



# INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

## ACV de Luminárias Públicas: Proposta de Mapeamento do Fluxo de Produção para Inventário

O. Sanchez Júnior

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, [osanchez@ipt.br](mailto:osanchez@ipt.br)

---

### Resumo

Considerando os esforços nas várias instâncias de governo e do setor produtivo para minimizar o consumo de energia elétrica para iluminação e, com isso, obter ganhos orçamentários, verifica-se uma generalização de procedimentos voltados quase que exclusivamente para a substituição de tecnologias a partir de uma análise simplesmente focada na economia de energia. No entanto, há uma série de parâmetros cuja análise deveria compor um inventário e, com isso, auxiliar as decisões das prefeituras e concessionárias de energia, além de balizar os projetos de fabricação. Este inventário subsidiaria decisões com o foco na sustentabilidade do uso dos equipamentos de iluminação pública e, com isso, haveria uma agregação de valor e promoção de maior responsabilidade ambiental no âmbito das políticas públicas aplicáveis. O presente trabalho propõe um mapeamento do fluxo de produção de luminárias de iluminação pública a ser utilizado como referência para a aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. Com esta metodologia, os resultados poderão fornecer subsídios para o desenvolvimento de produtos sob a ótica da sustentabilidade.

*Palavras-Chave: análise do ciclo de vida de luminárias, inventário para ACV de luminárias.*

---

### 1. Introdução

Tecnologia, inovação e sustentabilidade são valores cada vez mais presentes no mundo corporativo e na gestão pública. Apesar da grande crise do petróleo da década de 80, não houve um esforço continuado no desenvolvimento de produtos visando prevenir crise de oferta e, no entanto, a demanda por energia continuou aumentando conforme o desenvolvimento das nações. Portanto, produtos inovadores quase sempre estiveram vinculados ao aumento de consumo.

Por outro lado, com o advento de desastres ambientais nas décadas de 70 a 90, provocados direta ou indiretamente pela ação humana, surgiram fóruns e iniciativas destinadas a reavaliar e reposicionar agentes públicos e privados na reflexão sobre o papel das organizações na busca de um mundo mais ambientalmente sustentável. Na década de 90 já se faziam presentes os elementos que levariam a um novo desalinhamento entre demanda e oferta de energia, o que, aliado à maturidade do debate internacional promovido pelos seguidos painéis da ONU sobre mudanças climáticas e aquecimento global, acabaria por oferecer novos papéis à inovação tecnológica, assim, o conceito de sustentabilidade passa a ter contornos mais práticos.

Neste contexto, considerando que pouco mais de 20% de toda energia elétrica mundial gerada, transmitida e distribuída é consumida com iluminação (cerca de

7% com iluminação pública), é de se esperar que um grande esforço seja realizado pelos governos para melhorar a performance de suas redes de iluminação (somente a Europa gasta 36,4 TWh ou quase 3 Bilhões de Euros no consumo anual), e isto movimenta um grande mercado (82 Milhões de Euros anuais na Europa com vendas de lâmpadas e luminárias) que está relacionado diretamente a grandes emissões de gases de efeito estufa (16,4 Milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes) além de outros impactos ambientais<sup>1</sup>.

A seguir pode-se verificar um esquema do equipamento básico para iluminação pública composto de braço, cabos de alimentação, luminária (corpo), lâmpada (interna), reator, ignitor, capacitor, soquete e conexões utilizado para iluminação pública.

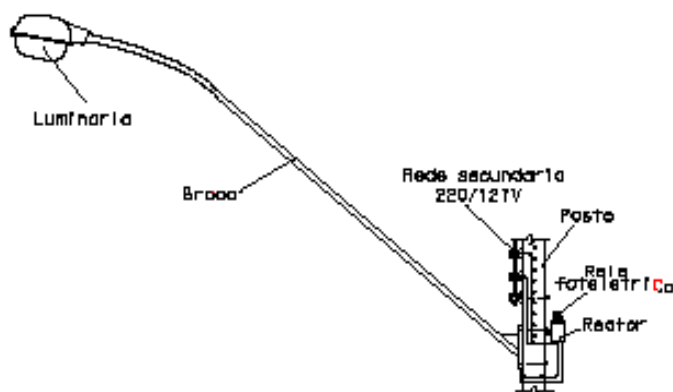


Fig. 1 – Equipamento Básico para Iluminação Pública.

