

Avaliação do Ciclo de Vida:
um método sistêmico e
quantitativo para determinação
do desempenho ambiental de
atividades antrópicas

Gil Anderi da Silva
Luiz Alexandre Kulay

Introdução

O termo *sustentabilidade* tem sido usado com diferentes conotações em diferentes contextos. A conotação do presente contexto é a vida. Vamos falar do completo e perfeito projeto de engenharia jamais concebido. Vamos falar do planeta Terra.

A parte física do planeta é constituída pela litosfera, hidrosfera e atmosfera. Essas “esferas físicas” foram concebidas para servir de suporte à vida. Os seres vivos (vegetais e animais) foram instalados no planeta, distribuídos pelas três esferas físicas, constituindo a biosfera.

A vida é o grande mistério e o excitante enigma que buscamos desvendar. A forma mais emblemática para introduzir essas reflexões sobre a sustentabilidade é a seguinte: “Nossa sobrevivência depende desse punhado de solo. Se cuidarmos dele, nos proverá alimento, nosso combustível e nosso abrigo e nos cercará de beleza. Se abusarmos dele, entrará em colapso e morrerá, levando a humanidade consigo” (Vedas Sanskrit Scripture – 1500 a.C.).

Vida instintiva

No que consiste a vida dos seres vivos? A resposta mais simplista pode ser a seguinte: a vida dos seres vivos consiste em executar ações visando à manutenção da vida dos indivíduos e das espécies.

Para a manutenção de sua vida, os indivíduos necessitam fundamentalmente de alimento e proteção. Assim, a vida dos vegetais consiste em exercer suas funções vitais (necessárias à manutenção de sua vida). Então, podemos dizer que os vegetais passam a vida “vegetando”.

Já os animais, graças à sua capacidade de locomoção, executam, além de suas funções vitais, outras ações visando à obtenção de alimentos e proteção. Observe que a única fonte de recursos necessários para a manutenção da vida é o planeta.

A relação dos seres vivos com a natureza consiste na extração de recursos naturais (visando à manutenção da vida) e no descarte, na natureza, dos rejeitos gerados. Essa é uma relação na qual se mantém um equilíbrio dinâmico natural, de forma que a quantidade de recursos naturais extraídos é igual à capacidade de recomposição pela natureza.

A revolução¹

A primeira e fundamental revolução que veio transformar radicalmente o sistema da Terra foi o surgimento do homem. A principal mudança foi a quebra do equilíbrio dinâmico já referido. Vamos entender a causa e as consequências dessa revolução.

A causa está relacionada às capacidades de pensar e de criar concedidas pelo projetista, com exclusividade a esse novo membro da biosfera. Graças (ou desgraças) a essas capacidades, o homem modificou radicalmente a relação dos seres vivos com a natureza, rompendo o equilíbrio existente “a.H.”, ou seja, “antes do Homem”.

Vida primitiva

No início, o homem relacionava-se com a natureza (extraíndo recursos naturais e descartando rejeitos) de forma semelhante às outras espécies vivas mantendo, portanto, o equilíbrio dinâmico natural. Os seres humanos viviam em pequenos grupos, em um regime tribal caracterizado por seu caráter nômade: esgotados os recursos locais, os grupos deslocavam-se para áreas virgens. Nessa fase, as principais características da vida humana restringiam-se a:

- fonte de energia: humana;
- inexistência de classes sociais;
- a terra era considerada um bem comum, ou seja, não tinha dono.

Transição

A revolução – mudança na relação homem/natureza – consistiu no fato de o homem buscar na sua única fonte de recursos – a natureza – tanto os recursos necessários à manutenção de sua vida como também recursos para uma melhoria da qualidade de vida. Isso foi feito mudando-se a forma de obtenção dos recursos naturais. Ao invés de colher os recursos vegetais, passou a cultivá-los; ao invés de caçar os recursos animais, passou a criá-los.

¹ O termo *revolução* deve ser entendido como a transformação radical de um sistema.

Sociedade agrícola

Os seres humanos deixaram de ser nômades e passaram a ser sedentários (fixados na terra). A fonte de energia usada passou a ser humana/animal. Nessa nova forma de vida surgiu a primeira consequência nefasta: o surgimento do dono da terra e, com ele, a criação de duas classes sociais: a elite e a plebe.

Sociedade industrial

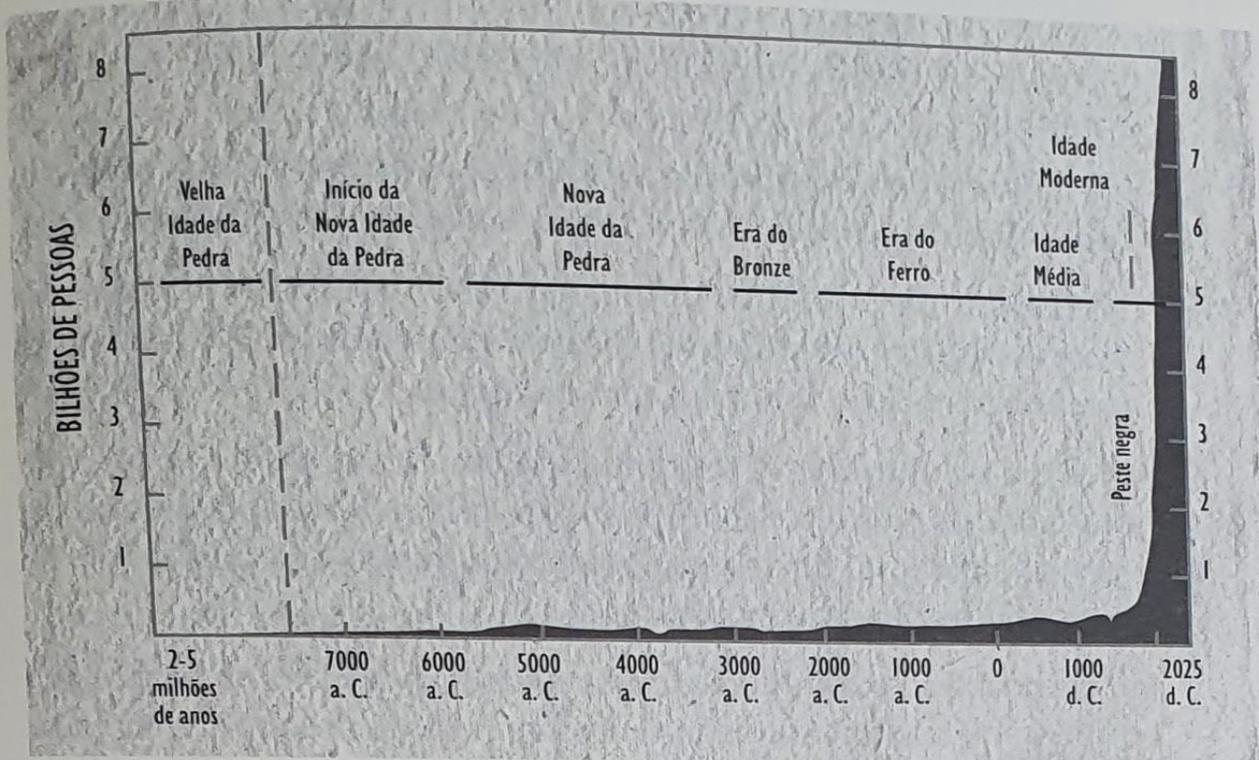
A busca pela melhoria da qualidade de vida levou a um grande desenvolvimento, particularmente, tecnológico. O marco significativo dessa mudança de patamar foi a mudança na fonte de energia usada pelo homem: ela passou de energia animal para energia fóssil, o que viabilizou o surgimento das máquinas a vapor. Esse desenvolvimento tecnológico caracterizou-se pela produção em massa de produtos (bens de consumo e serviços) e sua principal consequência para a sociedade foi o crescimento desequilibrado da população decorrente do aumento da expectativa de vida dos seres humanos provocado pela geração de vacinas e medicamentos e pela maior disponibilidade de alimentos, graças ao uso de fertilizantes e defensivos agrícolas. A figura 1 mostra a curva do crescimento populacional ao longo da história.

