



## Economia Circular e Métodos de Avaliação Econômica de Projetos: Proposta Metodológica para Cálculo dos Impactos Diretos e Indiretos

*Circular Economy and Project Economic Evaluation Methods: Methodological Proposal for Calculating Direct and Indirect Impacts*

*Economía Circular y Métodos de Evaluación Económica de Proyectos: Propuesta Metodológica para Cálculo de Impactos Directos e Indirectos*

Raimundo Eduardo Silveira Fontenele<sup>1</sup>

### Resumo

O presente artigo apresenta algumas proposições metodológicas visando integrar nos métodos tradicionais de avaliação econômica de projetos os impactos diretos e indiretos da economia circular. Após uma breve análise histórica e classificação dos métodos de avaliação econômica, faz-se uma apresentação das etapas exigidas pelo Método dos Efeitos, que faz uso dos conceitos dos sistemas de contas nacionais e da matriz de insumo-produto, para se determinar e avaliar os efeitos diretos, indiretos e primários decorrentes dos seus fluxos de *inputs* e *outputs* em relação aos objetivos nacionais econômicos: crescimento econômico, distribuição de renda, equilíbrio fiscal e desequilíbrio nas contas externas. Em seguida, discute-se a economia circular, que é um modelo econômico não linear, que se enquadra no âmbito do desenvolvimento sustentável e cujo objetivo é produzir bens e serviços, limitando o consumo e o desperdício de matérias-primas, água e recursos naturais. O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta concreta para inclusão da EC nos métodos de avaliação econômica baseados no Método dos Efeitos. Após uma apresentação do modelo tradicional linear do fluxo circular da renda, o estudo propõe uma ampliação do campo de análise do Método dos Efeitos, com a inclusão da economia circular, para cálculo dos impactos diretos e indiretos.

**Palavras-chave:** economia circular; avaliação econômica; método dos efeitos; matriz de insumo-produto.

### Abstract

*This article presents some methodological propositions aimed at integrating the direct and indirect impacts of the circular economy into traditional methods of economic evaluation of projects. After a brief historical analysis and classification of economic evaluation methods, a presentation is made of the steps required by the Method of Effects, which makes use of the concepts of national accounting systems and the input-output matrix to determine and evaluate the direct, indirect, and primary effects arising from its input and output flows concerning national economic objectives: economic growth, income distribution, fiscal balance and imbalance in external accounts. Then, the circular economy is discussed. It is a non-linear economic model that fits within the scope of sustainable development and objectives to produce goods and services, limiting the consumption and waste of raw materials, water, and natural resources. This article presents a concrete proposal for CE inclusion in economic evaluation methods based on the Method of Effects. After a presentation of the traditional linear model of the circular flow of income, the study proposes an expansion of the field of analysis of the Method of Effects, including the circular economy, to calculate the direct and indirect impacts.*

**Keywords:** circular economy; economic evaluation; effects method; input-output matrix.

### Resumen

*El presente artículo presenta algunas proposiciones metodológicas con objetivo de integrar en los métodos tradicionales de evaluación económica de proyectos los impactos directos e indirectos de la economía circular. Después de un breve análisis histórico y clasificación de los métodos de evaluación económica, se hace una presentación de las fases exigidas por el Método de los Efectos, que utiliza los conceptos de los sistemas de cuentas nacionales y de la matriz de insumo producto, para determinar y evaluar los efectos directos,*

---

1 Doutor em Ciências Econômicas pela Université Sorbonne Paris-Nord. Professor Titular do Curso de Ciências Econômicas e do Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará (UFC/PPAC).

---

*indirectos y primarios decurrentes de sus flujos de inputs y outputs en relación a los objetivos nacionales económicos: crecimiento económico, distribución de ingresos, equilibrio fiscal y desequilibrio en las cuentas externas. En seguida, se discute la economía circular, que es un modelo económico no lineal, que cuadra en el ámbito del desarrollo sostenible y cuyo objetivo es producir bienes y servicios, limitando el consumo y desperdicio de materias- primas, agua y recursos naturales. El objetivo de este artículo es presentar una propuesta concreta para inclusión de la EC en los métodos de evaluación económica basados en el Método de los Efectos. Después de una presentación del modelo tradicional lineal del flujo circular de la renta, el estudio propone una ampliación del campo de análisis del Método de los Efectos, con la inclusión de la economía circular, para cálculo de los impactos directos e indirectos.*

**Palabras clave:** *economía circular; evaluación económica; método de los efectos; matriz de insumo producto.*

---

A partir do século passado, a humanidade criou riqueza incomparável a qualquer outra época. Entretanto, apesar de a produção industrial ter contribuído enormemente para o crescimento da economia mundial e para a melhoria da qualidade de vida humana, essa expansão da economia também causou os danos mais sérios ao meio ambiente e aos recursos naturais. A poluição ambiental e a destruição ecológica tornaram-se alguns dos graves problemas do século XXI e um dos principais fatores que restringem o desenvolvimento da economia mundial, bem como é prejudicial à saúde das pessoas.

Países de todo o mundo estão buscando racionalizar o uso dos recursos, para minimizar os resíduos gerados e reduzir a poluição no meio ambiente. Recentemente, muitos países vêm buscando adotar a economia circular (EC), como um modelo de desenvolvimento alternativo para economizar recursos, melhorar a eficiência do uso dos recursos e proteger o meio ambiente.

A partir de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável, nas últimas décadas a sociedade vem implantando modelos sustentáveis de crescimento para minimizar os efeitos negativos da poluição, a fim de alcançar um caminho de desenvolvimento de longo prazo.

A economia circular (EC), muito embora seja um conceito recente, é um tema que vem sendo discutido por diversas escolas de pensamento desde a década de 1970. Entre estas, pode-se citar o Design Regenerativo (Lyle, 1970), a Ecologia Industrial (Clift & Graedel, 2001); a Biomimética (Benyus, 2003), Capitalismo Natural (Lovins & Hawken, 2008) e Economia Azul (Gunter Pauli, 2010; Ellen Macarthur Foundation, 2015).

O equilíbrio entre o crescimento econômico, o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente tem sido pauta de longas pesquisas. Um modelo bastante discutido na literatura é a Curva Ambiental de Kuznets (CAK), que relaciona o impacto ambiental em função do PIB per capita sob a forma de uma parábola invertida ou U-invertido (Sousa et al., 2016).

Na literatura, os indicadores quantitativos da EC são divididos em nível macro (cidade, estado, país), meso (parques industriais) e micro (produto, organização e consumidores individuais), baseando-se geralmente a partir de diferentes parâmetros (valor econômico, energia, massa) e em função de diferentes variáveis (fluxos, ações, mudanças de estoque) ou proporções (Linder et al., 2017).

Na prática, a maioria das pesquisas sobre a EC é focada nos conceitos e princípios de desenvolvimento da economia circular, ou no estudo da engenharia e tecnologias, como tecnologia de produção limpa. No entanto, quanto à construção de um modelo econômico, a partir das técnicas tradicionais de análise custo-benefício, como o Método dos Efeitos, que permita captar os impactos da EC, as pesquisas atuais ainda são muito incipientes.

No bojo dessa discussão, esse artigo procura caracterizar o estado da arte da EC, dentro das metodologias tradicionais de avaliação econômica, apresentando resposta à questão que motivou o trabalho: de que maneira é possível quantificar os impactos diretos e indiretos da economia circular?

O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta metodológica para inclusão da EC nos métodos de avaliação econômica baseados no Método dos Efeitos. Trata-se de uma tentativa para corrigir uma carência das pesquisas e modelos de EC no âmbito das análises custo-benefício tradicionais. Além de revisar as metodologias tradicionais para incorporação da EC nas análises econômicas de projetos, este artigo propõe também um quadro metodológico para incorporação da EC no cálculo da contribuição da cadeia de valor na economia nacional.

