

ESTUDOS DE CASO

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA PARA ECONOMIA CIRCULAR

Avaliação do Ciclo de Vida e Economia Circular: relação de complementaridade

Autores:

**ACV Brasil | ArcelorMittal | Braskem
EnCiclo | Grupo Malwee | ITAL | Sinctronics
Votorantim Cimentos**



Rede Empresarial
Brasileira de Avaliação
de Ciclo de Vida

Sumário

Sobre a Rede ACV	2
O Grupo de Trabalho Economia Circular da Rede ACV	2
Introdução	3
Aço	5
Alumínio	6
Construção	7
Eletroeletrônico	8
Papel	8
Plástico	9
Têxtil	10
Considerações finais	11
Referências	12

Sobre a Rede ACV

A Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida (Rede ACV) foi lançada em 2013, assumindo personalidade jurídica de Associação em agosto de 2017, com a Missão de mobilizar as empresas, articular governos e educar o consumidor visando incorporar a ACV como uma ferramenta para auxiliar na análise da sustentabilidade dos produtos. Para isso, ela visa a:

- **Criar um ambiente de cooperação para o uso de ACV no Brasil;**
- **Educar e capacitar a sociedade sobre este conceito, sua aplicação e benefícios;**
- **Disponibilizar e disseminar para diversos públicos informações sobre ACV no Brasil e;**
- **Colaborar e apoiar o governo brasileiro na consolidação do Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida.**

A Rede ACV, através de seus cinco Grupos de Trabalho e suas iniciativas, almeja ser referência para a aplicação e desenvolvimento da ACV no Brasil, fomentar a aplicação das boas práticas relacionadas ao tema no ambiente empresarial brasileiro contribuindo para a defesa, preservação e conservação do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável.

Desde a sua criação, a principal contribuição da Rede ACV tem sido proporcionar uma maior aproximação entre importantes organizações, líderes em seus segmentos de atuação, com representantes da academia, da sociedade civil, do governo e de consultorias, compreendendo os desafios e as oportunidades relacionados à aplicação e ao desenvolvimento sustentável, baseado no pensamento de ciclo de vida.

Com mais de 30 associados, a Rede ACV possui boa representação dos segmentos. Essa diversidade permite uma discussão qualificada e transversal da ACV no Brasil.

O Grupo de Trabalho Economia Circular da Rede ACV

O Grupo de Trabalho Economia Circular trabalha em conjunto com os demais: Capacitação, Comunicação, Banco de Dados e Rotulagem, contribuindo para um olhar complementar, fundamental à tomada de decisão. Integram-no representantes das seguintes Empresas: ArcelorMittal Brasil, BASF, Boomera, Braskem, Felsberg Advogados, Grupo Malwee, Raízen, Sinctronics, TÜVRheinland e Votorantim Cimentos, as Consultorias: ACV Brasil, EnCiclo, KPMG e SGS, a Academia: UTFPR, o Governo: ITAL e o Terceiro Setor: CCB e GS1.

Introdução

A Economia Circular (EC) é um modelo econômico com o propósito de dissociar o crescimento e desenvolvimento econômico do consumo de recursos finitos. O objetivo central consiste em manter o valor dos recursos, produtos e materiais em circulação, a partir de um sistema composto por modelos de negócios inovadores e otimizados. Tais sistemas incluem um gerenciamento cuidadoso dos materiais que fluem nos ciclos técnico e biológico (Ellen MacArthur Foundation [EMF], 2015a; World Business Council for Sustainable Development [WBCSD], 2019).

Nos ciclos técnicos, os produtos, componentes e materiais são restaurados no mercado com a mais alta qualidade possível e pelo maior tempo possível, através de reparo e manutenção, reutilização, reforma, remanufatura e, finalmente, reciclagem. Nos ciclos biológicos, materiais não tóxicos são restaurados na biosfera durante a reconstrução do capital natural[1], após serem aproveitados em cascata[2] em diferentes aplicações (EMF, 2015b).

Em alguns casos, um único produto pode englobar ambos os ciclos. Como exemplo, temos as resinas plásticas produzidas a partir de matéria-prima renovável, as quais iniciam-se no ciclo biológico, e a partir da sua transformação em um produto plástico não biodegradável, tem a sua transição para o ciclo técnico.

O avanço em direção ao modelo circular, exige mudanças nos modelos de negócio e nas políticas públicas, o que pode dificultar o planejamento e estabelecimento de metas claras para uma transição controlada. A existência de métricas que originam indicadores-chave de desempenho é essencial para que as organizações compreendam o cenário atual e possam estabelecer metas para adotar a circularidade como estratégia corporativa (WBCSD, 2019). Neste contexto, destacam-se as metodologias, o “Indicador de Circularidade Material” (sigla MCI, em inglês) (EMF, 2015b), “Circuitytics” (EMF, 2020) e o “Indicador de Transição Circular” (WBCSD, 2019).