O ponto de inflexão da curva de crescimento da população coincide com a Revolução Industrial (1768). Esse desenvolvimento tecnológico foi denominado de *desenvolvimento linear*, o qual é ilustrado na figura 2. Esse tipo de desenvolvimento foi baseado em duas premissas que, posteriormente, se demonstraram falsas:

- O planeta é uma fonte inesgotável de recursos naturais materiais e energéticos.
- O planeta é um sorvedouro com capacidade infinita de receber os rejeitos das mais diversas interações naturais e, principalmente, de atividades humanas.

FIGURA 1

Crescimento populacional ao longo da história



Fonte: Adaptado de J. E. D. Alves, Decrescimento demoeconômico ou pronatalismo antropocêntrico e ecocida?, em *EcoDebate*, Rio de Janeiro, 20-5-2015.

FIGURA 2

Modelo linear de desenvolvimento



Essa breve caminhada pela evolução da vida humana no planeta nos traz às causas do que se pode denominar de *crise da sustentabilidade*. De maneira sintética, elas consistem nos seguintes postulados:

- A única fonte de *recurso* que o homem dispõe para atender suas necessidades (manutenção da vida) e desejos (manutenção de uma dada qualidade de vida) é o planeta.
- Essas necessidades e desejos são atendidos por intermédio de *produtos*.
- Os recursos naturais são consumidos para gerar produtos, ao passo que os produtos são consumidos para atender necessidades e desejos.
- O planeta *não* é uma fonte inesgotável de recursos naturais, bem como também *não* é um sorvedouro com capacidade infinita de receber os rejeitos das atividades humanas.
- O desenvolvimento da humanidade na busca pela melhoria da qualidade de vida levou a um aumento desequilibrado da população que, de sua parte, gerou um aumento, também desequilibrado, de consumo de recursos naturais.
- O aumento do consumo de recursos naturais se deve, em verdade, a outros dois fatores associados à melhoria da qualidade de vida. São eles: (i) o aumento “qualitativo” dos produtos (ou seja, diversidade de opções capazes de atender a um mesmo desejo); e (ii) o aumento quantitativo dos desejos (isto é, a “criação” de novos quereres).

A partir disso, pode-se concluir que o ápice da crise da sustentabilidade está no consumo desequilibrado de recursos naturais, reflexo do consumo desequilibrado de produtos. Assim, identificamos dois dos pilares nos quais se fundamenta a sustentabilidade:

- Pilar ambiental: representado pelo consumo dos recursos naturais necessários para a manutenção da vida.
- Pilar social: representado pelo consumo de produtos (e, conseqüentemente, dos recursos naturais a eles associados) desejáveis para a manutenção de uma dada qualidade de vida.

É também nesse contexto que surgirá um terceiro ator: a economia.

Com o aumento da complexidade da vida dos seres humanos, houve a necessidade de criar um sistema que viabilizasse o processo de obtenção, consumo e descarte dos recursos naturais/produtos necessários/desejáveis.

Escambo

O precursor desse sistema foi o escambo, processo baseado na troca de produto por produto. O problema é que esse sistema apresentava uma limitação significativa: a inexistência de uma referência de valor. Para melhorar isso, foram criadas moedas/mercadoria, como o gado bovino e o sal. A desvantagem desse sucedâneo foi o fato de que as moedas/mercadoria poderiam ser perecíveis e não fracionáveis, como o gado bovino.

Outra das grandes fragilidades do escambo, segundo alguns autores, era o fato de não permitir o acúmulo de riqueza – mais um motivo para a criação das *moedas*.

Mercado

O sistema que se seguiu ao escambo foi o mercado. À época, ele era o local onde vendedores e compradores se encontravam para trocar mercadorias por moedas.

Economia

Hoje, o termo *mercado* tem uma conotação muito maior do que o seu significado original. Ele se confunde ou é o núcleo central da economia.

A etimologia do termo *economia* indica que ela vem do grego *eco* que significa “casa mais” e *nomia* que significa lei, regra. Portanto, literalmente, economia é a arte de administrar a casa. No nosso contexto (sustentabilidade), poderíamos, ou melhor, deveríamos dizer que a casa é o planeta.

Outra definição entre as muitas encontradas na literatura, e que para estes autores é a mais emblemática, é: “administração da produção, distribuição e consumo de bens”, ou seja, a economia é o sistema que serve de apoio para administrar a vida da sociedade, pois, como já vimos, a vida humana consiste em executar ações que visam à obtenção e ao consumo dos recursos naturais/produtos necessários/desejáveis à manutenção da vida e de uma qualidade de vida.

Assim, a economia é o terceiro pilar da sustentabilidade, por ser o sistema que permite que a roda da vida continue girando.

A grande distorção

Esse rápido passeio pelo grande projeto da vida no planeta, confrontado com as realidades social e econômica atuais, nos leva a algumas reflexões.

A economia, que foi criada para servir de apoio ao processo de manutenção da vida, passou de coadjuvante à protagonista; passou de meio a fim. Isso ocorreu porque muitos – pessoas físicas, empresas, governos, etc. – passaram a considerar a economia como um fim, e não um meio, ou seja, passaram a ter como finalidade de suas atividades o *acúmulo de riqueza*.

Sintetizando, podemos dizer que houve uma transição da *ECOnomia* para a *EGOnomia*. Isso levará a humanidade à eclosão de uma crise uma vez que está comprovado que o homem vive para atingir e manter uma qualidade de vida que considera, subjetivamente, adequada. A busca de mais do que isso levará ao aumento das já gritantes diferenças entre classes sociais e entre etnias e às consequentes convulsões sociais.

Estamos diante da predição feita pelo profeta hindu já citada no início desse arrazoado, por ocasião da conceituação do termo *sustentabilidade*.

Indicadores de sustentabilidade

Com a consolidação da sustentabilidade na vida da sociedade globalizada, criou-se a necessidade de mudar a forma de avaliar o desempenho das economias. Os indicadores econômicos tradicionais, tais como o PIB, já não são suficientes.

Para gerir as economias, faz-se necessário o desenvolvimento de indicadores baseados em parâmetros associados às condições de sustentabilidade dos sistemas em análise.

Lembrando que a sustentabilidade está diretamente associada e dependente da disponibilidade dos recursos naturais do planeta e que o consumo destes ocorre integralmente para a geração de produtos, os indicadores de sustentabilidade devem avaliar o consumo de recursos naturais/produtos, em suas mais diferentes formas e unidades.

Nesse contexto, devemos considerar que os produtos são responsáveis pelo consumo de recursos naturais ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração dos recursos naturais, passando por todos os elos de cadeia produtiva, distribuição, consumo e descarte final e, portanto, os

indicadores de sustentabilidade devem avaliar todo esse ciclo de vida. Aqui talvez se encontre a origem do “pensar ciclo de vida”, ou, como batizado em inglês, *Life Cycle Thinking* (LCT).

O LCT significa a consciência de que não basta que o desempenho ambiental de uma unidade isolada da cadeia produtiva seja adequado; o importante é que o desempenho ambiental de todos os elos dessa cadeia seja adequado.

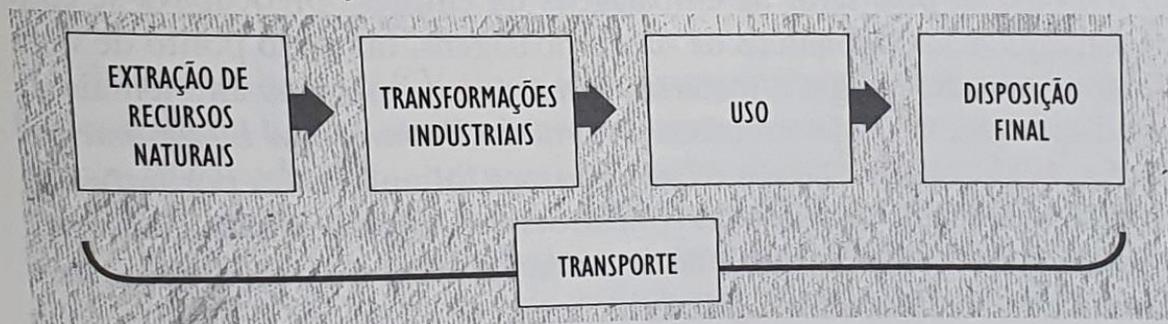
Nunca é demais enfatizar que o desempenho ambiental de um produto contempla desde o consumo dos recursos naturais até o descarte dos rejeitos.