No desenvolvimento da pesquisa, são abordadas as duas classes de avaliação econômica de projetos, cujas técnicas se diferenciam em termos de fundamentação teórica. Em primeiro lugar, há os métodos conhecidos como “preços-sombra”, cuja problemática é fundamentada na teoria do equilíbrio geral, que consiste em estabelecer os métodos em função do sistema de preços utilizado para avaliar os custos e benefícios; é então a partir do sistema de preços utilizado sucessivamente para o cálculo financeiro (sistema de preços efetivo ou de mercado), e os ajustamentos em determinados preços (taxa de desconto, taxa de câmbio, bens ou fatores de produção comercializáveis internacionalmente, etc.), que se chega ao sistema generalizado dos “preços-sombra”. Em segundo lugar, o Método dos Efeitos, uma problemática fundamentada na prática do planejamento, cuja abordagem consiste em estabelecer os métodos em função do agente ou do grupo de agentes cujo os custos e benefícios foram definidos; é então a

partir do cálculo na ordem sucessiva para o empresário (cálculo financeiro), para o Estado (dentre outros), que se chega ao cálculo para a “coletividade” (cálculo econômico) (Fontenele, 2005). Para tanto, o Método dos Efeitos se apoia diretamente nos modelos tradicionais dos sistemas de contas nacionais e das matrizes de insumo-produto.

O assunto amplo deste artigo, os métodos de avaliação econômica de projetos e a EC exigem delimitação para esta apresentação. Na Seção 2 encontra-se uma síntese dos antecedentes, da natureza e o significado da EC, bem como o atual desenvolvimento desta economia. Na Seção 3 é feita uma análise das duas técnicas de avaliação econômica de projetos quanto à inclusão da EC, possibilitando, assim, apresentar uma proposição concreta de inclusão nos métodos de avaliação econômica. Por fim, na Seção 4 é apresentada uma proposta metodológica para incorporação da EC no Método dos Efeitos, enquanto a Seção 5 são apresentadas as considerações finais e sugestões.

## Modelo de Economia Circular

As tendências de aumento populacional, crescimento da procura e conseqüente pressão nos recursos naturais têm gerado a necessidade de que as economias atuais avancem para um paradigma mais sustentável, que assegure o desenvolvimento econômico, a melhoria das condições de vida e de emprego, bem como a regeneração do “capital natural”.

A economia circular refere-se a um conceito econômico que se enquadra no âmbito do desenvolvimento sustentável e cujo objetivo é produzir bens e serviços, limitando o consumo e o desperdício de matérias-primas, água e recursos naturais. Trata-se de uma nova economia não linear, baseada no princípio do fechamento do ciclo de vida de produtos, serviços, resíduos, materiais, água e energia.

Esse novo modelo econômico que funciona em circuitos fechados, catalisados pela inovação ao longo de toda a cadeia de valor, é defendido como uma solução alternativa para minimizar consumos de materiais e perdas de energia.

A economia circular pode ser definida como um sistema industrial regenerativo que substitui o conceito de “fim de vida” dos produtos, regenerando-os, em parte ou no todo. Para este fim, recomenda-se a utilização de energias renováveis, bem como a eliminação da utilização de produtos químicos tóxicos, que prejudicam a reutilização dos referidos produtos. Este conceito visa eliminar o desperdício por meio de um design superior de materiais, produtos e sistemas, buscando à utilização de materiais sustentáveis. A economia circular exige novos modelos de negócios voltados para a sustentabilidade. Assim, o modelo econômico intrínseco na economia circular visa conciliar objetivos e desempenho econômico e ambiental (Ramos et al., 2022).

O conceito de economia circular está intimamente ligado ao da ecologia industrial. Erkman (2004) indica que um dos desafios da ecologia industrial é avançar para uma economia circular. É um conceito que, de acordo com a Ademe (2014), refere-se a um “sistema econômico de troca e produção que, em todas as fases do ciclo de vida dos produtos (bens e serviços), visa aumentar eficiência na utilização dos recursos e reduzir o impacto sobre o meio ambiente, ao mesmo tempo em que desenvolve o bem-estar dos indivíduos”.

O modelo de “economia circular” foi desenvolvido pelos economistas ambientais britânicos Pearce e Turner (1990) e visa estabelecer “regras de gestão de recursos” para o desenvolvimento sustentável. O conceito de desenvolvimento sustentável baseia-se na ideia de que as atividades econômicas ocorrem dentro de um sistema natural global com recursos limitados e capacidade de assimilação. Com base nessa visão, Pearce e Turner formulam o objetivo de “sustentar a economia como parte do ecossistema”. Geralmente, um meio para alcançar o desenvolvimento sustentável é visto alterando os princípios econômicos atuais de uma maneira que eles harmonizem com os princípios ecológicos (Simonis, 1989). Essa abordagem também é formulada por Pearce e Turner no estabelecimento de “condições para a compatibilidade das economias e seus ambientes”, com base em seu modelo de “economia circular” (Pearce & Turner, 1990, p. 42).

Illge (2003) aplicou os conceitos econômicos neoclássicos para análise da EC. De acordo com o conceito de falha de mercado, o mercado seria capaz de gerar uma quantidade “socialmente ótima” de produção e consumo se todas as atividades econômicas fossem capturadas por um mercado perfeitamente competitivo, partindo das premissas que todas as negociações poderiam ser realizadas sem custo, as entidades econômicas fossem totalmente informadas e que todos os agentes se comportassem racionalmente (como “homo economicus”). No entanto, tais condições ideais não podem ser encontradas nas sociedades atuais; pelo contrário, ocorre uma falha de mercado que leva a formas e quantidades de produção e consumo “não ideais”, geralmente associadas a danos ambientais excessivamente altos. O conceito de falha de mercado pode ser aplicado igualmente aos mercados de recursos primários, bens de consumo, recicláveis, recursos secundários e serviços de tratamento de resíduos – sendo todos esses mercados elementos da “economia de ciclos de material fechado”.

O principal objetivo da EC é proteger o meio ambiente natural e os recursos naturais do fluxo de circuito fechado do material. A realização da EC necessita da cooperação de todos os agentes econômicos envolvidos no fluxo de materiais: fornecedores, fabricantes, retalhistas, grossistas, distribuidores secundários, produtores secundários, consumidores e assim por diante. Cada *stakeholder* envolvido deve trocar suas informações. Portanto, a troca de informações é considerada como pré-condição para alcançar o fluxo em circuito fechado. Blume et al. (2004) estudaram o processo de tomada de decisão do sistema de economia circular na cooperação entre empresas em sua pesquisa.

Wedekind et al. (2004) estudaram a cooperação de vários participantes e a conexão entre o serviço e o transporte de suprimentos, bem como as possibilidades de eliminação dos resíduos. Para os autores, para a criação de um eficiente sistema econômico circular é preciso de esforços de todos os envolvidos na cadeia de valor. Eles enfatizaram a importância da reutilização e reciclagem dos produtos. Schwarz et al. (1997) estudaram a distribuição da rede do ciclo industrial através da produção das empresas e a reutilização integrada dos resíduos da antiga empresa.

A Alemanha é considerada um dos países que melhor desenvolveu a economia circular. Goettsching (1996) estudou o processo de desenvolvimento da Alemanha enquanto um país importador de resíduos de papel na década de 1970 para se tornar um país exportador de resíduos de papel na década de 1990. Os autores também estudaram as políticas e regulamentos que foram elaboradas durante esse período para promover a economia circular na Alemanha.

A EC contrasta consideravelmente com a retórica comum do paradigma do mecanicismo da teoria econômica tradicional. Ao contrário do que estabelece o fluxo circular da renda linear, que não capta as externalidades, a EC introduz o conceito das externalidades em suas análises. Caso uma empresa, por exemplo, adote métodos de produção mais limpos, a empresa não só recebe um benefício econômico, mas os consumidores e a sociedade como um todo também recebem benefícios indiretos pelo uso de produtos verdes e a consequente redução da poluição ambiental.