De modo geral, os indicadores são determinados com base nos fluxos de materiais. O “Indicador de Circularidade Material” é calculado com base em quatro princípios: (i) uso de matérias-primas de fontes reutilizadas ou recicladas; (ii) reutilização dos componentes ou reciclagem dos materiais após o uso do produto; (iii) aumento da vida útil do produto, e (iv) uso mais intensivo do produto. O resultado é expresso em um valor de zero a um, onde maiores valores indicam circularidade elevada (EMF, 2015b). O “Indicador de Transição Circular” é composto por módulos, cujo principal calcula o percentual de circularidade dos fluxos de entrada, a partir da quantidade de conteúdo renovável ou secundário, e dos fluxos de saída, com base na capacidade atual e potencial futuro de recuperação[3] dos materiais ao final de sua vida útil (WBCSD, 2019). Ambas as metodologias recomendam a adoção de indicadores complementares que consideram, por exemplo, o consumo de energia renovável, água e matérias-primas com relativa escassez.

De acordo com a EMF (2015b), na maioria dos casos, aumentar a circularidade do produto reduz a demanda por energia e pegada de carbono, porém é preciso avaliar caso a caso e a ACV é a técnica complementar recomendada para esta abordagem.

As principais aplicações dos indicadores são para o design de novos produtos com base na circularidade como critério de decisão e para comparações internas sobre os produtos e componentes utilizados em uma determinada organização. A metodologia desenvolvida pelo WBCSD possui uma abordagem mais simplificada em relação à metodologia em desenvolvimento pela Ellen MacArthur Foundation, e por esse motivo, a primeira não recomenda a divulgação externa dos indicadores calculados (EMF, 2015b; WBCSD, 2019).

O uso racional de recursos, promovido pelo conceito de Economia Circular é crucial para a conquista dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e de outros pactos globais, como o Acordo de Paris (WBCSD, 2019). No entanto, a mensuração do desempenho ambiental de uma organização depende de outros aspectos além da circularidade. Diante deste contexto, a aplicação combinada dos indicadores com os estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma alternativa para a consideração de um contexto mais abrangente, a partir da inclusão de outros indicadores de sustentabilidade. Além disso, devido a existência de normas consolidadas (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 2009a; ABNT, 2009b), a ACV permite a divulgação de avaliações comparativas entre diferentes produtos, impulsionando a competitividade voltada para alternativas mais sustentáveis e embasando a tomada de decisão de empresas e consumidores finais.

Enquanto os indicadores de circularidade possuem como foco o fluxo de materiais durante o uso de um produto, incentivando especificamente o uso de materiais reciclados ou reutilizados e a reciclagem ou reutilização ao final da vida útil, e favorecendo produtos com maior durabilidade e intensidade durante o uso; a ACV concentra-se em determinar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto para diferentes cenários, oferecendo indicadores cruciais para métricas de sustentabilidade, como por exemplo, a pegada de carbono e a pegada hídrica (EMF, 2015b).

De acordo com o contexto exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar a importância do uso integrado da ACV e dos conceitos da Economia Circular na avaliação do perfil ambiental de um produto ou processo, ampliando o nível de informação para os processos de tomada de decisão, sejam eles em uma indústria ou durante a elaboração de uma política pública. Para isso, as seções a seguir apresentam uma compilação de estudos de caso relacionados a diferentes setores produtivos, os quais exemplificam a necessidade de integração entre as metodologias citadas. Com essa integração, almejamos o incentivo ao desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e, ao mesmo tempo, mais circulares (Figura 1).

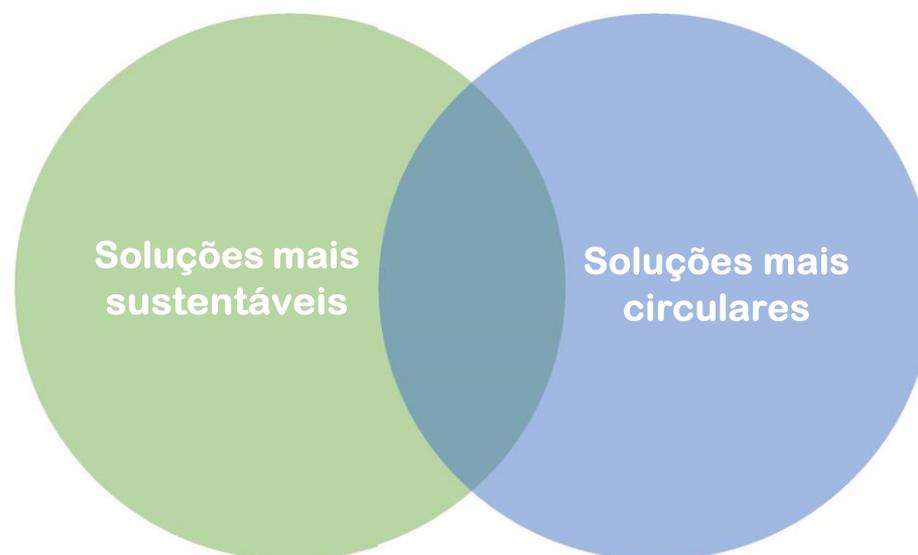


Figura 1. Integração entre soluções mais sustentáveis e mais circulares.

