao nascer, tais como pernas, braços, asas etc. O tipo de instrumento endossomático varia de acordo com a espécie. Já os instrumentos exossomáticos são aqueles que são produzidos pelo homem, que não pertencem a seu corpo, com o intuito de aumentar ou

melhorar a sua potência de trabalho, tais como a foice, o arado, entre outros. Os economistas costumam chamar esses instrumentos de equipamentos de capital.

De acordo com Georgescu-Roegen (1971, p. 307, tradução nossa):

a evolução endossomática pode ser descrita como um progresso da eficiência entrópica das estruturas que sustentam a vida. Da mesma forma que a evolução exossomática. Os instrumentos exossomáticos permitem ao homem obter a mesma quantidade de baixa entropia com menos gasto de sua própria energia livre do que se ele usasse apenas a energia endossomática dos seus órgãos

Entretanto, segundo Georgescu-Roegen (1988, p. 318), não deve ser ignorado o fato de que “esta evolução não é uma bênção pura. Acima de tudo, transformou o homem numa espécie dependente de recursos finitos e acessíveis, uma transformação irreversível”.

Para Buarque (2017), quando a atividade humana alcança o nível para além do que é natural, através do uso dos instrumentos exossomáticos, gera-se um problema ecológico, pois tais instrumentos permitem a exploração de recursos naturais em uma escala muito maior, o que pode levar a sua exaustão e a degradação ambiental.

Em seu livro *Steady-State Economics*, Herman Daly (1977), discípulo de Georgescu-Roegen, não traz explicitamente o termo “instrumentos exossomáticos”, no entanto, sua obra discute o impacto das tecnologias relacionando com uso de recursos naturais. Em sua teoria é enfatizado que as tecnologias permitem a exploração de recursos naturais em uma escala muito maior, podendo levar a exaustão desses recursos, já que eles são finitos.

Por sua vez, Veiga (2015), utiliza-se os conceitos de Georgescu-Roegen para afirmar que instrumentos exossomáticos podem ter um impacto muito maior no meio ambiente, considerando sua capacidade de aumentar a força humana, do que os instrumentos endossomáticos.

2.5 Fatores institucionais e materiais

De acordo como Georgescu-Roegen (1971), o agente do processo econômico, pressionado pela Lei da Entropia, classifica de forma imaginária a baixa entropia de energia e utiliza seus órgãos biológicos com o propósito de manter sua entropia intacta, de desfrutar e preservar as suas vidas. A degradação da entropia determinará a direção da atividade adequada para o equilíbrio do processo de vida.

Em razão dessa luta entrópica e da escassez de baixa entropia, o instinto de *workmanship*⁵ com base no conhecimento recebido e corrente e a curiosidade ociosa⁶, gradualmente desenvolvem um conhecimento especulativo e criam instrumentos exossomáticos que possibilitam ao homem obter a mesma quantidade de baixa entropia com menor gasto de sua energia livre do que se usasse apenas seus órgãos endossomáticos.

Dessa forma, à medida que os órgãos exossomáticos inventados se tornam cada vez mais complexos, a sua produção já não pode ser conseguida apenas por um único homem, família, mesmo por um único grupo. Diante da pressão da degradação do dote de baixa entropia, a luta entrópica do homem em busca de baixa entropia para manter sua entropia intacta cria forçosamente uma nova maneira de produzir e organizar instrumentos exossomáticos, a produção social, uma nova instituição. Logo, para Georgescu-Roegen (1971), é o fluxo de baixa entropia que determinará a capacidade e a escala de produção social, a criação e manutenção das instituições.

2.6 Conflitos ecológicos distributivos, dependência de recursos naturais finitos e ordem

Em sua crítica à teoria institucional e evolucionária de Thorstein B. Veblen (1919) e economia institucional de John R. Commons (1934), Georgescu-Roegen (1988, p. 318) explica que “existe alguma correlação entre fatores econômicos e fatores institucionais, mas esta correlação não segue um princípio geral. Cada situação tem sua própria lógica”. Às vezes as sociedades humanas seguem uma tendência definida, às vezes surgem diversos conflitos de interesses que são responsáveis pela fricção da sociedade.