A EC apresenta um paradigma que contrapõe o modelo de economia linear, que é pautado pelo processo tradicional de produção e consumo. A EC propõe uma nova abordagem nos processos produtivos, destacando-se os conceitos de reciclagem, regeneração, reaproveitamento e reuso. Trata-se de um modelo pautado na circularidade em substituição ao tradicional da linearidade.

O conceito de EC é resultado de avanços nos processos do ciclo de produção que se originaram na década de 60, em associação com os princípios chamados 3R (redução, reutilização e reciclagem). O fluxo circular da EC é fechado, podendo ser definido como uma economia baseada em um “sistema em espiral” que minimiza o uso da matéria, o fluxo de energia e a deterioração ambiental, sem restringir o crescimento econômico ou o progresso social e técnico (Stahel, 1982). Em resumo, o objetivo da EC é de tornar sustentável o atual estilo de vida, mantendo-o tecnicamente viável a longo prazo, permitindo que as empresas reutilizem seus recursos por um processo de reparação, condicionamento, reciclagem e, finalmente, reutilização dos materiais já em uso.

Nos últimos anos vêm sendo desenvolvidos diferentes métodos de avaliação sustentável, tendo em vista a crescente demanda por sustentabilidade nas políticas públicas e em modelos de negócios. Segundo Lana et al. (2021), o ideal para tratar dos impactos ambientais, sociais e econômicos da EC é por meio da combinação de vários métodos (Motuzien et al., 2016; Di Maria et al., 2018; Ernst, 2019; Gigli et al., 2019; Liu et al., 2020). No caso do presente estudo, a abordagem escolhida foi a dimensão econômica, sendo brevemente revisado os principais métodos de avaliação na seção a seguir.

## **Contexto Histórico e Classificação dos Métodos de Avaliação Econômica de Projetos**

### **Problema e sua Importância**

Existe um consenso na literatura que estabelece a necessidade de se avaliar, em termos econômicos, os impactos ambientais de um projeto, para que se possa incorporá-los aos fluxos de caixa dos projetos. Entretanto, como esta avaliação monetária é, em geral, de difícil mensuração, por tratar-se de valoração indireta de investimentos que afetam o valor de opção e o valor de existência dos recursos ambientais, a determinação do mérito de um projeto depende do ponto de vista que se situa o avaliador.

Num sistema de EC deve-se modificar o perfil privado dos projetos de investimento, para se analisarem os seus efeitos sobre o conjunto da economia. Entre os ajustes a serem feitos, destaca-se a incorporação das externalidades. Essa incorporação se justifica, visto que os custos e benefícios de natureza ecológica resultantes dos processos de produção e de consumo público ou privado não têm preços de mercado, pois não possuem mercados próprios.

Na revisão de literatura, existem poucas informações sobre modelos de avaliação econômica de projetos de investimentos que internalizem os impactos da EC. Muito embora, em muitos países desenvolvidos, as instituições financeiras privadas já estejam incorporando os impactos ambientais nas suas linhas de empréstimos e de financiamentos, nas instituições multilaterais de fomento e de cooperação técnica (Banco Mundial, BID, KFW, PNUD, etc.), a introdução da EC nas análises custo-benefício (ACB) dos projetos de investimento é um tema que apresenta muitas dificuldades técnicas e controvérsias conceituais.

As análises custo-benefício buscam comparar as vantagens ou desvantagens econômicas de uma decisão de investimento, avaliando seus custos e benefícios para avaliar o bem-estar da mudança atribuível a ele (Comissão Europeia, 2014). AACB tem o propósito de identificar e valorizar os impactos de um projeto em termos de seus efeitos no bem-estar social, comparando os efeitos positivos (benefício) com os efeitos negativos (custos) (Gigli et al., 2019). É importante frisar que a ACB é composta de duas partes principais: a análise financeira e a econômica. De um lado, a análise financeira leva em conta despesas e receitas, com base em preços de mercado, incluindo impostos e subsídios, enquanto a análise econômica transforma os preços em seus respectivos preços econômicos, além de incluir os benefícios e custos socioeconômicos que a análise financeira não consegue capturar. Entre os benefícios



que devem ser estimados, incluem-se a economia de tempo, melhorias de segurança, redução de emissões de CO<sub>2</sub>, recuperação de materiais recicláveis etc. (Lana et al., 2021).

Segundo Lana et al. (2021), alguns trabalhos de ACB estão sendo cada vez mais utilizados em avaliação de materiais alternativos em projetos de construção (Wijayasundara et al., 2017, 2018; Gigli et al. 2019; You et al. 2019), gestão de resíduos (Doan & Chinda 2016; Guerin, 2020b, 2020a), projeto de construção sustentável (Abu-Ghunmi et al., 2016; Duu-Hwa et al., 2018; Pecorino et al., 2018; Xiao et al., 2018; Andrade et al., 2019).

## Contexto Histórico

Durante a depressão dos anos 30 nos Estados Unidos, um conjunto de projetos públicos, principalmente de irrigação, de usinas hidroelétricas e obras de contra as enchentes foi recomendado com base no uso dos métodos de avaliação econômica de projetos. Esses estudos, entre os quais aqueles relacionados ao *Tennessee Valley Authority - TVA*, tinham como inspiração teórica os modelos keynesianos e como instrumental os trabalhos de W. Leontief (Chervel, 1995).

Posteriormente, no início dos anos 60, uma equipe de economistas da cooperação técnica francesa trabalhava na elaboração dos Planos Nacionais de ex-colônias na África. No âmbito dos trabalhos, sentiu-se a necessidade de fornecer elementos de análise às autoridades públicas para uma melhor escolha das oportunidades de investimentos, tendo em vista a insuficiente capacidade de financiamento para o conjunto dos projetos estudados. Foi dentro da mesma filosofia de trabalho desenvolvida nos anos 30 nos Estados Unidos que ocorreram as primeiras aplicações dessa técnica, chamada posteriormente de “Método dos Efeitos” (Fontenele, 2001).

Por outro lado, dentro de outro contexto, poucos anos após as primeiras experiências concretas do Método dos Efeitos, um grupo de economistas, a convite das instituições internacionais, se preocupava em justificar que os preços de mercado realmente verificados nos países em desenvolvimento não representam realmente o verdadeiro valor econômico dos bens e serviços. Fundamentado na teoria neoclássica, os métodos dos “preços-sombra” surgiram com a ideia de corrigir as distorções do funcionamento de uma economia onde são expressivas as diferenças entre os preços de mercado e os valores econômicos. Para os autores destes métodos, a análise de rentabilidade financeira é insatisfatória para avaliar os projetos públicos, haja vista que a ótica financeira não reflete “verdadeiramente” o ponto de vista da coletividade (Fontenele, 2001).

Vale salientar, porém, apesar das diferenças comuns entre os dois métodos (Método dos Efeitos e Método dos “preços-sombra”), existe certa equivalência entre eles, em termos matemáticos, a partir do teorema da dualidade. Porém, em termos de fundamentação teórica e a maneira de abordar o problema do desenvolvimento, as duas grandes famílias dos métodos se diferem consideravelmente (Fontenele, 2001).

A necessidade para reabrir esse debate é sentida atualmente, sobretudo na tentativa de ampliar o campo de aplicação desses métodos para tratar de problemas atuais do desenvolvimento, tais como as questões de repartição, meio ambiente e EC.