Diante do crescente custo de insumos destes equipamentos e devido à competitividade cada vez mais presente do mercado, um número maior de empresas vem incorporando em suas estratégias o conceito de **sustentabilidade** quando pensam em inovar para poder melhor competir. Conscientes desta situação e interessados em agregar valores na produção, estes agentes passaram a implementar práticas e técnicas para o desenvolvimento de produtos sustentáveis.

O presente trabalho pretende contribuir com a elaboração de estratégias para a promoção de inovações necessárias para o desenvolvimento de produtos de iluminação pública sustentáveis.

## 2. Método Utilizado

A figura 2 apresenta um esquema típico bastante aceitável para as empresas maduras na inovação de produtos, e que normalmente conseguem algum tipo de sucesso no mercado. Na fase de projeto conceitual, um dos métodos utilizados para pensar o projeto conceitual do produto e suas variáveis que vêm apresentando bons resultados é a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV ou *Life Cycle Assessment* – LCA<sup>2, 3</sup>.

A utilização do método de ACV pode estar presente em muitas etapas e atividades no campo da produção, consumo e descarte destes produtos. Em particular, a aplicação do método justifica-se devido à necessidade do desenvolvimento de novas ferramentas estimulado pela dimensão ampliada que a questão ambiental

passou a representar; pela complexidade crescente dos processos e produtos, pela crescente preocupação com a prevenção e a precaução (novos paradigmas para planejamento da produção) e pela incorporação da variável ambiental pelo mercado.

A Análise do Ciclo de Vida de um produto deve levar em consideração as etapas de Definição do Objetivo e Escopo, a Análise do Inventário, a Avaliação de Impacto Ambiental e a Interpretação dos dados obtidos (vide figura 3). A partir desse método pode-se verificar que o uso sustentável se torna mais racional, econômico e efetivo do que uma ação na direção de minimizar efeitos indesejáveis gerados ao longo do ciclo de vida de um produto. Atualmente o conceito é estendido a processos, programas, políticas e costuma-se dizer que esse "ciclo de vida" compreende todas as etapas e processos pelos quais passam os produtos, do "berço ao túmulo". Para viabilizar a obtenção de dados mais precisos e adequados à análise, é necessário definir um sistema de produto sobre o qual será realizado o estudo, conforme esquema da figura 4.

Os limites do problema ficam mais claros a partir do momento em que o sistema a ser estudado é modelado e identificado com um conjunto de processos inter relacionados. Por meio de um fluxograma é possível visualizar claramente o que seria do escopo do estudo e o que estaria referenciado como parte de um outro sistema externo e vinculado ao problema. Há que se considerar que o sistema considerado não está isolado dos demais processos dentro da cadeia produtiva, porém a definição das unidades do processo sob análise facilita a tomada de dados referentes ao fluxo de materiais, energia e produtos.

Esta modelagem viabilizará o levantamento e organização de todas as entradas e saídas do sistema em análise. Esses dados constituirão a base para a identificação dos aspectos e impactos ambientais, seu dimensionamento, sua caracterização e também ajudarão a definir as opções de modificação de produtos e processos e de gerenciamento de recursos. Assim, a realização de um inventário é necessária para viabilizar as seguintes atividades:

- Coleta de dados e aspectos qualitativos (primários e de banco de dados);
- Cálculos;
- Validação preliminar de resultados;
- Agregação dos dados (por insumo, por tipo de impacto, etc.);
- Revisão de fronteiras, e outras atividades.

