



Desenvolvimento de um modelo conceitual para a aplicação da Economia Circular integrada a Ferramenta da Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos

Daniel Luis Garrido Monaro (UNIMEP)
daniel.monaro@unimep.br

Renato Luis Garrido Monaro (ETECON)
prof.renatomonaro@gmail.com

Ana Carolina de Oliveira Plens (UNISO)
acplens@gmail.com

Aparecido dos Reis Coutinho (UNINOVE)
arcontinho@gmail.com

A busca pela sustentabilidade faz com que as empresas comecem a buscar meios para tornar seus processos de produção mais limpos. Diversos autores debatem o efeito da demanda por recursos naturais com a capacidade de regeneração dos ecossistemas, apontando que esse consumo resultou em uma série de impactos ambientais em cadeia que afetou a qualidade e disponibilidade dos recursos naturais. Assim, se destaca a Economia Circular (EC) que busca fechar o ciclo do produto, buscando maximizar o valor agregado ao produto em cada ponto da sua vida, aumentando o tempo de utilidade do produto e com a geração de resíduos minimizada. Dentro do conceito da economia circular, a Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos (ACV) aparece como uma ferramenta de suporte que visa mapear todo o ciclo de produção. Portanto, o presente artigo teve como objetivo discutir os paradigmas a serem quebrados e propor um modelo conceitual para a implementação da economia circular em uma empresa.

Palavras-chave: Economia Circular, Desenvolvimento Sustentável, ACV.

1. Introdução

A base da economia mundial consiste no modelo linear de produção, em que os produtos não são preparados para voltarem ao processo produtivo, o que ameaça a disponibilidade de recursos naturais no planeta (Leitão, 2015; Azevedo, 2015).

Tais fatores agravaram a capacidade de suporte e resiliência do planeta que, segundo Weetman (2019), resulta em um consumo de 1,5 a 1,7 planeta por ano, ou seja, o planeta não é capaz de suprir as necessidades atuais sem afetar a qualidade dos serviços ecossistêmicos.

Nesse cenário, Rockstrom et al., (2009), KPMG (2012) e Steffen et al. (2015) apresentam 10 impactos ambientais que estão próximos do limite de tolerância do planeta oriundos das atividades humanas, que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites planetários e sua descrição (adaptado de ROCKSTROM et al., (2009), KPMG (2012) e STEFFEN et al. (2015).

Limites planetários	Descrição
Mudanças climáticas	Alterações climáticas em todo o planeta, variando as temperaturas de forma acentuada entre o dia e a noite, chuvas torrenciais, entre outras consequências
Disponibilidade de energia e combustíveis	Redução na disponibilidade de fontes fósseis de energia e combustíveis de fácil acesso, resultando em busca dessas fontes em lugares mais remotos
Escassez de recursos naturais	Consequência da destruição de ecossistemas naturais na busca pelo desenvolvimento da economia afetando a disponibilidade desses recursos no planeta
Crescimento populacional	Aumento da natalidade com relação a mortalidade nos países, aumentando o número de indivíduos no planeta
Saúde das populações	Agravamento dos problemas de saúde causados, muitas vezes, pela poluição das águas, solos e ar
Processo de urbanização	Migração das pessoas de áreas rurais para áreas urbanas
O declínio dos ecossistemas	Devido a busca pela produção de mais recursos processados, os ecossistemas perderam parte da sua capacidade de regeneração natural, uma vez que a degradação é mais rápida que sua capacidade de regeneração
Escassez de água em todas as suas formas	Devido a poluição das águas superficiais e subterrâneas, o que agrava o seu abastecimento para as populações

Produção de alimentos	Devido ao crescimento populacional, cada vez mais se busca otimizar os processos de produção de alimentos, entretanto, não sendo suficiente para suprir a demanda mundial
Desmatamento	Uma das principais bases dos problemas ambientais, pois acaba desencadeando diversos outros problemas

Nesse contexto, surgiram metodologias que buscam minimizar esses efeitos, destacando-se a Economia Circular (EC) que consiste em um sistema industrial restaurativo e regenerativo (EMF, 2015) em que o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia durante o maior tempo possível, a geração de resíduos é minimizada (EEA, 2015) e está pautada nas perspectivas da escassez de recursos naturais, nos impactos ambientais e nos benefícios econômicos (GEERKEN, 2019).