## Classificação dos Métodos de Avaliação Econômica de Projetos

### Correspondência teórica dos dois métodos.

Antes de apresentar as diferenças entre o método dos “preços-sombra” e o método dos efeitos, torna-se indispensável mostrar a correspondência teórica dos dois métodos de avaliação econômica de projetos: em primeiro lugar, a abordagem que consiste em estabelecer os métodos em função do agente ou do grupo de agentes, segundo os quais os custos e benefícios foram definidos; é então a partir do cálculo na ordem sucessiva para o empresário (cálculo financeiro), para o Estado (dentre outros), que se chega ao cálculo para a “coletividade” (cálculo econômico). Em segundo lugar, a abordagem que consiste em estabelecer os métodos em função do sistema de preços utilizado para avaliar os custos e benefícios; é então a partir do sistema de preços utilizado sucessivamente para o cálculo financeiro (sistema de preços efetivo ou de mercado), e os ajustamentos em determinados preços (taxa de desconto, taxa de câmbio, bens ou fatores de produção comercializáveis internacionalmente, etc.), chega-se ao sistema generalizado dos “preços-sombra”. Assim, pode-se demonstrar que, do ponto de vista teórico, esses dois métodos concorrentes se equivalem (Fontenele, 2001).

Sejam dois programas lineares que se correspondem: Um programa dito primal (em  $x$ ) e outro dito dual (em  $y$ ).

**Quadro 1**

Correspondência Teórica dos Métodos de Avaliação Econômica de Projetos

PRIMAL → Método dos Efeitos	DUAL → Método “Preços-Sombra”
Maximizar $Z = z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ Sujeita a $\sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$ e $x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$	Minimizar $D = d = \sum b_i y_i$ Sujeita a $\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$ e $y_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m)$

Fonte: Chervel (1995). Onde:  $x_j$  é o vetor de produção (em quantidades físicas);  $A_{ij}$  é a matriz dos coeficientes  $a_{ij}$  (a quantidade do  $i$ -ésimo recurso no  $j$ -ésimo produto);  $b_i$  é o vetor-coluna dos recursos disponíveis;  $c_j$  é o vetor-linha do ingresso de cada unidade do produto  $j$ ;  $y_i$  é o vetor-coluna das variáveis de escolha do programa dual; ou seja, o vetor de preços (*shadow prices*) que minimiza o custo de produção da solução ótima do programa primal.

A resolução do programa primal é equivalente à resolução do programa dual (correspondência entre as soluções ótimas do primal e do dual); isto é, pode-se resolver um ou outro programa, desde que um dos programas seja resolvido (Fontenele, 2001).

Assim, tendo conhecimento da função-objetivo e das restrições, o programa primal consiste em determinar a melhor combinação possível de  $x_j$  que permita maximizar a produção do grupo de agentes selecionados (seleção de projetos): trata-se do método dos efeitos.

O programa dual consiste em determinar um sistema de preços “econômicos” ( $y_i$ ) que minimize o custo de produção, ao qual os projetos analisados na abordagem primal são rentáveis e tendo também os mesmos objetivos e restrições para fazer a seleção e o julgamento dos projetos: tratam-se dos métodos dos “preços-sombra”. Assim, tendo conhecimento da função-objetivo e das restrições, o programa primal consiste em determinar a melhor combinação possível de  $x_j$  que permita maximizar a produção do grupo de agentes selecionados (seleção de projetos): trata-se do método dos efeitos (Fontenele, 2001).

A abordagem primal-dual permitiu demonstrar que para a solução do problema pouco importa se a análise seja feita por um ou outro enfoque, haja vista que a partir dos dois procedimentos chega-se ao “ótimo”. Porém, apesar da correspondência formal primal-dual, essas duas abordagens se diferem quanto à inclusão dos objetivos do desenvolvimento sustentável e de modelos de crescimento sustentáveis como da EC nas suas análises. Em primeiro lugar, para os métodos dos “preços-sombra”, a abordagem dual que consiste em simular o programa primal e em calcular os “preços-sombra”, que são por sua vez dissociados da observação direta dos agentes da economia, como as variáveis duais associadas às restrições do primal. Utilizando-se de conceitos complexos, de difícil compreensão por parte dos agentes envolvidos num projeto e em uma cadeia de valor, o programa dual não permite ser aperfeiçoado de maneira contínua, haja vista que o problema consiste em calcular o sistema generalizado dos “preços-sombra” (ou seja, definir matematicamente a função de “bem-estar” social). Em segundo lugar, o Método dos Efeitos, cuja abordagem é acessível e de fácil compreensão, haja vista que os conceitos em questão (por exemplo: objetivo de crescimento, objetivo de repartição de renda..., limitações de capital, divisas, terras produtivas, mão-de-obra, etc.), podem ser analisados diretamente com os diversos atores sociais envolvidos; isto é, a análise feita pelo Método dos Efeitos, por tratar-se de uma abordagem primal, é construída e detalhada explicitamente baseando-se nos conceitos da contabilidade nacional (Fontenele, 2001).

Diante da preocupação de se determinar o impacto da EC no cálculo econômico, o cálculo do VA é a medida indicada de criação de riqueza de um país, mas também permite mostrar e avaliar como essa riqueza está sendo distribuída entre os principais agentes da economia nacional: as famílias (remunerações pagas aos trabalhadores); o Governo (taxas e impostos); às instituições financeiras (juros) e as empresas (lucros e dividendos aos acionistas). Além disso, o Método dos Efeitos faz uso das tabelas de insumo-produto, que fornecem uma visão ampla das transações da economia nacional, mostrando o destino dos bens produzidos, tanto para os consumidores finais como para a produção de outros setores. Trata-se, portanto, de um método mais adequado para dimensionar os impactos das relações intersetoriais decorrentes do ciclo econômico a ser gerado pela EC. Neste sentido, o Método dos Efeitos consegue captar melhor os impactos dos negócios envolvidos na gestão dos resíduos, visto que mensuram o VA criado e envolvido no ciclo de vida do produto. A dificuldade maior é obter informações sobre a composição do consumo intermediário local, em termos de participação dos resíduos na cadeia de valor.

Isto se justifica também pelas limitações constatadas em outras técnicas de avaliação, destacando-se as análises de insumo-produto. As análises de insumo-produto vêm sendo estudadas como ferramenta de avaliação das emissões de resíduos na análise de processos econômicos, sendo amplamente utilizadas em diversos países. De acordo com Li (2013), os esforços conjuntos de acadêmicos para aplicação prática da análise de insumo-produto alcançaram algumas conquistas. No entanto, com a aplicação da teoria e do método de desenvolvimento sustentável no sistema econômico, ocorrem ainda vários problemas e deficiências do modelo tradicional de insumo-produto em

termos de teoria e prática. Os estudos estão concentrados na economia nacional de nível macro, pois as tabelas de insumo-produto consideram apenas a natureza puramente econômica das atividades econômicas, sem considerar os problemas ambientais causados pelas atividades econômicas (Li, 2013). Portanto, as técnicas tradicionais de análise de insumo-produto têm sido difíceis de atender aos requisitos do gerenciamento ambiental e suas análises permanecem no nível teórico, bem como a maioria delas não tem a aplicação relacionada com a economia circular.

### Proposição Metodológica para Inclusão da Economia Circular no Método dos Efeitos

A metodologia desenvolvida neste estudo é uma adaptação do Método dos Efeitos, apresentada oficialmente, em 1976, a partir do “*Manuel d'évaluation économique des projets - La méthode des effets*”, de autoria de Marc Chervel e Michel Le Gall. Trata-se de um método reconhecido oficialmente pelo Ministério da Cooperação e pela Caixa Central de Cooperação Econômica do Governo francês no âmbito do financiamento de seus projetos, sendo amplamente aplicado em projetos de irrigação, projetos de infraestrutura viária, infraestrutura ferroviária, de turismo internacional, etc.; bem como o espaço francófono, em diferentes países da Europa, da Ásia, da África e da América Latina. O Método dos Efeitos tem sido também amplamente utilizado nos modelos da economia de *filière* de produção (Fabre, 1994).