[1] Capital natural pode ser definido como os estoques de ativos naturais da terra, que incluem geologia, solo, ar, água e todos os seres vivos (EMF, 2015b).

[2] As aplicações em cascatas sequenciais devem resultar na otimização do aproveitamento de nutrientes e recuperação do valor antes de sua devolução final ao solo (EMF, 2015c).

[3] Refere-se à recuperação tecnicamente e economicamente viável de nutrientes, materiais, componentes ou produtos no mesmo nível de equivalência funcional através de reutilização, reparo, recondicionamento, reaproveitamento, remanufatura, reciclagem ou biodegradação (WBCSD, 2019).



Foto de Clem Onojehuo no Pexels.com

Aço

O aço é material constituinte importante para uma ampla gama de aplicações e produtos de mercado, como nos setores automotivo, de construção e embalagem. Por essa razão, trata-se de um dos materiais mais consumidos no mundo.

Por ser base para diversas cadeias, torna-se essencial que as indústrias e clientes que consomem o aço compreendam a carga ambiental nele embutida. Com base nessa premissa, a Associação Mundial do Aço (World Steel Association) passou a publicar desde 1996, inventários do ciclo de vida (ICV) mundial para produtos de aço. Foi a primeira vez que um estudo internacional de ICV de um material específico foi realizado. O estudo foi atualizado em 2000, 2010, 2017 e o conjunto de dados atual foi lançado em dezembro de 2018 (World Steel Association [WSA], 2020).

Contudo, apesar de processos produtivos mais eficientes e do desenvolvimento de produtos cada vez mais leves para uma mesma função, a indústria reconhece que novas abordagens se tornam necessárias já que, além das estimativas de crescimento populacional previsto, até 2030 estima-se que a classe média chegará a 5 bilhões de pessoas (Kharas, 2010). Considerando-se a relação do PIB vs. consumo per capita de aço, é possível prever que a demanda de aço dobrará nos próximos 40 anos (Alwood, Cullen and Milford, 2010). Assim, novos modelos de negócio e consumo são necessários para que as metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável sejam atingidas.

Nessa busca, a economia circular aparece mais recentemente no mainstream e sua rápida ascensão e importância na influência de políticas públicas gera uma análise mais aprofundada do setor que publica o documento "Steel – The permanent material in the circular economy" (WSA, 2016). Na publicação são apresentadas iniciativas com base nos preceitos da economia circular.

Broadbent (2016) faz a ressalva de que "para medir o progresso na obtenção de uma economia circular, necessita-se de uma abordagem de ciclo de vida que meça o impacto social, econômico e ambiental de um produto". Seu artigo apresenta as possíveis metodologias com base na ACV para consideração e alocação dos impactos decorrentes da reciclagem do aço. A metodologia proposta está de acordo com a ISO 14040/44:2006 e considera a reciclagem do material em ciclo fechado, o que, de fato, representa a realidade. Os resultados revelam que para cada 1 kg de sucata de aço, são evitadas as emissões de 1,5 kg CO₂-eq, bem como, o consumo de 13,4 MJ de energia primária e de 1,4 kg de minério de ferro. O setor já equacionou a reincorporação da sucata em seu processo para obtenção de produtos de igual ou superior qualidade e a crescente demanda global por aço resulta em uma capacidade contínua de absorver sucata de aço. No entanto, devido à longa vida útil dos produtos siderúrgicos, a quantidade de aço em estoque é um fator limitante em termos do que está disponível para reciclagem. Portanto, é necessário continuar com a produção de aço primário para atender às demandas de aço e projetar produtos que facilitem a recuperação do material (Broadbent 2016). Nessa situação, a promoção de processos mais circulares (aço feito 100% de sucata) podem gerar efeito adverso já que a demanda por produtos primários será mantida, havendo apenas alteração do local de produção e, assim, transferência e potencial aumento dos impactos gerados.



Foto de Pixabay no Pexels.com

Alumínio

Niero e Olsen (2016) investigaram os efeitos da inclusão da composição de liga metálica em latas de alumínio na reciclagem, conforme balanço de massa dos elementos metálicos predominantes, para identificar até que ponto o “lata-à-lata” (looping fechado) deveria ser promovido ou não. Foram considerados diferentes fontes de sucata (Al) na composição da lata reciclada conforme dados publicados por Rombach (2013), Løvik e Mueller (2014), PE Americas (2010) e Leroy (2009) para a criação de cenários avaliados pela Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Os dados do ICV são primários e representativos da realidade do mercado do Reino Unido, fornecidos pela companhia envolvida no estudo de caso e da realidade local e o método de AICV escolhido foi o ILCD com os resultados normalizados. Diversas sensibilidades foram analisadas, incluindo categorias de impacto com aderência à economia circular associadas à escassez de recursos: depleção de recursos abióticos (Rørbech, Vadenbo, Hellweg & Astup, 2014), demanda acumulada de energia em MJ (Bösch, Hellweg, Huijbregts & Frischknecht, 2007) e qualidade do minério em dollar (ReCiPe 2008+ em nível endpoint).