Em algum período da história, segundo Georgescu-Roegen (1988), o homem transgrediu a evolução biológica quando começou a produzir, para si mesmo, instrumentos exossomáticos que resultaram em conflitos de interesses, em contraposição aos órgãos

⁵ Segundo Veblen (1957, p. 3, tradução nossa), a “gênese e o crescimento de qualquer sistema de conhecimento devem-se, em grande parte, à iniciativa e *bias* proporcionadas por dois certos traços impulsivos da natureza humana: uma curiosidade ociosa, e o instinto de *workmanship*”. Ainda segundo Veblen (1914, p. 39, tradução nossa), “*Workmanship* prossegue sobre o conhecimento assim recebido e corrente e se aproveita dele para lidar com os meios materiais de vida”.

⁶ Grande parte do conhecimento corrente é objeto de especulação deliberada, usado para o propósito tecnológico “não intencional”, “irrelevante”, “desapaixonado”, “desinteressado”, cujo motivo e incentivo é a curiosidade. Nas palavras de Veblen (1957, p. 4, tradução nossa), “[...] os homens instintivamente buscam conhecimento, e o valorizam. O fato desta proclividade pode ser bem resumido ao dizer que os homens são por dom nativo impulsionados com uma curiosidade, “ociosa” no sentido de que um conhecimento das coisas é procurado, independentemente de qualquer utilização ulterior do conhecimento que se ganhou”.

endossomáticos que são propriedade natural do indivíduo e, portanto, não podem ser objeto de um conflito "normal". Além disso, essa mudança transformou o homem numa espécie dependente de recursos acessíveis finitos.

À medida que os instrumentos exossomáticos inventados se tornaram cada vez mais complexos, a sua produção exigiu mais mãos, tanto para serem construídos como para serem operados, a produção tornou-se forçosamente um empreendimento social. Por conta dos conflitos de interesses nas transações de administração, o empreendimento precisava ser planejado, supervisionado e controlado. Surgiu naturalmente uma nova divisão entre as pessoas, uma divisão de papéis. Esses papéis sociais constituíram a classe governante. Todos os outros membros da sociedade formam a classe governada (Georgescu-Roegen, 1988).

Sucessivamente, a divisão que surgiu das condições materiais que sustentaram a vida da espécie humana, tornou-se uma divisão do status material. Segundo Georgescu-Roegen, (1988, p. 319) “as elites sempre criaram uma mitologia social favorável sobre seu indispensável papel para o bem de seus governados”. Ele prossegue dizendo que “atualmente, nós já estamos movendo em direção à era quando os tecnocratas de todas as expertises chamam a atenção de que sem eles a sociedade, por causa de sua crescente complexidade, estaria perdida”, entretanto, essas afirmações segundo ele tem um fundo de verdade, pois “em cada estágio industrial, a sociedade precisa de uma instituição governante definida”.

Dessa maneira, Georgescu-Roegen (1976, p. 152), concorda com Keynes (CWJMK, V. 6, 1930, p. 174,) que a “política é inevitável e sábia”. O que é lamentável, segundo ele, é o fato de que os políticos assim como a classe ociosa (Veblen, 1919) tentam “conseguir alguma coisa a partir do nada”. Em segundo lugar, “dada a natureza das proclividades, haverá conflito social entre as elites e suas plataformas sociais e repousará sob formas variadas desde que o homem permaneça uma espécie vivendo de produção social e distribuição social” (Georgescu-Roegen, 1971, p. 320).

Para Martinez-Alier (2007), os elementos endossomáticos referem-se ao consumo energético-material para a subsistência humana, enquanto os elementos exossomáticos vão além da capacidade humana, exigindo um maior consumo de energia para que possam ser construídos e, também, para que funcionem. Para esse autor a forma pela qual os humanos ocupam um território, é dada pela compreensão limitada da quantidade de energia e material que podem utilizar, gastando de seus recursos endossomáticos para conquistarem um território

e, assim, necessitando cada vez mais do que a natureza pode oferecer. Ou seja, o conflito social se baseia nessa disputa por baixa entropia, mas que não é justa, considerando a desigualdade social já pré-estabelecida e aumentada pela disponibilidade de instrumento exossomáticos disponível aos ricos.