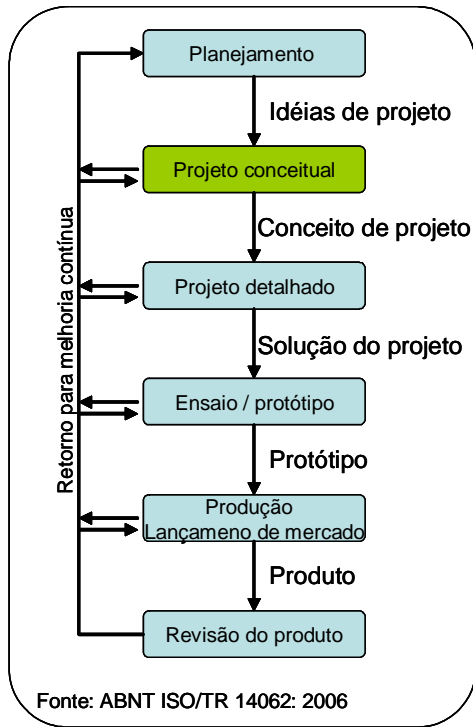


Fig. 2 - Fases genéricas para desenvolvimento de produtos

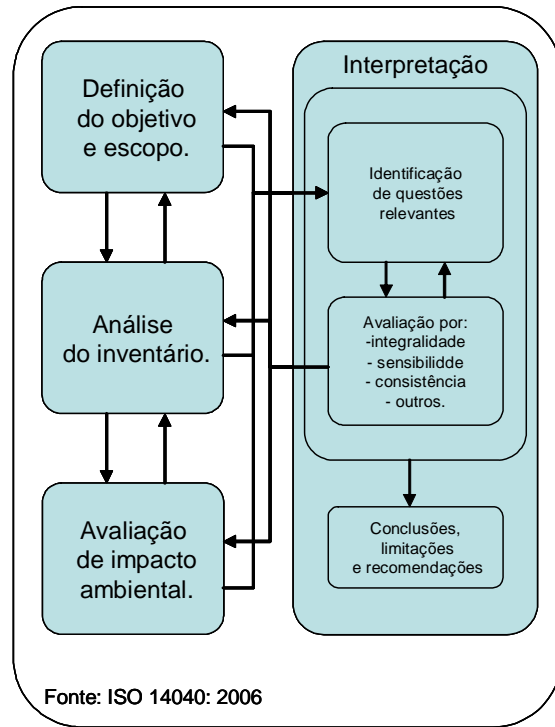


Fig. 3 - Estrutura de uma ACV

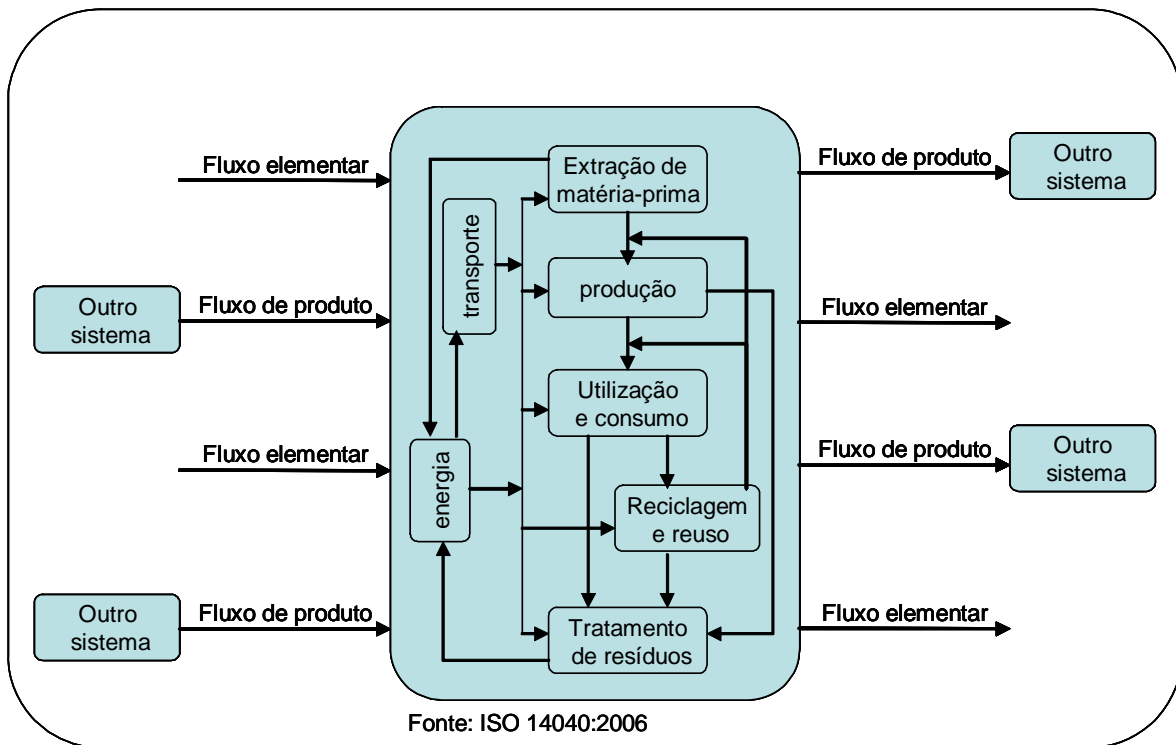


Fig. 4 – Sistema para ACV

### 3. Proposta de Sistema de Produto

Para a aplicação do método de ACV ao sistema considerado, propomos a utilização do fluxograma da figura 5 como ponto de partida. Neste sistema, todos os principais processos presentes no ciclo de vida de luminárias públicas foram identificados e inter relacionados. É evidente que cada processo pode ser desagregado gerando a possibilidade de se detalhar sub-processos que, por ventura, mostrarem-se relevantes no que diz respeito a alguma variável que se pretende dimensionar melhor.

