

## Energia fóssil e meio ambiente - os limites da acumulação capitalista



Por **JOSÉ RAIMUNDO TRINDADE\***

*A questão ambiental é o ponto crítico da lógica do modelo capitalista civilizacional*

## Introdução

O uso dos combustíveis fósseis, inicialmente o carvão mineral e durante os séculos XX e XXI o petróleo, aparecem funcionalmente necessários à acumulação capitalista. É interessante observar que, ironicamente, como ponderou o historiador Eric Hobsbawm em seu magnífico *Era dos Extremos*, somente depois de 1973, quando o cartel de produtores do petróleo, a OPEP, passou a cobrar o que o mercado podia pagar, foi que um amplo número de formuladores de políticas nos países centrais do capitalismo passou a dar atenção às consequências ambientais do modelo de desenvolvimento econômico estabelecido nos últimos três séculos.

O texto está dividido em quatro segmentos, além desta introdução, inicialmente nas duas primeiras seções discutiremos elementos de essência do capitalismo, inclusive suas características cíclicas; na seção seguinte trataremos da conformação e manutenção do padrão “fóssil” do capitalismo. Finalmente concluímos indagando sobre o caráter da crise ambiental e energética, postulando que a lógica da acumulação capitalista necessariamente leva à exaustão ambiental, independente dos subterfúgios que o sistema e seus ideólogos buscam construir.

## Energia e valor trabalho

O processo de trabalho é o componente básico da relação do homem com a natureza, durante o qual o ser humano, com sua própria ação, impulsiona, regula e controla seu intercâmbio material e energético com ela. Ao longo da história, a humanidade (o homem coletivo) pôs “em movimento as forças naturais do seu corpo, apropriando-se da natureza, imprimindo-lhes forma útil à vida humana” (Marx, 1987).

Em *O capital*, Marx (2013) compara o ser humano a outras formas orgânicas, notando que o “que distingue o pior dos arquitetos de uma abelha é que ele figura na mente sua construção antes de transformá-la em realidade”. De outro modo, podemos afirmar que a força de trabalho humana é uma energia criativa e voltada a um fim, o que possibilita reorganizar a matéria natural conforme o objetivo da própria natureza humana.

Cinco elementos compõem o processo de trabalho: (i) o trabalho em si; (ii) o objeto de trabalho (matéria prima e materiais auxiliares, cujo principal são os insumos energéticos); (iii) o instrumental de trabalho (meios de trabalho como máquinas e edifícios); (iv) a ciência tecnificada; e (v) os conversores inorgânicos que processam os insumos energéticos.



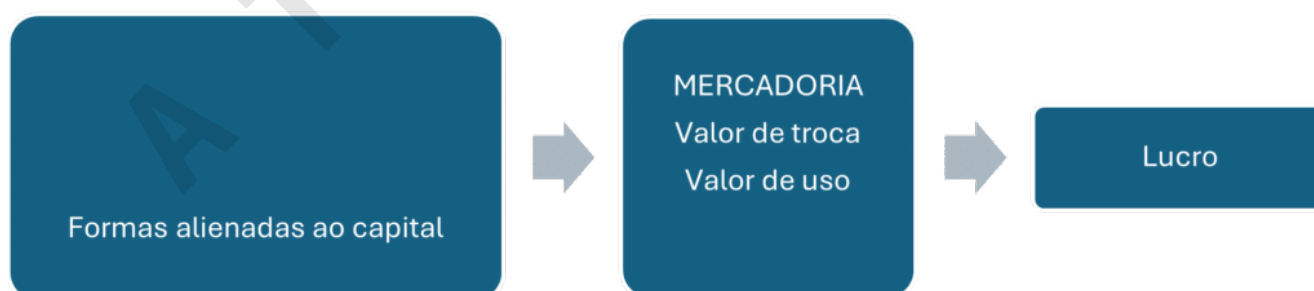
**Fig. 1 Forma geral do processo produtivo**

O desenvolvimento das relações de produção capitalista colocou em questão um aspecto inusitado em relação às formas econômicas e sociais anteriores a ela: a completa alienação da natureza e do trabalho humano. As forças de criação e destruição desenvolvidas sob o capitalismo colocaram a possibilidade potencial de toda natureza se tornar mero objeto de trabalho humano, mesmo que efetivamente somente uma parcela desta torne-se de fato matéria-prima e matéria auxiliar do processo produtivo, mas a sua totalidade fica subordinada aos interesses crescentes da acumulação de capital.