Segundo essa filosofia, a avaliação do desempenho ambiental deve passar a ser feita de uma forma sistêmica, abrangendo todas as atividades potencialmente impactantes ao meio ambiente, envolvidas na manufatura do produto. Esse espectro considera desde as atividades de obtenção dos recursos naturais até a etapa de fabricação do produto, ao final de toda a sua cadeia produtiva.

Esse é o conceito de *ciclo de vida*²: conjunto de etapas necessárias para que um produto cumpra a sua função e que vão desde a obtenção dos recursos naturais até a sua disposição final após o cumprimento da função. A figura 3 apresenta e descreve, de maneira genérica, as cinco etapas que constituem o ciclo de vida de qualquer produto.

FIGURA 3

Etapas do ciclo de vida dos produtos



² *Ciclo de vida*: conjunto de estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou geração de recursos naturais à disposição final (ABNT NBR ISO 14040); Associação Brasileira de Normas Técnicas, *ABNT NBR ISO 14044* (Rio de Janeiro: ABNT, 2009).

O transporte é incluído como uma etapa do ciclo de vida por ser uma atividade potencialmente geradora de impactos ambientais, que ocorre praticamente no ciclo de vida de todos os produtos.

Avaliação do Ciclo de Vida: generalidades

Visando atender às necessidades das organizações no gerenciamento de sua relação com o meio ambiente, a gestão ambiental criou várias técnicas que têm sido de extrema utilidade.

A partir do surgimento do conceito de ciclo de vida, foi desenvolvida uma técnica para avaliação de desempenho ambiental de produtos: é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV),³ que avalia o desempenho ambiental de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Essa avaliação é feita por meio da identificação de *todas* as atividades humanas ocorridas no ciclo de vida do produto e pela avaliação dos impactos ambientais potencialmente associados a essas atividades.

Evolução histórica da ACV

O primeiro estudo referido de forma geral na literatura, realizado com foco sobre o produto, foi conduzido na segunda metade da década de 1960, pelo Midwest Research Institute, por solicitação da Coca-Cola Company. O responsável pelo setor de embalagens da empresa preocupava-se com as consequências ambientais de suas embalagens, tanto do ponto de vista do consumo de energia e materiais quanto dos impactos ambientais de sua disposição. O projeto recebeu o nome de *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) e seu relatório nunca foi publicado, por razões de confidencialidade. Uma de suas conclusões (ou, talvez, consequências) foi a adoção da viabilidade ambiental da mudança de vidro para plástico como material de manufatura das garrafas.⁴

³ Avaliação do Ciclo de Vida: compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14040).

⁴ Henrikke Baumann & Anne-Marie Tillman, *The Hitch Hiker's – Guide to LCA: an Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application* (Suécia: Professional Publishing House, 2004), 543 p.

A compilação de trabalhos elaborados sob esse enfoque forneceu, anos depois, a fundamentação teórica necessária à concepção da ACV. Os REPA's desempenharam importante papel durante a primeira crise do petróleo. Particularmente entre os anos de 1973 e 1975 foram realizados, por encomenda de governos de diversos países industrializados, estudos detalhados avaliando o potencial energético do planeta que incluíam não apenas um diagnóstico situacional do problema, mas também propostas de alternativas ao uso dos combustíveis fósseis.

A grande diversidade de padrões e critérios para a aplicação da metodologia, aliada à falta de bancos de dados amplos e confiáveis e aos elevados custos envolvidos na realização de tais estudos, resultou na desconfiança sobre a possível manipulação dos resultados obtidos. Por conta disso, tal forma de abordagem acabou caindo em descrédito na comunidade científica, ao que se seguiu seu temporário abandono.

A certeza de que uma abordagem sistêmica seria o melhor caminho para avaliar as interações entre um produto e o meio ambiente ao longo de seu ciclo de vida fez com que alguns centros de pesquisa seguissem investindo no sentido de aprimorar estes e outros pontos deficitários, a fim de criar um procedimento exequível e confiável. Dos progressos decorrentes desse esforço, surge no princípio da década de 1980 a metodologia de ACV. A maior prova de que a ACV tornara-se um instrumento consistente para a realização de avaliações ambientais ocorreu em 1985, quando a Comunidade Europeia houve por bem recomendá-la como a técnica mais adequada para o automonitoramento dos consumos materiais e energéticos em quaisquer empresas instaladas naquele continente.

Muito embora a ACV ainda se encontre em fase de evolução no que se refere a alguns de seus componentes, o interesse por ela tem aumentado em seus mais variados usos. Entre as instituições dedicadas ao aprimoramento e à difusão dessa metodologia estão a Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Setac), que faz por merecer especial destaque pelo papel que desempenha. Na opinião de muitos praticantes, a Setac, que se ocupa da busca de uma base conceitual uniforme e consistente para a ACV há mais de uma década, constitui-se atualmente no principal fórum mundial de discussão para os muitos aspectos correlacionados à referida técnica.

A importância adquirida pela ACV nos contextos da gestão ambiental e da prevenção da poluição fez com que a estrutura conceitual que a

compõe acabasse sendo padronizada pela International Organization for Standardization (ISO). Essa instituição reservou para a ACV a série 14040. Até o ano 2002 foram lançadas as seguintes normas técnicas:

- ISO 14040: Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework (1997).
- ISO 14041: Environmental management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis (1998).
- ISO 14042: Environmental management – Life Cycle Assessment – Life cycle impact assessment (2000).
- ISO 14043: Environmental management – Life Cycle Assessment – Life cycle interpretation (2000).
- ISO 14048: Environmental management – Life Cycle Assessment – data documentation format (2002).

Em 2002, consolidou-se por intermédio de uma parceria conjunta entre a United Nations Environment Programme (Unep) e a Setac uma ação denominada *Life Cycle Initiative* (LCI). Baseada na filosofia conceitual da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, a LCI propõe-se a tratar a ACV por meio de três programas de envergadura mundial. O primeiro deles é conhecido como *Life Cycle Inventory* e se dedica ao desenvolvimento de metodologias de elaboração de inventários ambientais.

O segundo é chamado de *Life Cycle Impact Assessment* e trata da consolidação da etapa de avaliação de impactos nos estudos de ACV.

A trilogia completa-se com o programa de *Life Cycle Management*, por meio do qual busca-se estimular a agregação de uma perspectiva de ciclo de vida às ações inerentes à gestão empresarial com o objetivo de obter o aumento da eficiência ambiental de produtos e serviços.

Por fim, dentro ainda do mérito normativo, a ISO decidiu rever e atualizar o conjunto de normas que compõe a série 14040. Para tanto, implementou duas ações. A primeira delas consistiu na emissão, em 2006, de uma versão da ISO 14040 que, se por um lado conservava o código e o título originais, por outro, passou a apresentar um conteúdo atualizado e em consonância com o das demais séries observadas, além de dispor de recortes relacionados à matéria ambiental.

A segunda ação, ocorrida no mesmo ano, consistiu na fusão das normas ISO 14041, 14042 e 14043 em uma norma única, mais uma vez, revista e comentada, de título:

- ISO 14044: Environmental management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines (2006).

Mais recentemente, a mesma organização ampliou seu domínio de atuação dentro do âmbito da ACV introduzindo normas que tratassem, respectivamente, de ecoeficiência e de pegada hídrica (*water footprint*), assim como de pegada de carbono:

- ISO 14045: Environmental management – Eco-efficiency assessment of product systems – Principles, requirements and guidelines (2012).
- ISO 14046: Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines (2014).
- ISO/TR 14047: Environmental management – Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situation (2012).
- ISO/TR 14049: Environmental management – Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis (2012).
- ISO/TS 14067: Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication (2013).

