

INDICADORES DE ACV APLICÁVEIS À GESTÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA NA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO

OSWALDO SANCHEZ JÚNIOR

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT e
Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PPGE, São Paulo, Brasil.
osanchez@ipt.br

RESUMO

Introdução: o surgimento de preocupações com relação à sustentabilidade ambiental das atividades econômicas acabou potencializando a utilização da abordagem da Produção mais Limpa – P+L para os processos produtivos e a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV para avaliação do desempenho ambiental de produtos e serviços. O presente trabalho buscou identificar os principais indicadores da ACV que poderiam dar suporte à aplicação da P+L para o setor de iluminação. **Método:** na primeira etapa realizou-se um levantamento estruturado de trabalhos publicados que tratam de estudos de ACV em iluminação. Na segunda etapa, realizou-se uma busca em periódicos para identificar dentre os trabalhos publicados, aqueles que abordam a aplicação de ACV para o desenvolvimento de produtos para iluminação e verificou-se quais seriam os principais parâmetros que potencializariam a abordagem de P+L. Na terceira etapa propõe-se um modelo abrangente para a aplicação de critérios de P+L com suporte da técnica de ACV. **Resultados:** realizou-se uma análise dos trabalhos publicados que utilizam ACV para o projeto e desenvolvimento de produto que forneceram os possíveis indicadores para uso nas decisões da abordagem P+L. **Discussão:** a partir do levantamento elaborou-se um mapeamento das interrelações entre os processos de da ACV e a sequência da P+L e identificou-se como o fluxo de informações poderia ocorrer de forma complementar. **Conclusões:** concluiu-se pela complementaridade entre o processo de P+L e a técnica de ACV, com a vantagem da potencialização das análises sobre o desempenho ambiental do processo produtivo.

INTRODUÇÃO

A formação do setor elétrico teve início na segunda metade do século XIX, quando o uso da eletricidade para fins de iluminação pública e transporte coletivo tornou-se tão popular que causou um impacto econômico sem precedentes (Rutter, 2012). Atualmente, os recursos e serviços de iluminação são responsáveis pelo consumo de cerca de 20% em média de toda energia elétrica gerada, transmitida e distribuída, um padrão mundial para praticamente todas as matrizes energéticas elétricas (EPE, 2009).

Trata-se de um uso final presente em todos os segmentos da sociedade (indústria, comércio, residências e gestão pública) e constitui uma cadeia produtiva com mais de 60.000 empregos diretos, cerca de 670 empresas (principalmente pequenas e médias) e faturamento que deve chegar a R\$4 bilhões em 2012, com crescimento de 7 a 10% ao ano, no caso brasileiro (Abilux, 2012). A expansão do mercado de iluminação, quase sempre associado à mobilidade social e à urbanização da sociedade, levou a uma pressão sobre os custos do consumo de energia com este uso final.

Por este motivo, as inovações em produtos e projetos de instalações para iluminação recaíram sobre a busca de eficiência energética, demandando cada vez mais o emprego de ferramentas analíticas para suporte à decisão. Não obstante o esforço pela busca da eficiência energética em usos finais, alguns pesquisadores passaram a detectar que, apesar deste objetivo ter sido alcançado em muitos segmentos, houve um efeito contrário ao esperado. Ao invés de diminuir, o gasto energético acabou sendo alimentado pelas inovações. Este efeito se tornou conhecido como o “Paradoxo de Jevons” (Sorrell, 2009). Por outro lado, com a ampliação das preocupações com relação ao meio ambiente desde o final da década de 1980, a produção e consumo de energia passaram a ser considerados sob o aspecto dos impactos ambientais associados a estas atividades. Neste contexto, ferramentas como Projeto para o Meio Ambiente (*Design for Environment – DfE*) e a Avaliação do Ciclo de Vida - ACV passaram a ser empregadas para a gestão de recursos e desenvolvimento de produtos e serviços.

Em particular, os estudos de ACV passaram a interessar muitos grupos de pesquisa por seu caráter abrangente e versatilidade na escolha da profundidade em função do objeto de estudo.

