



AS BARREIRAS PARA ADOÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO SISTEMA PRODUTIVO INDUSTRIAL BRASILEIRO: REVISÃO DO MODELO DE COBB-DOUGLAS

Eliana L. F. Hellvig^{1*}, Thais H. S. Flores-Sahagun² e João Felipe³

1 - PGMEC- Departamento de Engenharia de Engenharia Mecânica - PGMEC, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, elianalealf@yahoo.com.br

2 - PGMEC- Departamento de Engenharia de Engenharia Mecânica - PGMEC, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

*autor_correspondente@servidor.com.br

RESUMO

A Economia Circular (EC) tem em sua base estruturante a Ecologia Industrial, pois enquanto a Economia Linear trabalha sob a ótica fabricar-usar-descartar, a Economia Circular trabalha sob uma abordagem onde existe uma maior harmonia entre a economia e o meio ambiente, onde os resíduos podem ser reaproveitados ou reutilizados. A sustentabilidade econômica e ambiental aliada à ciência e engenharia dos materiais deve ser inserida na agenda política industrial do Estado para a promoção de ações de mitigação do CO₂ e redução de poluentes estimulando o desenvolvimento de ecossistemas industriais mais sustentáveis. Desde a assinatura do Protocolo de Kyoto pelos países signatários até o último encontro realizado em 2021 na CPO 26 em Glasgow, é possível afirmar que em termos globais, estão ocorrendo esforços para desenvolver políticas públicas no sentido de promover a EC. Na última reunião da COP 26 em Glasgow-Escócia (2021), um dos grandes problemas discutidos foi o fato que, a redução de emissões de GEE, impacta diretamente no nível de produção industrial e extrativista. No entanto, as ações globais não têm sido suficientes para o alcance do desenvolvimento sustentável. Os resultados analisados neste trabalho mostraram que o modelo econômico vigente de Cobb-Douglas, que atua em uma economia linear, não contempla os princípios da sustentabilidade e deve ser revisado para que possa operar em uma EC. Foi observado que o modelo de Cobb-Douglas necessita da inclusão dos insumos recursos naturais e energia solar como inputs, e de rejeitos tais como, plásticos, embalagens, alumínio e resíduos orgânicos, gerados pela produção, como outputs. Em relação às políticas públicas industriais, estas devem contemplar modelos mais sustentáveis que favoreçam a promoção da Economia Circular, como o caso da implantação de biodigestores alimentados por resíduos orgânicos para geração de energia nos municípios. Neste trabalho, o município de São José dos Pinhais (SJP) foi mapeado em função da geração de resíduos orgânicos para implantação de um biodigestor. O município gera 286 t/mês de lixo orgânico que é despejado em aterro sanitário sem nenhum reaproveitamento. No que se refere ao Plano Plurianual do município (2018-2021), as ações vinculadas ao meio ambiente são insuficientes para atender a EC. Foi mostrada também, a importância das políticas públicas para ações de desenvolvimento sustentável nas cidades e para o reaproveitamento dos rejeitos. Por fim, neste trabalho foi avaliado a relação da Economia Circular com as políticas públicas

industriais elaboradas e implantadas nos últimos 20 anos no Brasil através da análise da série histórica do PIB brasileiro o qual apresentou quedas significativas.

Palavras-chave: COUBB-DOUGLAS, Economia Circular, Energias renováveis, Protocolo de Kyoto, Ecossistemas sustentáveis.

INTRODUÇÃO

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS representam um plano de ação global para eliminar a pobreza extrema e a fome, oferecer educação de qualidade ao longo da vida para todos, proteger o planeta e promover sociedades pacíficas e inclusivas até 2030. Os ODS, na ação 12.3 visam reduzir o desperdício de alimentos pela metade e reduzir a perda de alimentos até 2030. Em apoio a esta meta essencial, o primeiro relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA estimou que o desperdício de alimentos de domicílios, estabelecimentos de varejo e indústria de serviços de alimentos em 52 países totaliza 931 milhões de toneladas a cada ano. O relatório também revelou que a média global de 74 kg per capita de alimentos desperdiçados a cada ano é essencialmente semelhante em países de renda média baixa e em países de alta renda, sugerindo que a maioria dos países necessita de ações para reduzir esse impacto (UNEP, 2021).