Os meios de trabalho são um conjunto complexo de instrumentos. A ciência atua possibilitando crescente domínio sobre as propriedades mecânicas, físicas e químicas das coisas para fazê-las atuarem sobre outras coisas, de acordo com o objetivo ou meta a ser alcançada. Esse compósito é parte homem parte máquina, e exige crescente inversão energética, conforme se torna mais complexo o processo produtivo sob o capitalismo.

O capitalismo atua em quatro frentes dispersoras de energia e conflitantes com os princípios de equilíbrio termodinâmicos em sistemas fechados<sup>[1]</sup>: (a) estrutura o processo produtivo em uma escala crescente de apropriação e alienação do trabalho e da natureza sob uma forma não coordenada e anárquica, produzindo uma grande quantidade de valores que não são úteis socialmente, transformando-se em lixo; (b) a expansão dos mercados requer crescente transformação de valores de uso coletivos em valores de uso individuais e mercantilizados. Assim, a telefonia celular, por exemplo, constituiu uma invenção necessária a expansão de novos mercados, mas de acordo ao formato individualista e ideologicamente necessário ao capitalismo do que o sistema anterior de telefonia fixa;

(c) a expansão espacial é uma necessidade a crescente incorporação de novos territórios dominados pela acumulação, tornando a destruição de biomas uma condição sistêmica; (d) a compressão temporal, através do sistema de crédito, expande a produção de valores em uma escala somente necessária a especulação e aos interesses de grupos limitados.



**Fig. 2 Forma capitalista de produção**

O processo de trabalho enquanto processo de transformação relaciona-se ao uso de uma certa capacidade de energia criadora atuando sobre um quantum de matéria-prima (natureza apropriada). Temos neste processo quatro movimentos integrados: (i) o dispêndio de força física e mental humana que, por sua vez requer de antemão uma quantidade de energia prévia para sua reprodução; (ii) o uso da natureza; (iii) criação de valores de uso; (iv) produção de resíduos entrópicos, proporcional à complexidade dos processos antropomórficos, de acordo com a segunda lei da termodinâmica. No

capitalismo três movimentos extrapolam os anteriores, o que podemos denominar de expansão antropocena excessiva: (v) criação de valores de troca com uso dispersivos; (vi) produção de valores especulativos e; (vii) produção de resíduos entrópicos dispersivos e especulativos.

Esse conjunto de movimentos resulta em crescente expansão da acumulação de capital, não tendo como centro de sua lógica a produção de valores de uso e sim a produção de valores apropriáveis na forma de lucro pelo capital, porém requerendo um substrato material que implica dispersão e destruição material e energética numa escala exponencial. Na medida em que o processo de trabalho se torna uma forma alienada ao capital observa-se o reforço a produção de resíduos entrópicos dispersivos.

## Rotação do capital e os ciclos energéticos

Toda riqueza social no capitalismo se decompõe em três componentes: (1) capital constante, que abrange as magnitudes monetárias dos meios de produção, matéria-prima e insumos energéticos; (2) capital variável, referente ao somatório de salários pagos na economia ( $\Sigma w$ ); e (3) o valor criado a cada novo ciclo reprodutivo e que, ao realizar-se no mercado, se decomporá nas diversas formas de renda (lucro do empresário, juro do banqueiro, renda fundiária do controlador de terras e tributos do Estado capitalista).

A natureza especulativa e expansiva intrínseca do capital o impinge a acelerar a velocidade rotacional dos seus ciclos de reprodução econômica. Para os capitalistas em geral é central que o seu valor-capital se fixe o menor tempo possível em cada ciclo, acelerando a rotação e diminuindo os tempos de produção e circulação, garantindo a valorização em ciclos rotacionais cada vez mais curtos e, portanto, mais dispersivos de energias e materiais necessários, perfazendo a condição máxima de que “tudo que é sólido se desmancha no ar”.