Martínez-Alier (2007) enfatiza, ainda, que a exploração dos recursos naturais e, como sua consequência direta, a degradação ambiental resulta em conflitos ecológicos distributivos. Estes conflitos se baseiam, principalmente, na disputa, entre diversos grupos sociais, para o acesso e o controle sobre os recursos naturais disponíveis. O autor afirma que os impactos ambientais são distribuídos de forma desigual, onde as comunidades pobres e marginalizadas são as que suportam a maior parte dos problemas como a poluição e a degradação ambiental, enquanto os grupos mais ricos e privilegiados obtêm benefícios econômicos da exploração dos recursos naturais.

Buarque (2017) ressalta que a utilização intensiva de instrumentos exossomáticos pode gerar uma dependência tecnológica, tornando-as indispensáveis para que as suas atividades produtivas sejam realizadas. Essa dependência tecnológica expõe cada vez mais o abismo da desigualdade social, considerando que a tecnologia, por mais acessível que ela esteja se tornando, não é para todos de maneira igualitária, a ferida da desigualdade econômica é aberta, levando a uma instabilidade social. Da mesma forma, Veiga (2019) também alerta para o fato que a busca incessante por crescimento econômico e o uso intensivo de tecnologias, ou seja, de instrumentos exossomáticos, podem levar a uma desigualdade social crescente

Considerando-se que esta seção apresentou as principais categorias analíticas da obra de Georgescu-Roegen fundamentais para compreensão do processo econômico como sujeito as condições da Lei da Entropia, a próxima seção apresenta e discute o modelo analítico, proposto neste estudo, para análise do processo de desenvolvimento em termos de transformação de entropia.

3 A Teoria da Precificação de Ativos de Capital de Keynes

Na Teoria Geral, Keynes discute diferentes modelos de alocação da riqueza. No capítulo 11, ao tratar da determinação do investimento, apresenta a escolha entre aplicar recursos em bens de capital, cujo retorno depende do rendimento prospectivo, ou em títulos de dívida, remunerados pelo juro. Já no capítulo 13, ao analisar a determinação da taxa de juro, expõe uma nova escolha dual: manter a riqueza em forma monetária, valorizando a liquidez, ou

aplicá-la em títulos de dívida. Por fim, no capítulo 17, Keynes amplia esse raciocínio ao propor um modelo geral que considera simultaneamente todas as alternativas de alocação: ativos produtivos, ativos financeiros e moeda (Alves, 2020).

Para demonstrar como se dá a composição de um portfólio, Keynes desenvolve o que Mário Possas (2015) denomina de *Teoria Geral de aplicação do Capital*, tratando-se de uma abordagem de caráter financeiro, que incorpora a moeda como ativo essencial. Nessa teoria, o foco principal de Keynes é na demanda pelos ativos, ou seja, nas preferências dos agentes e nos motivos que os levam a escolher liquidez, risco ou retorno. Essa decisão depende dos rendimentos esperados, e, para avaliar a rentabilidade de um ativo, é indispensável considerar tanto o seu valor presente quanto a taxa interna de retorno. (Possas, 2015).

Considerando que, por definição, um ativo de capital é algo que proporciona rendimento, seus retornos são compostos por quatro elementos: a apreciação monetária decorrente da valorização do ativo (A); a quase-renda (Q), correspondente ao lucro líquido gerado; o prêmio de liquidez (L), associado à sua flexibilidade e convertibilidade; e os custos de carregamento (C), que incluem despesas de manutenção, inclusive custos financeiros. A partir desses componentes, Keynes formula dois conceitos centrais na precificação de ativos: o preço de demanda e a eficiência marginal. O preço de demanda corresponde ao valor presente dos rendimentos esperados, representando o montante máximo que um investidor aceita pagar, descontado por uma taxa que incorpora risco, prazo e incerteza. Assim, o preço de demanda de um ativo é expresso pela seguinte fórmula:

$$p_a^D = \sum_{i=1}^n (A_i + Q_i - C_i + L_i) / (1 + j_a)^i$$

Onde j_a é taxa de desconto específica do ativo que é utilizada para trazer os fluxos futuros a valor presente. Inclui a taxa básica de juros da moeda j , mais um **spread** (k_a) que representa risco, prazo e incerteza; e n corresponde ao número de períodos da vida útil do ativo. Já a eficiência marginal (r_a), representa a taxa interna de retorno do ativo. Sendo, p_a^S o preço de oferta de um ativo (também considerado de modo geral o preço de mercado) que representa o valor mínimo que o proprietário considera aceitável para renunciar a sua posse. A rentabilidade da precificação da oferta de ativos não considera nem a finitude dos recursos naturais, nem as mudanças qualitativas no processo econômico e no meio ambiente.