Mais especificamente, segundo Niero e Hauschild (2017), conceitualmente a EC busca fechar o ciclo do produto, com o intuito de maximizar o valor agregado ao produto em cada etapa do seu ciclo de vida, aumentando o tempo de utilidade do produto ou do componente.

Dentro do conceito da EC, a Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos (ACV) aparece como uma ferramenta de suporte que visa mapear todo o ciclo de produção de um determinado produto, buscando quantificar o impacto ambiental associado a esse produto e apontar os impactos mais significativos (ISO, 2006; SILVA et al., 2015).

A aplicação de ferramentas e metodologias ambientais tem como objetivo o desenvolvimento de novos produtos, serviços e sistemas ao mesmo tempo em que reduzem o consumo de recursos não renováveis e minimizam os impactos ambientais, inclusive durante o consumo e descarte (CASAMAYOR e SU, 2013; CHOU, 2014; KUO et al., 2016).

A ACV consiste em uma ferramenta que fornece suporte para a tomada de decisão dentro de uma empresa que busca estimar o impacto ambiental potencial de qualquer sistema ou processo de um produto durante seu ciclo de vida (LEVASSEUR et al., 2016) que é comumente como um guia para políticas e programas ambientais para informar os consumidores e ajudar as indústrias a diminuírem seus impactos ambientais (ISO, 2006b)

Segundo Stahel (2013) na busca por uma sociedade economicamente justa e sustentável, se faz necessário o desenvolvimento de 5 pilares:

- Conservação da natureza: A partir da natureza que proveem os recursos necessários para a vida humana e para que esses recursos sejam renovados há a necessidade do cuidado da população;

- Limitação da toxicidade: Agentes tóxicos como pesticida, metais pesados, processos químicos, entre outros, afetam a saúde dos seres humanos e outras espécies e para a proteção destes seres há a necessidade de análise quanto a capacidade da natureza em absorver essas toxinas;
- Produtividade dos recursos: A fim de reduzir a desigualdade entre países e evitar mudanças em nível planetário, há a necessidade de reduzir em dez vezes o uso dos recursos naturais;
- Ecologia social: Importância da paz e da defesa dos direitos humanos, da igualdade de raça e gênero, da dignidade e da democracia, do emprego, da integração social e da segurança;
- Ecologia cultural: Educação e conhecimento, cultura, ética, valores da “herança nacional”, e atitudes em relação ao risco.

De acordo com UNEP (2011), para colocar em prática a sustentabilidade e permitir que as futuras gerações sejam capazes de atender as suas próprias necessidades, a sociedade atual precisa implantar estratégias e fornecer programas de suporte para encorajar ações sustentáveis como:

1. Desenvolver produtos, serviços e modelos de negócios “verdes”;
2. Comprar produtos e serviços mais ecológicos (sociedade como um todo);
3. Implementar leis e regulamentos que promovam o desenvolvimento e compra de produtos, serviços e modelos de negócios mais ecológicos;
4. Usar incentivos que não criem novos impactos ambientais, nos quais as buscas por soluções ambientais não gerem outros problemas, que muitas vezes são inesperados;
5. Criar produtos ou soluções que, por um lado reduzam o impacto ambiental e, por outro lado, criem valor e adicionem benefícios à sociedade, aumentando o bem-estar humano e a equidade social.

Com base no que foi proposto, o presente artigo tem como objetivo discutir os paradigmas a serem quebrados e propor um modelo conceitual para a implementação da economia circular em uma empresa a partir de um estudo exploratório.

2. Materiais e Métodos

O presente trabalho consiste em uma análise exploratória, uma vez que buscou identificar um problema real da indústria e, a partir de uma correlação entre diferentes conceitos, desenvolver

um modelo conceitual para contribuir na quebra de paradigmas para a implantação da metodologia da EC em uma empresa.

Para a integração desses conceitos, foi desenvolvida uma estrutura base para uma melhor compreensão, buscando mapear as melhores formas de correlacionar os conceitos estudados para a montagem do modelo conceitual para aplicação em uma empresa. As etapas desenvolvidas foram:

- Levantamento bibliográfico – em que a ferramenta da ACV e a metodologia da EC foram estudadas para identificar pontos de intersecção para a elaboração do modelo conceitual;
- Seleção de artigos – os artigos foram separados para a identificação dos que melhor se encaixavam na proposição do presente estudo. Os mesmos foram catalogados para facilitar as pesquisas conceituais;
- Correlação dos conceitos da ACV com a EC – os conceitos aqui abordados foram correlacionados, buscando identificar os principais paradigmas para sua implementação em uma empresa;

Elaboração do modelo conceitual – após a identificação dos principais paradigmas, foi elaborado o modelo apresentado no presente estudo.