As teorias econômicas tradicionais, não atendem de forma eficiente, as necessidades regionais para o desenvolvimento do potencial econômico das cidades, pois é necessário que essas teorias sejam adaptadas às necessidades locais. A falta de sustentabilidade ambiental, econômica e social é um cenário preocupante, mas ao mesmo tempo apresenta uma oportunidade sob o aspecto macroeconômico social para implantação de inovações aos modelos econômicos vigentes. Vários autores, (MÉNDEZ, 1998 e 2002; MAILLAT, 2002; SANCHEZ, 2008, VALE, 2009) afirmam que, com o domínio, a apropriação e a participação ativa da sociedade em relação ao destino dos recursos das cidades, é possível elaborar um planejamento estratégico para melhor atender as necessidades da população.

A Economia Circular associa o desenvolvimento econômico ao melhor uso de recursos naturais, por meio de novos modelos de negócios e da otimização nos processos de fabricação com menor dependência de matéria-prima virgem, priorizando insumos mais duráveis, recicláveis e renováveis (TURNER & PEARCE, 1989; CASSIOLATO et. al, 2003; BORSATTO et. al, 2020; COSTA, 2021). Por outro lado, a Economia Linear, modelo preponderante no mundo, prevê uma estrutura altamente capitalista que leva à utilização extensiva dos recursos (naturais, físicos e humano) e à degradação ambiental. Assim, para alcançar os Objetivos da ODS, as cidades devem aderir ao modelo de Economia Circular.

Neste trabalho o modelo econômico elaborado por Cobb-Douglas é questionado pois não contempla o uso eficientes dos recursos naturais e econômicos dentro dos princípios de uma Economia Circular (EC).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado seguindo as seguintes etapas:

- 1) Análise da equação geral dos fatores de produção (Schumpeter e Cobb-Douglas);

O modelo de Cobb-Douglas não prevê o fator de produção energia e a finitude dos recursos naturais. Para Georgescu-Roegen a produção, entre outros fatores, envolve a energia. Assim, para modernizar o modelo econômico de Cobb-Douglas e inseri-lo na Economia Circular, é necessário, introduzir o fator de produção energia e os recursos naturais. Com o objetivo de modernizar o modelo de Cobb-Douglas, neste trabalho foram adicionadas as

variáveis inputs de uma Economia Circular tais como os insumos e os produtos, e os outputs, os rejeitos, que devem ser reutilizados com o objetivo de reduzir a entropia do sistema econômico produtivo.

2) Mapeamento do município de São José dos Pinhais em função da geração de resíduos orgânicos (quantidade e qualidade do resíduo, logística de transporte e coleta) e Levantamento da localização estratégica para a implantação da Usina Termelétrica alimentada por um biodigestor orgânico;

Em relação à geração de resíduos de alimentos, foi feito um levantamento do número de estabelecimento de alimentação de SJP e buscou-se quantificar o total de alimentos descartados anualmente. Foi feita uma busca ativa através de mala direta em 1860 estabelecimentos de alimentação de SJP, onde 97 restaurantes responderam ao questionário a respeito da quantidade de resíduos de alimento gerados por mês.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da equação geral dos fatores de produção (Schumpeter e Cobb-Douglas)

Em 1970, segundo Georgescu-Rogen, o sistema econômico é apenas um subsistema de um sistema maior chamado de meio ambiente. A função de produção proposta por Schumpeter (1933) depende dos fatores de produção (K, L, t, T). Esta equação explica as quantidades produzidas dos bens, produtos e serviços. A equação geral 1, proposta por Schumpeter (PINDYCK, 2010; VARIAN, 2015), mostra a quantidade produzida (Q) em função dos fatores de produção (K, L, t, T) na economia tradicional linear.

Equação geral 1: Fatores de produção

$$Q = F(K, L, t, T) \quad (1)$$

Onde, Q - quantidade produzida, K - capital empregado, L - mão de obra, t - terra necessária para a produção, T - tecnologia.

O modelo proposto por Schumpeter é limitante, pois não previa rendimentos de escala na produção. Assim, em 1976 Cobb-Douglas desenvolveu um modelo matemático-econômico prevendo os rendimentos de escala na produção e no produto. A função Cobb-Douglas é amplamente utilizada em economia, para representar a relação entre dois fatores de produção e o produto. Com base na função de produção, Cobb-Douglas desenvolveu a fórmula geral, dada pela equação 2:

$$Y = AL^{\alpha}K^{\beta} \quad (2)$$

Onde: Y = produto, L = quantidade de trabalho, K = quantidade de capital; A, α e β são constantes determinadas pela tecnologia.