$$p_a^S = \sum_{i=1}^n (A_i + Q_i - C_i + L_i) / (1 + r_a)^i$$

A decisão de aplicar capital em determinado ativo depende da relação entre essas variáveis: enquanto o preço de demanda for maior ou igual ao preço de oferta, ou, de forma

equivalente, enquanto a eficiência marginal for superior ou igual à taxa de desconto, a aplicação prossegue. Ou seja:

$$p_a^D \geq p_a^S \Leftrightarrow r_a \geq j_a$$

Entretanto, ao decidir investir em um determinado ativo, seja uma máquina, um título ou moeda, não se pode pressupor que tal escolha será sempre vantajosa. Caso não houvesse limites, todo o capital tenderia a concentrar-se em um único tipo de ativo. Para evitar esse movimento, Keynes mostra que é necessário algum mecanismo de contenção. No caso dos ativos produtivos, como máquinas e fábricas, esse mecanismo se manifesta pela redução simultânea do preço de demanda (p_a^D) e da taxa de retorno (r_a), assim quanto mais se investe, menor o retorno. No caso dos ativos financeiros, como títulos e ações, à medida que cresce a demanda por esses ativos, o preço de oferta também aumenta e aumenta também a taxa de desconto (j_a). Já a moeda apresenta um comportamento distinto, seu “rendimento” consiste unicamente no prêmio de liquidez (L), que permanece constante, independentemente do número de agentes que optam por mantê-la em carteira (Possas, 2015).

Para Keynes a moeda é um ativo especial porque tem liquidez máxima, podendo ser utilizada a qualquer momento sem perdas. Esse atributo justifica a opção de indivíduos por reter dinheiro em vez de destiná-lo a investimentos produtivos. É nesse ponto que se consolida a noção de preferência pela liquidez desenvolvida por Keynes: diante de contextos de incerteza, intensifica-se a propensão a manter recursos monetários ociosos ou aplicados em ativos de elevada segurança. Assim, os juros deixam de representar o “preço do capital”, como na concepção clássica, e passam a ser compreendidos como a remuneração pela renúncia à liquidez (Possas, 2015).

Em uma estrutura monopolista em que o produtor pode cobrar o preço que quer pelo fato de possuir a tecnologia exclusiva, a rentabilidade do investimento aumenta, entretanto à medida que os recursos naturais vão ficando escassos a rentabilidade tende a diminuir ao longo do tempo, levando a empresa monopolista à inovação ou mudança qualitativa no processo industrial.

Diante desse cenário, a lógica convencional de precificação de ativos revela-se insuficiente. A perspectiva pós-keynesiana, considera os fluxos futuros de quase-renda, a valorização patrimonial, os custos de manutenção e o prêmio de liquidez, cabe observar, contudo, que essa formulação keynesiana não considera as mudanças qualitativas no meio ambiente nem as consequências econômicas e sociais decorrentes dessa interação (Georgescu-

Roegen, 1976, prefácio, xix). A precificação dos ativos é tratada apenas em termos de retorno financeiro, mas, na prática, a atividade industrial depende diretamente da disponibilidade de matérias-primas, cujo esgotamento impõe restrições adicionais à acumulação e à própria sustentabilidade do sistema econômico.

No Brasil, por exemplo, a precificação de ativos fundiários e extrativos segue frequentemente uma lógica especulativa, desprovida de mecanismos que atribuam valor ao capital ecológico, o que aprofunda os padrões de insustentabilidade. A terra tende a ser valorizada segundo sua capacidade de gerar lucros agropecuários ou captar subsídios públicos, ignorando as propriedades fisiológicas do ecossistema que, muitas vezes, são degradadas pela atividade produtiva.