Com esse movimento de atualização e de ampliação, a ISO, ao mesmo tempo, revê as bases orientativas da técnica de ACV e avança sobre o tema de maneira providencial, produzindo um arranjo coeso e integrado de recortes e abordagens que disponha sobre a condução daqueles estudos. Com isso, a organização difunde os conceitos que orientam a técnica, de um diagnóstico de caráter sistêmico e quantitativo, para recortes específicos e fundamentais para a gestão ambiental moderna, como ecoeficiência e as pegadas hídrica e de carbono.

ACV no Brasil

No Brasil, a primeira atividade formal relacionada à ACV foi a criação em 1994 do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (Gana)⁵ com a ABNT. Esse grupo nasceu com a missão de viabilizar a colaboração do Brasil no ISO/TC 207 criado no ano anterior. A constituição do Gana, como um espelho do ISO/TC 207, incluiu o SC 05 – Subcomitê de ACV. Desse trabalho pioneiro resultou a publicação, em 1998, do primeiro livro brasileiro sobre o tema.⁶

O primeiro estudo completo de ACV realizado no país, do qual se tem notícia, foi executado no Centro de Tecnologia de Embalagem (Cetea) do Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital), em 1999, e avaliou diferentes materiais usados nas embalagens de alimentos.⁷

Em 1998, foi criado com o Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP o Grupo de Prevenção da Poluição (GP2) com o objetivo principal de contribuir para a consolidação do uso da ACV no Brasil. Até o presente, a contribuição intelectual do GP2 para a matéria em tela compreende: 19 dissertações de mestrado, 3 teses de doutorado, 25 artigos publicados em periódicos indexados de corpo editorial reconhecido, 3 livros, e outros 11 capítulos de livro, além de mais de 130 comunicações em conferências nacionais e internacionais sobre a ACV, ou que tratem de temas a ela relacionados.

O Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38) da ABNT, sucessor do Gana a partir de 1999, tem no SC 05 o grupo encarregado das normas relativas à ACV. O SC 05 deu passos semelhantes aos da ISO editando, entre 2001 e 2005, as normas:

- NBR ISO 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura (2001).
- ABNT NBR ISO 14041 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário (2004).

⁵ Gana – Grupo de Apoio à Normalização Ambiental. Disponível em: <<http://acv.ibict.br>>, acessado em 9-10-2004.

⁶ José Ribamar B. Chehebe, *Análise do Ciclo de Vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000* (Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998).

⁷ Luis F. C. Madi *et al.*, *Análise de Ciclo de Vida de embalagens para o mercado brasileiro*, relatório confidencial, Campinas, 1999.

- ABNT NBR ISO 14042 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida (2004).
- ABNT NBR ISO 14043 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Interpretação do ciclo de vida (2005).

Depois disso, a ABNT procedeu a uma revisão de conteúdos das normas relacionadas à ACV para manter-se em consonância com as tendências exercitadas (e até incentivadas) pela ISO. Sendo assim, foram editadas nesse contexto as normas:

- NBR ISO 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura – 2ª edição (2009) e versão corrigida (2014).
- NBR ISO 14044 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações (2009): substituiu as anteriores ABNT NBR ISO 14041, 14042 e 14043.
- NBR ISO/TR 14047 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT ISO 14049 a situações de avaliação de impacto (2016).
- NBR ISO/TR 14049 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário (2014).

Além disso, e da mesma forma que a ISO, a instituição editou:

- NBR ISO 14045 – Gestão ambiental – Avaliação da ecoeficiência de sistemas de produto – Princípios, requisitos e orientações (2014).
- NBR ISO 14065 – Gases de Efeito Estufa – Requisitos para organismos de validação e verificação de Gases de Efeito Estufa para uso em acreditação e outras formas de reconhecimento – 1ª edição (2012) e versão corrigida (2015).
- NBR ISO 14067/TS – Gases de Efeito Estufa – Pegada de carbono de produtos – Requisitos e orientações sobre quantificação e comunicação (2015).

Ao manter-se em consonância com a ISO, a ABNT deu passos decisivos na consolidação da ACV no Brasil ao evitar que as normas dessa

série caíssem em desuso devido à falta de modernização de seus conceitos. Além disso, assim como sua congênere, ampliou os horizontes de avaliação ambiental para outros enfoques da matéria ambiental.

Em 2002, foi fundada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) com a missão de congregar todos os interessados em ACV e coordenar as atividades de construção do banco de dados brasileiro, da formação de recursos humanos e de manutenção dos vínculos com a comunidade internacional envolvida com o tema.

Mais recentemente, em 2013, a ABCV ganhou um reforço institucional importante, a partir da constituição da Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida, um fórum de discussão permanente para que organizações empresariais pudessem trocar experiências e debater usos e aplicações, bem como os rumos da técnica nos segmentos em que atuam.

Usos e aplicações

Em se tratando de uma metodologia de avaliação cujo foco se situa sobre a função do produto, a ACV proporciona informações sobre as interações que ocorrem entre as etapas que constituem o ciclo de vida deste e o meio ambiente.

Por conta disso, em um dos primeiros simpósios organizados pela Setac ainda na primeira metade da década de 1990, com a missão de discutir os rumos da ACV, estabeleceu-se que a realização de um estudo dessa natureza tem por premissas:

- fornecer uma imagem, tão fiel quanto possível, de quaisquer interações existentes com o meio ambiente;
- contribuir para o entendimento da natureza global e interdependente de consequências ambientais das atividades humanas;
- gerar subsídios capazes de definir os efeitos ambientais dessas atividades;
- identificar oportunidades para melhorias de desempenho ambiental.

Por conta disso, é possível subdividir as aplicações triviais a que se destina uma ACV em duas grandes vertentes:

- comparação do desempenho ambiental de produtos que cumprem uma mesma função;
- identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental.

Com relação à primeira vertente, deve-se lembrar que a ACV é a única técnica da gestão ambiental que possibilita a comparação do desempenho ambiental de produtos por ser a única que avalia o desempenho do cumprimento da função pelo produto.

A utilização da ACV com esse viés encontra maior apelo nas organizações empresariais desejosas de demonstrar a supremacia ambiental de seus produtos sobre os de seus concorrentes diretos, com o intuito de conquistar novos mercados. Por outro lado, quando efetuada confrontando o desempenho ambiental de um ou mais produtos contra um padrão pré-estabelecido, a ACV pode servir para a elaboração de rótulos e de declarações ambientais.

O fato de a ACV constituir-se em uma técnica eficiente para a elaboração de diagnósticos ambientais disponibiliza sua aplicação para atividades estratégicas de uma organização, tais como o projeto de novos produtos e a reavaliação de produtos já consagrados.

Nessa aplicação, a ACV presta-se à seleção de opções de projeto, em particular no que se refere à busca de novos materiais, formas de energia alternativas e implementação de melhorias de processo visando à minimização de perdas e à concepção de produtos menos agressivos ao meio ambiente. Como exemplo pode-se citar um estudo realizado na Espanha, em 2000, com dois tipos de luminárias para vias urbanas. Nele, comparou-se o produto existente – uma luminária cuja caixa era confeccionada em alumínio – com outro, então cogitado para tornar-se seu substituto – com caixa de polietileno.

As conclusões obtidas em decorrência da ACV estabeleceram diretrizes fundamentais para o projeto de uma luminária que provocasse menores impactos ao meio ambiente ao longo de todo o seu ciclo de vida.⁸

⁸ Ruben Irusta & Yolanda Nunez, *Improving Eco-Design of Street Lighting Systems Using LCA*, LCM – I International Conference on Life Cycle Management, Copenhagen, 2001.