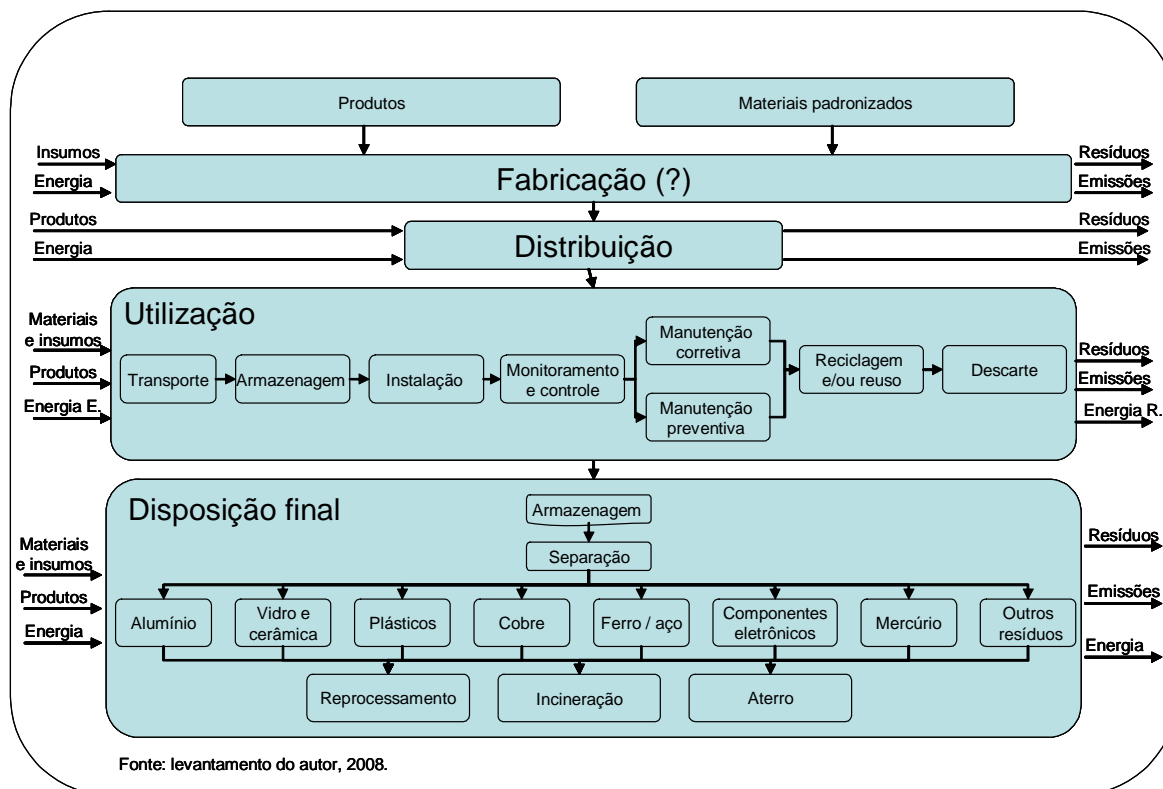


Fig. 5 – Fluxograma do Ciclo de Vida de Luminárias Públicas

Pelo esquema acima podemos identificar com maior propriedade os fluxos de materiais, insumos, produtos e energia necessários à realização das vários processos envolvidos no ciclo de vida de luminárias públicas. Também ficam evidenciados os fluxos de resíduos, emissões e energia gerados pelos processos presentes.

Como a perspectiva adotada foi a de desenvolvimento do produto, apesar de muitos aspectos que devem ser relacionados ao desenvolvimento do produto não estão necessariamente no “chão de fábrica”<sup>4</sup>, detalhamos na figura 6 o processo de fabricação. Desta forma podemos desagregar e detalhar mais os sub-processos presentes nesta fase da vida da luminária.

O fluxograma a seguir considera a fabricação de luminárias com o corpo em alumínio fundido ou estampado, assim como a fabricação de luminárias com o corpo em plástico. Alguns processos são considerados comuns mas há algumas particularidades em cada processo que faz diferença quando se calcula o impacto ambiental vinculado.