3. Resultados e Discussões

Para a aplicação das ferramentas da ACV e da EC em um ambiente empresarial, muitas mudanças são necessárias, desde a alta direção até o chão de fábrica, pois a visão sistêmica na aplicação dessas ferramentas resulta na necessidade de se ter uma visão das consequências e propósitos do sistema, gerando um contraponto a busca das empresas em obter lucro. A Figura 1 apresenta uma proposição da aplicação da ACV na visão da EC, integrando diversas externalidades de um sistema de produção.

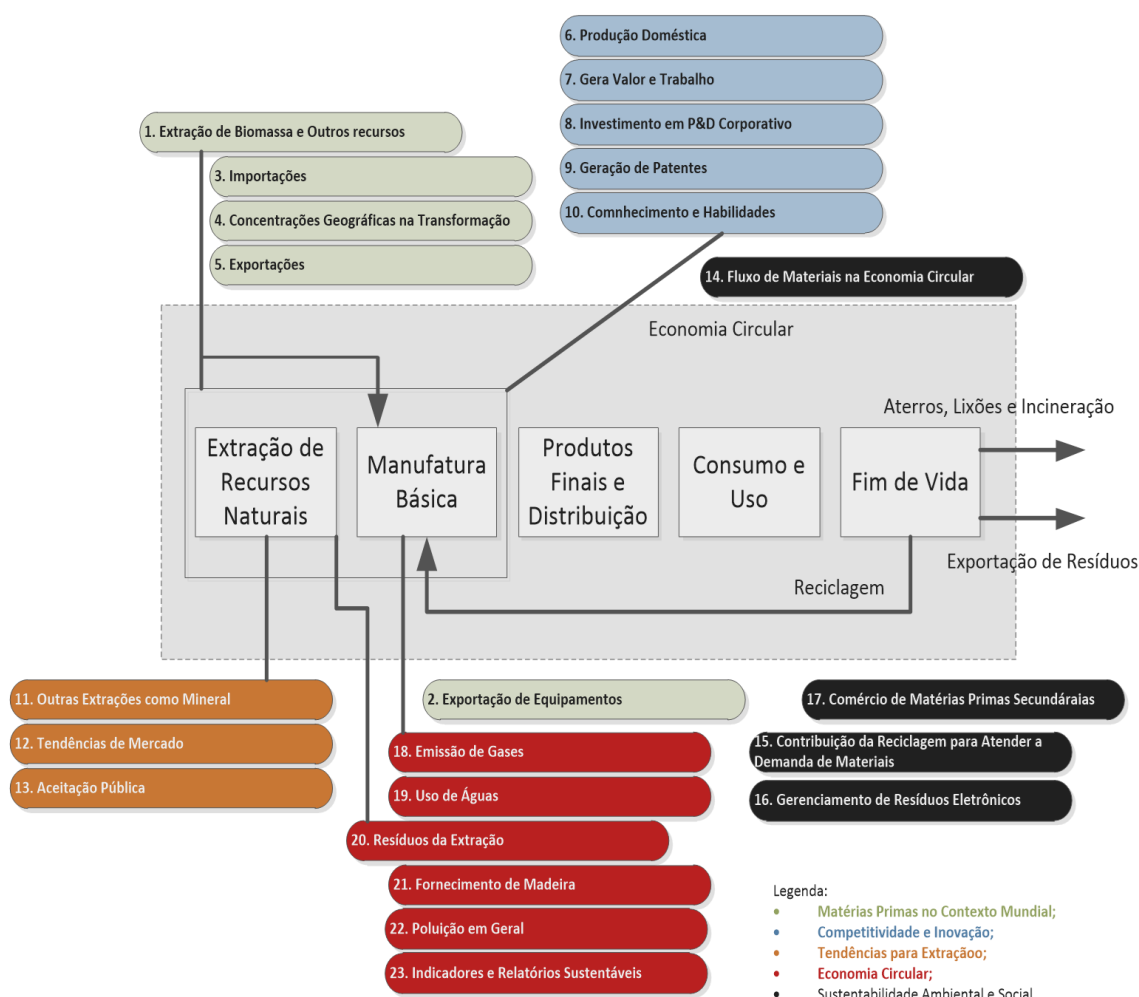


Figura 1 – Aplicação da ACV e EC em um ciclo de produção (adaptado de MANCINI et al., 2019).