Na segunda vertente, a ACV atua empreendendo a busca dos principais focos de impactos ambientais potencialmente provocados por um produto, ao longo de seu ciclo de vida. Ao término de sua aplicação, o praticante terá estabelecido a contribuição do sistema em estudo para as diversas categorias de impacto ambiental. De posse desse diagnóstico, planos de ação voltados à minimização dos impactos poderão ser estabelecidos. O uso da ACV com essa finalidade pode ser ilustrado por meio de um estudo realizado conjuntamente por pesquisadores das multinacionais do ramo de telecomunicações NTT e NEC, em 2002. O trabalho em questão relata a aplicação da ACV para a elaboração de um diagnóstico ambiental de equipamentos e facilidades que compõem uma rede de informação e de comunicação por cabo no Japão.⁹

Outro uso da ACV se dá em agências ambientais, e até mesmo em organizações não governamentais, no que se refere à definição de políticas públicas visando à estruturação de sistemas sustentáveis.

Tal iniciativa pode ser exemplificada por meio de estudo realizado em 2002 por técnicos da Scottish Environment Protection Agency com o objetivo de definir estratégias de âmbito nacional para o gerenciamento de resíduos sólidos. No presente caso, a ACV foi usada como instrumento de seleção, dentro de um universo de seis alternativas possíveis, do cenário mais adequado de gerenciamento de resíduos para cada uma das onze localidades do país selecionadas para esse fim.¹⁰

Metodologia

A metodologia de execução de um estudo de ACV pode ser entendida como o conjunto de procedimentos necessários para que o estudo atinja os objetivos propostos. Por ser a ACV uma técnica muito nova, não existe ainda uma metodologia universalmente consolidada para sua execução. De maneira geral, pode-se dizer que os modelos praticados seguem uma estrutura básica comum, divergindo em algumas minúcias como ordem de execução das diferentes etapas ou forma de apresentação dos resultados.

⁹ Kazue Ichino Takahashi *et al.*, *Evaluation of the Environmental Impact of Wired Telecommunication Networks in Japan*, LCA/LCM 2003 Conference, Seattle, 2003.

¹⁰ Allan Dryer & John Ferguson, *The National Waste Plan for Scotland – LCA and BPEO in Practice*, LCA/LCM 2003 Conference, Seattle, 2003.

Com o objetivo de familiarizar o leitor com a metodologia de execução de estudos de ACV, será apresentada aqui uma descrição dos principais passos para a elaboração de uma ACV. Essa descrição segue uma sequência considerada mais lógica pelos autores, a qual difere daquela sugerida pela ABNT NBR ISO 14040.

De uma maneira simplista, pode-se dizer que um estudo de ACV consiste em: identificação das entradas de matéria e de energia do meio ambiente para o sistema que constitui o ciclo de vida objeto do estudo, assim como das saídas de matéria e de energia desse sistema para o meio ambiente, e avaliação dos potenciais impactos ambientais associados a essas entradas e saídas.

Definição do sistema de produto

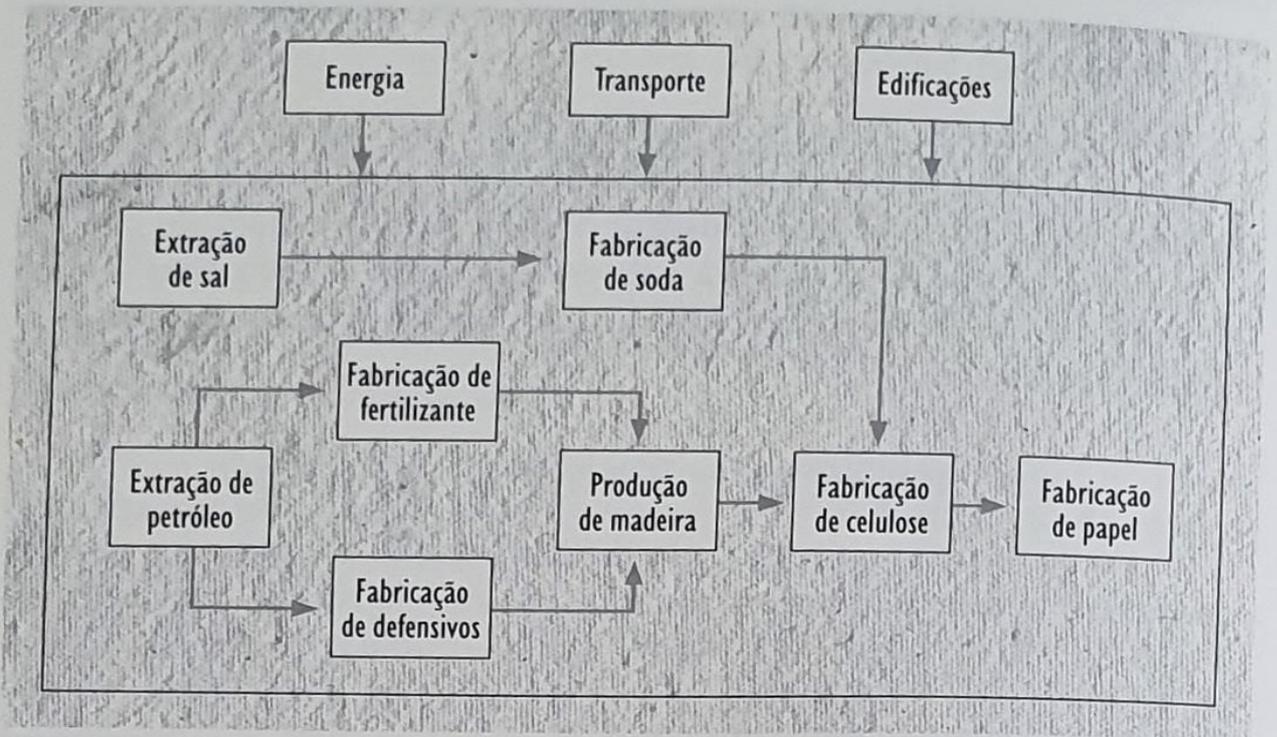
O primeiro passo para proceder à identificação das entradas e saídas consiste em definir o sistema a ser estudado ou, de acordo com a terminologia da ABNT NBR ISO 14040, definir o *sistema de produto*.¹¹ Essa definição consiste, em linhas gerais, na identificação dos subsistemas que vão compor o sistema de produto. Para ilustrar esse procedimento, vamos usar como exemplo a definição de sistema de produto para o caso do papel, apresentado na figura 4.

Partindo-se do subsistema de manufatura do papel, deve-se inicialmente identificar as matérias-primas (materiais que ficam incorporados ao produto final) usadas em sua obtenção; nesse caso, tem-se a celulose, cujo subsistema é agregado ao sistema de produto. Seguindo o mesmo procedimento, incorporam-se os subsistemas da madeira e da soda que são as matérias-primas usadas na fabricação da celulose e, além deles, os subsistemas de fertilizantes, defensivos, extração de petróleo e de sal, ou seja, dos insumos necessários à obtenção das matérias-primas. Observe que esse exemplo é apresentado apenas com caráter ilustrativo, não tendo a intenção de esgotar a cadeia produtiva do papel.

¹¹ *Sistema de produto*: conjunto de unidades de processo, conectadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas (ABNT NBR ISO 14040); *unidade de processo*: menor porção de um sistema de produto para a qual são coletados dados quando é realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida (ABNT NBR ISO 14040).

FIGURA 4

Sistema de produto referente à fabricação do papel



Em seguida, devem ser considerados os subsistemas dos materiais auxiliares (materiais necessários à obtenção do produto final, mas que não ficam incorporados ao mesmo), tais como embalagens, catalisadores, entre outros ativos. Também para esses subsistemas, deve-se partir dos respectivos recursos naturais. Os subsistemas de energia (tanto elétrica quanto térmica) – insumo presente nos ciclos de vida de todos os produtos – não podem ser esquecidos.

Considerando que para a obtenção de todos os itens citados fez-se necessário o uso de bens de capital, tais como edificações e equipamentos – os quais potencialmente também geram impactos ambientais –, estes também deverão ser considerados.

Partindo-se dessa abordagem, é possível definir o que seria um sistema de produto ideal: é aquele que troca matéria e energia exclusivamente com o meio ambiente e não com outros sistemas. No entanto, é fácil concluir que tal sistema abrangeria todas as atividades humanas do planeta, o que obviamente tornaria inviável a realização do estudo de ACV.

