

III-230 - AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA: UMA FERRAMENTA PARA A GESTÃO ADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Vanessa Alves Mantovani⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), em Sorocaba. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), em Sorocaba

Sandro Donnini Mancini⁽¹⁾

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre e Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Professor assistente doutor da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), em Sorocaba.

Alex Rodrigues Nogueira⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), em Sorocaba. Mestre em Engenharia Química pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Pesquisador do Grupo de Prevenção da Poluição (GP2), do Departamento de Engenharia Química da EPUSP, em São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Três de Março, 511 - Alto da Boa Vista - Sorocaba - São Paulo - CEP: 18087-180 - Brasil - Tel: +55 (15) 3238-3409 - Fax: +55 (15) 3228-2842 - e-mail: vanessa.alves.mantovani@hotmail.com

Endereço⁽¹⁾: Av. Professor Luciano Gualberto, tr. 3, 380 - Cidade Universitária - São Paulo - São Paulo - CEP: 05508-970 - Brasil - Tel: +55 (11) 94142-9248

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental amplamente utilizada para analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. Os estudos de ACV necessitam de embasamento científico e podem ser realizados desde o início até o fim da vida do produto/serviço, com uma abordagem sistêmica. O objetivo deste trabalho é analisar diferentes estudos de avaliação do ciclo de vida com enfoque na gestão de resíduos sólidos e encontrar as principais limitações e aplicações. Foram analisados ao todo 14 trabalhos, 9 a nível internacional e 5 a nível nacional que utilizaram a ACV como ferramenta na gestão de resíduos e tomadas de decisões. No geral os estudos possuem base de dados, objetivos, unidade funcional e limites semelhantes. Eles geram informações importantes que auxiliam nas tomadas de decisões e investimentos voltados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Porém, não podem ser utilizados sozinhos, pois aspectos econômicos e sociais associados aos produtos não são tradicionalmente considerados. Possuem várias limitações relacionadas a metodologia não consolidada e divergências por parte dos autores, principalmente relacionadas à modelagem de sistemas que exerçam mais de uma função (como, por exemplo, quando há reciclagem ou produção de eletricidade) e categorias de impacto consideradas para refletir a contribuição ambiental dos cenários.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Resíduos Sólidos, Avaliação de Ciclo de Vida.

INTRODUÇÃO

O aumento populacional e o alto consumo de bens e serviços, têm gerado inúmeros desafios ambientais e de saúde pública, principalmente no que diz respeito à gestão dos resíduos sólidos urbanos. Neste contexto, a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos tornou-se um desafio da atualidade.

A crescente preocupação ambiental induziu muitas empresas a buscarem ferramentas mais complexas e que considerassem diversos aspectos, deixando de focar apenas na conformidade ambiental, controle da poluição e aplicação de sistemas de gestão ambiental (CURRAN, 2006).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta cada vez mais utilizada mundialmente para analisar o desempenho ambiental de um produto ou serviço. Ela considera todas as suas etapas: desde a extração da matéria-prima, manufatura, uso e até a disposição final dos produtos. Estudos de ACV baseiam-se na quantificação dos insumos (materiais e energéticos) e os lançamentos para o meio ambiente (emissões

atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos). Desta forma, é possível comparar produtos e serviços que atendam a uma mesma função, auxiliando as tomadas de decisões.

Segundo a ABNT (2009) a Avaliação do Ciclo de Vida é dividida em 4 fases: (1) Definição de objetivo e escopo: definição da motivação do estudo, abrangência e suas fronteiras; (2) Análise de Inventário: identificação e quantificação das entradas e saídas de matéria e energia em relação ao sistema de produto definido em estudo; (3) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida: análise e quantificação da contribuição do produto para as categorias de impacto ambiental selecionadas; (4) Interpretação dos resultados.

Os estudos de ACV necessitam de embasamento científico e podem possuir abrangência ampla ou restrita. Ou seja, podem ser completos, do início até o fim do ciclo de vida ou parciais, ou podem considerar somente algumas etapas mais relevantes (COLTRO, 2007). Em qualquer caso, porém, a análise deve ser feita de forma sistêmica.