A expansão capitalista se processa inicialmente com o alargamento do uso capitalista de toda a natureza, alargando a produção mercantil até o limite em que a escassez de força de trabalho, por um lado, ou de insumos naturais (energéticos e materiais), por outro, determina um declínio paulatino da taxa de lucro. Será em resposta ao referido declínio da taxa média de lucro que se processará o movimento de ciclos de inovação tecnológica, com vistas ao aumento do mais-valor relativo e extraordinário e recomposição do lucro capitalista. Os avanços tecnológicos que possibilitam um barateamento dos recursos energéticos e materiais atuam diminuindo a participação de capital constante na massa de valor global destinado ao processo produtivo, reduzindo a composição técnica do capital e favorecendo a elevação da taxa de lucro.

O uso da eletricidade e dos combustíveis fósseis possibilitou, entre outros aspectos, uma aceleração dos ciclos do capital e diminuição do tempo de rotação requerida, seja pelo uso mais dinâmico que conferiram ao transporte de mercadorias, possibilitando a circulação de grandes valores de capital-mercadorias, seja pelo aspecto da produção ininterrupta permitida pelo uso mais flexível da máquina-ferramenta e pela iluminação. Podemos afirmar que o combustível fóssil, por suas características, se tornou a forma energética mais conveniente ao modo de produção capitalista, como veremos a seguir.

## O modelo energético fóssil

O desenvolvimento das relações de produção capitalistas se dá inicialmente sobre bases muito discretas, o que Deleage (1993) denominou de proto-industrialização. De maneira geral, tratou-se de “mobilização mais intensa de força de trabalho camponesa excedente e uma otimização do uso das fontes energéticas e conversores tradicionais”, ou seja, uma “desestocagem sistemática das reservas naturais” de energia. Podemos assinalar que o capitalismo no seu nascedouro submete o trabalho e a natureza às condições tecnológicas em que a encontra historicamente, como bem afirma Marx. A acumulação primitiva de capital, tendo como uma de suas bases de sustentação a proto-industrialização, estabeleceu as

condições necessárias de revolucionização tecnológica produtiva e energética que o capitalismo requererá para sua insaciável expansão.

O desenvolvimento do maquinário industrial moderno libertou o capitalismo dos constrangimentos ao crescimento da acumulação posta pelo relativo controle dos tempos de trabalho pelo trabalhador e, portanto, a expansão do lucro ainda era função da exploração absoluta da força de trabalho, o que implicava maiores jornadas de trabalho. Assim, o conjunto de incrementos tecnológicos dos últimos dois séculos tem sua lógica condicionada a elevação da produtividade do trabalho e a preponderância dos combustíveis fósseis na matriz energética será determinada pelas vantagens que apresentam no específico uso industrial.