#### Base Conceitual: O Conceito do Valor Agregado

Em termos de fluxo – independentemente de operações que ocorrem dentro das fronteiras dos agentes econômicos – durante um período, o processo de produção caracteriza-se pela existência de um fluxo de *inputs* e um fluxo de *outputs*.

A análise desses fluxos de *inputs* e *outputs*, cuja base utiliza uma divisão do tempo em períodos (os “períodos de contabilidade”, geralmente de um ano), por conveniências legais e analíticas, distingue os bens e serviços da seguinte maneira: os fatores de produção que são totalmente transformados (“consumidos”) durante o período – esses fatores são denominados consumos intermediários –; os fatores de produção que são parcialmente utilizados durante o período e que sua degradação total somente ocorre depois de inúmeros períodos – esses fatores são denominados de investimentos (Fontenele, 2018).

O VA é definido pela seguinte equação:

$$VA = P - CI(1)$$

Sendo:

- CI representa o Valor do Consumo Intermediário e P o Valor Bruto da Produção, a diferença  $P - CI$  representa o Valor Agregado ou Produto (VA), que é a contribuição adicional de um recurso, atividade ou processo para a fabricação de um produto ou prestação de um serviço por uma empresa.

A nova riqueza criada por uma atividade de produção não é medida pelo valor bruto do produto P, mas logicamente pelo valor P menos a riqueza que levou para destruir (“consumir”) para produzi-lo. Em termos macroeconômicos, o VA é o valor dos bens produzidos por uma economia, depois de deduzidos os custos dos insumos adquiridos de terceiros (matérias-primas, serviços, transportes, etc.), utilizados na produção.

Em termos de sociedade (de um país), o VA é um valor que corresponde à remuneração dos fatores de produção. Portanto, é uma medida de criação de riqueza, ou seja, é a contribuição do processo de produção considerada no crescimento da economia. De forma mais simplificada, o VA de cada produto é igual à remuneração dos fatores de produção, utilizados para sua obtenção.

Como tal, diante da preocupação de se determinar o impacto da EC no cálculo econômico, o cálculo do VA é a medida indicada de criação de riqueza de um país, mas também permite mostrar e avaliar como essa riqueza está sendo distribuída entre os principais agentes da economia nacional: as famílias (remunerações pagas aos trabalhadores); o Governo (taxas e impostos); às instituições financeiras (juros) e as empresas (lucros e dividendos aos acionistas).

Para facilitar a compreensão do Método dos Efeitos, a metodologia é apresentada no âmbito dos estudos das cadeias de produção ou cadeia de valor, com base em uma lista de informações requeridas para o cálculo da contribuição da cadeia de valor na economia nacional. A estrutura da proposta metodológica compõe-se de duas partes. A primeira parte é destinada à apresentação conceitual da cadeia de valor e da metodologia de cálculo da sua contribuição na economia nacional, com base na metodologia desenvolvida por Chervel e Le Gall, em 1976. A segunda parte destina-se a transformar o passo a passo do Método dos Efeitos, baseado em um modelo de economia linear, com o detalhamento do cálculo dos impactos diretos e indiretos de uma cadeia de valor decorrentes das atividades da EC (Fontenele, 2018).

## Construção e Consolidação das Contas de Produção-Exploração dos Agentes Econômicos da Cadeia

A metodologia desenvolvida neste estudo é uma adaptação do Método dos Efeitos desenvolvida originalmente por Chervel e Le Gall, em 1976. Para o cálculo da contribuição da cadeia de valor na economia deve-se, primeiramente, após definição de todos os agentes envolvidos nos fluxos de operações, construir as contas de produção-exploração de cada agente da cadeia, as quais devem dispor das seguintes informações: Composição do Valor Bruto da Produção, com a especificação do destino (mercado interno, autoconsumo e exportação); Composição das Despesas em Consumo Intermediário, com a especificação da origem (mercado interno ou importação); Composição do Valor Agregado em termos de remuneração dos fatores de produção (salários, taxas, impostos, juros e um saldo – resultado bruto da exploração).

A análise da contribuição da cadeia na economia é obtida a partir da consolidação das contas de produção-exploração. Essa consolidação é uma técnica de contabilidade cujo princípio consiste em eliminar a dupla contagem das operações, substituindo as contas individuais dos agentes por uma conta exclusiva que apresenta os fluxos comerciais da cadeia com o resto da economia.

O processo de consolidação das contas individuais dos agentes para uma conta de toda a cadeia implica em uma passagem da análise financeira para a análise econômica do ponto de vista da sociedade. A análise econômica é, portanto, obtida pelo estabelecimento da conta consolidada da cadeia de valor de todos os agentes envolvidos.

Note-se que o valor agregado deste conjunto é igual à soma dos valores agregados dos agentes individuais:

$$VA_{Cadeia\ de\ Valor} = \sum VA_{Agentes\ da\ Cadeia\ de\ Valor} \quad (2)$$

Igualmente, obtêm-se o Valor Agregado da Cadeia de valor pelo saldo:

$$V_{Cadeia\ de\ Valor} = P_{Cadeia\ de\ Valor} - CI_{Cadeia\ de\ Valor} \quad (3)$$

### Metodologia de Cálculo dos Impactos Diretos e Indiretos pelo Método dos Efeitos

A ideia central da aplicação do Método dos Efeitos em estudos de impacto de cadeias de valor se deve, entre outros aspectos, à praticidade para se determinar e avaliar os efeitos diretos, indiretos e primários decorrentes dos seus fluxos de *inputs* e *outputs* em relação aos objetivos nacionais: crescimento econômico, distribuição de renda, equilíbrio fiscal e desequilíbrio nas contas externas. Uma vez estabelecidas as contas consolidadas da cadeia de valor, três etapas devem ser executadas: cálculo dos efeitos diretos e indiretos. É importante assinalar que o Método dos Efeitos busca mensurar apenas uma dimensão da sustentabilidade, no caso a dimensão econômica do processo produtivo.

#### Cálculo dos efeitos diretos.

O cálculo dos efeitos diretos consiste em obter, diretamente da conta de produção-exploração consolidada, os elementos da distribuição direta de renda dos diferentes agentes econômicos. Os efeitos diretos são constituídos por: rendas distribuídas que podem ser obtidas diretamente da conta de exploração, visto que elas constituem em usos; remuneração do pessoal (permanente ou temporário); taxas administrativas e impostos ligados à atividade; despesas financeiras e resultado bruto da exploração. Adicionam-se ainda as taxas e tarifas de importação que eventualmente são incluídas no montante dos consumos intermediários diretamente importados pelos agentes da cadeia. Assim, deduz-se o montante de eventuais subsídios ou indenizações acrescidas no valor da produção. Em termos de criação de riqueza (impacto no crescimento econômico), os efeitos diretos constituem em valor agregado direto:

$$P = CI_{Importado} + CI_{Local} + VA_{Direto} \quad (4)$$

Onde:

$P$  = Valor da produção global da cadeia de valor;

$CI_{Importado}$  = Consumo intermediário importado pelos agentes, ao preço CIF;

$CI_{Local}$  = Consumo intermediário adquirido localmente;

$VA_{Direto}$  = VA da conta de produção+taxas e impostos dos CI importados.



### Cálculo dos efeitos indiretos.

Os efeitos indiretos representam as atividades econômicas induzidas pelo funcionamento da cadeia de valor nos demais agentes da economia. É importante assinalar que a partir do cálculo dos efeitos indiretos pode-se medir o grau de integração da atividade produtiva da cadeia na economia nacional. Na prática, os efeitos indiretos são calculados de duas maneiras: separando as cadeias de valor; e/ou utilizando uma matriz de insumo-produto (Chervel, 1995).