Além do mais, a ACV possibilita a comparação entre diferentes produtos, matérias-primas, fontes de energia, processos e cenários de destinação final (FINNVEDEN e EKVALL, 1998; COLTRO, 2007). É recomendado que seja utilizada em conjunto com outras ferramentas para tomadas de decisão, tais como, análise do desempenho técnico, dos custos e dos aspectos políticos e sociais. Isso porque a ACV normalmente não tem considerado esses fatores e utiliza uma abordagem com foco nos impactos no meio ambiente, na saúde humana e nos recursos naturais, associados ao produto ou processo estudado (CURRAN, 2006; ABNT, 2009a).

Estudos de ACV auxiliam no entendimento e gerenciamento de temas complexos como: gestão e preservação dos recursos naturais; identificação dos pontos críticos e oportunidades de melhorias de desempenho ambiental nos sistemas; desenvolvimento de novos serviços e produtos; otimização ambiental de sistemas de reciclagem, de técnicas de tratamento de resíduos e de cenários de disposição final.

A utilização da ACV na gestão de resíduos sólidos urbanos permite auxiliar o diagnóstico das condições urbanas e analisar diferentes métodos de tratamento e disposição, analisando vantagens e desvantagens, identificando os pontos críticos no sistema e as oportunidades de melhorias (MOBERG et al., 2005; FINNVEDEN et al., 2005).

Os cenários de destinação final devem ser modelados a fim de refletir o mais fielmente possível a situação real que será avaliada, sendo também necessário coletar dados relacionados ao tipo de coleta, tratamento e disposição final dos resíduos na região estudada e à distância percorrida entre os caminhões de coleta (COLTRO, 2007).

Portanto, estudos de ACV podem apoiar políticas públicas, dar suporte a certificação de produtos, fornecer informações para tomadores de decisão, auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, processos, tecnologias ou atividades, identificar os que causam maior impacto ambiental total ou por categoria de impacto (CURRAN, 2006).

O objetivo deste trabalho é analisar diferentes estudos de avaliação de ciclo de vida com enfoque na gestão de resíduos sólidos e identificar suas principais limitações e aplicações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados ao todo 14 trabalhos (sendo 9 a nível internacional e 5 a nível nacional) publicados entre os anos de 1998 e 2012, os quais utilizaram a ACV como ferramenta na gestão de resíduos e tomadas de decisões. Foram selecionados artigos publicados em revistas científicas, uma dissertação de mestrado e artigos publicados em congresso brasileiro específico da área de Avaliação do Ciclo de Vida e/ou saneamento ambiental. A revisão incluiu apenas dois estudos de ACV de materiais individuais, sendo que os demais trabalhos consideraram a realidade dos resíduos gerados em um município, incluindo os itens que são mais comuns nos resíduos sólidos urbanos.

No geral os estudos possuem bases semelhantes, e para realização da pesquisa foram analisados:

- os objetivos;

- a cobertura geográfica;
- os tipos de resíduos considerados;
- as tecnologias de tratamento e disposição utilizados;
- a unidade funcional;
- as fronteiras do sistema;
- os aspectos e impactos ambientais relevantes identificados;
- os tipos e as fontes dos dados;
- se foram utilizados modelos computacionais ou bases de dados;
- e as conclusões encontradas.

RESULTADOS

Todos os estudos tiveram como principal objetivo analisar o desempenho ambiental de diferentes formas alternativas de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos por meio da Avaliação de Ciclo de Vida. Finnveden et al. (2005) teve também como objetivo avaliar vantagens, desvantagens e pontos críticos, além de testar a hierarquia de tratamento e disposição dos resíduos, e identificar onde ela não é válida. Já Fantoni e Blengini (2010) e Dmitrijevas (2010) além da análise ambiental, também tiveram como objetivo a realização de uma análise econômica. Merrield et al. (2012) analisou a significância de cada material considerando a quantidade potencial encontrada nos resíduos sólidos da Dinamarca.

O Quadro 1 apresenta algumas considerações dos estudos, como a cobertura geográfica, os tipos de resíduos considerados e as opções de tratamento analisadas.