Por outro lado, para a abordagem pelos conceitos de **Produção Mais Limpa** – P+L, segundo alguns autores (Chen, 1999; Barbieri, 2006; Zhao, 2012), pode-se realizar o diagnóstico ambiental dos processos associados à atividade de interesse pela aplicação de alguns critérios que permitem reconhecer:

- as principais matérias-primas, auxiliares e insumos utilizados no(s) processo(s) produtivo(s), inclusive os toxicologicamente mais importantes com respectiva quantidade utilizada e custo de aquisição;
- o volume de produtos produzidos;
- os principais equipamentos utilizados no(s) processo(s) produtivo(s);
- as fontes de abastecimento e finalidades do uso de água, bem como o tipo de tratamento utilizado;
- o consumo de energia;
- o consumo de combustíveis;

- os locais de armazenamento e formas de acondicionamento de matérias-primas, insumos e produtos;
- a conformidade ou não com a legislação ambiental;
- os resíduos sólidos gerados, a forma de acondicionamento, o local e tipo de armazenamento e a sua destinação final;
- a existência ou não de emissões atmosféricas e sistemas de controle utilizados;
- a existência ou não de efluentes líquidos e sistemas de tratamento utilizados;
- os custos relativos ao controle dos resíduos gerados (armazenamento, tratamento, transporte, disposição, e outros) e perdas de matéria-prima e insumos.

Com a motivação de promover a uniformização e integração da técnica de ACV como ferramenta de diagnóstico da P+L nesta sequencia, o presente trabalho buscou identificar os principais critérios aplicáveis necessários para o desenvolvimento de produtos para iluminação e a proposição de um procedimento para incorporá-los na aplicação da técnica..

TÉCNICAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A evolução dos conceitos e práticas de produção sustentável incorpora cada vez mais complexidade e demanda cada vez mais ferramentas analíticas. Conforme demonstrado em alguns trabalhos da OCDE (OCDE, 2009), sendo comum uma técnica complementar ou até mesmo se sobrepor ao escopo da aplicação de outra, conforme a intenção do gestor e os mecanismos disponíveis. A Figura 1 a seguir explicita o escopo de algumas dessas técnicas. Na figura observa-se a relação entre o nível em que se dá a inovação (se institucional ou no processo) e o tipo de ação possível (se técnica ou não técnica).

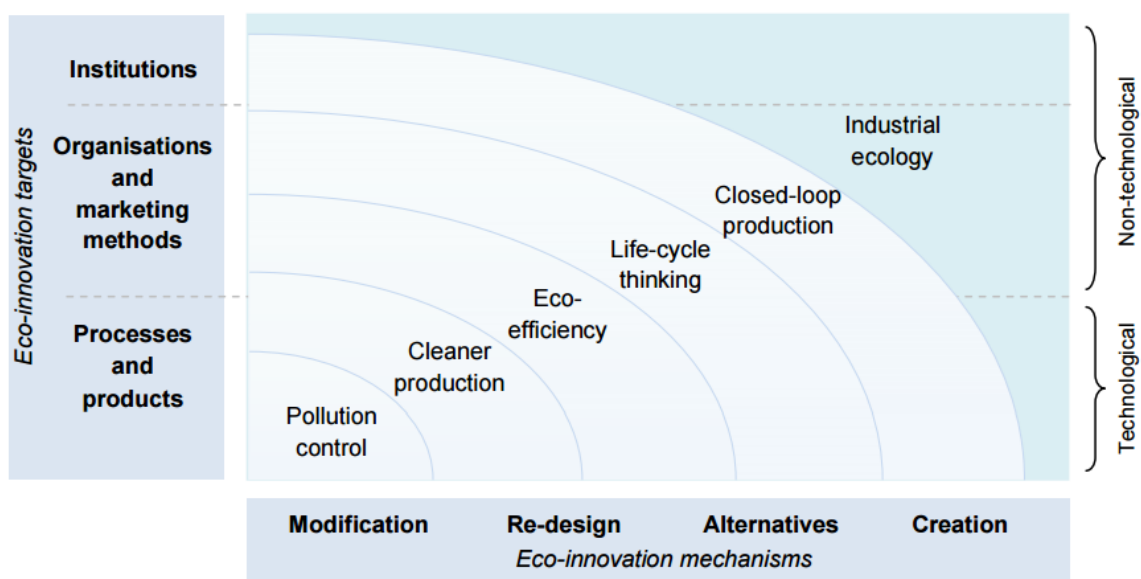


Figura 1 - A evolução e complementaridade dos conceitos e práticas de produção sustentável

Uma outra abordagem pode ser observada na Figura 2. Nesta, pode-se distinguir claramente a demanda relativa de cada técnica no que diz respeito ao trabalho e tempo necessário para se atingir os resultados esperados (Burton, 1995).