Os resultados da ACV demonstraram que a opção “lata-à-lata” ou de looping fechado (*Used Beverage Can – UBC*) possui menor impacto para mudanças climáticas em comparação com opção de embalagem para lata de alumínio (*Mixed Aluminium Packaging – MAP*) que inclui frações de outros produtos no mix de reciclagem (i.e., copos, cápsulas, tubos, embalagens de alumínio). Com relação à composição das ligas metálicas, o elemento que deve ser mantido no limiar é o Manganês (Mn) – usado no corpo e tampa das latas – uma vez que a extração desse mineral tem alto potencial de gerar impacto ambiental. Enquanto para MAP, é necessário a inserção de alumínio primário para diluir a concentração de Cobre. Esta inserção acaba por penalizar o resultado da ACV para o cenário MAP. Este posicionamento se mantém para todas as categorias de impacto dos métodos de AICV avaliados.

Os autores traçam recomendações para a melhoria da performance ambiental do setor de latas de alumínio pela implementação da economia circular, incluindo a redução das massas das embalagens, desenvolvimento de método de separação da tampa e do corpo da lata no ponto de coleta, e estabelecimento de coletas mais eficientes para o fechamento do loop.



Construção

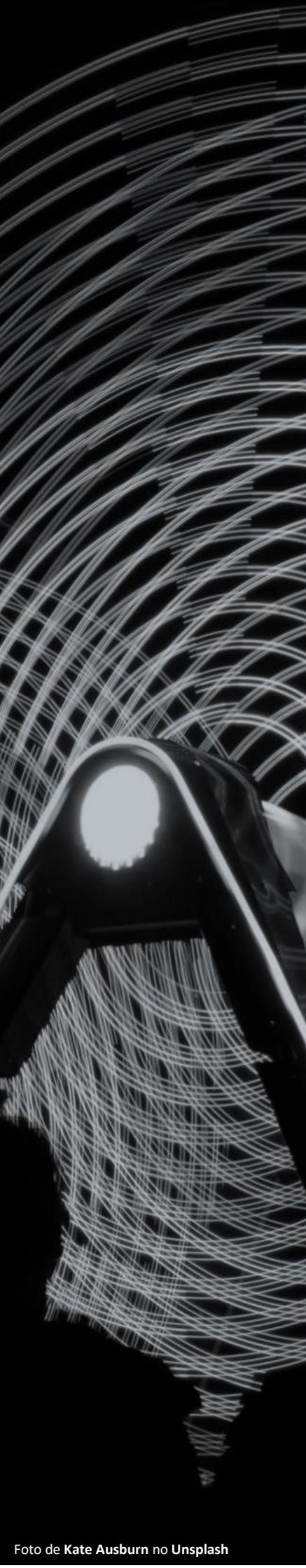
A partir da ACV foi possível identificar os principais impactos ambientais causados na cadeia de produção do cimento e do concreto

Uma análise de ciclo de vida do cimento elaborada pela Votorantim Cimentos em parceria com a Fundação Espaço Eco comprova que 90% dos impactos da indústria cimenteira são primários, ou seja, acontecem dentro das fábricas nas etapas de calcinação e combustão. E, em segundo lugar nesta lista, ficam os impactos causados na etapa de pré-produção: a logística e a produção do coque de petróleo, principal combustível utilizado em cimenteiras. Já o coprocessamento apresenta-se como uma das práticas mais benéficas e circulares da cadeia. A prioridade da Votorantim Cimentos é substituir os combustíveis fósseis por recursos de energia renováveis que emitam menos CO₂. Assim, é utilizado resíduos industriais, solventes, biomassa (como o açaí) e pneus em fim de vida como fonte de energia alternativa.

A partir da ACV foi possível identificar os principais impactos ambientais causados na cadeia de produção do cimento e do concreto, o que permitiu de igual maneira, reconhecer drivers de Economia Circular que buscam reduzir tais impactos.

Esta visão direciona a companhia a buscar novas perspectivas de economia circular – e foi incorporada na mentalidade de seus funcionários em todos os níveis. Já foram identificadas inúmeras oportunidades circulares em todas as etapas da cadeia, como por exemplo, o uso de concreto seco como agregado reciclado na etapa de pós-venda.

Casca de arroz, cavaco de madeira, caroço de açaí, entre várias outras biomassas substituem combustíveis fósseis, e se transformam em energia nos fornos de cimento, reduzindo as emissões de CO₂. Apenas em 2019, consumiu-se 1 milhão de toneladas de biomassas nas unidades da Votorantim Cimentos. Isso causa uma redução de 947013 toneladas na emissão de CO₂, o equivalente a remover 300 mil carros de circulação.