Quadro 1: Visão geral dos estudos de ACV selecionados

Referência	Abrangência	Tipo de Resíduos	Opção de tratamento
(1) Finnveden et al. (2005)	Suécia	Fração compostável e reciclável (Restos de Alimentos, Papel, Papelão, Jornal, PE, PP, PS, PVC)	Disposição em Aterro, Reciclagem, Incineração, Compostagem e Digestão Anaeróbia
(2) Finnveden e Ekvall (1998)	Europa	Embalagem de Papel	Reciclagem e Incineração
(3) Wittmaier et al. (2009)	Norte da Alemanha	Resíduos Sólidos Doméstico e Comercial, Embalagens e Resíduos de Demolição e Construção Civil	Incineração, Disposição em Aterros
(4) Hong et al. (2010)	China	Resíduos Sólidos Municipais (Resíduos de Alimento, Papel, Plástico, Fibra, Madeira, Metais, Vidro e Cinza)	Disposição em Aterro, Incineração e Compostagem
(5) Othman et al. (2012)	Tailândia, China, Turquia, Kuwait, Bangladesh, Singapura	Resíduos Sólidos Municipais	Disposição em Aterro, Incineração, Reciclagem, Compostagem, Digestão Anaeróbia,
(6) Xará, et al. (2001)	Portugal	Resíduos Orgânicos, Papel, Vidro, Metal, Plástico e Outros	Disposição em Aterro, Compostagem e Incineração
(7) Fantoni e Blengini (2010)	Itália	Resíduos Sólidos Municipais (Resíduos Orgânicos e de Jardim, Plástico, Papel, Madeira, Metal e Outros)	Disposição em Aterro, Reciclagem, Compostagem, Incineração e Tratamento Mecânico Biológico
(8) Merrield et al. (2012)	Dinamarca	Papelão, Papel, Vidro, Plástico, Aço e Alumínio	Reciclagem e Incineração
(9) Banar et al. (2009)	Turquia	Resíduos Sólidos Municipais (Papel, Papelão, Metal, Plástico, Vidro, Matéria Orgânica, Cinzas e Outros)	Disposição em Aterro, Reciclagem, Incineração e Compostagem.
(10) Pecora et al. (2012)	Brasil	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Plástico, Metal, Vidro, Madeira Material Têxtil e Inerte) e Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto	Disposição em Aterro, Incineração e Tratamento Mecânico-Biológico
(11) Leme et al. (2010)	Brasil (MG)	Resíduos Sólidos Urbanos (Restos de Alimento, Tecidos, Plásticos, Borracha, Papel, Papelão, Vidro e Metal)	Disposição em Aterro e Incineração
(12) Dmitrijevas (2010)	Brasil (SP)	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Tecido, Vidro, Metal e Outros)	Disposição em Aterro e Incineração.
(13) Mendes, Aramaki e Hanaki (2004)	Brasil (SP)	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Plástico, tecidos, Borracha, Couro, Madeira, Vidro, Metais Ferrosos, Alumínio e Outros)	Disposição em Aterro e Incineração.
(14) Mendes, Aramaki e Hanaki (2003)	Brasil (SP)	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Madeira, Tecidos, Plástico, Borracha, Couro, Vidro, Metal e Cinzas)	Tratamento Biológico, Compostagem e Disposição em Aterro

Observa-se pelo Quadro 1 que a maioria dos estudos analisou e comparou as formas de tratamento incineração e reciclagem, bem como a disposição final em aterros. A maior parte dos estudos teve como dados de entrada a caracterização de toda a corrente de resíduos sólidos urbanos. Porém, Merrield et al. (2012) considerou apenas a porção seca dos resíduos, Finnveden e Ekvall (1998) apenas as embalagens de papel e Wittmaier et al. (2009) considerou além dos resíduos domésticos, os comerciais e de construção civil.