A aplicação da matriz de insumo-produto para cálculo dos efeitos indiretos simplifica e de forma mais rápida permite a estimação dos valores dos consumos intermediários em componentes indiretos. Em termos práticos, obtêm-se os coeficientes técnicos denominados “coeficientes de ligação”, os quais expressam (em %) a participação média das importações e do valor agregado em cada unidade de produto de um ramo de atividade. O cálculo consiste em multiplicar cada item de consumo intermediário local de Nível 1 obtido na conta de produção-exploração consolidada pelos coeficientes de ligação do ramo de atividade correspondente, permitindo, assim, estimar os valores das importações indirectas e do valor agregado, com os seus componentes:

$$\text{Importação}_{\text{Indireta}} = \sum (CI_i | x \text{ Coeficiente de Importação}_i) \quad (5)$$

$$\text{Valor Agregado}_{\text{Indireto}} = \sum (CI_i | x \text{ Coeficiente de Valor Agregado}_i) \quad (6)$$

Assim, cada coeficiente representa numericamente os efeitos indiretos propagados sobre o sistema na economia, a partir do momento em que uma determinada atividade incrementa o consumo intermediário local. Para exemplificar, admite-se que no sub-ramo de atividades “embalagem”, os coeficientes de importação e de valor agregado, fornecidos pelas estatísticas oficiais sejam, respectivamente, de 0,35 e 0,65. Neste caso, para cada unidade monetária de compra de “embalagem” resultaria em uma perda de \$ 0,35 em divisas (importações) e a criação de \$ 0,65 na economia local em termos de valor agregado pelos diferentes agentes do respectivo sub-ramo de atividades situados “para frente” dessa produção. A obtenção desses coeficientes é feita preferencialmente por meio de uma matriz de insumo-produto (MIP) com conteúdo de importações (Chervel, 1995).

O equilíbrio recursos-usos que forma a MIP pode ser escrito da seguinte maneira:

$$X = AX + Y \quad (7)$$

Sendo:

- X, o vetor coluna das produções de cada bem ou serviço;
- A, a matriz de coeficientes técnicos; e
- Y, o vetor coluna das demandas finais em bens e serviços locais.

Da expressão (7) obteremos:

$$x = (8)$$

Onde:

- designa o inverso da matriz e
- I, a matriz identidade.

A expressão (8) demonstra qual deve ser o incremento da produção local X para satisfazer uma nova demanda local Y. Conhecendo as taxas de importação e as taxas de valor agregado diretas das produções locais, obteremos o incremento das importações:

$$iX = i(I - A)^{-1}Y$$

E o incremento do valor agregado:

$$vX = v(I - A)^{-1}Y$$

Geradas pela nova demanda final Y.

Verifica-se que desse modo obteremos uma separação do valor total Y, em um incremento das importações e um incremento do valor agregado:

• O valor total da nova demanda final é igual à soma de valores das novas demandas finais de cada bem ou serviço, ou seja, a:  $y_1 + y_2 + \dots + y_j + \dots$  onde  $y_j$  designa a nova demanda final do bem ou serviço j. Podendo ser escrita de forma mais sintética:  $uY$ , sendo  $u$  um vetor linha cujos componentes são iguais a 1;

$$\text{Logo, } iX + vX = (i + v)X$$

E segundo (8):

$$iX + vX = (i + v)(I - A)^{-1}Y \quad (9)$$

Porém, considerando que a soma de elementos de cada coluna da MIP é igual a 1, obtém-se o seguinte:

$$u = uA + i + v$$

Onde:  $i + v = u(I - A)$

E substituindo em (9):

$$iX + vX = u(I - A)(I - A)^{-1}Y$$

Ou seja:

$$iX + vX = uY$$

Desse modo, o valor total da nova demanda final ( $uY$ ) se separa em um incremento das importações ( $iX$ ) e em um incremento do valor agregado ( $vX$ ). Essas importações e este valor agregado contidos na nova demanda final são denominados, respectivamente, importações incluídas e valor agregado incluído nesta demanda final (Chervel, 1995).

### Proposta Metodológica de Inclusão da EC no Cálculo dos Impactos Diretos e Indiretos e Primários pelo Método dos Efeitos

Existe um consenso sobre o papel fundamental do gerenciamento de resíduos e recursos na transformação de um novo paradigma produtivo baseado no modelo linear para um modelo circular, em que o valor de materiais e recursos é mantido na cadeia de fornecimento.

Os resíduos surgem sistematicamente em toda a cadeia de fornecimento como resultado de atividades econômicas e negócios (Kurz, 2006; Beamon, 1999; Parfitt et al., 2010). A quantificação dos resíduos na cadeia representa uma das tarefas mais complexas, pois a cadeia de fornecimento de produtos é interconectada e fragmentada em diferentes setores industriais.

A EC dispõe de várias ferramentas analíticas, algumas das quais são métodos para quantificação de fluxos de materiais ou métodos de análise de impacto (matriz de insumo-produto), enquanto outros se concentram mais em processo de desenvolvimento de produto (ecodesign) ou sua recuperação na cadeia de valor (logística reversa). Neste estudo, propõe-se uma extensão do Método dos Efeitos para inclusão da EC na quantificação dos impactos econômicos diretos e indiretos.

A matriz de insumo-produto tem sido usada recentemente para incorporar informações financeiras com dados de resíduos físicos e ligar os resíduos à atividade econômica. Exemplos incluem: a tabela regional WIO do País de Gales (Jensen et al., 2011); a MIO da Holanda, denominada NAMEA (Haan & Keuning, 1996); a MIO alemã (Stahmer et al., 1998); a MIO para o Japão (S. Nakamura & Kondo 2002; Tsukui et al., 2015); Austrália (Reynolds et al., 2014; Fry et al., 2015), Taiwan (Liao et al., 2015) e França (Beylot et al., 2016).

A Figura 1 apresenta uma adaptação do modelo tradicional linear do fluxo circular da renda para inclusão da EC. Na primeira parte, verifica-se que o departamento de produção investe capital, mão de obra e insumos intermediários para produzir. O fluxo de produção direciona os bens e serviços para os mercados de consumo final, intermediário e de capital (investimento). A metade inferior da figura inclui o sistema de gestão de resíduos. Os desperdícios provocados pela produção e consumo vão entrar na estação de tratamento de lixo após a seleção e classificação dos resíduos. O departamento de reciclagem não só fornecerá a matéria-prima para o mercado, mas também produzirá resíduos, e os resíduos vão fluir de volta para o departamento de trânsito de resíduos.

Considerando o modelo econômico híbrido da Figura 1, pode-se escrever a identidade contábil macroeconômica produção-dispêndio da seguinte forma:  $Y$  – valor da produção da economia linear;  $R$  – valor da produção da economia circular;  $C$  – o consumo final;  $X$  – o consumo intermediário da economia linear;  $XR$  – o consumo intermediário da economia circular;  $I$  – o investimento do setor econômico linear;  $IR$  – o investimento do setor circular;  $Z$  – a entrada da redução dos resíduos.

$$Y_i + R_i = \sum_j X_{ij} + \sum_j XR_{ij} + C_i + \sum_j I_{ij} + \sum_j IR_{ij} + Z_j \quad (10)$$

De posse do modelo de economia circular da Figura 1, pode-se reescrever a equação de cálculo dos efeitos indiretos pelo Método dos Efeitos, que faz uso da matriz de insumo-produto, apresentada na Subseção 4.3.2.