Eletrônico

De Meester, Nachtergaele, Debaveye, Vos & Dewulf (2019), relatam um estudo de caso, na Bélgica. Os autores usam a Análise de Fluxo de Material (AFM) e a Avaliação do ciclo de vida (ACV) baseados em dados da literatura e dados primários para orientar os tomadores de decisão sobre as potenciais economias de recursos naturais da cadeia de reciclagem dos resíduos de equipamentos eletrônicos (REEE) em comparação com um cenário sem reciclagem. O artigo trata de 3 destinos para o lixo eletrônico: remodelação dos equipamentos, reciclagem dos materiais ou descarte como lixo misto (incineração ou aterro).

Ao longo do artigo, é mostrado que atualmente, devido à alta complexidade do processo, apenas 32% dos REEE é reciclado para aplicações de qualidade, enquanto 68% dos mesmos são perdidos em aplicações de baixa qualidade ou acabam em aterros ou são incinerados. Além disso, mostra que para os metais ferrosos e não ferrosos tais como, alumínio e cobre, há maiores índices de recuperação enquanto os metais preciosos e os plásticos apresentam baixos índices de recuperação com qualidade devido à carência de tecnologias que efetuam a separação total dos materiais. É relatado ainda que os principais fatores promissores para melhorar a recuperação de materiais de REEE e assim, melhorar o desempenho ambiental da reciclagem, são o comportamento do consumidor, o qual estoca REEE em suas casas ou descarta em locais inadequados, e o progresso tecnológico que otimiza a qualidade de separação dos materiais.

O estudo de Ford e Fisher (2019) considera a viabilidade do uso do polímero acrilonitrila butadieno estireno (ABS) 100% reciclado em pequenos produtos eletrônicos como um passo em direção a um projeto de economia circular. Um aparelho de telefone sem fio digitalmente aprimorado foi escolhido como um exemplo representativo desse produto. Os testes demonstraram que o ABS 100% reciclado possui propriedades semelhantes ao ABS virgem e pode ser substituído desde que o design do produto permita a natureza um pouco mais rígida e atenda às questões de acabamento da superfície e capacidade de cor. Isso sugere que o material reciclado pode

ser amplamente utilizado nesse tipo de produto e também a um custo reduzido do uso do ABS virgem. Embora o foco do trabalho seja avaliar a adequação do polímero reciclado como matéria-prima, uma avaliação do ciclo de vida (ACV), com dados secundários do aparelho existente (incluindo embalagem) sugere que outros problemas associados ao impacto ambiental do produto podem ser abordados no estágio de design, como o uso de energia e os problemas de fim da vida útil.

Papel

Estudos de ACV completos levam em consideração outros indicadores não mensurados pela economia circular, como demonstrado no exemplo a seguir de recuperação de embalagens pós consumo. Estudo realizado para avaliar a viabilidade ambiental da recuperação de embalagem para leite longa vida composta de cartão/polietileno e alumínio pela tecnologia de plasma.

O estudo de ACV mostrou que para a taxa de reciclagem de 25% houveram reduções significativas em consumo de recursos naturais como 23,5% na bauxita, 16,7% do uso de madeira, dentre outros.

Reduções entre 4 (óleos) e 14% Demanda biológica de oxigênio (DBO) foram medidas para várias emissões para a água. Entretanto, a emissão de sólidos solúveis teve significativo aumento de 18,1 g/1000 litros de leite. Reduções de até 25% foram mensuradas nas emissões para o ar. Para categoria aquecimento global houve uma redução de 97,7% (Mourad, Zuben, Coltro & Gatti, 2009).

Os estudos de ACV demonstram não apenas a circularidade dos materiais, mas apresentam resultados relativos aos consumos de recursos naturais, de emissões para o ar e para a água, de impactos relativos ao aquecimento global, à eutrofização, acidificação, geração de resíduos sólidos, dentre outros.

Outro aspecto muito importante é que estes estudos apresentam as vantagens e desvantagens dos processos, pois qualquer reprocesso ou reciclagem tem um custo



Foto de George Becker no Unsplash

Plástico

De acordo com New Plastics Economy (2017) cerca de 20% dos plásticos poderiam ser reutilizados enquanto 30% dependem de inovações disruptivas para que sejam reincorporados à economia. Os 50% restantes poderiam ser reciclados desde que a qualidade dos produtos reciclados e os aspectos econômicos fossem radicalmente melhorados. Em grande parte, o alto custo dos processos de reciclagem se deve ao fato de que os sistemas não foram projetados para serem circulares de forma que estes recursos continuem disponíveis de forma econômica. Para estimular o redesenho destes sistemas é preciso incentivar tanto a disponibilização de materiais cuja reciclagem seja facilitada – estimulando a oferta, quanto estimular a demanda por materiais reciclados. As métricas de sustentabilidade devem, portanto, capturar estes dois tipos de ações: quem garante a reciclagem deve ter o benefício de suas ações evidenciado e quem se utiliza de material reciclado também deve poder evidenciar sua contribuição para uma maior sustentabilidade do sistema.