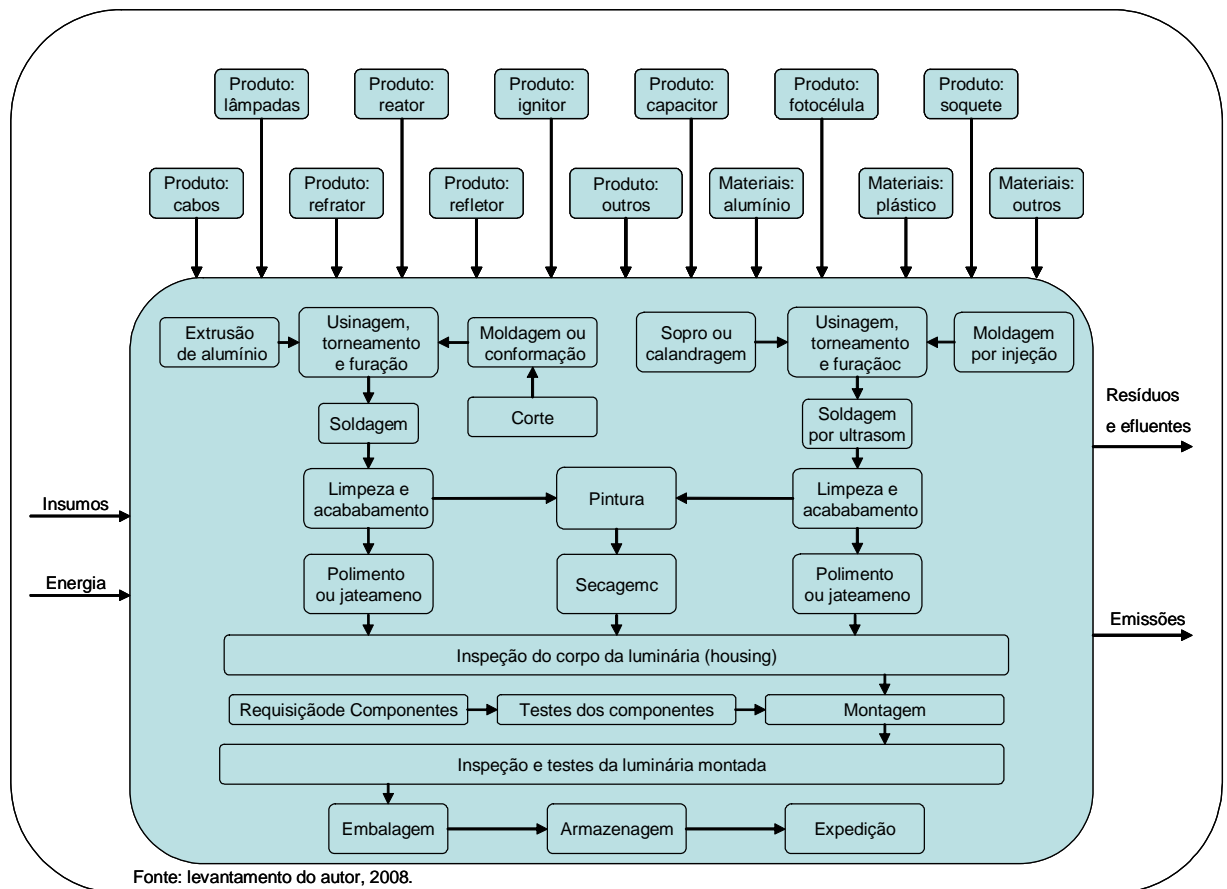


Fig. 6 - Fluxograma da Fabricação de Luminárias Públicas

Desta forma pode-se verificar que há muitos processos que poderiam ser abordados, de acordo com a estratégia da empresa no desenvolvimento do seu produto e inovação, dentre as quais podemos citar: reduzir consumo de energia; ampliar a eficiência luminosa; aumentar a vida útil; substituir materiais; reduzir falhas em uso; reduzir resíduos, emissões e efluentes; adaptar o design a um propósito específico; outros.

Há relatos de que uma alteração do projeto do produto pode levar de 6 meses a dois anos e consumir muitas horas de trabalho. Portanto, a realização de um