Entretanto, identificar oportunidades para a implantação de ações no sentido da circularidade do sistema não é uma tarefa fácil, pois na maioria das vezes, faltam quesitos para isso, como engajamento, conhecimento, tempo para a análise e tomada de decisão, entre outros fatores.

É possível observar diversas possibilidades para se alterar o ciclo linear de produção, com a integração de ações em prol do reaproveitamento de produtos obsoletos ou resíduos dentro de um sistema de produção, diminuindo o processo de extração de recursos naturais e aumentando o valor dos produtos após o seu primeiro ciclo de vida.

Outro fator a se destacar consiste na possibilidade de aplicar a EC em etapas da manufatura, criando alternativas para problemas como a emissão de gases do sistema, poluição e uso de insumos naturais nesta etapa criando um comércio de matérias primas secundárias, por meio do gerenciamento de resíduos e a reciclagem de produtos obsoletos.

A Figura 2 apresenta um detalhamento da relação entre os conceitos estudados.

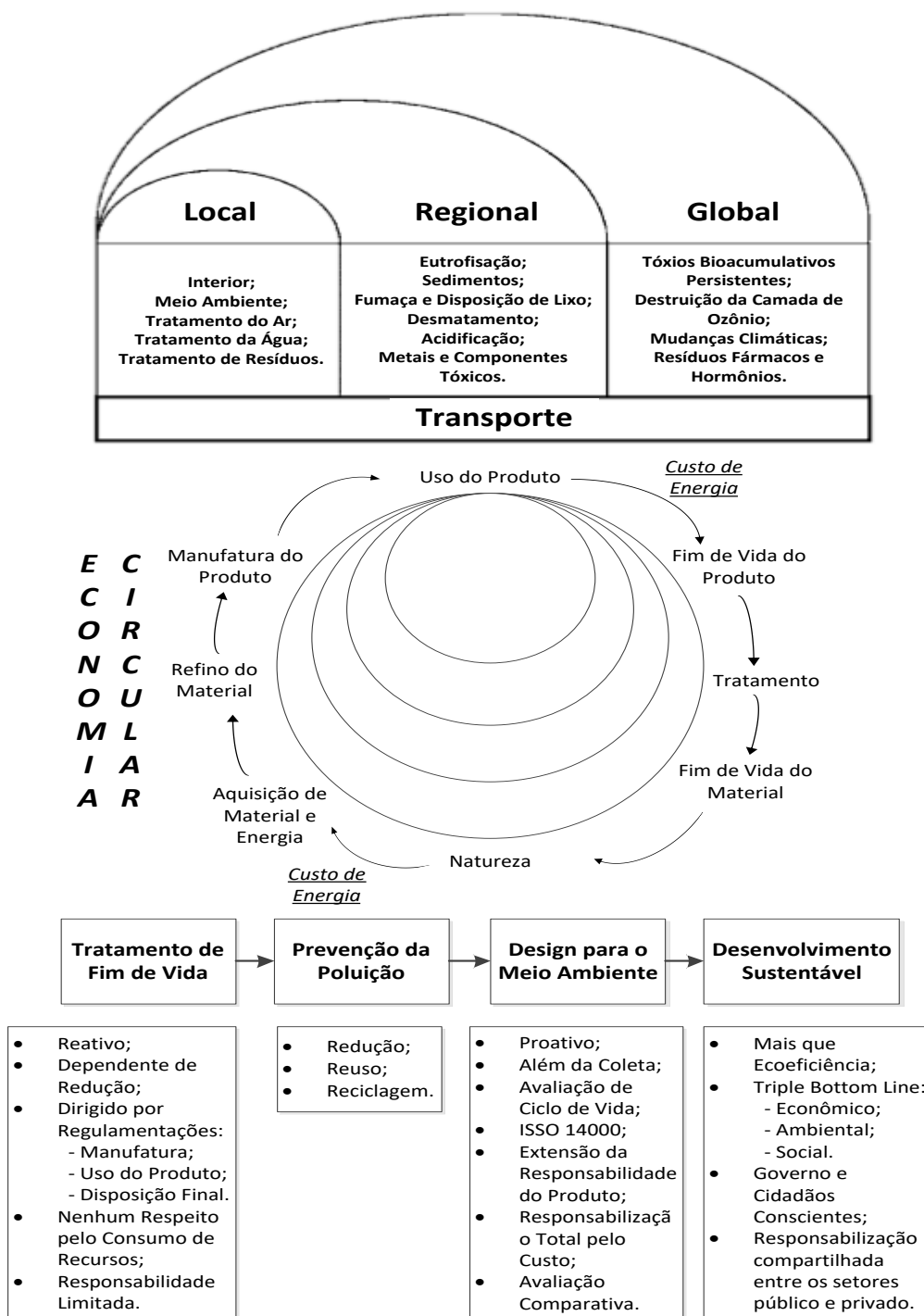


Figura 2 – Correlação entre a EC, o Desenvolvimento Sustentável (DS) e os problemas ambientais oriundos do sistema tradicional de desenvolvimento (compilado pelos autores, adaptado de MIHELICIC et al., 2003; KORHONEN et al., 2018).