Em Avaliação de Ciclo de Vida isto se traduz nos critérios de alocação de fim de vida, ou seja, como os impactos ambientais (e/ou a redução de impactos ambientais) devem ser divididos entre os diversos ciclos de reciclagem. A função do material virgem também deve ser reavaliada: já que este material não será usado apenas uma vez é importante que os impactos ambientais de sua produção sejam partilhados por todos os sistemas que se aproveitam dele. Por outro lado, os processos de reciclagem (coleta, separação, limpeza e reprocessamento) são ao mesmo tempo tratamento de fim de vida de um ciclo e processo de manufatura de outro. Dessa forma estes processos devem ser partilhados por todos os sistemas que utilizam este material (em qualquer de suas “vidas”). A Comissão Europeia propôs a fórmula da pegada circular, que conecta diferentes “vidas” subsequentes dos materiais à medida que circulam na economia. Nessa equação, o fator “A” divide os encargos de produção de matérias-primas virgens e tratamento dos resíduos no final da vida e os créditos de quaisquer matérias-primas evitadas por meio da reciclagem entre duas “vidas” subsequentes. Para plásticos, esse fator foi definido como 0,5, pois tanto as taxas de reciclagem quanto o uso de materiais reciclados devem ser estimulados.

Um estudo de caso realizado pela Braskem mostra que o impacto da resina em um sistema sem reciclagem na categoria mudança climática é de 1,97 kgCO₂eq/kgPE enquanto que num sistema com reciclagem este impacto é de 1,20 kgCO₂eq/kgPE. O estudo também mostra que 87% do impacto nesta categoria é oriundo da alocação da produção da resina virgem enquanto que 13% é decorrente dos processos de reciclagem em si. Os resultados dependem fortemente também da matriz elétrica do local onde a reciclagem ocorre e também da distância de coleta dos resíduos para reciclagem.

Outro estudo de caso sobre embalagens de leite pasteurizado tipo A, compara diversas opções entre elas embalagens reutilizáveis de vidro e descartáveis de PE. O desempenho ambiental é fortemente influenciado pela taxa de reúso e pela distância de transporte até o mercado consumidor final. O cenário em que as embalagens reutilizáveis apresentam desempenho ambiental superior ocorre com um reúso superior a 11 vezes num raio de 100 km do ponto de envase.



Têxtil

Koligkioni, Parajuly, Sørensen & Cimpan (2018) estudaram as possíveis opções de final do ciclo de vida de produtos têxteis na Dinamarca e avaliaram os efeitos ambientais dessas opções. Cinco cenários de foram avaliados: incineração dos resíduos, reúso dos produtos na Dinamarca, reúso na Europa, reúso no resto do mundo e por último um cenário representando o sistema integrado dinamarquês de gestão de resíduos têxteis. Para os cenários de reúso, parte da produção é diretamente descartada e no final do ciclo de vida, todos os produtos reusados são depositados em aterros ou incinerados.

Utilizando a análise de fluxo de massa, os autores quantificaram os fluxos de produtos têxteis na Dinamarca, desde o consumo até o final da vida. A Avaliação do ciclo de Vida consequencial (ACVc) foi utilizada para entender as consequências ambientais dos diferentes cenários. Dados primários foram coletados de fontes governamentais e outros stakeholders da cadeia têxtil, e para dados de segundo plano foi utilizado o ecoinvent 3.1. Foi analisado impacto potencial de mudanças climáticas para todos os cenários, considerando uma tonelada de produtos têxteis usados, descartados por consumidores.

Os resultados mostram que o reúso de produtos têxteis é a melhor opção para fim do ciclo de vida, mesmo quando os produtos usados substituem uma pequena parte de produtos novos. Embora a incineração também apresente benefícios ambientais por evitar o uso de gás natural e carvão na produção de eletricidade. Também vale ressaltar, que a coleta, processamento e transporte de produtos têxteis usados tem impacto insignificante comparado aos ganhos ambientais (Farrant, Olsen & Wangel 2010).

Em outro trabalho, sobre a revisão de literatura dos impactos ambientais do reúso e reciclagem de produtos têxteis, Sandin e Peters (2018) salientaram os principais pontos sobre o tema e necessidade de pesquisas futuras. Foram encontradas 41 publicações, das quais a maioria (85%) abordam estudos de ACV sobre a reciclagem das fibras. O potencial de mudanças climáticas e o uso total de energia são as principais categorias de impacto analisadas. Os resultados mostram que o reúso e a reciclagem são, em geral, opções preferíveis quando comparadas a incineração e disposição em aterro. Embora o reúso seja a melhor opção, em certas condições de transporte pode não apresentar os maiores benefícios (Fortuna & Diyamandoglu, 2017). Os benefícios ambientais do reúso e reciclagem ocorrem principalmente pela substituição de novos produtos; portanto, baixas taxas de substituição podem eliminar esses benefícios. Ainda, fibras recicladas não necessariamente apresentam menores impactos comparados a todos os tipos de fibras virgens (Shen, Worrell & Patel, 2012), e a reciclagem pode diminuir alguns impactos e aumentar outros (Shen et al., 2010 a, b). Alguns autores reforçam que ao menos que a fase de uso seja suficientemente estendida, os impactos adicionais de transporte e outros esforços podem suprimir os benefícios da produção evitada de produtos novos (Fortuna and Diyamandoglu, 2017; Zamani, Sandin & Peters, 2017). Mesmo em estudos que apresentam melhorias em todos os impactos, ainda podem existir diferenças de resultados entre regiões geográficas. Em estudos comparativos, devem ser sempre analisadas as fases de coleta, triagem e transporte dos resíduos. Por esse motivo, é necessário sempre avaliar os possíveis trade-offs antes de tomar alguma decisão sobre a opção de destino dos resíduos têxteis.