inventário bem estruturado é fundamental para minimizar estes custos de análise e viabilizar decisões amparadas por dados objetivos.

#### 4. Inventário

Há várias técnicas possíveis para a elaboração de inventários<sup>5</sup>. As técnicas baseadas em análise de processos podem ser realizadas pela representação em fluxogramas ou matrizes. A análise de entradas e saídas também pode ser prevista na estruturação de inventários e ocorrem ainda as técnicas chamadas de híbridas, que utilizam elementos das anteriores, conforme o objetivo que se pretende atingir.

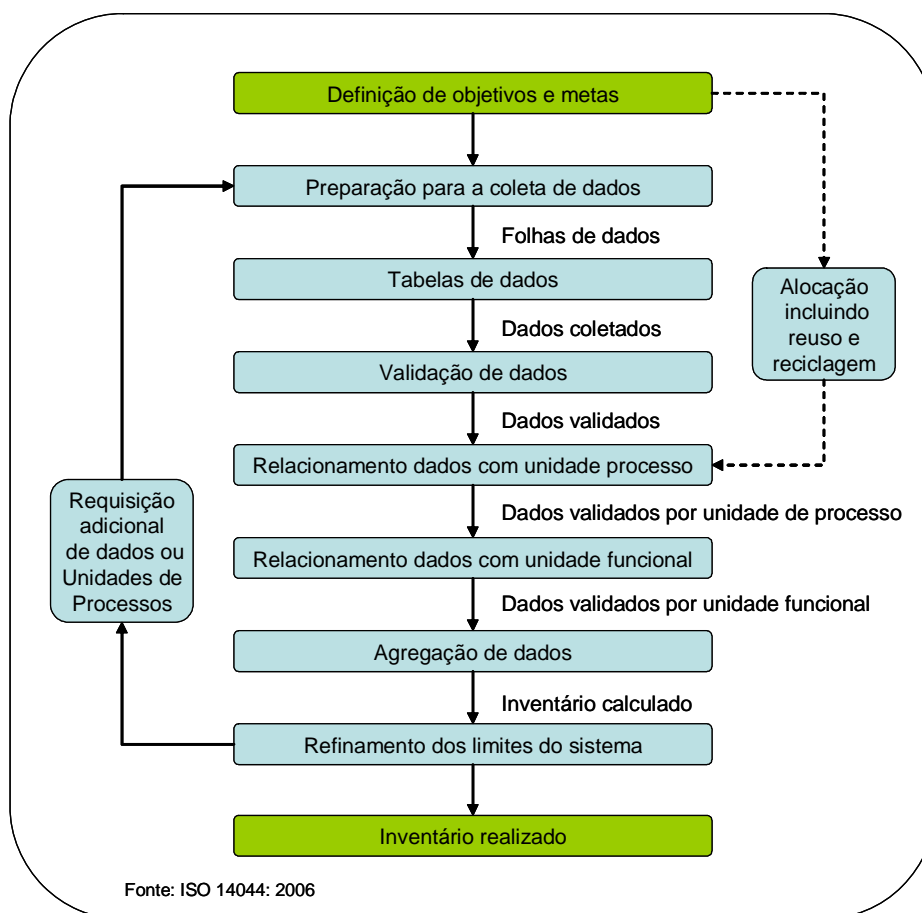


Fig. 7 - Procedimentos simplificados para análise do inventário.