A maioria dos estudos incluiu entre os limites do sistema em questão: a coleta, o transporte, o tratamento, e a disposição dos resíduos, e contabilizou o consumo de energia e a geração de subprodutos. Sendo que Hong et al. (2010), justificaram a exclusão do transporte pelo fato de ser comum em todos os cenários analisados. Por outro lado, Finnveden et al. (2005) observaram que o transporte pode ser uma atividade penalizadora para a incineração, uma vez que longas distâncias de transportes dos resíduos até o incinerador deixaram a disposição em aterro mais vantajosa. Em relação à unidade funcional, 9 dos 14 estudos utilizaram 1 tonelada de resíduos sólidos como unidade funcional.

Ainda, grande parte dos estudos utilizou predominantemente dados secundários, ou seja, dados já publicados na literatura. É o caso dos trabalhos elaborados por Finnveden et al. (2005); Wittmaier et al. (2009); Hong et al. (2010); Merrield et al. (2012); Pecora et al. (2012); Leme et al. (2010) e Dmitrijevas (2010). Destaca-se também que em metade dos estudos analisados, ou autores deixaram claro qual software e/ou qual base de dados utilizaram para a realização da ACV.

O Quadro 2 apresenta as categorias de impacto consideradas relevantes em todos os estudos e utilizadas para avaliação dos cenários de tratamento e disposição de resíduos. Os estudos foram numerados de acordo com o apresentado no Quadro 1, para facilitar a apresentação dos resultados.

É importante as categorias que representam representam praticamente o mesmo impacto ambiental foram agrupadas para melhor interpretação dos resultados. Por exemplo, alguns autores separaram as diversas fontes de energia e outros consideraram como uma categoria única.

Quadro 2: Visão geral dos impactos considerados na etapa de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida para cada um dos estudos

Categorias de Impactos	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Energia total	X			X			X							
Mudanças Climáticas	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X
Depleção da Camada de Ozônio	X	X		X	X					X	X			
Esgotamento dos Recursos Naturais		X								X				
Impactos Toxicológicos		X		X	X				X		X	X		
Impactos Não toxicológicos		X												
Eutrofização		X		X	X			X	X	X	X		X	X
Acidificação		X		X	X			X	X	X	X		X	X
Impactos sobre a Biodiversidade		X												
Carcinogênicos				X										
Não Carcinogênicos				X										
Respiráveis Orgânicos				X										
Respiráveis Inorgânicos				X										
Radiação Ionizante				X										
Ocupação do Solo				X								X		
Extração Mineral				X										
Depleção Abiótica					X				X		X			
Formação Fotoquímica de Oxidantes					X			X	X	X				
Acidentes de Trabalho												X		
Doenças Ocupacionais												X		

Segundo o Quadro 2, somente dois estudos não consideraram a categoria de impacto de Mudanças Climáticas. Consumo de Energia em todas as formas foi a segunda categoria mais considerada nos estudos, junto com Acidificação. Depleção da Camada de Ozônio, Impactos Toxicológicos e Eutrofização também foram categorias consideradas em 6, 6 e 5 estudos, respectivamente. A baixa frequência de seleção das demais categorias de impacto provavelmente está ligada à indisponibilidade de dados confiáveis, bem como à maior incerteza dos métodos para a modelagem de categorias, como no caso da Toxicidade, e de Impactos sobre a Biodiversidade.

Finnveden et al. (2005), Xará et al. (2001), Wittmaier et al. (2009), Hong et al. (2010) e Leme et al. (2010), constataram que o aterramento de resíduos possui maior potencial de aquecimento global, devido aos altos índices de emissão fugitiva de metano.

Othman et al. (2012) e Xará et al. (2001) ressaltaram que a recuperação energética possibilita a redução na emissão dos gases de efeito estufa, e Hong et al. (2010) identificaram que a produção de eletricidade é o ponto chave para a diminuição do impacto ambiental dos cenários.

Pecora et al. (2012), Leme et al. (2010) e Dmitrijevas (2010) observaram que o aterro sanitário, comparado com a incineração, é mais impactante nas categorias: mudanças climáticas, eutrofização, acidificação,

toxicidade humana, depleção da camada de ozônio recuperação de energia e consumo de recursos naturais. Isto reforça a necessidade de se aprimorar as técnicas para tratamento dos líquidos percolados em aterros.