Considerações finais

Com base nos estudos apresentados é possível indicar que:

- A ACV auxilia na identificação dos pontos críticos ao longo do ciclo de vida dos produtos, orientando assim as melhores estratégias para as ações de economia circular.
- Em complementariedade as métricas de EC, a ACV aborda diversos aspectos ambientais, tornando-se técnica essencial para tomada de decisão e escolha de estratégias de circularidade.
- Para o setor de Aço a ACV indicou que a reciclagem em ciclo fechado reduz o potencial de aquecimento global, o consumo de energia primária e de minério de ferro. Por outro lado, o setor advoga que, em razão da demanda em expansão, dar preferência ao material com maior conteúdo reciclado pode gerar efeito adverso ao pretendido.
- Para o setor de Alumínio a ACV indicou os benefícios ambientais de reciclar latas de alumínio em um ciclo fechado, ou seja, uma informação importante para a implementação da economia circular no setor.
- Para o setor de Construção a ACV indicou que 90% dos problemas ambientais da indústria cimenteira acontecem no estágio de produção, sobretudo na calcinação e combustão. Dessa forma as ações de circularidade focam em utilizar combustíveis renováveis nos fornos.
- Para o setor Eletroeletrônico os estudos indicam que existe uma viabilidade técnica para reciclagem de materiais, sobretudo se decisões mais sustentáveis forem tomadas ainda no estágio de design do produto.
- Para o setor de Papel a ACV indicou que a reciclagem de embalagens para leite longa vida tipo Tetra Pak reduz o consumo de recursos naturais, emissões de algumas substâncias para a água e ar, bem como o Potencial de Aquecimento Global. Contudo, o estudo evidenciou a necessidade de melhoria do sistema de tratamento de fluentes para que não haja aumento nas emissões para a água.
- Para o setor Plástico a ACV indicou que a reciclagem tem o potencial de reduzir os impactos de mudanças climáticas desse material, convergindo com as recomendações da economia circular. Além disso, na avaliação de substituição de produtos descartáveis por reutilizáveis a distância do distribuidor ao consumidor e a taxa de reutilização são parâmetros que devem ser considerados;
- Para o setor Têxtil a ACV indicou que o reuso como alternativa de descarte de produtos é, em geral, a opção mais favorável. Contudo, determinados parâmetros como a distância de transporte dos resíduos podem ser determinantes para o resultado final. Ainda, existem evidências que fibras recicladas podem não ter melhor desempenho que determinadas fibras virgens;

A análise destes estudos frente aos indicadores de economia circular, mostra que os estudos de ACV são mais abrangentes que os indicadores de economia circular, por incluírem diversos aspectos ambientais e não apenas o de circularidade. Por outro lado, a circularidade como meta é um conceito muito importante a ser incorporado, ou seja, a maximização do uso dos recursos naturais nos seus diversos possíveis usos. Embora existam iniciativas para incluir questões sociais na ACV, ambos ACV e EC ainda precisam evoluir para mensurar tal aspecto ao longo do ciclo de vida dos produtos.

Agradecimentos

ACV Brasil – **Tiago Barreto Rocha**

ArcelorMittal Brasil – **Leonardo Guimarães Ribeiro**

Braskem – **Yuki Kabe**

EnCiclo – **Guilherme Zanghelini**

Grupo Malwee – **Lilian Taíse Beduschi**

ITAL – **Anna Lúcia Mourad**

Sinctronics – **Mariane Martins**

Votorantim Cimentos – **Livia Ballot de Miranda**

Diagramação

Fundação Espaço ECO – **Erick Gouveia**

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009a). NBR 14.040 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009b). NBR 14.044 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro.
- Allwood, J.M., Cullen, J.M., & Milford, R.L. (2010). Options for achieving a 50% cut in industrial carbon emissions by 2050. *Environ. Sci. Technol.* 44. 1888–1894. 10.1021/es902909k
- Bösch, M.E., Hellweg, S., Huijbregts, M.a.J., & Frischknecht, R. (2007). Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 12 (3), 181–190. <https://doi.org/10.1065/lca2006.11.282>
- Broadbent, C. (2016). Steel’s recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(11), 1658-1665. 10.1007/s11367-016-1081-1
- De Meester, S., Nachtergaele, P., Debaveye, S., Vos, P., & Dewulf, J. (2019). Using material flow analysis and life cycle assessment in decision support: A case study on WEEE valorization in Belgium. *Resources, Conservation and Recycling*. 142. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.015>
- Ellen MacArthur Foundation (2015a). Circularity indicators - an approach to measuring circularity. Project overview. Retrieved October 9, 2019, from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Project-Overview_May2015.pdf
- Ellen MacArthur Foundation (2015b). Circularity indicators - an approach to measuring circularity. Methodology. Retrieved October 9, 2019, from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Methodology_May2015.pdf
- Ellen MacArthur Foundation (2015c). Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição. Retrieved October 9, 2019, from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf
- Ellen MacArthur Foundation (2020). Circulytics 2.0. Retrieved December 12, 2019, from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/circulytics-overview.pdf>
- European Commission. Joint Research Centre. (2012). Product Environmental Footprint (PEF). Retrieved December 13, 2020, from <https://ec.europa.eu/environment/archives/eussd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf>
- Farrant L., Olsen S.I., & Wangel A. (2010). Environmental benefits from reusing clothes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 726-736. 10.1007/s11367-010-0197-y
- Ford, P., & Fisher, J. (2019). Designing consumer electronic products for the circular economy using recycled Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): A case study. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117490. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.321>