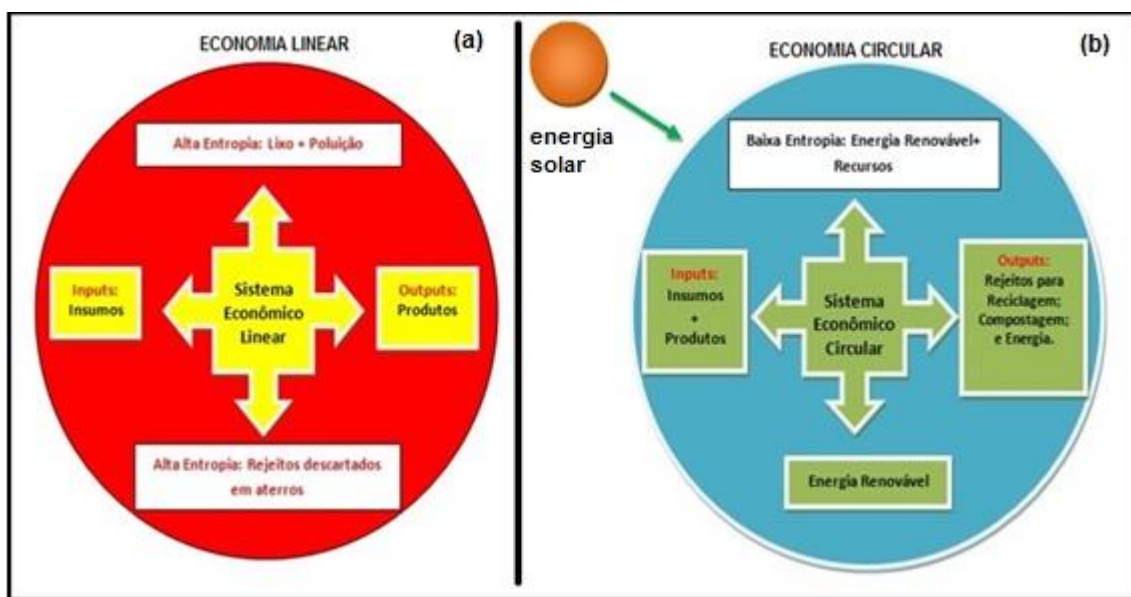
Os expoentes da equação 2, definem as escalas de crescimento para uma produção, ou seja, através dos expoentes podemos dizer se uma economia ou nível de produção cresce de forma crescente, constante ou decrescente de escala. Se $\alpha + \beta = 1$, a função de produção tem crescimentos constantes à escala. Se $\alpha + \beta < 1$, os retornos à escala estão diminuindo, e se $\alpha + \beta > 1$, os crescimentos à escala estão aumentando. Ao contrário do que preconiza a teoria schumpeteriana, Cobb-Douglas considerou essencial no seu modelo matemático-macroeconômico a existência da concorrência (VARIAN, 2015).

Mesmo diante das exigências protocolares e dos acordos internacionais, a Economia Tradicional Linear tem como modelo macroeconômico a função de Cobb-Douglas, que não

contempla a sustentabilidade ambiental e econômica. Ao contrário, a função de Cobb-Douglas prevê ganhos em escala através da maximização dos lucros e da minimização dos custos, onde a compensação ambiental não é aplicada.

Se correlacionarmos os recursos econômicos à segunda lei da termodinâmica (entropia), compreenderemos que o modelo atual de crescimento econômico transforma a energia e os recursos de forma extensiva (compostos de baixa entropia) em produtos e elementos como lixo e poluição (compostos de alta entropia). No sistema econômico, essa relação entrópica pode ser representada pela degradação dos recursos naturais e pela poluição ambiental. As Figuras 2a e 2b mostram o sistema econômico sob a ótica da entropia inserida na Economia Circular. Em vez do modelo onde os inputs são os insumos e os outputs são os produtos da economia linear, os inputs de uma Economia Circular são os insumos e os produtos e os outputs são os rejeitos que devem ser reutilizados e novamente inseridos no sistema produtivo com o objetivo de reduzir a entropia do sistema econômico.