Nessas condições, a efetiva definição dos sistemas de produto e de suas fronteiras é feita por meio da elaboração de modelos reduzidos e representativos dos mesmos. É importante ressaltar que a elaboração de tais modelos deve obedecer a um compromisso entre a precisão dos resultados (quão mais abrangente o modelo, mais precisos os resultados) e a viabilidade prática de execução do estudo (quanto menos abrangente o modelo, mais viável a execução do estudo).

Para a elaboração do modelo, parte-se da descrição que inclui todos os subsistemas constituintes do ciclo de vida do produto e, em seguida, procede-se à exclusão de subsistemas, seguindo critérios bem definidos, os quais devem ser explicitados no relatório final da ACV para garantir a transparência do estudo.

A norma ABNT NBR ISO 14044 sugere alguns critérios de exclusão, a saber: critérios de massa, energia e relevância ambiental. De maneira geral, pode-se dizer que os critérios de massa e de energia sugeridos consistem em excluir os subsistemas cuja contribuição acumulada à massa ou energia totais do sistema seja inferior a uma dada percentagem (em geral 1% ou 5%). O critério de relevância ambiental deve ser aplicado para evitar que seja excluída alguma entrada ou saída que, ainda que em pequena quantidade, possa ter alto potencial de impacto.

Análise de inventário

A análise de inventário é a etapa da ACV em que se quantificam as necessidades de matéria e de energia e as disposições de rejeitos materiais e energéticos associadas ao ciclo de vida do produto. Essa é a etapa cuja execução demanda maior tempo e recursos.

Ela consta basicamente da coleta e do tratamento dos dados. Para a sua execução, deve ser preparado um fluxograma contendo todas as unidades de processo a serem modeladas, indicando as relações entre elas, ou seja, os fluxos de matéria e de energia que transitam entre elas. A elaboração de balanços de massa e de energia facilita a execução da tarefa e contribui para evitar erros.

Os dados podem ser coletados diretamente nos locais de produção – dados primários: registros de produção, registros de compra e venda, atestados de agência ambiental, medidas e determinações locais, etc., – ou

podem ser obtidos da literatura – dados secundários: relatórios setoriais de governo ou de associações, literatura técnica, etc. Na prática, na grande maioria dos estudos, são coletados os dois tipos de dados.

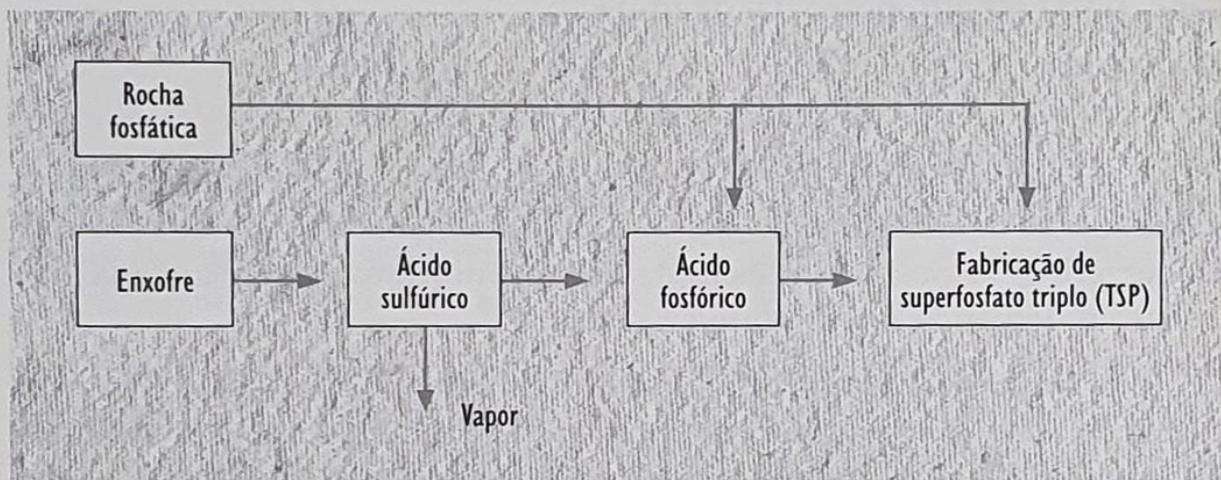
Após sua coleta, os dados devem ser tratados de forma a permitir sua operacionalização. Esse tratamento é necessário uma vez que, via de regra, as bases em relação às quais são expressos os valores das correntes que entram e saem de cada subsistema são específicas do subsistema, fato que impede a agregação de dados de diferentes subsistemas.

O produto desse tratamento dos dados é uma tabela contendo os valores agregados dos aspectos ambientais expressos em relação a uma determinada quantidade de produto denominada *unidade funcional*.¹²

Consta na tabela 1 um exemplo do inventário do ciclo de vida do fertilizante fosfatado superfosfato triplo (TSP). O sistema de produto para esse caso está ilustrado na figura 5.

FIGURA 5

Sistema de produto do superfosfato triplo (TSP)



¹² *Unidade funcional*: desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência em um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ABNT NBR ISO 14040).

TABELA I

Inventário do ciclo de vida do superfosfato triplo (TSP)

Aspecto ambiental	Unidade	(Unidade/1.000 kg TSP)
ENTRADAS		
Rocha fosfática	t	9,95
Enxofre	kg	331
Água	t	23,2
Energia elétrica	MJ	480
SAÍDAS		
Emissões para o ar		
CO ₂	kg	501
SO ₂	kg	2,95
Emissões para a água		
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	kg	1,90
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	g	106
Emissões para o solo		
Enxofre	kg	8,67
Catalisador (V ₂ O ₅)	kg	48,3

Fonte: Gil Anderi da Silva & Luiz Kulay, *Environmental Performance Comparison of Wet and Thermal Routes for Phosphate Fertilizer Production Using LCI – a Brazilian Experience*, LCA/LCM 2003 Conference, Seattle, 2003.

Outro tratamento dos dados que é relativamente frequente nos estudos de ACV é a *alocação*. Esse procedimento é adotado nos casos em que de uma mesma unidade de processo sai, além do produto principal, pelo menos mais um coproduto. Nesses casos, a carga ambiental acumulada até esse ponto deve ser dividida e alocada entre os diversos produtos.

No caso do exemplo do TSP, verifica-se que o subsistema *ácido sulfúrico* gera coprodutos: ácido sulfúrico e vapor. Assim, é necessário distribuir a carga ambiental acumulada até esse subsistema entre os dois coprodutos. A escolha do critério a ser usado para fazer a alocação é uma definição subjetiva que deve ser feita quando da definição do escopo do estudo. Sempre que possível devem-se usar critérios baseados em parâmetros físicos; caso não seja possível, pode ser usado critério baseado no valor econômico dos bens em análise. Voltando ao exemplo do TSP, poder-se-ia adotar o critério de massa, ou seja, a carga ambiental acumulada seria distribuída entre o ácido sulfúrico e o vapor, em quantidades proporcionais às respectivas massas.

O produto final da etapa de análise de inventário é a relação dos aspectos ambientais quantificados, associados ao ciclo de vida do produto. A partir desse resultado será conduzida a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados ao ciclo de vida em análise.

Avaliação de impactos do ciclo de vida

A etapa de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)¹³ consiste no exame do sistema de produto, do ponto de vista ambiental, a partir dos dados do inventário. Isso é feito por meio da análise dos potenciais impactos ambientais associados aos aspectos ambientais identificados na etapa de análise de inventário. O uso do termo *potencial* se deve ao caráter sistêmico da ACV, resultante da amplitude da faixa de variação espacial (geográfica) e temporal da ocorrência das interações entre o sistema de produto e o meio ambiente.