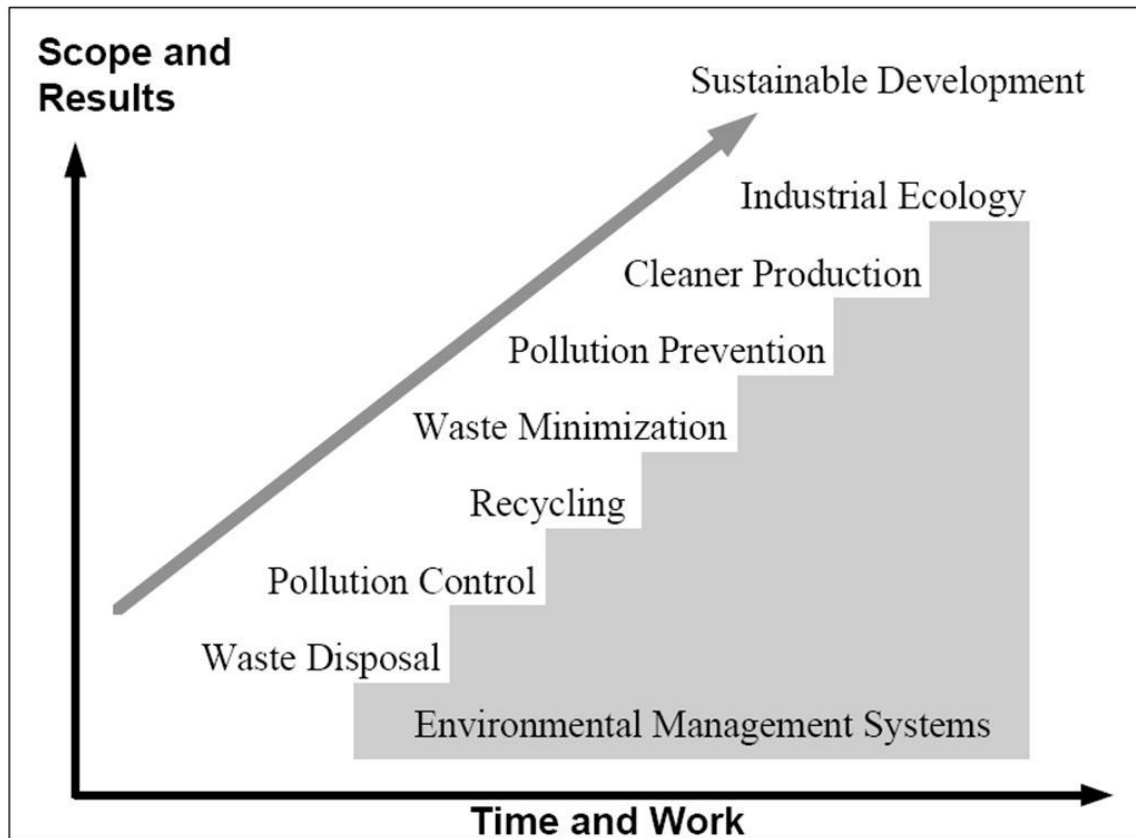


Figura 2 – Tempo e trabalho para obtenção de resultados na a eco-inovação.

Do ponto de vista dos impactos, conforme a intenção do gestor (se mais direcionado à prevenção ou à remediação) e o nível em que ocorre a ação (se institucional ou governamental), é possível visualizar um conjunto grande de técnicas aplicáveis à eco-inovação. A Figura 3 dá uma ideia de mais ampla do inter-relacionamento e dependência entre as técnicas para eco-inovação (adaptada de Van Berkel et al, 1997). Pela figura pode-se observar que a Produção Limpa é bastante eclética, podendo lançar mãos de vários recursos dependendo do foco do gestor.