Assim, a evolução dos conceitos para o Desenvolvimento Sustentável (DS) evoluiu o planejamento dos processos de produção na busca para minimizar as ações e investimentos para o tratamento pós vida dos produtos para ações que reduzam a poluição potencial causada por tais produtos, alterando sua composição, ou ainda que sejam desenvolvidas pensando no pós

vida, com facilidades de desmontagem, separação e reintrodução no ciclo de produção. O que forma a base da EC, motivada pela consequência em escala global de muitos dos impactos ambientais locais.

Assim, buscou-se desenvolver uma série de etapas a serem aplicadas em uma empresa para a aplicação da EC integrando com a ferramenta da ACV, formando um modelo conceitual na busca por tornar os sistemas de produção mais cíclicos, não identificando apenas os impactos ambientais potenciais, base da ACV, como facilitando a aplicação prática dos conceitos de fechamento dos sistemas produtivos na forma de ciclos de produção, conforme apresentado na Figura 3.

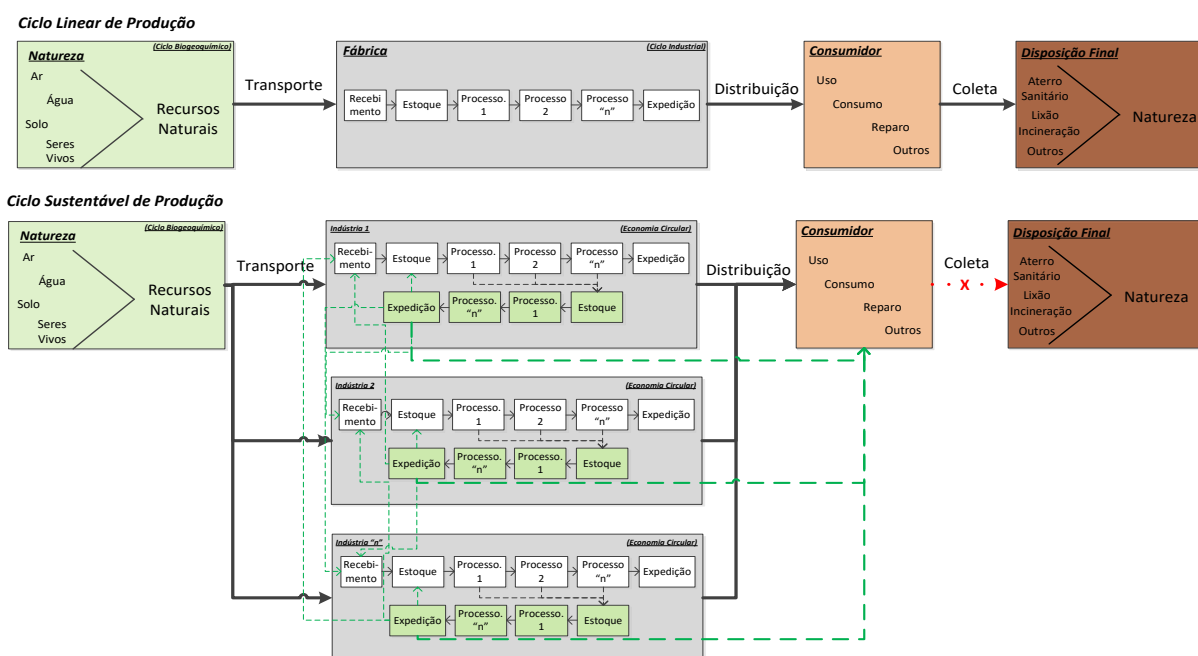


Figura 3 – Sistema linear e cíclico de produção a partir da aplicação da EC.