O primeiro passo para a AICV é a definição das categorias de impacto a serem consideradas. As categorias usualmente selecionadas são as seguintes:

- Consumo de recursos naturais – inclui recursos materiais e energéticos, tanto renováveis quanto não renováveis.
- Aquecimento global (também conhecido por *efeito estufa*) – provocado pelo acúmulo, na atmosfera, de determinados gases (por exemplo, gás carbônico e metano) que retêm parte da radiação

¹³ *Avaliação do impacto do ciclo de vida*: fase da avaliação do ciclo de vida dirigida à compreensão e à avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto (ABNT NBR ISO 14040).

infravermelha emitida pela Terra, provocando o aumento das temperaturas médias globais.

- Redução da camada de ozônio – consiste na redução da quantidade de ozônio (O_3) presente na estratosfera, por reação com alguns gases (como halocarbonos: CFC11, CFC12, Halon 1301, entre outros), provocando a diminuição da capacidade de filtração da radiação ultravioleta proveniente do sol, que tem essa camada.
- Acidificação – consiste no aumento do teor de acidez da atmosfera provocado pela emissão de gases ácidos, tais como óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio, que são dissolvidos pela umidade atmosférica e retornam à crosta terrestre na forma de ácidos.
- Eutrofização (ou nutrificação) – consiste no acúmulo dos nutrientes nitrogênio e fósforo nos corpos d'água e nos solos, em decorrência do descarte de rejeitos que contêm esses elementos químicos.
- Formação fotoquímica de ozônio – consiste na formação de ozônio nas camadas baixas da atmosfera por reações químicas entre óxidos de nitrogênio e alguns hidrocarbonetos leves (resultantes de emissões), em presença da radiação ultravioleta solar.
- Toxicidade – resultante do descarte de rejeitos tóxicos no meio ambiente; em geral, são consideradas separadamente a toxicidade humana e a ecotoxicidade, que pode ser aquática e terrestre.

Uma vez estabelecidas as categorias de impacto, realiza-se a *classificação*, procedimento que consiste em correlacionar os dados do inventário (aspectos ambientais) com os efeitos ambientais (categorias de impacto) aos quais cada aspecto pode, potencialmente, contribuir (tabela 3). Assim, por exemplo, o aspecto ambiental *emissão de dióxido de enxofre (SO_2)* é classificado como podendo contribuir potencialmente para categorias ambientais da acidificação e da toxicidade humana. Com o objetivo de ilustrar a execução da etapa de AICV, serão usados valores do extrato de inventário da produção de superfosfato simples (SSP) que aparece representado na tabela 2.

TABELA 2

Inventário do ciclo de vida do superfosfato simples (SSP)

- Aspecto ambiental	Unidade	(Unidade/1.000 kg SSP)
Emissões para o ar		
Gás carbônico (CO ₂)	kg	32,3
Monóxido de carbono (CO)	g	20,0
Dióxido de enxofre (SO ₂)	g	526
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	g	567

Fonte: Luiz Kulay, *Desenvolvimento de modelo de análise de ciclo de vida adequado às condições brasileiras – aplicação ao caso do superfosfato simples*, dissertação de mestrado (São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PQI/EPUSP), 2000).

A tabela 3 exemplifica a aplicação do procedimento de *classificação* em um estudo de ACV de um fertilizante fosfatado, feita a partir dos dados da tabela 2.

TABELA 3

Classificação de aspectos ambientais nas categorias de impacto

- Aspecto ambiental	Efeitos ambientais
CO ₂	PAG
CO	PTH
SO ₂	PAC; PTH
NO _x	PAC; PEu

Legenda: PAG – Potencial de Aquecimento Global; PTH – Potencial de Toxicidade Humana; PAC – Potencial de Acidificação; e PEu – Potencial de Eutrofização.

Analisando mais a fundo o conteúdo da tabela 3, será possível constatar que um mesmo aspecto ambiental pode, potencialmente, contribuir para mais do que um efeito. Assim, o dióxido de enxofre (SO_2) pode contribuir tanto para a toxicidade humana quanto para a acidificação, e os óxidos de nitrogênio (NO_x) podem contribuir para a acidificação e para a eutrofização. Observa-se também que certo efeito ambiental pode ter a contribuição de mais do que um aspecto ambiental. É o caso da acidificação que pode ter a contribuição do SO_2 e do NO_x e o da toxicidade humana que pode ter a contribuição do monóxido de carbono (CO) e do SO_2 .

Após a classificação é feita a *caracterização*, que pode ser entendida como a quantificação do resultado da classificação. Nessa fase é calculado, para cada uma das categorias de impacto selecionada, um *indicador de categoria de impacto do ciclo de vida*¹⁴ que mede a magnitude dos potenciais impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida do produto.

Para calcular um indicador único para cada categoria de impacto, é necessário converter os valores de todos os aspectos ambientais que contribuem para essa categoria a uma mesma base; isso é feito por meio dos *fatores de caracterização*.¹⁵

O estabelecimento dos fatores de caracterização é feito, sempre que possível, com base em modelos científicos que simulam os mecanismos por meio dos quais cada aspecto ambiental contribui para a categoria ambiental. Elaborado o modelo, é definida para cada categoria uma substância-padrão em relação à qual são convertidas as quantidades equivalentes dos outros aspectos ambientais.

No caso, por exemplo, da categoria ambiental *acidificação*, o modelo adotado é baseado na capacidade de liberar prótons (H^+) do aspecto ambiental em consideração. Assim, cada molécula de cloreto de hidrogênio (HCl) tem capacidade de liberar 1 próton, enquanto cada molécula de SO_2 tem capacidade de gerar 2 prótons. Isso significa que, do ponto de vista molar, o potencial de contribuição para a acidificação de 1 mol SO_2 é o dobro do potencial de acidificação de 1 mol HCl .

¹⁴ *Indicador de categoria de impacto do ciclo de vida*: representação quantificável de uma categoria de impacto (ABNT NBR ISO 14044).

¹⁵ *Fator de caracterização*: fator derivado de um modelo de caracterização que é aplicado para converter os resultados associados do ICV à unidade comum do indicador de categoria (ABNT NBR ISO 14044).

A substância adotada como padrão para a determinação dos fatores de caracterização, no caso da categoria ambiental *acidificação*, foi o dióxido de enxofre (SO₂). Pela aplicação do modelo desenvolvido para essa categoria de efeito ambiental, foi determinado que 0,70 g de dióxido de nitrogênio (NO_x) contribuem para a acidificação tanto quanto 1 g de SO₂, ou seja, o *fator de caracterização* do NO₂ é igual a 0,70 g de SO₂ equivalente/g de NO₂. Na tabela 4 são apresentados fatores de caracterização para as categorias de efeitos ambientais relacionadas aos aspectos ambientais outrora indicados na tabela 2.

TABELA 4

Fatores de caracterização para algumas categorias de impacto ambiental

Aspecto ambiental	PAG	PTH	PAC	PEu
CO ₂	1,00	—	—	—
CO	—	1,20E-02	—	—
SO ₂	—	1,2	1,00	—
NO _x	—	0,78	0,70	0,13

Fonte: United Nations Environmental Programme, Industry and Environment, *Life Cycle Assessment: What it is and how to do it?* (Paris: 1996).

Conhecidos os fatores de caracterização é possível calcular, para cada categoria de impacto, as contribuições de cada um dos aspectos ambientais que para ela contribuem, multiplicando-se o valor do aspecto pelo respectivo fator de caracterização. Dessa forma, as contribuições de todos os aspectos ambientais estarão expressas em uma mesma unidade (massa equivalente da substância-padrão) e sua soma será o indicador de categoria de impacto. O conjunto dos indicadores de categoria de impacto é denominado perfil ambiental do produto.

A tabela 5 mostra os valores dos indicadores de categoria de impacto e o perfil ambiental para o exemplo da ACV da produção de SSP.