Nos países centrais, por sua vez, observa-se um movimento distinto, no qual ativos sustentáveis passam a ser crescentemente valorizados. A precificação de ativos incorpora a lógica da preservação ambiental como um componente de geração de valor futuro. Tanto empresas quanto governos direcionam investimentos para tecnologias capazes de reduzir impactos ambientais e economizar recursos naturais, não apenas em resposta à regulação, mas como estratégia de valorização patrimonial. Nesse contexto, a posse de ativos “verdes” constitui-se em diferencial competitivo e mecanismo de antecipação de ganhos em um cenário de crescente restrição ecológica.

Essa mudança de orientação dialoga diretamente com a crítica formulada por Herman Daly à lógica do crescimento econômico. Para Daly (2005), a economia global já não pode operar como se estivesse em um “mundo vazio”, marcado pela abundância de recursos e pela irrelevância da escala humana diante da biosfera. Vivemos, ao contrário, em um “mundo cheio”, em que os limites ecológicos impõem barreiras físicas e éticas à expansão contínua da economia. Ao ultrapassar essa escala ótima, corremos o risco de incorrer no chamado “crescimento antieconômico”, em que os custos ambientais superam os benefícios econômicos, empobrecendo efetivamente as sociedades.

4. Exame analítico-fisiológico da relação entre a precificação de ativos e as coordenadas reais do processo econômico

Na obra *Teoria Geral do Emprego do Juro e da Moeda*, conforme observa Georgescu-Roegen, a abordagem de Keynes não realiza um verdadeiro exame fisiológico da relação entre o sistema monetário e as coordenadas materiais do processo econômico, ou seja, como o sistema monetário (dinheiro, crédito, finanças) se conecta com a base material do

processo econômico (fluxos de recursos naturais e energia, fluxos de produção física, mudança qualitativa no meio ambiente, instrumentos exossomáticos, sistema aberto e fechado, resíduos).

Como o sistema econômico é um sistema aberto, além da relação de interdependência entre os agentes que provocam mudanças qualitativas nos processos econômicos, importa a relação externa entre o sistema econômico e o meio ambiente. De fato, o processo industrial depende de recursos naturais escassos, em termos estritamente monetários, o retorno da aplicação em recursos naturais impacta diretamente o retorno do ativo industrial, ou seja, se o retorno da aplicação em recursos naturais cair, o retorno da aplicação em bens de capital também cai. Além disso, o processo econômico impacta diretamente o meio ambiente gerando transformações qualitativas irreversíveis e irrevogáveis.

Para compreender essa relação entre a precificação de ativos de capital e de recursos naturais, tomemos como exemplo a precificação da oferta de uma mina de minério de ferro. Sob a ótica keynesiana, o investidor calcula os fluxos de caixa esperados da extração: quase-renda do minério (Q), eventual valorização (A), custos de manutenção (C) e a liquidez relativa de manter esse ativo em carteira (L), descontado da taxa interna de retorno.

Nesse caso da mina, o processo passa por diferentes fases: inicialmente, ocorre a produção de minério de melhor qualidade, o custo de extração é baixo, o que assegura quase-renda elevada. Nesse estágio, o fluxo de caixa cresce rapidamente, a taxa interna de retorno se mantém elevada e o preço de oferta do ativo tende a cair, atraindo novos investidores. Com o tempo, porém, ocorre o aumento da extração e saturação do minério, elevando o custo e a produção de minério de menor qualidade. A aceleração da extração impulsiona no processo de fábrica, com o desenvolvimento de instrumentos exossomáticos cada vez mais complexos para produção de bens de consumo, visando a maior economia de materiais e energia, o que mantém a rentabilidade alta, mas aumenta significativamente as mudanças qualitativas no meio ambiente e o desperdício entrópico, sob a forma de resíduos, poluição e degradação dos ecossistemas locais.