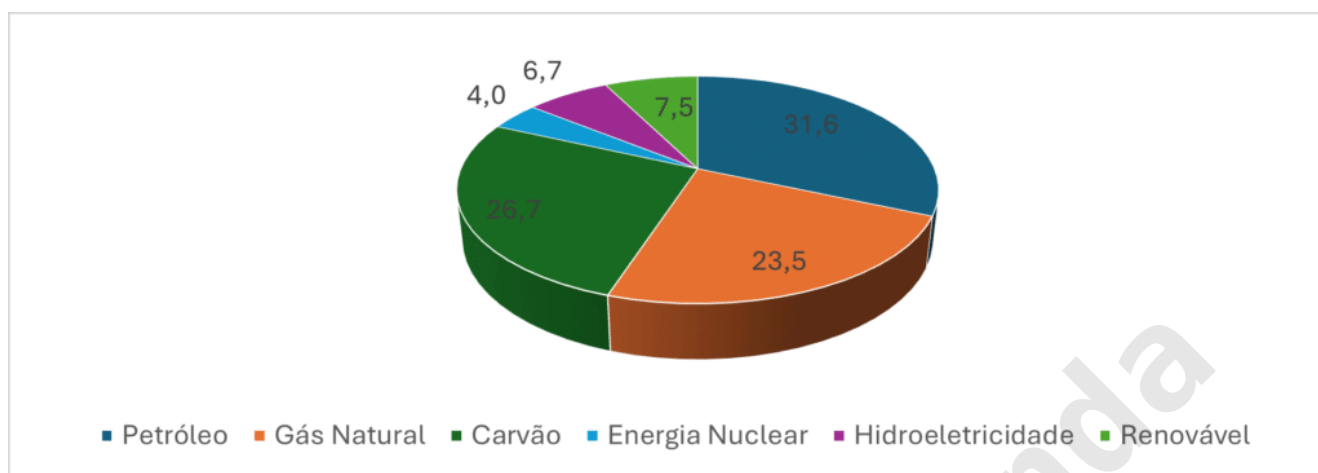
O maquinário industrial moderno possibilitou o uso vantajoso do combustível fóssil, podendo-se enumerar quatro fatores que o tornaram, por assim dizer, o combustível próprio da acumulação capitalista: (i) sua capacidade energética favorece seu uso intensivo industrial; (ii) seus custos de produção eram decrescentes e sua elasticidade de oferta crescente, isso até a década de 1970; (iii) tem grande mobilidade de uso, podendo alimentar diferentes tipos de motores com baixo custo de transporte; (iv) seu uso nas máquinas de transporte (ferroviária, rodoviária, navegação) favoreceu a circulação de mercadorias em escala global.

Como notou Hobsbawm (1982) foi a possibilidade de usos variados, seja na máquina móvel, seja na máquina fixa, que determinou a preponderância do carvão mineral e, depois, do petróleo, como combustíveis característicos ao processo de acumulação capitalista. Inicialmente este modelo se deu com base no carvão mineral, característico da expansão inglesa.

O chamado modelo fordista de desenvolvimento, baseado em regime de acumulação e consumo intensivo, foi a marca predominante do imperialismo estadunidense a partir da segunda metade do século XX. Elmar Altvater (1995) denomina de “fordismo fossilístico” o modelo de desenvolvimento que se estruturará a partir dos EUA, sendo que o uso do petróleo como insumo energético cumprirá papel central na dinâmica econômica desse modelo.

Já no nascedouro esse modelo demonstrava uma enorme capacidade de, mediante incremento tecnológico e concorrência concentrada em grandes oligopólios industriais, alimentar o ciclo de acumulação. A utilização da energia fóssil e da eletricidade acompanhou essa dinâmica, como é possível observar pelo conjunto de inovações que levaram ao desenvolvimento do automóvel nas duas primeiras décadas do século XX.<sup>[ii]</sup> O modelo de desenvolvimento será tão marcado pelo uso do automóvel e pela específica forma de produção desse bem na linha de montagem preconizada e efetivada por Henry Ford, que o título fordismo denominará com relativa exatidão o padrão de acumulação do século passado.

O balanço energético mundial é ilustrativo das dimensões e importância que o combustível fóssil (sólido, petróleo e gás natural) tomou na economia capitalista desenvolvida. A figura abaixo se refere à distribuição percentual em termos globais das principais fontes energéticas quanto ao consumo final. Os combustíveis fósseis representam mais de 80% do balanço energético mundial, com uma tendência ao crescimento nas últimas décadas, sendo que o petróleo responde por 31,6%.



**Figura 3 - Balanço energético mundial em 2022/ Fonte: Statistical Review of World Energy (2023):**  
<https://www.energyinst.org/statistical-review>.

## Crise energética e crise ambiental: quais os limites da acumulação de capital?

Como se observou ao longo da exposição, a acumulação capitalista teve como contrapartida mais evidente a exploração quase que completa da natureza em todos os pontos do planeta, sem falar da contradição mais imediata que é a alienação do trabalho humano e a subordinação da maior parte da humanidade aos interesses da minoria que controla financeiramente o processo produtivo.