TABELA 5

Indicadores de categoria de impacto de ciclo de vida para ACV de superfosfato simples

Aspecto ambiental	PAG	PTH	PAC	PEu
(kg matéria/UF)	(kg CO ₂ eq/UF)	(kg I,4-DB/UF)	(kg SO ₂ eq/UF)	(kg PO ₄ ⁻³ eq/UF)
CO ₂	32,3	-	-	-
CO	2,00E-02	2,40E-04	-	-
SO ₂	5,26E-01	0,63	5,26E-01	-
NO _x	5,67E-01	0,44	3,97E-01	7,37E-02
Perfil ambiental	32,3	1,07	9,23E-01	7,37E-02

A análise do perfil ambiental poderia levar o leitor desavisado a concluir que a categoria de impacto ambiental mais afetada pelo ciclo de vida do SSP é o aquecimento global (corresponde ao maior valor do indicador de categoria). Essa comparação, no entanto, não pode ser feita uma vez que os indicadores são medidos em unidades diferentes.

Para viabilizar a comparação entre os valores dos indicadores, pode ser feita a sua *normalização*, dividindo-se os valores indicadores por um valor de referência que pode ser, por exemplo, o valor das emissões totais para uma dada área, que pode ser global, regional ou local.¹⁶ Observe que a escolha da referência a ser usada é subjetiva e não é feita em base científica. Como todas as outras decisões subjetivas feitas ao longo do estudo, a escolha deve ser apresentada de forma transparente no relatório final.

¹⁶ ABNT NBR ISO 14044.

TABELA 6

Valores utilizados pela normalização e exemplos de resultados desse procedimento

Categoria	Valor global		Indicadores de categoria		Valor normalizado
	Unidade	Valor	Unidade	Valor	(ano*10 ⁻¹⁷)
PAG	10 ¹² kg CO ₂ eq/ano	37,7	kg CO ₂ eq/UF	32,3	0,86
PTH	N/D		kg 1,4DCBeq/UF	1,07	N/C
PAC	10 ⁹ kg SO ₂ eq/ano	286	kg SO ₂ eq/UF	9,20E-01	4,07
PEu	10 ⁹ kg PO ₄ ³⁻ eq/ano	149	kg PO ₄ ³⁻ eq/UF	7,37E-02	0,50

Legenda: N/D – não disponível; N/C – não calculado.

A título de ilustração, apresenta-se na tabela 6 a normalização feita para o estudo de ACV do SSP, usando como referência os valores globais das categorias ambientais para o ano de 1992.¹⁷ Considerando-se os resultados obtidos desse tratamento (que passam a ser expressos em uma mesma unidade), é possível verificar que, em termos relativos, o principal efeito ambiental do ciclo de vida do SSP é o potencial de acidificação.

Considerações finais

A ACV vem se tornando cada vez mais uma importante ferramenta da gestão ambiental talvez pelo fato de ser a única que permite uma abordagem sistêmica e a comparação do desempenho ambiental de produtos que exercem a mesma função. A abordagem da ACV é feita de uma forma

¹⁷ United Nations Environmental Programme, *Life Cycle Assessment: What It Is and How to Do It?* (Paris: Setac, 1996),

altamente estruturada que envolve várias questões ambientais simultaneamente, além de ser baseada em sistemas quantificáveis sendo, portanto, uma técnica objetiva.

Apesar do potencial que representa para os tomadores de decisão, a ACV apresenta ainda algumas limitações a serem transpostas para que seja possível consolidar sua contribuição à sustentabilidade no planeta.

Houve uma época – meados da década de 1980 – em que a credibilidade da ACV foi posta em dúvida, em razão, por exemplo, de diferentes estudos comparativos de mesmos produtos apresentarem resultados opostos. Ainda que houvesse acusações de fraude, isso não necessariamente ocorria. A preocupação surgida na comunidade da ACV levou a minuciosos estudos sobre a origem das diferenças, e foi constatado que, em virtude da complexidade da metodologia, os critérios adotados para se definir os procedimentos de coleta de dados poderiam influir significativamente nos resultados finais.

Aliado a isso, verifica-se que a adoção desses critérios é ditada principalmente pelos objetivos e pelo escopo do estudo, ou seja, a definição de vários procedimentos a serem usados na execução dos estudos ainda é feita com base em critérios subjetivos e, como tal, sujeitos muitas vezes a inconsistências.

A solução paliativa usada até agora como uma tentativa de contornar essa limitação encontra-se na norma ABNT NBR ISO 14040, que dispõe como importante requisito a total e absoluta transparência na elaboração do relatório do estudo, o qual deve conter explicitamente todas as premissas e hipóteses adotadas ao longo da execução do estudo.

Nesse sentido, faz-se necessário um grande investimento intelectual no desenvolvimento e na consolidação de uma metodologia de execução de estudos de ACV que viabilize a obtenção de resultados consistentes e reproduzíveis sem prejudicar o atingimento dos inúmeros e bastante distintos objetivos aos quais se presta a ferramenta.

Outro obstáculo que dificulta a maior difusão do uso da ACV é ainda o custo de sua execução, o qual é devido, principalmente, ao enorme número de dados que deve ser coletado.

Em muitos casos, o processo de coleta de informações acaba sendo inviabilizado por motivos diversos, tais como o desinteresse de algumas

empresas ou de alguns setores produtivos, a preservação da confidencialidade do uso de determinados insumos e tecnologias ou a reticência de muitas corporações com receio de despertar a atenção de agências ambientais e de organizações não governamentais.

Uma solução proposta para atenuar a limitação relativa à coleta de dados e viabilizar a ACV é a disponibilização de *bancos de dados*. Esses bancos de dados são constituídos pelo inventário do ciclo de vida de elementos que são comuns aos ciclos de vida de muitos produtos. Como exemplos de elementos elegíveis para compor bancos de dados podem ser citados: energia (elétrica e térmica), materiais (aço, alumínio, polietileno, PVC, PET, cimento, vidro, papel) e transporte.

Ressalte-se que os bancos de dados têm que ter um caráter regional, uma vez que os inventários do ciclo de vida de um dado elemento constituinte de um banco de dados podem diferir significativamente de região para região.

Como exemplo, pode-se citar o caso da energia, elemento comum ao ciclo de vida de todos os produtos. Considerando-se as diferenças entre a matriz energética brasileira e, por exemplo, a francesa, fica evidente que seria absurdo usar um banco de dados relativo à matriz energética francesa em estudos de ACV de produtos brasileiros.

A maioria dos *softwares* de apoio à execução de estudos de ACV disponíveis no mercado traz, incorporados, extensos bancos de dados. Dado o caráter regional dos bancos de dados, o uso indiscriminado desses *softwares* não é aconselhável.

Para ilustrar e alertar sobre esse risco, vale citar um estudo de ACV de geração de hidroeletricidade¹⁸ no Brasil.

No referido estudo foi adotado como modelo representativo do sistema de produto a usina de Itaipu e, dada a inexistência de bancos de dados brasileiros, foi usado um *software* de origem holandesa. A escolha desse *software* deveu-se, entre outros, ao fato de que ele possibilita, em certa medida, o acesso e a adaptação de alguns dos bancos de dados a ele

¹⁸ Flávio de Miranda Ribeiro, *Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil. Usina de Itaipu: primeira aproximação*, dissertação de mestrado (São Paulo: Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (PIPGE/ USP), 2004).

incorporados, visando assim a minimização das imprecisões decorrentes do uso de bancos de dados europeus.

Entre outras correções, foi possível fazer a adaptação do banco de dados relativo ao inventário do aço (um dos principais materiais consumidos na construção da usina de Itaipu), substituindo o carvão mineral (que é o tipo de carvão usado para a fabricação do aço na Europa) pelo carvão vegetal (que é o usado no Brasil).

Esse exemplo ilustra a importância e a criticidade da questão da disponibilidade de bancos de dados regionais para a consolidação da ACV.

Como conclusão, fica a mensagem de que é bastante perceptível nos diversos segmentos da economia brasileira a intenção de incorporar a ACV na “caixa de ferramentas” de tomada de decisões estratégicas dos mais diversos setores. Uma das várias iniciativas (e talvez a mais significativa) que servem para comprovar essa afirmativa é a recente criação da Associação Brasileira do Ciclo de Vida. No entanto, para atingir esse importante objetivo, devemos envidar uma coordenação de esforços no sentido de formar recursos humanos capacitados à execução de estudos de ACV e para construir o banco de dados brasileiro.