Assim sendo, a análise keynesiana da aplicação de ativos se preocupa com a quantidade de commodities produzidas, considera a oferta de matéria-prima infinita e não explica a mudança qualitativa em busca da economia de matéria e energia que influencia a rentabilidade do preço de oferta e, além disso, não captura os custos ecológicos e sociais crescentes. Ademais, percebe-se que a taxa de juros de mercado incentiva a produção de

minério de menor qualidade. Nos períodos seguintes, o teor do minério se reduz, os custos de extração aumentam e o estoque se aproxima do esgotamento; ainda assim, a precificação keynesiana pode indicar retornos positivos, uma vez que considera apenas preços de mercado. É exatamente nesse ponto que a crítica de Georgescu-Roegen se torna evidente: a precificação dos ativos produtivos ilude o investidor ao ignorar a degradação irreversível do recurso e o fim inevitável do fluxo de baixa entropia que sustenta todo o processo econômico.

No contexto da precificação de ativos, a quase-renda não decorre apenas do fluxo produtivo imediato, mas da propriedade dos meios de produção e das vantagens tecnológicas e meios de transporte: possuir máquinas, patentes ou o controle de jazidas garante ao investidor uma quase-renda diferencial que se prolonga no tempo. Além disso, no caso específico das minas, o preço do minério de ferro tende a ser regulado mundialmente pelas piores jazidas em operação, o que permite às minas de maior produtividade e qualidade apropriar-se de uma renda extra, materializada na forma de quase-renda. Assim, a propriedade gera valor porque garante ativos, expectativas e rendimentos futuros, ancorados tanto na escassez relativa quanto na quase-renda diferencial resultante do poder de controle sobre recursos e tecnologias. Conforme ilustram Leite, Soares e Trindade (2016):

Os chineses estão lavrando minério de ferro com teores cada vez mais baixos e com custos de produção elevados, atualmente em torno de US\$ 100/ton. No Brasil a matéria prima é lavrada a uma média de US\$ 20 por tonelada, sendo que nas minas de Carajás, o minério com teor de 66% de ferro, pode ser lavrado a US\$ 15/ton. (Pinheiro, 2012; Freitas, 2013). Considerando a relação entre as minas chinesas (minas de menor produtividade e qualidade) e as minas de Carajás, pode-se estimar, somente aproximadamente, a elevada renda diferencial que a Companhia Vale se apropria. (Leite; Soares; Trindade, 2016, p. 71).

Para Keynes, os fluxos de quase-renda são o elemento central da precificação, no entanto, para Georgescu-Roegen, os estoques minerais representam o fluxo de baixa entropia, base indispensável do processo econômico. Sem esse fluxo, os fundos (máquinas, trabalhadores, instituições) ficam ociosos e o processo produtivo cessa, ou seja, a mina só gera rendimentos enquanto os minérios ainda não foram exauridos, o que limita estruturalmente o investimento.

Assim sendo, num contexto de elevada incerteza sobre o retorno dos investimentos, quando o governo atua por meio de instituições diminuindo os custos de manutenção e operação do ativo (C), seja através de subsídios, isenções fiscais, concessões, financiamento barato ou apoio à infraestrutura logística, ao reduzir o custo privado de extração e operação, eleva automaticamente a quase-renda (Q) apropriada pelos detentores dos ativos. Essa política

funciona como um incentivo direto ao investimento, porém tende a aprofundar a geração de quase-rendas sem, paralelamente, instituir mecanismos eficazes de limitação da exploração de recursos naturais; em consequência, aumenta ganhos privados de curto prazo enquanto não assegura a proteção dos estoques biofísicos nem o bem-estar das futuras gerações. Portanto, há um sério perigo de o planeta ser danificado de forma irreversível se as políticas econômicas dos países não reconhecerem os sistemas econômicos como sistemas constituídos de seres humanos vivos e como partes de ecossistemas que contém outras formas de vida.

Em síntese, a contribuição de Keynes para a precificação de ativos é fundamental para compreender a lógica financeira e a tomada de decisão dos agentes em condições de incerteza. No entanto, ao considerar apenas fluxos monetários futuros, essa teoria deixa de lado a base material do processo econômico. Georgescu-Roegen demonstra que a economia está ancorada em recursos naturais finitos, cuja exploração gera perdas irreversíveis. Assim, a precificação de ativos, quando desprovida dessa dimensão biofísica, constrói uma ilusão de valor e rentabilidade que se dissolve no longo prazo. Torna-se, portanto, imprescindível avançar para uma formulação que una a visão monetária keynesiana à realidade entrópica do processo econômico, de modo a refletir a verdadeira dependência da economia em relação à natureza e a necessidade de incorporar limites ecológicos na determinação do valor dos ativos.