A expansão econômica do pós-guerra possibilitou a pelo menos um terço da humanidade, localizada na sua maior parte nos países da OCDE, um elevado padrão de vida e aparente sensação de que o capitalismo teria resolvido suas contradições, pelo menos no espaço restrito dos países centrais. De qualquer forma, como ponderou Hobsbawm (2012), a economia mundial cresceu a taxas explosivas durante os trinta anos após a Segunda Guerra mundial nos quatro cantos do globo, de tal forma que o comércio mundial de produtos manufaturados aumentou dez vezes entre o início da década de 1950 e o início da década de 1970.

Contudo as décadas seguintes do último quartel do século XX demonstraram que a dinâmica cíclica do capitalismo tinha alterado seu ritmo, mas não tinha eliminado sua característica estrutural de apresentar crises de superprodução e de declínio da taxa de lucro. Em geral, desde o século XIX, as características das crises no capitalismo foram diagnosticadas e registradas: deflação, redução brusca da produção, diminuição do salário nominal, aumento do desemprego, escassez de crédito (embora haja abundância de capital de empréstimo inativo), elevação da taxa de juro, desvalorização de títulos e ativos diversos, processo falimentar generalizado. Episódio semelhante ainda está quente na nossa memória em relação a crise de 2008.

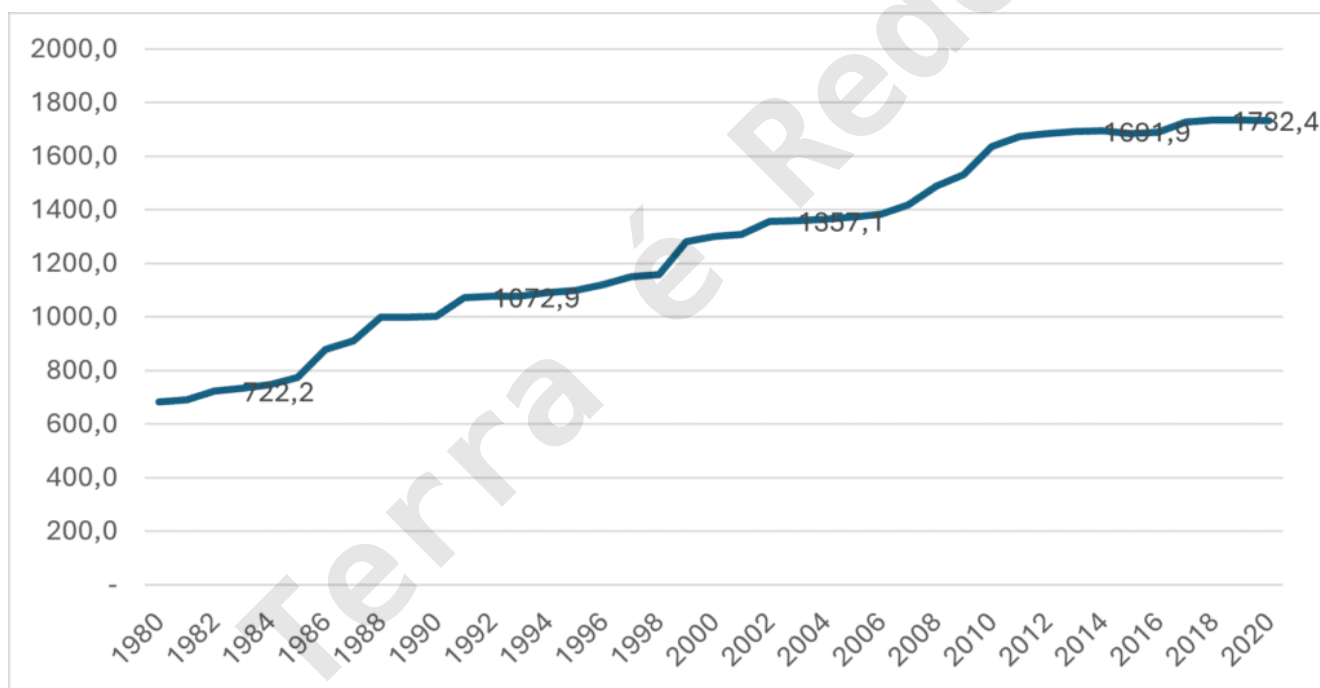
A novidade das décadas de crise do capitalismo tardio, como sustentaram Hobsbawm (2012) e Mandel (1988), é que o sistema tinha se transformado pelas alterações tecnológicas, pela transnacionalização do capital em uma escala muito superior e pela intervenção estatal suavizadora dos ciclos. Porém o avanço global capitalista tinha agora consequências ecológicas que não era possível mais serem tratadas pelo simplismo dos economistas enquanto meras “externalidades”.