Considerando as Mudanças Climáticas e os impactos Toxicológicos, a hierarquia encontrada foi: reciclagem mais favorável que a incineração que é mais favorável ao aterramento. Porém observou-se, que a disposição em aterro é favorável a incineração considerando o intervalo de tempo de um século e quando há longas distâncias para a incineração (FINNVEDEN et al., 2005; XARÁ et al., 2001).

Finnveden e Ekvall (1998) realizaram o estudo da embalagem de papel, e foi possível observar que a solução a ser escolhida para o tratamento dos resíduos depende do objetivo traçado. Ou seja, se o foco for reduzir o impacto nas mudanças climáticas, a incineração com recuperação de energia substituindo os combustíveis fósseis é a alternativa mais favorável; mas se o foco for reduzir o uso de energia, a reciclagem é a alternativa que melhor se enquadra. Vale ressaltar que os autores tratam da realidade na Europa, no caso do Brasil os impactos associados a matriz energética são diferentes.

Merrield et al. (2012) realizou o estudo da fração seca e identificou claramente os benefícios ambientais na reciclagem do vidro, alumínio e aço. Porém para papel/papelão e plástico (itens com poder calorífico elevado) a incineração é vantajosa em alguns casos e depende do nível de recuperação de energia.

Fantoni e Blengini (2010) e Othman et al. (2012) observaram que os cenários com porcentagem maior de resíduos encaminhados para a reciclagem são mais favoráveis. Finnveden e Ekvall (1998) identificaram que o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa são menores quando os resíduos são reciclados. Merrield et al. (2012) constatou que os impactos da coleta e do pré-tratamento não comprometem os benefícios da reciclagem.

Hong et al. (2010) constataram que os impactos da coleta e do transporte são pequenos em relação aos demais impactos associados a todo o sistema. Porém, Merrield et al. (2012) e Finnveden et al. (2005) observaram que o transporte pode interferir na escolha das estratégias de tratamento e disposição de resíduos mais apropriadas, dependendo da distância entre os centros geradores e a unidade de tratamento ou disposição final.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida com enfoque nos cenários de tratamento e disposição de resíduos sólidos fornecem subsídios importantes para as tomadas de decisões e investimentos voltados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Porém os estudos de ACV não contemplam todos os impactos e não consideram, na maioria das vezes, aspectos econômicos e sociais. Portanto, não podem ser utilizados sozinhos para as tomadas de decisão.

A otimização do desempenho de processos, como por exemplo o aumento na eficiência da geração de energia elétrica e a utilização biofiltros, possibilitam a redução na emissão de gases de efeito estufa durante a incineração e/ou nos aterros. Isso exemplifica os comentários de que a ACV possibilita a identificação dos pontos críticos e das oportunidades de melhorias no desempenho ambiental dos cenários em estudo.

Ao se analisar os diferentes estudos de ACV, foi possível observar que a categoria de impacto de Mudanças Climáticas, em muitos casos, mostrou-se relevante e a otimização da utilização da eletricidade nas plantas de incineração, a captação e utilização do gás metano proveniente da degradação dos resíduos nos aterros são pontos chaves na redução do impacto.

Foi observado que existem várias limitações ao se utilizar o método de ACV na gestão dos resíduos sólidos urbanos. Isso porque a pouca disponibilidade e a baixa qualidade nos dados, as diferentes escolhas de coberturas temporais e de metodologias utilizadas, bem como a dificuldade na alocação dos impactos quando há diversas entradas no sistema. Essas limitações inserem muitas incertezas nos resultados.

Os estudos em que os tipos específicos de materiais que compõem a corrente de resíduos são analisados isoladamente não demonstram a realidade da gestão no Brasil, pois os resíduos sólidos urbanos são descartados

geralmente todos juntos, mesmo tratando-se da coleta seletiva. Apesar desses estudos mostrarem a melhor solução para cada um dos materiais descartados, não evidenciam o melhor para a realidade local.

Alguns autores excluíram o transporte na hora de quantificar os impactos dos cenários de gestão dos resíduos sólidos. Por outro lado, foram encontradas evidências de que o transporte tem influência sobre o desempenho ambiental das alternativas estudadas, e pode ser decisivo na escolha do melhor cenário em termos de impacto ambiental.