- Fortuna, L.M. & Diyamandoglu, V. (2017). Optimization of greenhouse gas emissions in second-hand consumer product recovery through reuse platforms. *Waste Management*, 66, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.032>
- Kharas, H. (2010). *The Emerging Middle Class in Developing Countries*. OECD Development Centre Working Papers, No. 285, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5kmmp8lncrns-en>
- Koligkioni, A., Parajuly, K., Sørensen, B. L., & Cimpan, C. (2018). Environmental assessment of end-of-life textiles in Denmark. *Procedia CIRP*, 69, 962-967. [10.1016/j.procir.2017.11.090](https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.090).
- Landi D., Germani M., & Marconi M. (2019). Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium, *Procedia CIRP*, 80, 399-404, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.054>
- Leroy, C. (2009). Provision of LCI data in the European aluminium industry. *Methods and examples*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 10. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0068-6>
- Løvik, A., & Mueller, D.B. (2014). A material flow model for impurity accumulation in beverage can recycling systems. In: Grandfield J. (eds) *Light Metals 2014*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48144-9_151
- Mourad A. L., Zuben, F. V., Coltro, L., & Gatti, J. B. (2009). The Added Value of the Plasma Process in the Integration of the three Pillars of Sustainability in the Milk Aseptic Package Production Chain. In: *16th International Conference on Life Cycle Engineering 2009 - Life Cycle Engineering in the Sustainability Age*, Cairo, 105-111.
- New Plastic Economy. Ellen MacArthur Foundation. (2017). *The new plastics economy: rethinking the future of plastics & catalyzing action*. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics-catalysing-action>
- Niero, M., & Olsen, S.I. (2016). Circular economy: To be or not to be in a closed product loop? A Life Cycle Assessment of aluminium cans with inclusion of alloying elements. *Resources, Conservation and Recycling*, 114, 18-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.023>
- Rombach, G. (2013). Raw material supply by aluminium recycling—efficiency evaluation and long-term availability. *Acta Materialia*, 61 (3), 1012-1020. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.08.064>
- Rørbech, J.T., Vadenbo, C., Hellweg, S., & Astrup, T.F. (2014). Impact assessment of abiotic resources in LCA: quantitative comparison of selected characterization models. *Environ. Sci. Technol.* 48 (19), 11072-11081. <https://doi.org/10.1021/es5023976>
- Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353-365, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M.K. (2010a). Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 260-274. [10.1016/j.resconrec.2010.10.001](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.10.001)

- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M.K. (2010b). Open-loop recycling: a LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources, Conservation and Recycling*. 55, 34-52. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.014>
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M.K. (2012). Comparing life cycle energy and GHG emissions of bio-based PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulosics. *Biofuels Bioprod. Biorefining* 6, 625-639. <https://doi.org/10.1002/bbb.1368>
- PE Americas (2010). Life Cycle Impact Assessment of Aluminum Beverage Cans. Final Report, 127. <http://www.avnir.org/documentation/bdd/sg/LCA-2010-AluminumAssoc.pdf>
- Rigamonti, L., Falbo, A., Zampori, L., & Sala, S. (2017). Supporting a transition towards sustainable circular economy: sensitivity analysis for the interpretation of LCA for the recovery of electric and electronic waste. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(8), 1278–1287. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1231-5>
- World Business Council for Sustainable Development (2019). Circular Transition Indicators (CTI) - Proposed metrics for business. Retrieved October 9, 2019, from <https://www.wbcd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators>
- World Steel Association. (2016). Steel – the permanent material in the circular economy. Retrieved from <https://www.worldsteel.org/publications/bookshop.html>
- World Steel Association. (2020). Life Cycle Inventory Study. 2019 Data Release. Retrieved from https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:c4159749-afab-4476-a09f-59efca686e9e/LCI%2520study_2019%2520data%2520release.pdf
- Zamani B., Sandin, G., Peters, G. M. (2017). Life cycle assessment of clothing libraries: can collaborative consumption reduce the environmental impact of fast fashion? *Journal of Cleaner Production*. 162, 1368-1375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.128>



Rede Empresarial
Brasileira de Avaliação
de Ciclo de Vida