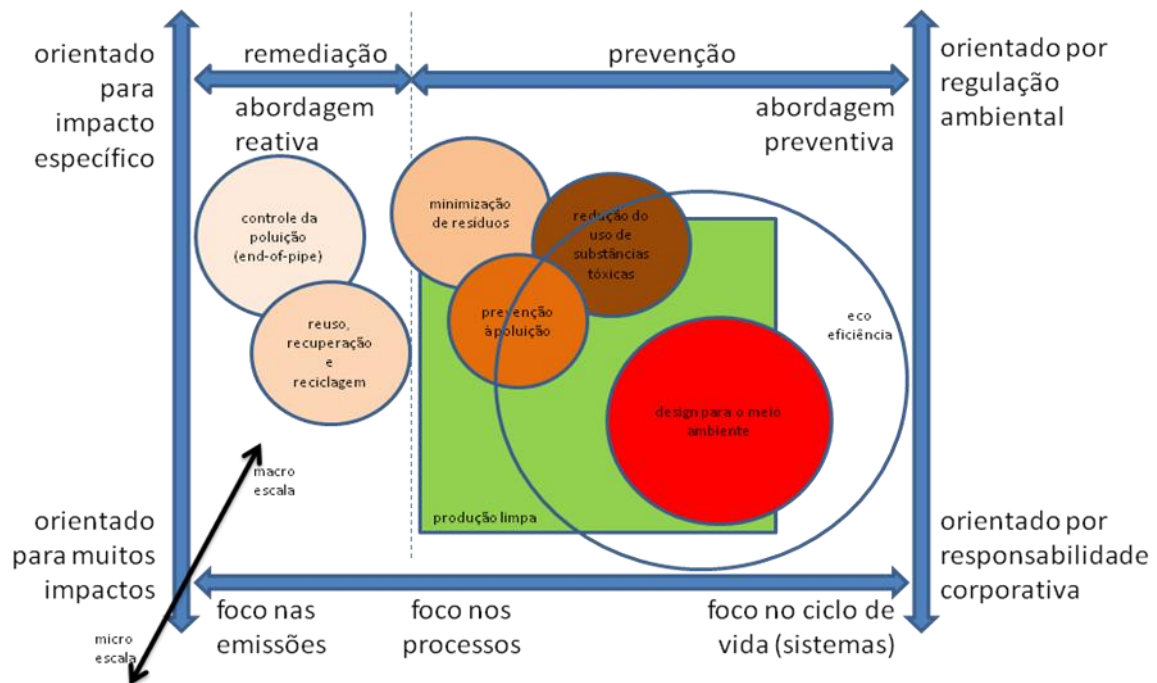


Figura 3 - Conceitos em gestão ambiental. Adaptada de Van Berkel et al, 1997.

A aplicação destas técnicas pode ser entendida como uma oportunidade para redesenhar os processos sob responsabilidade do gestor para implementar eco-eficiência. Dentre estas oportunidades podemos citar as seguintes.

- a) Re-engenharia de processos :
- Otimizar os processos e procedimentos para minimizar os recursos (materiais, tempo, etc)
 - Maximizar poupança de energia e água
 - Eliminar riscos sempre que possível
 - Economizar através da minimização do risco sistemático
 - Na produção, compras, vendas, P & D, recursos humanos, etc

- b) Revalorização de produtos
 - Novas fontes de receita a partir de "resíduos" de produtos
 - Recursos mais baratos a partir de subprodutos de outros
 - Maximizar a utilização dos recursos virgem adquiridos
 - Benefícios da cooperação com outras empresas
- c) Redesign produtos
 - Considerar cadeia de valor em design de produto - cadeia de abastecimento através da disposição
 - Desenvolvimento de produtos atualizados e recicláveis
 - Criar novas e melhores funcionalidades
- d) Reavaliação de mercados
 - Conhecer o cliente
 - Vender serviços (e não material)
 - Fornecer aos usuários soluções abrangentes
 - Criar novos negócios com serviços adicionais para eco-clientes
 - Melhorar a eficiência
 - Repensar oportunidades em função da evolução das condições do mercado (novos impostos, sensibilização dos consumidores aumentou, etc)

Conforme definido pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2000), "Eco-eficiência é alcançada pela entrega de mercadorias a preços competitivos e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e trazem qualidade de vida, enquanto progressivamente reduz os impactos ecológicos e a intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida a um nível pelo menos em linha com a capacidade estimada da Terra."

Se a orientação da ação eco-eficiente está voltada mais aos sistemas ecológicos, o foco pode ser no ciclo de vida dos produtos e serviços, onde uma das técnicas é a ACV.

MÉTODO

O método utilizado pode ser classificado como descritivo-analítico. Este trabalho foi realizado em três etapas. Na **primeira etapa** realizou-se um levantamento estruturado de trabalhos publicados que tratam de estudos de ACV em iluminação. Na **segunda etapa**, realizou-se uma busca em periódicos para identificar dentre os trabalhos publicados, aqueles que abordam a aplicação de ACV para o desenvolvimento de produtos para iluminação e verificou-se quais seriam os principais parâmetros que potencializariam a abordagem de P+L. Na **terceira etapa** propõe-se um protocolo abrangente para a aplicação de critérios de P+L (incluindo critérios complementares aos encontrados nos trabalhos publicados) no desenvolvimento de produtos para iluminação de forma a torna-los comparáveis e transparentes para os praticantes desta técnica.

Realizou-se uma busca estruturada de artigos científicos para avaliar o escopo e a abordagem normalmente realizada na aplicação de estudos de ACV, em particular na área de iluminação.