Figura 02: Economia Linear (a) e Circular (b) sob a ótica da Entropia



Fonte: elaborado pelas autoras (2021)

No Sistema Econômico mostrada na Figura 02a, os inputs e os outputs conhecidos como insumos e produtos, num Sistema Econômico Linear, resultam em uma alta entropia. Os rejeitos, em uma Economia Linear resultam na degradação dos recursos ambientais, na poluição ambiental e como consequência, no aumento das emissões de GEE no planeta. De acordo com a 2ª lei da termodinâmica, em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem. Para o reestabelecimento da ordem, é imprescindível que seja usada energia. No entanto, a energia gasta e não reaproveitada, gera resíduos, aumentando a entropia e alimentando a economia linear (MOURA&AGUIAR, ANO). Assim, os resíduos devem voltar à função de produção na forma de energia ou material. A crise ambiental causada pela extensiva utilização do capital produzido (Kp) como preconiza a Economia Linear tende a aumentar a entropia e o caos econômico, ambiental e social.

A inserção dos inputs e outputs no sistema econômico da Economia Circular só é possível se as cidades fizerem um planejamento estratégico de longo, médio e curto prazo aliado a políticas públicas que promovam a sustentabilidade.

Sem a modernização do modelo de Cobb-Douglas, a Economia Circular não pode ser planejada nas cidades. No modelo de Cobb-Douglas, a equação deveria contemplar os inputs e outputs para ser considerada uma economia circular, ou seja, inserir os inputs, estamos

dizendo que os fatores de produção que no modelo de Cobb-Douglas chamado de t (terra) e T (tecnologia), para atuarem em economia circular e preverem um modelo sustentável e eficiente de produção, esses fatores, dentro do conceito de inputs, seriam ampliados para Energia renovável, Carbon Foot-Print, Capital Natural, Recursos Renováveis e Rendimentos eficientes dos recursos. Os outputs seriam os rejeitos, ou seja, os resíduos finais dos produtos, os quais, numa economia circular podem ser reaproveitados, como o caso dos resíduos sólidos (materiais recicláveis tais como vidros, plásticos e metais e resíduos orgânicos passíveis de conversão a metano em um biodigestor), sendo possível a implantação de políticas públicas eficientes para o gerenciamento dos resíduos sólidos. Com isso, os atuais fatores de produção previstos no modelo Cobb-Douglas, modelo linear, seriam ampliados, as variáveis inputs e outputs poderiam ser introduzidas nesse modelo promovendo dessa forma uma economia circular em escalas de produção de rendimentos.

Em relação ao mapeamento do resíduo orgânico do município de São José dos Pinhais, há locais da região urbana de SJP onde o lixo, reciclável e orgânico misturados, é coletado três, duas ou apenas uma vez por semana. Não há em SJP uma conscientização da população sobre a importância da separação do lixo reciclável do orgânico. O resultado do levantamento do número de estabelecimento de alimentação de SJP quantificou o total de alimentos descartados anualmente. Dos 1860 estabelecimentos de alimentação, 97 restaurantes de São José dos Pinhais responderam a um questionário e foi verificado que a quantidade estimada de alimentos desperdiçados anualmente por esses estabelecimentos é de 286 toneladas/mês. A Usina termelétrica a biogás pode funcionar de modo eficiente com 286 t/mês, mas a quantidade total de alimentos desperdiçada não foi estimada, o que mostra que mais de um biodigestor pode ser implantado na cidade pois o desperdício de alimentos dos outros 1763 restaurantes não foi contabilizado ainda. Em uma outra cidade do Paraná, Ponta Grossa, desde agosto de 2021 a cidade é beneficiada com o aproveitamento de resíduos de alimentos (apenas 10 t/ano) para a geração de energia elétrica em uma usina termelétrica a biogás que opera com a colaboração da companhia elétrica (COPEL), prefeitura e uma empresa privada. Nessa planta foram instalados tanques para o reaproveitamento dos resíduos do biodigestor que são transformados após a sedimentação em biofertilizantes. Com a decantação, o efluente do biodigestor se torna não poluente. Além disso, se os sacos de lixo utilizados na coleta dos alimentos descartados pelos restaurantes forem lavados, essa água com um alta demanda química de oxigênio e, portanto, poluente, pode ser aproveitada no biodigestor. Assim, esses sacos plásticos que de outra forma não seriam aproveitados na reciclagem secundária de plásticos podem ser aproveitados (ABIPLAST, 2020). Os resíduos de alimentos são coletados em caminhões elétricos da prefeitura, abastecidos com a energia gerada na própria usina. Embora o objetivo seja o de aumentar o processamento dos resíduos de alimentos no biodigestor para 30 ton/ano, o negócio é economicamente viável com a produção atual. Assim, pode ser verificado que São José dos Pinhais pode ter a implantação de um ou mais biodigestores pois o quantitativo de alimentos descartados de restaurantes é suficiente para cogeração de energia de forma eficiente.