Para viabilizar a obtenção de dados mais precisos e adequados à análise, é necessário definir um sistema de produto sobre o qual será realizado o estudo, conforme esquema da figura 5.

Para o caso presente, foi elaborada uma proposta de folha de dados representada pelas tabelas a seguir.

Tabela 1 – Dados do fluxo de entrada / saída (energia, materiais, produtos, insumos, etc)

Descrição	Quantidade	Categoria	Material ou produto vinculado	Processo vinculado

Na primeira coluna devem ser descritos os fluxos de entrada. Tanto quanto possível deve-se evitar a estimativa da quantidade e as unidades devem ser definidas em função da viabilidade de se totalizar as contribuições individuais. As quantidades também podem ser obtidas junto a fabricantes e bases de dados públicas ou privadas.

A categoria poderá ser definida em função dos impactos ambientais associados ao fluxo, de forma que seja possível quantificar ou ponderar seus efeitos para o aspecto que se pretende focar. Havendo dificuldade para estabelecer as categorias, pode-se eleger uma situação ou um produto de referência, a fim de que se possa comparar o efeito deste fluxo considerado para o resultado que se quer evitar ou promover.

A coluna "Material ou produto vinculado" destina-se a segregar as contribuições mais relevantes de um dado material ou produto utilizado como componente na fabricação ou em outras fases da vida do produto. Desta forma é possível avaliar qual é a principal origem de um dado efeito relevante. A coluna "Processo vinculado" também se destina a permitir segregar a contribuição dos processos para um dado efeito que se deseja avaliar.

A seguir relacionamos alguns exemplos de fluxos presentes, relacionados a impactos ambientais e/ou desempenho ambiental a serem estudados.

Tabela 2 – Fluxos presentes no ciclo de vida de luminárias

Vidro
Água
Papel (embalagens)
Energia elétrica
Metais em lâmpadas: chumbo, níquel, ferro, alumínio, cobre, tungstênio, molibdênio, ítrio, vanádio, zinco, fósforo, bário, óxidos de boro, óxido de magnésio, mercúrio, estanho, antimônio, aço inox, CaCO <sub>3</sub>
Gases em lâmpadas: argônio, neon
Fabricação de lâmpadas: fundidos de ferro, cobre, zinco, alumínio, magnésio, plásticos
Fabricação de reatores: componentes eletrônicos, ferro, cobre, epóxi, plásticos, Óleo/fluido refrigerante
Fabricação de luminárias: aparas de alumínio e outros metais, aparas de plástico, resíduos de eletrodos para solda, resíduos de rebolos, resíduos de tintas e solventes, amianto, óleo lubrificante, algodão (estopa), finos metalúrgicos, areia para moldes
Combustíveis para transporte (diesel, álcool, gasolina)
-----

Tabela 3 – Exemplos de impactos relevantes.

Energia consumida
Água consumida
Geração de resíduos para disposição em aterro (não perigosos)
Geração de resíduos para incineração (perigosos)
Geração de gases de efeito estufa
Redução da camada de ozônio
Acidificação do solo
Geração de compostos voláteis
Geração de poluentes orgânicos persistentes
Geração de metais pesados
Geração de materiais particulados
Eutroficação da água
-----

Cada um destes fluxos deve causar impactos ambientais. A contribuição de cada fluxo para um dado impacto de interesse deve ser determinado pela consulta à



base de dados ou ainda avaliada, no limite, com base em trabalhos publicados. A tabela anterior traz uma relação de alguns impactos relevantes causados por estes fluxos. Com este conjunto de referências (unidade funcional) será possível relacionar os dados de entrada e saída e agregar, com isso, versatilidade na análise dos dados para cada situação sob análise ou para cada arranjo hipotético formulado.