Bases de Dados consultadas mais compreensivas para esta área de estudo foram as seguintes: IEEEXplore, Science Direct, Scopus e Web of Science.

Na busca, utilizou-se os termos “life cycle assessment” e “lighting” para busca em títulos, resumos ou palavras-chave dos artigos. Não houve limitação de data de publicação e o idioma escolhido para os trabalhos foi o inglês. Além dos trabalhos encontrados com estes critérios, adicionaram-se à coleção os trabalhos identificados pelo autor em mais de cinco anos de leituras, com os mesmos critérios.

RESULTADOS

Foram considerados os trabalhos que relatam estudos de ACV em serviços e produtos para iluminação. Foram descartados os trabalhos que apenas citavam estudos de terceiros. Por este processo obteve-se um total de 50 trabalhos, que foram lidos e analisados.

Dentre os trabalhos analisados, identificou-se 6 trabalhos com aplicação da técnica de ACV como ferramenta de desenvolvimento de produto (figura 4).

Os trabalhos considerados de interesse para o presente estudo foram analisados e suas principais características estão relacionadas a seguir no Quadro 1.

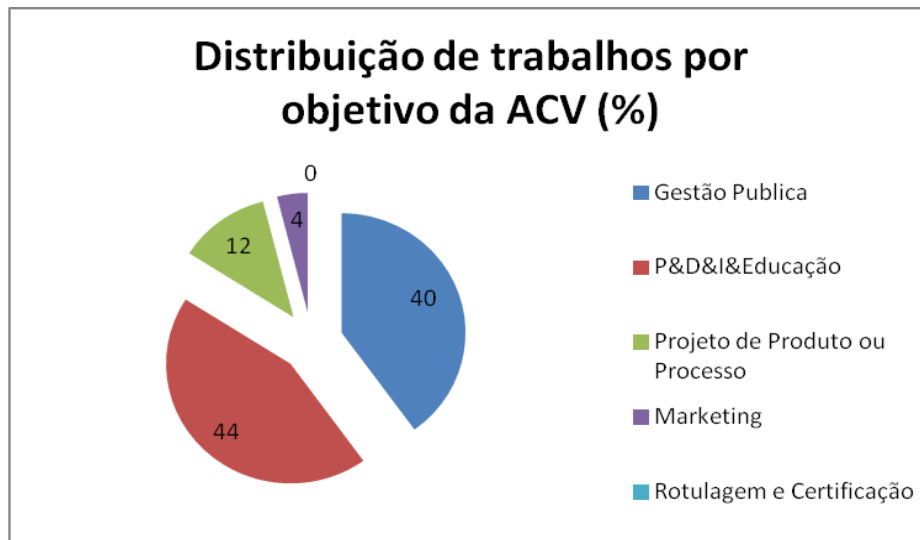


Figura 4 – Distribuições dos trabalhos por objetivo da ACV. Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 1 traz uma descrição do universo de aplicações possíveis da técnica de ACV para o segmento analisado. A análise deste universo é apresentada a seguir.

DISCUSSÃO

O processo de implementação da abordagem P+L em uma empresa pode ser resumido em doze passos (KHALILI, 2012) e a aplicação da técnica de ACV pode ser descrita como a interrelação de quatro processos (ABNT, 2009) conforme na figura 2.

A implementação da abordagem P+L constitui uma sequência de atividades, com início e fim, uma clara definição de papéis e um forte compromisso com a transformação do modo de produção. Por outro lado, a técnica de ACV tem uma lógica própria, com processos recorrentes e com grande enfoque na avaliação do desempenho ambiental de processos e bens fabricados, permitindo vários usos para suas conclusões.

Na figura 5, observam-se os processos da ACV que podem gerar dados consistentes para a P+L. As setas curvas e tracejadas indicam o fluxo de informações gerados pela ACV para alimentação das decisões e orientações das ações na P+L. Com isso, uma coordenação criteriosa pode colher os benefícios de uma poderosa ferramenta de análise de desempenho ambiental (ACV) com a vantagem da visualização das ações pertinentes para uma efetiva intervenção no processo produtivo (P+L).

Quadro 1: Levantamento dos trabalhos de ACV em desenvolvimento de produtos para iluminação.