Ainda durante os anos 1970 a grande maioria dos ideólogos do sistema buscaram eleger a OPEP e a elevação dos preços do petróleo como os grandes culpados do fim da “era dourada”. Como notaram diversos autores (Martin, 1992; Deléage et

alii, 1986; Mandel, 1988) o que realmente se observou foi a compatibilização de interesses entre o cartel das “Sete Irmãs” e os interesses dos países produtores e exportadores (OPEP), buscando um preço médio que satisfizesse tanto o interesse das empresas oligopolistas quanto os interesses das elites nacionais dos países exportadores.

Martin (1992) ponderou, ainda na década de 1980, que “desde que começou a exploração em grande escala das fontes energéticas fósseis sobre o grau de perenidade dos recursos disponíveis”, de lá para cá, entretanto somente se avançou na dependência do petróleo, sendo que conforme nova elevação dos preços internacionais se elevam os estoques de recursos recuperáveis e viabiliza-se fontes de custos mais elevados.<sup>[iii]</sup>

Vale notar que os prazos estabelecidos das reservas petrolíferas devem ser relativizados pelas regras de gestão e rentabilidade das companhias petrolíferas e, no quadro de financeirização da economia, pelos dividendos distribuídos. Assim a ideia de escassez não deve ser entendida como uma condição natural ou neutra da disponibilidade de um dado recurso, e sim relativa aos interesses da acumulação capitalista naquele segmento. Do mesmo modo o progresso de técnicas de extração petrolífera, como a que a Petrobrás desenvolveu para o pré-sal, influenciam e definem os patamares das reservas exploradas.



**Fig. 4 - Reservas Provasdas (em Gtep)/ Fonte Statistical Review of World Energy (2023):**  
<https://www.energyinst.org/statistical-review>.

Os estoques ou reservas de combustíveis fósseis apresentam assim grande variabilidade. Pelos cálculos atuais, os recursos petrolíferos mundiais são avaliados em 1.732,4 Gtep ( $10^9$  toneladas equivalente petróleo). A figura acima mostra o crescimento das reservas de petróleo a uma taxa anual de 1,3% (2009/2019). Do mesmo modo cresceram as reservas de gás natural e as reservas carboníferas, como mostram as estatísticas.

O que se torna evidente é que o capitalismo não se encontrou jamais frente a uma crise provocada por uma escassez energética, e sim a civilização humana defronta-se diante de uma profunda crise ambiental provocada pela expansão desmensurada da produção de mercadorias e pela dispersão energética própria deste modo de produção. A dispersão energética pode ser medida como perdas durante a utilização das diversas fontes energéticas e representa quase 50% do consumo final do balanço energético mundial (Martin, 1992). Essas perdas podem ser entendidas como ineficiência dos conversores, mas também como condição reprodutiva do capital.

Deve-se acresce a essa dispersão os gastos energéticos realizados por conta da própria lógica mercantil. Por exemplo, segundo estudos realizados nos EUA, do total de lixo urbano produzido na cidade de Chicago, cerca de 30% são constituídos por embalagens, não muito diferente no caso brasileiro que representa 1/3 do lixo doméstico.<sup>[iv]</sup> Do mesmo modo, a obsolescência programada<sup>[v]</sup> reduz o tempo de vida útil dos produtos a fim de acelerar a rotatividade do capital. A alemã Siemens, por exemplo, em 1980 apresentava 48% de suas vendas constituídas de produtos com menos de cinco anos de mercado, em 2001, este número havia subido para 75% (Pacheco, 2003).