CONCLUSÕES

O modelo econômico de Cobb-Douglas que opera em uma economia linear pode ser modernizado para operar em uma Economia Circular, através da introdução da ferramenta econometria e combinação de dois ou mais fatores de produção (inputs e outputs). A combinação de mais de dois fatores de produção, em uma economia de rendimentos de escala, permite que os recursos sejam aproveitados e usados de forma mais eficiente e sustentável.

A elaboração do planejamento estratégico das cidades devem ser consideradas um importante input para reduzir a entropia do sistema econômico, pois o reaproveitamento

energético, a co-geração de energia limpa e renovável e a reciclagem de materiais (vidros, plásticos e metais) torna o sistema mais sustentável e atuante nos princípios da Economia Circular.

A implantação de usinas termelétricas a biogás é uma boa alternativa para o destino de resíduos de alimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o CNPq (processo 304421 / 2017-0) e ao PGMec/UFPR.

REFERÊNCIAS

- Abiplast, Associação Brasileira da Indústria do Plástico, Perfil (2019). Available at: www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019, 2020. Accessed: December 01, 2020
- Araújo, M. G.; Vieira, A. O. (2017). “A economia circular pode ser solidária”. In: Besen, G. R.; Freitas, L.; Jacobi, P. R. (Orgs). Política nacional de resíduos sólidos: implementação e monitoramento de resíduos urbanos. São Paulo: IEE USP: OPNRS. pp. 54-67.
- Apak, S., & Atay, E (2015). Global competitiveness in the EU through green innovation technologies and knowledge production. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 181, 207-217. Available at: www.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.882. Accessed: February 15, 2022.
- Conselho Empresarial Brasileiro Para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS (2019). *Produção mais limpa*. Available in: www.cebds.org.br/cebds/eco-pmaisl-conceito.asp. Accessed: July 15, 2019.
- Hellvig, E.L.F, Flores-Sahagun, T.S. (2021). The Importance Of Public Policies That Encourage Companies To Decarbonize The Environment And Invest In Clean Technologies In Brazil. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 20, (2). Accept for publication in February, 2021.
- Ipardes- Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2021). Mapas e Boletins. Available in: www.ipardes.pr.gov.br. Accessed: March 23, 2021.
- Junqueira, SLCD (2014). Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda Aterrado. Universidade do Rio Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica DEM/POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.
- Karaski, T, U; et al.(2016). Embalagem e Sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular. ABRE, CETESB, CETEA. 1st ed. São Paulo, 2016.
- Inpe– Instituto Nacional de Pesquisas – Programa de Queimadas: Monitoramento por Satélites (2021). Available in: www.queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/cadastro/v1/relatorio-diario-automatico/relatorio-diario-automatico.pdf. Accessed: October 15, 2021.
- MCTIC - Ministério de Ciência e Tecnologia, Inovação e Comunicação. Protocolo de Quioto (2020). Available in: www.mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quioto.pdf. Accessed: May 05, 2020.
- Oliveira, P. A. V.; Higarashi, M. M. (2006). Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006,42p.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS – PNUD. Relatório de Desenvolvimento Humano, (2020). Available in: www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/presscenter/articles/2020/pnud-faz-lancamento-nacional-do-relatorio-de-desenvolvimento-hum.html. Accessed: May 02, 2021.
- SISTEMA DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA –SEEG (2021). Mapa das Emissões, SEDEST/2021. Available in: www.plataforma.seeg.eco.br/cities. Accessed: June 14, 2021.
- Smith I.T; Christenses W.M; Montcastle D.B; Thompson J.R.(20154). Identifying Student Difficulties with Entropy, Heat Engines, and the Carnot Cycle, *Phys. Rev. PER* 11, art. 020116 (2015).
- Varian, H. R.(2015). Microeconomia, uma abordagem moderna. Elsevier, São Paulo, 9th ed., 2015.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC) (2015). Report of the Conference of the Parties on its 21st session, held in Paris from November 30 to December 11. Genebra: United Nations, 2015.