#	Tipo de Documento	AUTORIA, ano	Tipo de ACV	Objetivo	Escopo	Produto e Área de Aplicação	Impactos considerados	Segue ISO 14044?	Região para Escopo
1.	Artigo em periódico	CASAMAYOR, 2011	process-LCA atribucional simplificada	projeto de produto ou processo	berço-a-porta	Luminária; Residencial e comercial	Utilização de Recursos, Qualidade do ecossistema, Saúde humana (eco-indicator 99)	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Europa/Espanha
2.	Anais de eventos	DUBBERLEY, 2004	Process-LCA atribucional detalhada	projeto de produto ou processo	berço-ao-tumulo	Luminária; comercial	Ecotoxicidade acidificação, Eutrofização, esgotamento dos combustíveis fósseis, o aquecimento global, Carcinogenicidade, não-carcinogenicidade, destruição do ozônio, smog fotoquímico	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA (matriz energética americana)
3.	anais de eventos	ECKELMAN, 2009	hibrid-LCA; atribucional; simplificada	projeto de produto ou processo	berço-a-porta	Lâmpada; Residencial, comercial	Uso de energia para fabricação e uso de lampadas	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA
4.	Artigo em periódico	HENDRICKSON, 2010	process-LCA atribucional; simplificada	projeto de produto ou processo	porta-ao-tumulo	Lâmpada; Residencial, comercial	Impactos ambientais na reutilização e manutenção, desmontagem do produto e componentes, remanufatura e recuperação de materiais	Não	Não especificada (global)
5.	anais de eventos	NERI, 2000	process-LCA; atribucional; detalhada	projeto de produto ou processo	berço-ao-tumulo	Luminária; emergência	Utilização de Recursos, Qualidade do ecossistema, Saúde humana (eco-indicator 95)	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Itália
6.	Relatório publico	SONEJI, 2008	EIO-LCA Atribucional; simplificada	projeto de produto ou processo	Porta-a-porta (fabricação e uso)	Lâmpada; Residencial e comercial	Consumo de energia e aquecimento global	Não	EUA