A incorporação da perspectiva da Economia Ecológica na precificação de ativos permite repensar a própria relação entre investimento, geração de renda e emprego. Enquanto a análise keynesiana mostra como os fluxos de quase-renda estimulam a demanda efetiva e a criação de postos de trabalho, a crítica de Georgescu-Roegen revela que tais empregos podem estar assentados sobre uma base material insustentável. Assim, a expansão de renda e empregos em setores intensivos em recursos naturais deve ser avaliada à luz da irreversibilidade entrópica: ao destruir recursos naturais, comprometem-se as oportunidades futuras de geração de riqueza e trabalho. Além disso, políticas públicas (estrutura de taxação, subsídios, concessões) e a organização corporativa da produção exossomática influenciam quem captura essas quase-rendas e como se distribuem os ganhos entre salários, aluguéis, juros e lucros, o que reforça tanto a dimensão distributiva quanto a necessidade de regulação. Por outro lado, ao internalizar os limites ecológicos na precificação, abre-se espaço para políticas públicas e privadas que direcionem investimentos para setores sustentáveis, capazes de gerar empregos estáveis no longo prazo, conciliando renda, trabalho e preservação ambiental.

5. Considerações finais

O presente artigo buscou articular a formulação keynesiana de precificação de ativos com a abordagem analítico-fisiológica de Georgescu-Roegen, evidenciando uma lacuna crítica na avaliação tradicional de ativos que exploram recursos naturais. Enquanto a teoria keynesiana organiza de maneira consistente a decisão dos agentes a partir dos fluxos de quase-renda, valorização patrimonial, custos de manutenção e prêmio de liquidez, ela permanece, contudo, insuficiente para captar a dependência material do processo econômico em fluxos finitos de baixa entropia. Georgescu-Roegen ressalta que cada ato de extração corresponde a uma transformação irreversível de baixa em alta entropia, o que impõe limites biofísicos que não podem ser negligenciados na determinação do valor econômico.

A partir do exame analítico-fisiológico, ilustrado pelo caso das minas de ferro, demonstramos que a aplicação estrita da fórmula de valor presente tende a superestimar a capacidade de geração de rendimentos futuros quando ignora a finitude e a irreversibilidade dos estoques naturais. Tal superestimação cria incentivos a investimentos que são rentáveis no curto prazo, mas que corroem a base de recursos necessária para sustentarem renda e emprego no médio e longo prazo. Além disso, mecanismos institucionais (subsídios, isenções, concessões) e a estrutura de propriedade (controle de tecnologia e jazidas) ampliam a captura de quase-rendas por parcelas restritas da sociedade, ampliando desigualdades e reduzindo a eficácia das soluções de mercado para preservar capital natural.

As implicações políticas desse diagnóstico são claras e imediatas. Primeiro, é indispensável internalizar os custos ecológicos na precificação de ativos: instrumentos tributários (taxas sobre extração com critérios de escassez e irreversibilidade), mercados regulados (teto e comércio), e mecanismos que reconheçam e remunerem serviços ecossistêmicos devem compor o arcabouço institucional que orienta decisões de investimento. Segundo, as políticas públicas devem combinar incentivos à transição para atividades de menor intensidade entrópica (energias renováveis, agricultura regenerativa, restauração ecológica) com mecanismos de transição justa para trabalhadores e comunidades dependentes de atividades extrativas. Terceiro, transparência e valoração ambiental nos balanços patrimoniais (contabilidade ambiental) são ferramentas necessárias para que preços de mercado reflitam riscos reais de esgotamento e colapso ecológico.

Por fim, reconhecem-se limitações e caminhos para pesquisas futuras. Este trabalho teve caráter predominantemente teórico e interpretativo, e recomenda-se que próximos estudos

desenvolvam modelos formais que incorporem medidas de entropia nos preços de ativos, estimativas empíricas de “renda diferencial ecológica” e análises de políticas públicas com simulações de impacto sobre emprego, distribuição de renda e bem-estar intergeracional. Ao unir a visão monetária keynesiana com as restrições entrópicas de Georgescu-Roegen, o artigo pretende contribuir para uma agenda de pesquisa e política que torne a avaliação de ativos mais realista, distributivamente justa e ecologicamente compatível.