A questão ambiental é o ponto crítico da lógica do modelo capitalista civilizacional. Marx (2013) ponderou que “nunca se deveria considerar o valor de uso o objetivo imediato capitalista, tampouco o lucro isolado, mas o interminável processo de obter lucros”. Marx retorna a Aristóteles para determinar o real limite da acumulação capitalista e resgata do grande filósofo grego a diferenciação entre economia e crematística: a economia seria uma arte que seria “um meio para um fim”, algo que podemos exemplificar pelas condições de reprodução e vida da grande maioria das pessoas; a crematística representa uma arte que é “um fim em si mesma”, visando “o enriquecimento absoluto”.

A acumulação capitalista enquanto uma arte crematística não tem um fim limitado, sendo que seu limite parece ser o completo domínio das forças naturais, absorvendo e tornando valor ou riqueza alienada a totalidade da natureza. Longe de qualquer quimera ou ideologia liberal, que considera a eficiência crescente do *homo economicus*, com sua perfeita racionalidade e maximização das utilidades marginais no limite ótimo, nos parece mais correto pensar que as condições automatizadas da acumulação capitalista, irremediavelmente, seja no maior ou menor prazo, açambarcarão as condições ambientais planetárias em prejuízo da existência da própria humanidade.

**\*José Raimundo Trindade** é professor do Instituto de Ciências Sociais Aplicadas da UFPA. Autor, entre outros livros, de *Agenda de debates e desafios teóricos: a trajetória da dependência e os limites do capitalismo periférico brasileiro e seus condicionantes regionais (Paka-Tatu)*.

Versão modificada de artigo publicado na Revista do ICSA/UFPA.

## Referências

---

ALTVATER, E. *O preço da riqueza*. São Paulo: UNESP, 1995.

DELÉAGE, J. P. et alii. *Uma história da energia*. Brasília: Editora da UNB, 1993.

HOBSBAWM, E. *A Era do capital*. São Paulo: Companhia das Letras, 1982.

HOBSBAWM, E. *A Era dos extremos: o breve século XX*. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

MANDEL, E. *O capitalismo tardio*. São Paulo: Abril cultural, 1988.

MARTIN, J-M. *A economia mundial da energia*. São Paulo: UNESP, 1992.

MARX, K. *O capital*. São Paulo: Boitempo, 2013.

## Notas

---

<sup>[i]</sup> Estamos nos referindo as condições ambientais em ordem planetária e aos dois princípios de termodinâmica: (i) a

conservação de energia e; (ii) a entropia.

[ii] Deléage et. alii (1993: 193) observa que a invenção do motor de explosão levou a um novo salto de utilização da energia fóssil.

[iii] O preço Spot do petróleo cru (Dubai) em 1973 era de US\$ 2,83, alcançou US\$ 35,69 em 1980. Na década de 1990 cai durante todo o período, fechando em 1998 na menor cotação (US\$ 12,30), volta a elevar-se continuamente e alcança em 2012 sua maior cotação (US\$ 109, 06), os dados foram retirados da Statistical Review of World Energy (2023). Acesso em: <https://www.energyinst.org/statistical-review>.

[iv] <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente.html>.

[v] A obsolescência refere-se ao envelhecimento ou desuso de uma máquina ou produto, em consequência do desgaste físico ou do surgimento de modelos tecnologicamente diferentes. A obsolescência programada trata-se da programação prévia do período de durabilidade do produto. Em função da concorrência e da obtenção de lucro extraordinário, as empresas preparam um desgaste artificialmente curto para obrigar uma reposição mais rápida dos produtos e aceleração da rotatividade do capital (Mandel, 1988).

---

**A Terra é Redonda existe graças aos nossos leitores e apoiadores.**

**Ajude-nos a manter esta ideia.**

**CONTRIBUA**