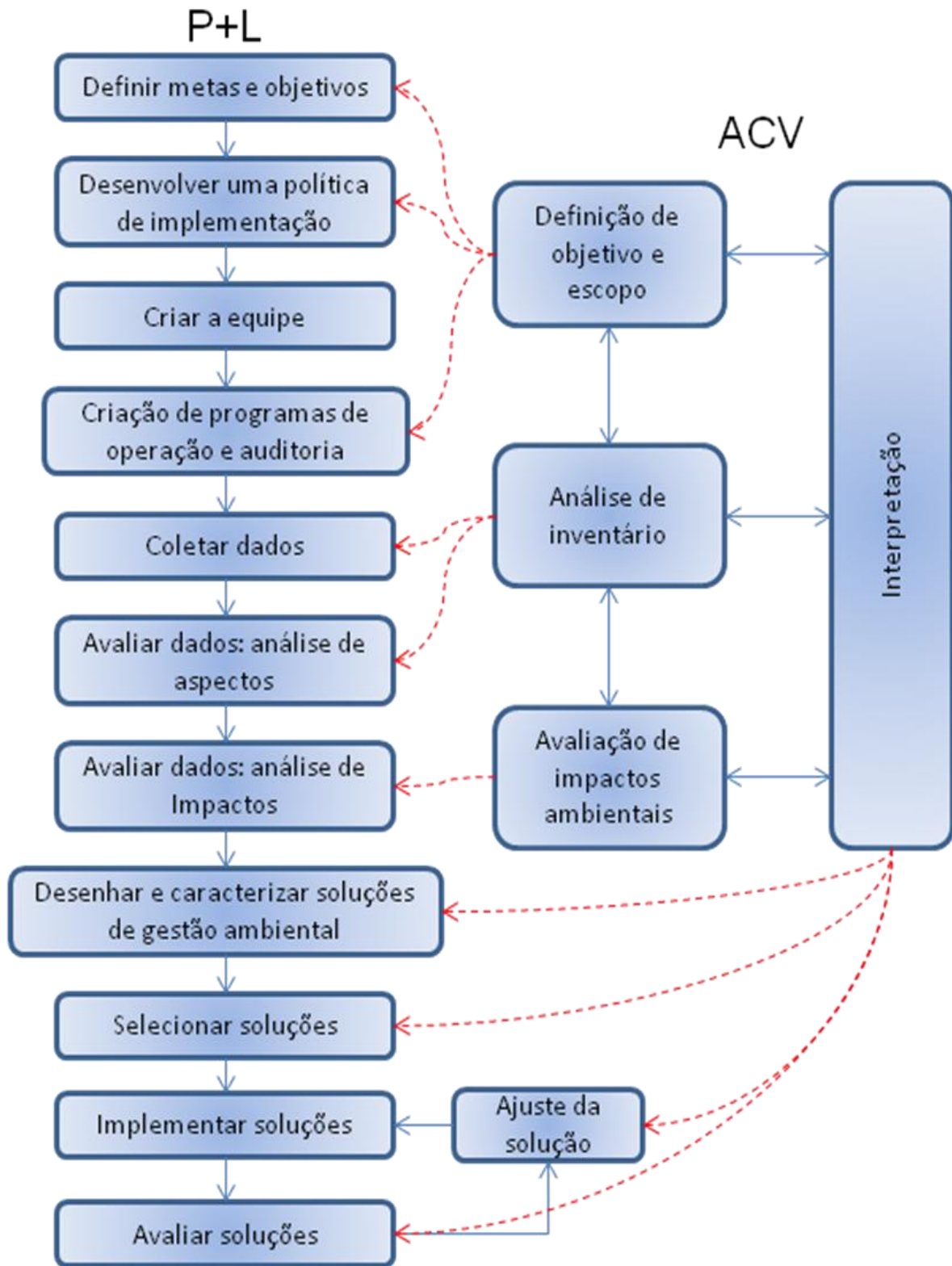


Figura 5 – P+L e ACV. Fonte: preparado pelo autor.

O esquema da Figura 5 foi elaborado a partir de uma análise do formalismo utilizado tanto pela P+L quanto pela ACV e os interrelacionamentos possíveis foram assim identificados. As setas indicam quais as ações do protocolo da ACV poderá ser apropriado por um processo do protocolo da P+L. Sendo a técnica de ACV uma técnica duque dispõe de um protocolo bastante robusto e detalhado, isto poderá beneficiar o gestor quando da sua abordagem na P+L.

Para o caso do setor de iluminação, a partir dos trabalhos analisados, é possível identificar um conjunto de 6 categorias de análise e 27 critérios (indicadores), próprios dos estudos de ACV que poderiam ser utilizados para avaliação e planejamento da P+L para o setor. A tabela do Quadro 2 a seguir explicita as categorias e critérios.

Quadro 2: Categorias e critérios gerados na ACV para avaliação da P+L. Fonte: elaborado pelo autor.

Categorias	Critério (indicador)
Extração e utilização de recursos (associada às entradas locais em todos os processos)	Consumo de energia elétrica Consumo de combustíveis fósseis Consumo de água Consumo materiais metálicos Consumo de materiais não metálicos Consumo de outros materiais
Fabricação, transporte, uso e descarte de produtos (associado à qualidade do projeto do produto e organização da sua produção)	Redução do uso de materiais Reutilização de materiais Reciclagem de materiais Defeitos de fabricação Subprodutos gerados Eficiência energética
Geração de resíduos (associada às saídas locais em todos os processos)	Resíduos líquidos (efluentes) Resíduos sólidos (disposição) Resíduos gasosos (emissões) Outros resíduos
Riscos para a saúde humana e meio biótico (associados às entradas e saídas locais)	Toxicidade potencial Acidificação potencial Eutrofização potencial Carcinogenicidade potencial Não- Carcinogenicidade potencial
Qualidade do meio ambiente (associada às entradas e saídas globais)	Aquecimento global Depleção da camada de ozônio Geração de smog fotoquímico
Aspectos econômicos (associados à relevância econômica das medidas de P+L)	Lucro de vendas por unidade Custo da produção por unidade Custo da disposição final por unidade

Com este conjunto de indicadores é possível calibrar melhor as ações de P+L, comparando opções e simulando as consequências não só para o processo produtivo mas para o desenvolvimento do produto.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O levantamento realizado e sua análise permite identificar indicadores gerados pela utilização de ACV para implementação da abordagem P+L na fabricação de produtos para iluminação. Claramente a ausência de um padrão de abordagem acaba por tornar a aplicação da técnica de ACV relativamente arbitrária e, neste sentido, desvaloriza seu potencial como instrumento analítico. Isto pode ser corrigido pela força da sequência de ações objetivas e congruentes da P+L. Para os próximos trabalhos, recomenda-se o estudo dos modelos de impactos ambientais utilizados pelas ACVs sob o ponto de vista do seu uso na abordagem P+L.