O equilíbrio recursos-usos que forma a MIP híbrida pode ser escrito da seguinte maneira:

$$X_L = AX_L + Y_L \quad (11)$$

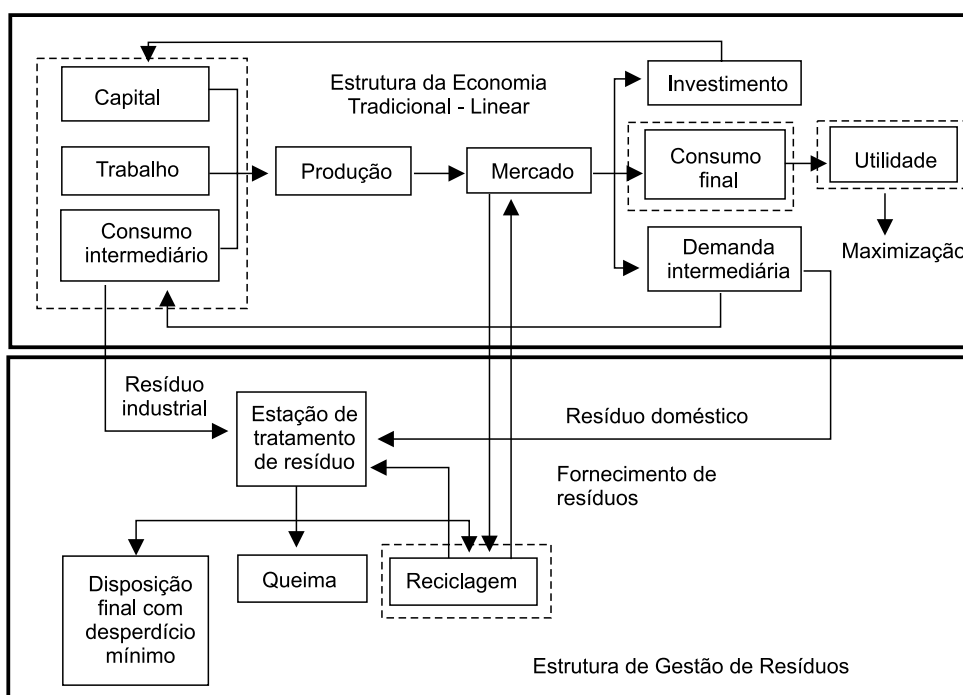
$$X_C = AX_C + Y_C \quad (12)$$

Sendo:

- $X_L$ , o vetor coluna das produções de cada bem ou serviço da economia linear;
- $X_C$ , o vetor coluna das produções de cada bem ou serviço da economia circular;
- $A$ , a matriz de coeficientes técnicos;

Figura 1

Modelo de Economia Circular



Fonte: Elaboração própria.

- $Y_L$ , o vetor coluna das demandas finais em bens e serviços locais da economia linear;
  - $Y_C$ , o vetor coluna das demandas finais em bens e serviços locais da economia circular
- Das expressões (11) e (12) obteremos:

$$X_L = (I - A)^{-1}Y_L \quad (13)$$

$$X_C = (I - A)^{-1}Y_C \quad (14)$$

Onde:

- o inverso da matriz  $(I - A)$  e
- $I$ , a matriz identidade.

As expressões 13 e 14 demonstram, respectivamente, os aumentos na produção local de  $X_L$  e  $X_C$  para satisfazer uma nova demanda local de  $Y_L$  e  $Y_C$ . Conhecendo as taxas de importação e as taxas de valor agregado diretas das produções locais, respectivamente, da economia linear e circular, obteremos o incremento das importações:

$$i_L X_L = i_L (I - A)^{-1} Y_L \quad (15)$$

$$i_C X_C = i_C (I - A)^{-1} Y_C \quad (16)$$

E o incremento do valor agregado:

$$v_L X_L = v_L (I - A)^{-1} Y_L \quad (17)$$

$$v_C X_C = v_C (I - A)^{-1} Y_C \quad (18)$$

De posse das taxas de importação e de valor agregado, respectivamente, das produções locais, podem-se estimar os impactos indiretos provocados pelas atividades econômicas induzidas pelo funcionamento da cadeia de valor nos demais agentes da economia. No cálculo dos impactos diretos e indiretos, decorrentes da compra de insumos locais (consumo intermediário local), devem ser incluídos o reaproveitamento dos resíduos, reutilização, reuso (os 5R's da EC), no processo de detalhamento dos custos ao longo da cadeia. É importante assinalar que a partir do cálculo dos efeitos indiretos pode-se medir o grau de integração da atividade produtiva da cadeia na economia nacional. A obtenção desses coeficientes é feita preferencialmente por meio de uma matriz de insumo-produto com conteúdo de importações, ajustada para avaliar o impacto da EC, por meio de coeficientes específicos do fluxo circular. Caso o Sistema de Contas Nacionais do país não possua essa matriz, alternativamente podem-se obter os coeficientes por meio de: estudos setoriais, subsetoriais, de ramos de atividades ou de cadeias de valor, cujas análises apresentam as contas de produção e os equilíbrios usos-recursos da contabilidade nacional, bem como por meio de estudos anteriores mais específicos relativos aos ramos de atividade ou de produtos, com os quais tenha sido desenvolvida a técnica de separação das cadeias de valor.

### Considerações Finais

Recentemente, muitos países vêm adotando a EC como um modelo de desenvolvimento alternativo para economizar recursos, melhorar a eficiência do uso dos recursos e proteger o meio ambiente. Trata-se de uma nova economia, caracterizada por um aumento expressivo da produtividade dos recursos ambientais, pela necessidade de restauração do capital natural, dos quais muitos elementos não estão vinculados à eficiência econômica.

Uma proposta concreta para incluir a EC nos métodos de avaliação econômica foi o objetivo desse trabalho. Essa proposição vem, portanto, ao lado dos instrumentos de análise com acento mais forte da teoria neoclássica, contribuir na solução dos problemas econômicos, sociais e ambientais nos processos decisórios. Trata-se de uma tentativa para corrigir uma carência das pesquisas e modelos de EC no âmbito das análises custo-benefício tradicionais. Assim, após contextualizar o fluxo linear da renda tradicional e incorporar a questão da EC na identidade macroeconômica produto-dispêndio, o artigo apresenta um quadro metodológico para incorporação da EC no cálculo da contribuição da cadeia de valor na economia nacional.

Tradicionalmente, o Método dos Efeitos permite fornecer o balanço financeiro dos agentes envolvidos na cadeia de valor, de tal maneira que possibilita dispor, em termos monetários, a contribuição desses agentes na criação de riqueza, na sua distribuição em termos distributivos entre os agentes da economia: as famílias (salários), as instituições financeiras (juros), o Estado (taxas e impostos) e as empresas (resultado líquido da exploração), bem como o impacto de suas ações nas finanças públicas, no balanço de pagamentos e na geração de empregos; fornece também informações para avaliar o impacto e a pertinência das políticas nacionais no setor em relação aos objetivos fixados. Trata-se de uma abordagem que difere dos métodos neoclássicos, visto que estabelece o retorno econômico a partir do cálculo do valor agregado, mais adequado para estimar a criação de riqueza de um país, bem como para conhecer de que forma essa riqueza está sendo distribuída entre os principais agentes da economia nacional (Fontenele, 2001).

A revisão de literatura identificou que a utilização da matriz insumo-produto (MIP) tem se intensificado para avaliar o impacto da EC. A MIP permite que se estabeleçam relações de interdependência entre os setores produtivos da economia, permitindo identificar impactos econômicos sobre a produção, o emprego e a renda em função de variações no conjunto da demanda final ou em um dos componentes (consumo, investimento ou exportação). Porém, apesar dos avanços, os autores citam que ocorrem ainda vários problemas e deficiências do modelo tradicional de insumo-produto em termos de teoria e prática (Li, 2013).

O Método dos Efeitos originalmente foi desenvolvido para aplicação em análise de projetos. O modelo teórico proposto no presente estudo busca ampliar a análise os impactos econômicos da EC na economia nacional. Atualmente, o sistema de contabilidade nacional da economia do Brasil não possui uma matriz de insumo-produto com conteúdo de importação, sendo necessária sua adaptação para incorporar as atividades da EC. Portanto, para aplicação desta metodologia, na ausência de uma matriz de insumo-produto modificada para incluir as atividades da EC, os efeitos indiretos devem ser calculados pelo processo de separação das cadeias de valor.