Referências bibliográficas

- Alves, V. L. de S.. A teoria geral de Keynes: uma apresentação didática. *Sobre Economia*, Campinas, 1 dez. 2020. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/sobreeconomia/2020/12/01/a-teoria-geral-de-keynes-uma-apresentacao-didatica/>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- Bobulescu, R. (2017). *The original time approach of Georgescu-Roegen*. *Oeconomia* 7(1): 87–109.
- Buarque, C. (2017). Teoria econômica e meio ambiente. *Revista do Serviço Público*, v. 40, n. 4, p. 83-92, 2017. DOI: 10.21874/rsp.v40i4.2148.
- Chick, V. (2004). ‘*On open systems*’, *Brazilian Review of Political Economy* 24: 1–16.
- Chick, V.; Dow, S. C. *The meaning of open systems*. *Journal of Economic Methodology*, v. 12, n. 3, p. 363–381, set. 2005.
- CECHIN, A.; VEIGA, J. E. da. O fundamento central da economia ecológica. In: MAY, P. H. *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- DOW, S. C. Axioms and Babylonian thought: a reply. *Journal of Post Keynesian Economics*, v. 27, n. 3, p. 385-391, 2005.
- DOW, S. C. Methodological pluralism and pluralism of method. In: SALANTI, A.; SCREPANTI, E. (Eds). *Pluralism in Economics: New Perspectives in History and Methodology*. Aldershot: Edward Elgar, p. 89-99, 1997.
- Commons, J. R. (1934). *Institutional Economics: Its Place in Political Economy*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Daly, H. E. (1977). *Steady-State Economics*. 2 ed. Estados Unidos: Island Press.
- Daly, H. E. Economics in a full world. *Scientific American*, v. 293, n. 3, p. 100-107, set. 2005.
- Georgescu-Roegen, N. *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press, 1971.
- Georgescu-Roegen, N. (1976). *Energy and economic myths. Institutional and analytical economic essays*. New York: Pergamon Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1988). The interplay Between Institutional and Material Factors: The Problem and Its Status. In: J. A. Kregel, Egon Matzner, Alessandro Roncaglia (eds.). *Barriers to Full Employment*, London; Macmillan.
- Georgescu-Roegen, N. (2012). *O decrescimento: entropia, ecologia, economia*. São Paulo: Editora Senac São Paulo.

- Keynes, John Maynard, 1990, A teoria geral do emprego, do juro e da moeda, Atlas, São Paulo, 1990.
- Leite, A. dos S.; Soares, D. A. S.; Trindade, J. R. B.. Renda mineral e grande capital na Amazônia: a exploração das Minas de Carajás pela Companhia Vale. *Leituras de Economia Política*, Campinas, n. 24, p. 55–78, jan./dez. 2016.
- Lotka, A. J. (1925). *Elements of Physical Biology*. Williams and Wilkins Company, Baltimore.
- Martinez-Alier, J.. (2007). O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração. São Paulo: Contexto.
- Minsky, H. (1982). *Can “it” happen again?* Armonk, M.E.Sharpe.
- Minsky, H. (1986). *Stabilizing an unstable economy*. New Haven, Yale University Press.
- Possas, M. L. Uma interpretação de pontos controversos da Teoria Geral de Keynes. *Brazilian Keynesian Review*, v. 1, n. 1, p. 71-95, 1º semestre de 2015
- Saes, B. M., Romeiro A. R. (2018) O debate metodológico na economia ecológica: indefinição ou pluralismo? *Nova Economia* 28(1):127–153
- SCHUMPETER, J. A. (1942). *Capitalismo, socialismo e democracia*. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.
- VEBLEN, T. B. *The Instinct of Workmanship, and the State of the Industrial Arts*. New York: The Macmillan Company, 1914.
- VEBLEN, T. B. *The Theory of the Leisure Class*. New York: The Modern Library, 1934.
- VEBLEN, T. B.. *The Higher Learning in America*. New York: Sagamore Press, 1957.
- VEBLEN, T. B. *The place of science in modern civilization and other essays*. New York: Huebsch, 1919.