São exemplos destas ações as seguintes:

- Análise das operações;
- Análise dos procedimentos de controle de processo;
- Análise dos fluxos;
- Análise da logística;
- Análise de .lay-outs. e de fluxogramas;
- Análise de estoques;
- Análise de perdas de processo;
- Análise de sobras e de desperdícios;
- Análise de retrabalhos;
- Análise de trabalhos e de operações desnecessárias (que não levam a nada ou a lugar algum);
- Análise de produtos intermediários;
- Análise de material perdido como poluição;
- Análise das perdas energéticas;
- Análise das operações;
- Análise dos procedimentos de controle de processo;
- Análise dos fluxos;
- Análise da logística;
- Análise de .lay-outs. e de fluxogramas;
- Análise de estoques;
- Análise de perdas de processo;
- Análise de sobras e de desperdícios;
- Análise de retrabalhos;
- Análise de trabalhos e de operações desnecessárias (que não levam a nada ou a lugar algum);
- Análise de produtos intermediários;

- Análise de material perdido como poluição;
- Análise das perdas energéticas;
- Análise de saúde ocupacional;
- Análise de impactos à comunidade;
- Análise do trabalho e do tempo despendido para controlar, manusear, dispor e tratar a poluição;
- Análise dos custos de manuseio, tratamento, disposição e guarda de resíduos;
- Análise dos custos envolvidos em aterros sanitários;
- Análise de custos operacionais;
- Avaliações dos investimentos (.pay-back. e taxa de retorno);
- Análise das perdas de produção e perdas de resultados por falta de produção em função de problemas ambientais;
- Análises das eficiências das operações;
- Avaliações ambientais, sociais e econômicas globais da empresa, etc.;

Finalmente há que se reconhecer que um empreendimento para aplicação da técnica de ACV requer diferentes capacidades, difíceis de obter num único profissional. Para este empreendimento recomenda-se especialistas de ambas as áreas necessariamente representadas sob uma coordenação do gestor.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira da Indústria da Iluminação, 2012. Notícia do site; São Paulo; Abilux, 2012, disponível em: <http://www.abilux.com.br/portal/noticias.aspx?idCategoria=2> , acessado em 20 de novembro de 2012.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT , 2009. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, ABNT NBR ISO 14040. Rio de Janeiro: ABNT.
- Barbieri, J. C., 2006. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Saraiva.
- Burton, H. W. What is the Relationship Among Cleaner Production, Pollution Prevention, Waste Minimization and ISO 14000?, International Standard Organization, ISO/DIS 14001, 1995.
- Casamayor, J.L.; Su, D., 2011. Environmental impact assessment of lighting products. Key Engineering Materials, 486, pp. 171-174.
- Chen, W.; Warren, K.A.; Duan, N., 1999. Incorporating Cleaner Production Analysis Into Environmental Impact Assessment In China. Environ Impact Assess Rev 1999;19:457-476, 1999 Elsevier Science Inc., New York, NY.
- Dubberley, M.; Agogino, A.M.; Horvath, A., 2004. Life-cycle assessment of an intelligent lighting system using a distributed wireless mote network. Proceedings of IEEE International Symposium on Electronics and The Environment, pp. 122-127.

Eckelman, M.J., 2009. Hybrid life cycle energy assessment of commercial LED lamps. Proceedings of IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, ISSST '09 in Cooperation with 2009 IEEE International Symposium on Technology and Society, ISTAS, art. no. 5156742.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE., 2009. Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 04 set. 2009.

Hendrickson, C. T.; Matthews, D. H.; Ashe, M.; Jaramillo, P.; Mcmichael, F. C., 2010. Reducing environmental burdens of solid-state lighting through end-of-life design. Environmental Research Letter, 5 014016, 9pp.

Khalili, N.R., Duecker, S., 2012. Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework, Journal of Cleaner Production (article in press, 2012).

Neri, P.; Buttol, P.; Danielli, G.; Pareschi, R.; Tani, G., 2001. Life Cycle Assessment of an emergency lamp manufactured by the firm BEGHELLI. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 4193, pp. 96-105.

OCDE, Sustainable Manufacturing And Eco-Innovation Framework - Practices and Measurement Synthesis Report, 2009.

Rutter, P.; Keirstead J., 2012. A brief history and the possible future of urban energy systems; Energy Policy 50, 72–80.

Soneji, H., 2008. Life cycle energy comparison of compact fluorescent and incandescent light bulbs. Sustainability Science Paper, LUMES, Lund University, Sweden, 8 pp.

Sorrell, S., 2009. Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency; Energy Policy 37, 1456–1469

WBCSD, Eco-efficiency measuring: a guide to reporting company performance, 2000.

van Berkel, R., Willems, E. and Lafleur, M. (1997), The Relationship between Cleaner Production and Industrial Ecology. Journal of Industrial Ecology, 1: 51–66. doi: 10.1162/jiec.1997.1.1.51.

Zhao, R; Neighbour, G.; Deutz, P.; Mcguire, M., 2012. Materials selection for cleaner production: An environmental evaluation approach, Materials and Design 37 (2012) 429–434.