Para pesquisas futuras sugere-se, portanto, um detalhamento desse processo para viabilizar a aplicação da metodologia. Sugere-se, ainda, a definição de um conjunto de critérios de avaliação, obtidos por meio da aplicação da metodologia do Método dos Efeitos, para dimensionar a participação da EC na cadeia de valor.

O modelo proposto pode ser ampliado como instrumento de análise de impacto, ou de previsão, com a apresentação de novos cálculos, resultantes de simulações decorrentes das variações, entre outros, nas quantidades produzidas, nas produtividades, nos preços, bem como de variações decorrentes de mudanças futuras – controladas – de política econômica, ou exógenas (variações nos preços internacionais dos insumos e/ou dos produtos para exportação), de tal maneira que possibilite fazer uma previsão dessas mudanças na criação do valor agregado, na distribuição da renda entre os agentes, entre outros aspectos. Igualmente, o modelo proposto pode ainda ser aplicado não apenas para um respectivo ano, mas também para uma série histórica, permitindo a obtenção de resultados que forneçam comparações evolutivas do comportamento dos agentes da EC na cadeia de valor.

## Referências

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie – ADEME. (2014). *Economie Circulaire: Notions*. [Link](#)
- Beamon, B.M. (1999). Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4),332–342.
- Beylot, A., Boitier, B., Lancesseur, N., & Villeneuve. (2016). A consumption approach to wastes from economic activities. *Waste Management*, 49, 505-515. [Link](#)
- Butkovic, L. L., Mihic, M., Sigmund, Z. (2021). Assessment methods for evaluating circular economy projects in construction: a review of available tools. *International Journal of Construction Management*, 23(9):1-10. [Link](#)
- Blume, V., & Haasis, H.-D. (2004). *Knowledge and decision support management in the circular flow economy*. SPIE Optics East. DOI: [10.1117/12.516101](#)
- Chervel, M. (1995). *L'évaluation économique des projets - Calculs Économiques et planification*. PUBLISUD.
- Chervel, M., & Le Gall, M. (1976). *Manuel d'évaluation économique des projets, La Méthode des effets*. Ministère de la Coopération. [Link](#)
- Pearce, D.W. & Turner, R. K. (1989). *Economic of Natural Resources and the Environment*. Harvester-Wheatsheaf.
- Ellen Macarthur Foundation. *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. [Link](#)
- Erkman, S. (2004). *Vers une écologie industrielle*. Éditions-Diffusion Charles Léopold Mayer. [Link](#)
- European Commission (Orgs). (2014). *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. Regional and Urban Policy. [Link](#)
- Fabre, P.(1994). *Note de méthodologie générale sur l'analyse de filière : utilisation de l'analyse de filière pour l'analyse économique des politiques*. FAO. (Documents de formation pour la planification agricole, 35). [Link](#)
- Fontenele, E.(2001). Objetivos nacionais e avaliação econômica de projetos: Crítica e proposta de integração a partir do método dos efeitos. *Revista Pesquisa & Debate*,12(1/19),107-135.
- Fontenele, R. E. S.(2005, 08 a 10 de Junho). *Estratégias de desenvolvimento nos métodos de avaliação econômica de projetos: Uma proposta metodológica*. [Apresentação de trabalho]. 2º Encontro de Estudos em Estratégia - 3Es, Rio de Janeiro - RJ. [Link](#).
- Fry, J., Lenzen, M., Giurco, D., & Pauliuk, S. (2015). An Australian multi-regional waste supply-use framework. *Journal of Industrial Ecology*,20(6), 1295-1305. [Link](#)
- Gigli, S., Landi, D., & Germani, M. (2019). Cost-benefit analysis of a circular economy project: a study on a recycling system for end-of-life tyres. *J Cleaner Prod.*,229,680–694. [Link](#)
- Haan, M. de, & Keuning, S. J. (1996). Taking the environment into account: The namea approach. *Review of Income and Wealth*, 42(2),131–148.
- Illge, L. (2004). *The Economy of Closed Material Cycles: Environmental-Economic Concepts and Policy*, DIW Berlin. [Link](#)



- Jensen, C. D., McIntyre, S., Munday, M., & Turner, K. (2013). Responsibility for regional waste generation: A single-region extended input–output analysis for Wales. *Regional Studies*, 47(6), 913–933. DOI: [10.1080/00343404.2011.599797](https://doi.org/10.1080/00343404.2011.599797)
- Li, S. (2013). Study on the Model of Quantitative Evaluation of Circular Economy Development for Industry Manufacturing Based on WIOA. *Applied Mechanics and Materials Online*, 345, 384–387. Disponível em: [Link](#)
- Liao, M.Chen, P.-C. Ma, H.-W., Nakamura, S. (2015). Identification of the driving force of waste generation using a high-resolution waste input–output table. *Journal of Cleaner Production*, 94, 294–303. Disponível em: [Link](#)
- Linder, M., Sarasini, S., Van Loon, P. (2017). A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 545–558.
- Nakamura, S., & Kondo, Y. (2002). *Waste input-output model: concepts, data, and application*. In *Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries*. Keio Economic Observatory (KEO).
- Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. Harvester Wheatsheaf.
- Ramos, D., Fonseca, L., Gonçalves, J. ., Carvalho, R., Carvalho, S. ., & Santos, G. (2022). Cost-Benefit Analysis of Implementing Circular Economy in a Portuguese Company: From a Case Study to a Model. *Quality Innovation Prosperity*, 26(1), 52–69. DOI: [10.12776/qip.v26i1.1657](https://doi.org/10.12776/qip.v26i1.1657)
- Simonis, U.E. (1989). Ecological Modernization of Industrial Society — Three Strategic Elements. In: Archibugi, F., Nijkamp, P. (Eds), *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*. Economy & Environment, (Cap. 7, pp. 119-137). Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-015-7831-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-015-7831-8_7)
- Sousa, L. C. R., Sousa, D. S. P., & Santos, R. B. N. (2016), Curva Ambiental de Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 5(2), 227–246. DOI: [10.19177/rgsa.v5e22016227-246](https://doi.org/10.19177/rgsa.v5e22016227-246)
- Stahel, W. R. (1982). The product life factor. In S. G. Orr, *An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector* (Series: 1982 Mitchell Prize Papers), NARC, 74–96.
- Kurz, H. D. (2006). Goods and bads: Sundry observations on joint production, waste disposal, and renewable and exhaustible resources. *Progress in Industrial Ecology, an International Journal*, 3(4), 280–301.
- Linder, M., Sarasini, S., Van Loon, P. (2017) .A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 545–558.
- Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 3065–3081.
- Reynolds, CJ, Piantadosi, J., & Boland, J. (2014). Uma análise de uso de oferta de resíduos dos fluxos de resíduos australianos. *Journal of Economic Structures*, 3 (1), 1-16.
- Sousa, L. C. R., Sousa, D. S. P., & Santos, R. B. N. (2016). Curva Ambiental De Kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 5(2), 227-246.
- Stahmer, C., Kuhn, M., & Braun, N. (1998). *Physical input-output tables for Germany*. Eurostat, workingpaper no. 2/1998/B/a. European Commission
- Wedekind, S., & Haasis, H. D. (2004, February). Integration of service providers into supply chain services and waste disposal transports. In *Environmentally Conscious Manufacturing III* (Vol. 5262, pp.115-124). SPIE.
- Tsukui, M., Kagawa, S., & Kondo, Y. (2015). Measuring the waste footprint of cities in Japan: an interregional waste input–output analysis. *Journal of Economic Structures*, 4(18), 1–24.

**Contato:**

Raimundo Eduardo Silveira Fontenele  
E-mail: [eduardo@ufc.br](mailto:eduardo@ufc.br)

**Submetido em:** 24/06/2021  
**Revisado em:** 04/03/2022  
**Aprovado em:** 07/06/2022