Com a implantação do sistema proposto, buscou-se propor uma sequência de ações para integrar os diferentes sistemas de produção a fim de criar uma teia comercial, em que as empresas possam comprar e vender seus resíduos como subprodutos, minimizando a extração de recursos naturais.

A Figura 4 apresenta o modelo proposto.

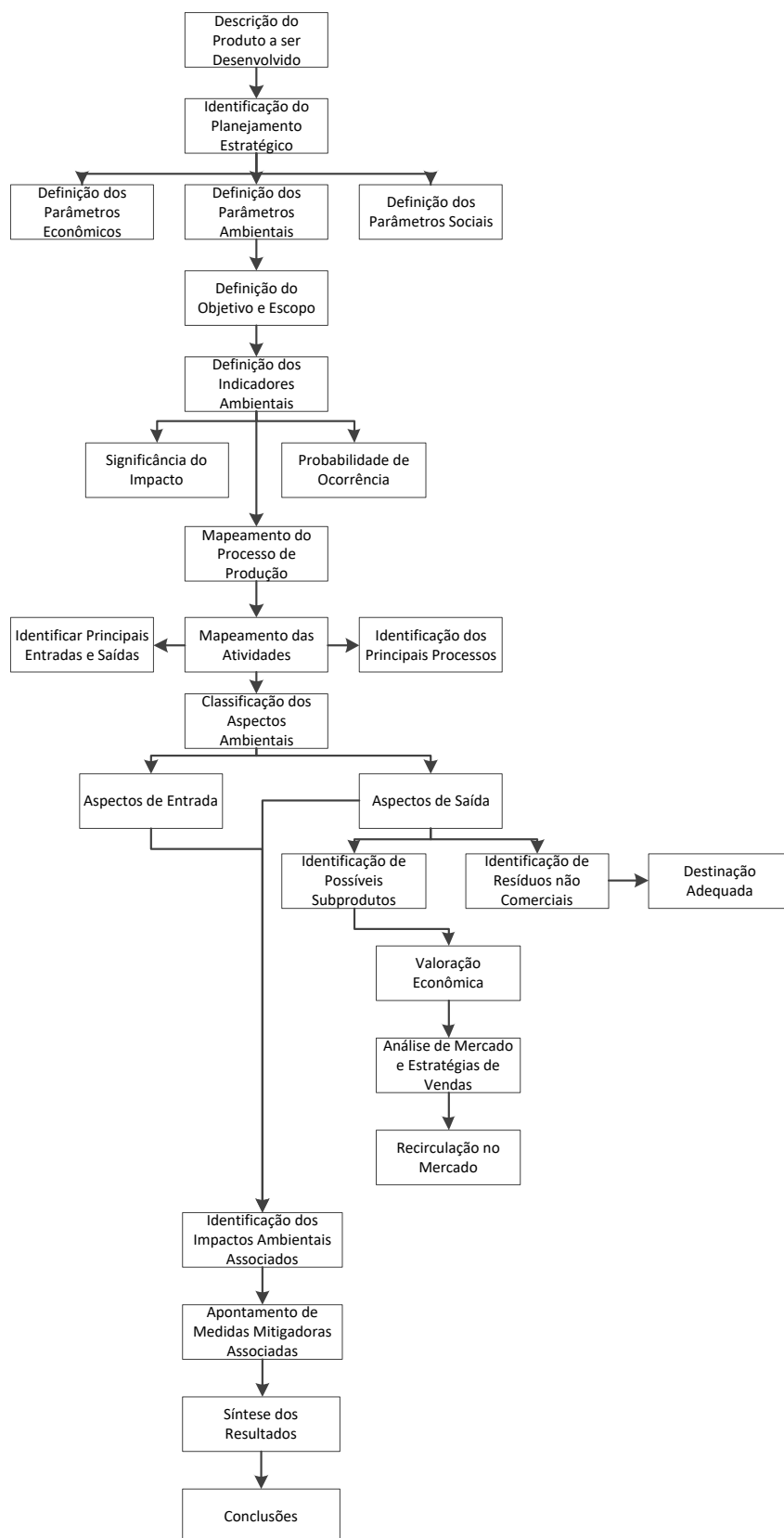


Figura 4 – Modelo conceitual proposto para o desenvolvimento da EC em uma empresa.