## 5. Análise do Inventário

Sob diferentes critérios, os impactos decorrentes dos aspectos inventariados envolvem as seguintes tarefas.

- **Classificação** ou agregação dos impactos em categorias homogêneas:
  - que modificam a qualidade dos ecossistemas;
  - que modificam a qualidade de vida, incluída a saúde humana (por exemplo: segurança e desempenho de produtos);
  - segundo o uso dos recursos naturais;
  - e segundo o bem estar social.
- **Caracterização** dos impactos (avaliação da magnitude dos impactos potenciais nas principais categorias);
- **Valoração:** atribuição de valores relativos ou pesos aos diferentes impactos. Há que se considerar o peso da subjetividade e importância de parâmetros de referência. A título de exemplo, segue uma Classificação possível para os tipos de Produtos decorrentes da aplicação do método:
  - **Tipo a:** Produtos típicos com vida "curta";
  - **Tipo b:** Produtos com processos "intensivos" de produção;
  - **Tipo c:** Produtos de vida longa e consumidores de recurso;
  - **Tipo d:** Produtos com requisitos especiais para disposição de resíduos.
- **Sistematização dos resultados:** estabelecimento da ordenação ideal dos elementos para constituição das conclusões finais.

## 6. Resultados

Associando-se a performance ambiental de cada opção estudada aos custos financeiros associados (produção de luminárias, consumo de energia, gastos associados ao tratamento e disposição de resíduos, dentre outros) e comparando-se à referência (unidade funcional) pode-se elaborar gráficos como a seguir.

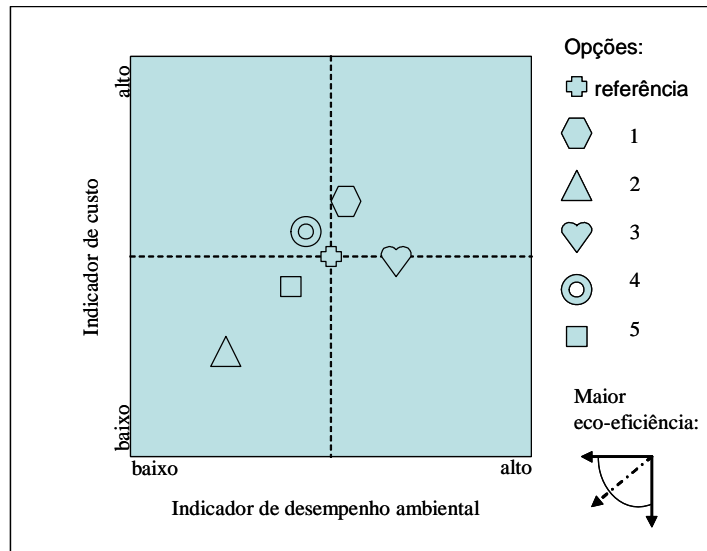


Fig. 8 – Matriz de decisão (hipotética).

Com a utilização deste tipo de gráfico é possível mapear as opções pelas melhores tecnologias e, com isso, avaliar quais são os processos merecedores de maior atenção e que seriam os maiores demandadores de inovação.

O próximo passo em andamento neste trabalho deverá ser a realização de alguns estudos de casos com o objetivo de validar a técnica.

## 7. Referências

Van Tichelen, P. et all., 2007, *Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs: Final Report – Lot 9: Public Street Lighting*, Vito.

Vigon, B. W. et all, 1993, *Life Cycle Assessment: inventory guidelines and principles* - EPA/600/R-92/245 U.S. Environmental Protection Agency - Risky Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati.

Chehebe, J. R., 1997, *Análise do Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000*, Qualtymark, Rio de Janeiro.

Kaya, D., 2003, *Energy Conservation: Opportunities in Lighting Systems* [S.I.], Energy Engineering Vol. 100, No. 4, [S.I.].

S. Suh, G. Huppes, 2005, *Methods for Life Cycle Inventory of a Product*, Journal of Cleaner Production, 13.