A adoção de técnicas menos impactantes para o tratamento e a disposição de resíduos sólidos está de certa forma, atrelada a imposições tarifárias e legais. Pois sistemas de gestão de resíduos sólidos são alterados devido imposições significativas, como: implementação de tarifa e proibições.

Diante disso, a ACV mostrou-se como uma ferramenta adequada para identificar e analisar os impactos ambientais das técnicas de tratamento e disposição de resíduos sólidos. Deve-se salientar, entretanto, que os resultados são fruto de uma modelagem. Portanto, são representativos para as condições definidas por cada autor. Desta forma, eventuais extrapolações podem ser feitas desde que com a cautela apropriada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação de ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Brasil: ABNT, 2009. 21p.
2. BANAR, M.; COKAYGIL, Z.; OZKAN, A. Life Cycle Assessment of Solid Waste Options for Eskisehir, Turkey. *Waste Management*. v. 29, p. 54 - 62. 2009.
3. COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.
4. CURRAN, M. A. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. EPA/600/R-06/060. National Risk Management Research Laboratory). Cincinnati, Ohio, USA. May. 2006.
5. DMITRIJEVAS, C. **Análise da Ecoeficiência de Técnicas para Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos**. 2010. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2010.
6. FANTONI, M; BLENGINI, G. A. **LCA of Integrated Municipal Solid Waste Management: A Case Study in Torino and Cuneo, Italy**. In: Congresso Brasileiro de Gestão em Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, II, Florianópolis, 2010.
7. FINNVEDEN, G. Life Cycle of Energy from Solid Waste - Part 1: General Methodology and Results. **Journal of Cleaner Production**. Stockholm, v. 13, p.213-299, 2005.
8. FINNVEDEN, G; EKVALL, T. Life-cycle assessment as a decision-support tool - the case of recycling versus incineration of paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 1998. Vol. 24. 235–256 p.
9. HONG, J.; XIANGZHI, L.; ZHAOJIE, C. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. *Waste Management*. Vol 30. 2010. 2362-2369 p.
10. LEME, M. M. V. et al. **Avaliação Ambiental das Opções Tecnológicas para Geração de Energia Através dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso**. In: Congresso Brasileiro de Gestão em Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, II, Florianópolis, 2010.
11. MENDES, M. R.; ARAMAKI, T.; HANAKI, K. **Assessment of Environmental Impact of Management Measures for the Biodegradable Fraction of Municipal Solid Waste in São Paulo City**. *Waste Management*. vol. 23. 2003. 403-409 p.
12. MENDES, M. R.; ARAMAKI, T.; HANAKI, K. **Comparison of the Environmental Impact of Incineration and Landfilling in São Paulo City as determined by LCA**. *Resources, Conservation and Recycling*. vol 41. 2004. 47-63p.
13. MERRILD, H.; LARSEN, A. W.; CHRISTENSEN, T. H. Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances. **Waste Management**. v. 32. p.1009-1018.
14. MÖBERG, A. Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste - Part 2: Landfilling Compared to other Treatment Methods. **Journal of Cleaner Production**, Stockholm, v. 13, p. 231-240, 2005.
15. OTHMAN, S. N. **Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries**. *Journal of Cleaner Production*, Stockholm, v. 41, p. 251-262. 2003

16. PECORA, V. et al **Comparação do Desempenho Ambiental de Alternativas para a Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético**. In: Brasileiro de Gestão em Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, III, Maringá, 2012.
17. WITTMAYER, M.; LANGER, S.; SAWILLA, B. **Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems – Applied examples for a region in Northern Germany**. Waste Management. Vol. 29. 2009. 1732-1738 p
18. XARÁ, S.; SILVA, M.; ALMEIDA, M. F.; COSTA, C. **A aplicação da análise do ciclo de vida no planejamento da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos**. In International Chemical Engineering Conference, 8th, - CHEMPOR 2001, Aveiro, Portugal. Set, 2001. Aveiro, Portugal. 1467-1474 p.