Todo o início do projeto consiste em entender os propósitos da empresa, ou seja, o que ela vende e descrever e fazer um diagnóstico da sua situação atual. A partir disso, se faz uma correlação para ver se o que ela está se propondo a vender se enquadra no seu planejamento estratégico, ou seja, na sua missão e visão, pois é necessário sempre manter os propósitos de uma empresa alinhados.

A partir do alinhamento desses propósitos, são definidos os parâmetros que serão o norte do desenvolvimento da metodologia dentro da empresa, onde os colaboradores e demais partes interessadas terão como base para entender o porquê da adoção desta metodologia e da mudança dos paradigmas. Definidos os parâmetros nos pilares social, ambiental e econômico, se define o objetivo da aplicação da EC no contexto da empresa, identificando os indicadores ambientais que serão utilizados para melhorar o desempenho ambiental de toda a cadeia de suprimentos.

A etapa seguinte consiste no mapeamento do processo de produção, detalhando as atividades-chaves e principais entradas e saídas do processo. Com base nisso, se faz o levantamento ambiental buscando identificar os aspectos ambientais de entrada e saída, seus possíveis impactos ambientais e os principais resíduos da empresa. Nesta etapa, tem-se a base da EC no modelo proposto, pois a identificação dos resíduos na busca por transformá-los em atrativos para o mercado reduz a quantidade de resíduos encaminhados a destinação final, ao mesmo tempo em que se inicia um fechamento de ciclo de produção.

Por fim, os impactos observados que não forem possíveis de serem evitados são classificados e são tomadas medidas de mitigação para os mesmos, seguindo o que é estabelecido pelas normas certificadoras. Finalizado isso, os dados são computados a fim de criar um banco de dados, para posterior conclusão e divulgação dos resultados, na busca por incentivar os *stakeholders* a se envolverem nessa mudança de paradigma e criar um ciclo de melhoria constante.

4. Conclusões

A aplicação de ferramentas e metodologias sustentáveis em uma empresa encontra diversas barreiras, mas que geralmente estão classificadas como econômicas, devido à dificuldade de valoração dos benefícios dessas implementações, e sociais, devido à necessidade de mudança de costumes das partes envolvidas.

Entretanto, a pressão dos *stakeholders* tem incentivado as empresas a adotarem práticas mais sustentáveis em suas cadeias de suprimentos, uma vez que práticas sustentáveis passaram a

chamar a atenção das pessoas na hora de decidir que produtos comprar.

O ciclo linear de produção, base do sistema desenvolvido pelas duas primeiras revoluções industriais, começa a perder força uma vez que o fim de vida dos produtos passou a ser evitado dentro do seu planejamento, devido ao desenvolvimento de diversas alternativas de reaproveitamento, minimizando assim a destinação final dos resíduos.

Aliado a isso, percebe-se que a cadeia que interage com o ciclo de produção e, conseqüentemente, com a cadeia de suprimentos envolve diversos recursos naturais, de forma direta e indireta, apresentando uma grande gama de oportunidades para a redução dos impactos ambientais desse sistema de produção.

Por fim, conclui-se com a construção deste modelo conceitual que a busca pela transformação do sistema linear de produção para o sistema cíclico de produção traz diversos benefícios, que muitas vezes não são valorizados em uma análise econômica preliminar. Muitos dos subprodutos de uma indústria, chamados muitas vezes de resíduos ou lixo, podem ser matéria prima de outra empresa, entretanto a falta de visão acaba não gerando a oportunidade de se fazer negócios com esses resíduos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Juliana Laboissière de. A Economia Circular aplicada no Brasil: Uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

CASAMAYOR, Jorge Luis; SU, Daizhoung. Integration of eco-design tools into the development of eco-lighting products. *Journal of Cleaner Production*, 47, 32-42, 2013.

CHOU, Jyh-Rong. An ARIZ-based life cycle engineering model for eco-design. *Journal of Cleaner Production*, 66, 210-223, 2014.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Closing the Loop - an EU Action Plan for the Circular Economy. 2015. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2019.

EMF – ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Cowes (2015). Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads-/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf. Acesso em: 10 de julho de 2019.

GEERKEN, Theo; SCHIMIDT, Jannick; BOONEN, Katrien; CHRISTIS, Maarten; MERCIAI, Stefano. Assessment of the potential of a circular economy in open economies – Case of Belgium. *Journal of Cleaner Production*, 227, 683-699, 2019.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. Environmental Management e Life Cycle Assessment-requirements and Guidelines, EN ISO 14044:2006. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.

KORHONEN, Jouni; NUUR, Cali; FELDMANN, Andreas; BIRKIE, Seyoum Eshetu. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552, 2018.

KPMG. Sustainable Insight. Climate chance & sustainable services. 2012. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/pdf/2012/03/sustainable-insights-march-2012.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2017.

LEITÃO, Alexandra. Economia Circular: Uma nova filosofia de gestão para o século XXI. Set. 2015.

KUO, Tsai-Chi; SMITH, Shana; SMITH, Gregory C.; HUANG, Samuel H. A predictive product attribute driven eco-design process using depth-first search. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3201-3210, 2016.

LEVASSEUR, Annie; CAVALETT, Otávio; FUGLESTVED, Jan S.; GASSER, Thomas; JOHANSSON, Daniel J. A.; JØRGENSEN, Susanne V.; RAUGEI, Marco; REISINGER, Andy; SCHIVLEY, Greg; STRØMMAN, Anders; TANAKA, Katsumasa; CHERUBINI, Francesco. Enhancing life cycle impact assessment from climate science: Review of recent findings and recommendations for application to LCA. *Ecological Indicators*, 71, 163–174, 2016.

MANCINI, L.; VIDAL LEGAZ, B.; VIZZARRI, M.; WITTMER, D.; GRASSI, G.; PENNINGTON, D. Mapping the role of Raw Materials in Sustainable Development Goals. Publications Office of the European Union, 2019.

NIERO, Monia, HOUSCHILD, Michael Z. Closing the loop for packaging: finding a framework to operationalize Circular Economy strategies. 2017.

MIHELICIC, James R.; CRITTENDEN, John C.; SHONNARD, David R.; HOKANSON, David R.; ZHANG, Qiong; CHEN, Hui; SORBY, Sheryl A.; JAMES, Valentine U.; SUTHERLAND, John W.; SCHNOOR, Jerald L. Sustainability science and engineering: the emergence of a new metadiscipline. *Environmental Science Technology*, 37, 5314-5324, 2003.

ROCKSTRÖM, Johan; STEFFEN, Will; NOONE, Kevin; PERSSON, Asa; CHAPIN, F. Stuart; LAMBIN, Eric; LENTON, Timothy M.; SCHEFFER, Marten; FOLKE, Carl; SCHELLNHUBER, Hans; NYKVIST, Bjorn; DE WIT, Cynthia A.; HUGHES, Terry; VAN DER LEEUW, Sander; RODHE, Henning; SÖRLIN, Sverker; SNYDER, Peter K.; COSTANZA, Robert; SVEDIN, Uno; FALKENMARK, Malin; KARLBERG, Louise; CORELL, Robert W.; FABRY, Victoria J.; HANSEN, James; WALKER, Brian; LIVERMAN, Diana; RICHARDSON, Katherine; CRUTZEN, Paul; FOLEY, Jonathan. Planetary boundaries:exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14, 32-47, 2009.

SILVA, Diogo A. L.; PAVAN, Ana L. R.; OLIVEIRA, José A.; OMETTO, Aldo R. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 93, 222-233, 2015.

STAHEL, Walter R. The vision is a sustainable economy and society resting on the following five pillars, which are integrated into a holistic view of a sustainable society detailed in the document following the five pillars. Disponível em: < <http://product-life.org/en/node>>. Acesso em 07 de ago. 2019.

STEFFEN, Will; RICHARDSON, Katherine; ROCKSTROM, Johan; CORNELL, Sarah E.; FETZER, Ingo; BENNETT, Ereinette M.; BIGGS, R.; CARPENTER, Stephen R.; DE VRIES, Wim; DE WIT, Cynthia A.; FOLKE, Carl; GERTEN, Dieter; HEINKE, Jens; MACE, Georgina M.; PERSSON, Linn M.; RAMANATHAN, Veerabhadran; REYERS, Belinda; SØRLIN, Sverker. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, 1-10, 2015.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global guidance for life cycle impact assessment indicators. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. 2016. Disponível em: <https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/993/files/original/LCIA-publication-preview.pdf?1488567549>. Acesso em: 12 de janeiro de 2018.

WEETMAN, Catherine. *Economia Circular: Conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligentes, sustentáveis e lucrativa*/ Catherine Weetman; tradução Afonso Celso da Cunha Serra. 1. Ed. São Paulo: Autêntica Business, 2019.