

Análise De Ciclo De Vida De Produção De Autoclaves Em Empresa De Biossegurança

Thiago Augusto de Moraes

Discente do Programa de Pós-Graduação em Inovações
Tecnológicas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campo Mourão, Paraná, Brasil
thiago_amorais@hotmail.com

Cristiane Kreutz

Departamento Acadêmico de Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Márcia Aparecida de Oliveira

Departamento Acadêmico de Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Vanessa Medeiros Corneli

Departamento Acadêmico de Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Artur Jorge de Jesus Gonçalves

Centro de Investigação da Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal

Resumo— A crescente conscientização ambiental tem feito com que as organizações procurem otimizar seus processos e minimizar seus efeitos adversos ao meio ambiente. Assim, houve o aparecimento de diversas ferramentas de gerenciamento em busca do desenvolvimento sustentável, dentre elas, destaca-se a ISO 14040, que visa quantificar os impactos ambientais durante o ciclo de vida de um produto. O presente trabalho analisou e aplicou os requisitos organizacionais da ferramenta de análise do ciclo de vida do produto (ACV), com base na norma EN ISO 14040:2006 para uma indústria de equipamentos biossegurança. Os resultados foram interpretados e quantificados os impactos para dois modelos de fronteira do sistema: do “portão ao portão” e do “berço ao berço”, com destaque para o potencial de aquecimento global, ocasionado pelas emissões atmosféricas indiretas, proveniente do uso de energia elétrica e da depleção dos recursos hídricos devido ao consumo de água. Os resultados apontaram que a utilização de energia elétrica e o consumo de água foram os indicadores mais danosos ao meio ambiente. Assim, foram sugeridas medidas mitigadoras como metas de redução de consumo.

Palavras-chave—gestão ambiental; Análise de ciclo de vida; ISO 14040; avaliação de impactos ambientais

I. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização ambiental da população e das organizações está relacionada à degradação ambiental originada pela intensificação das atividades industriais nas últimas décadas. Esta condição tem levado as organizações a buscarem o entendimento e a otimização de seus processos, bem como a minimização de seus efeitos adversos sobre o meio ambiente. Portanto, a necessidade de adequação ambiental não é somente para atender a requisitos legais, mas também é resultado das exigências do mercado, que impõe

rígidas normas de controle ambiental às empresas que querem garantir sua sobrevivência.

Diante disso, surgem diversas ferramentas de gerenciamento em busca do desenvolvimento sustentável, dentre elas, destaca-se a ISO 14040, que visa quantificar os impactos ambientais durante o ciclo de vida de um produto [1].

O presente trabalho analisou e aplicou os requisitos organizacionais da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida do Produto (ACV), com base na norma EN ISO 14040:2006 para uma indústria de equipamentos biossegurança, a partir da quantificação dos fluxos de entrada e saída de matérias-primas referentes à produção de uma autoclave, em uma empresa de biossegurança de médio porte, localizada na região de Campo Mourão, Estado do Paraná, Brasil.

II. METODOLOGIA

A. Objeto de Pesquisa

A pesquisa visou a aplicação dos requisitos da norma EN ISO 14040:2006, de avaliação de ciclo de vida de uma autoclave produzida por uma empresa de biossegurança, localizada na região de Campo Mourão, Paraná, Brasil, que possui certificações nas normas ABNT NBR ISO 9001 e ABNT NBR ISO 14001, de forma que a mesma é ativa quanto à proteção do meio ambiente e minimização de impactos ambientais, principalmente quanto ao aspecto de geração de resíduos sólidos.

A empresa conta com um quadro de cerca de 100 funcionários distribuídos entre colaboradores, gerentes e alta administração, além de ser dividida em setores

administrativos, ferramentaria, produção e embalagem. Além de autoclaves, também são produzidas cubas plásticas, seladoras e embalagens, indicadores para testes de esterilização, mini incubadoras, destiladores, dentre outros. As autoclaves, foco principal de investigação neste trabalho, são produzidas em diferentes tamanhos e capacidade, medidas em litros, para atender principalmente o mercado odontológico e de estética.

B. Procedimento Metodológico

Foi definida, como escopo desta pesquisa, a autoclave modelo CD 12 Litros, considerada o principal produto do portfólio da empresa, e o objetivo, de acordo com a norma EN ISO 14040:2006, foi obter informações a respeito dos possíveis impactos ambientais do produto em questão, ao longo do seu ciclo de vida.

As fronteiras do sistema foram divididas em dois inquéritos. Em um primeiro momento, o estudo foi realizado abrangendo somente “do portão ao portão”, que são os impactos causados pelas atividades dentro da empresa. Já a segunda análise deu-se com base em um ciclo fechado, ou seja, “do berço ao berço” com a reintrodução de matéria-prima reaproveitada no processo produtivo. Alguns pressupostos foram assumidos, dentre eles, cita-se:

- A unidade de referência para o método utilizado é igual a uma unidade de autoclave produzida.

- As informações utilizadas neste trabalho foram obtidas preferencialmente de fontes primárias (questionários aplicados *in loco*) e fontes secundárias, a partir de dados provenientes da base de dados do *software Thinkstep GaBi®* para descrever etapas situadas a montante e jusante do processo.

- Os materiais componentes da autoclave foram resumidos em Aço, borracha e plástico, por apresentarem mais de 95% de sua composição.

- A quantificação do volume de água consumida e da quantidade de resíduos sólidos gerados foram calculados a partir da média ponderada do consumo e geração de toda a empresa, respectivamente, por unidades de autoclave produzida.

- A água utilizada é proveniente da rede pública de abastecimento e os dados de eletricidade são de acordo com a matriz energética brasileira.

- Em relação a análise de transporte, foram considerados caminhões-baú (leves) em estado seminovos, movidos a diesel e que percorrem em média 100km para distribuição dos equipamentos.

Em seguida, elaborou-se o Inventário de ciclo de vida (ICV), que é um processo iterativo e que envolve procedimentos de coleta de dados para quantificação dos fluxos de entradas e saídas na fase de produção do item estudado [2]. Portanto, a coleta de dados foi dividida em três etapas.

A primeira etapa foi constituída de visitas técnicas suficientes para familiarização do setor e processo produtivo. Já em relação a segunda etapa, aplicou-se o primeiro questionário referente aos processos produtivos, procedimentos, identificação de entradas e saídas, bem como a eficiência do processo, incluindo emissões atmosféricas, efluentes líquidos e outros aspectos ambientais [2]. A terceira etapa foi constituída da aplicação do segundo questionário, aplicado aos supervisores e responsáveis, que focou nos cálculos de custos dos processos, a fim de analisar as entradas e saídas dos produtos e subprodutos. Adicionalmente, observações diretas durante a coleta de dados e informações também foram utilizadas com o intuito de identificar o controle de insumos e matérias primas, bem como entrevistas com os responsáveis técnicos referentes ao processo produtivo foram realizadas. Por fim, efetuou-se a compilação de dados, para assim, concluir a pesquisa.

A fase de ICV foi realizada com o auxílio do *software Thinkstep GaBi®*, de forma que as informações quantitativas coletadas nas etapas anteriores serviram de entrada no programa computacional e o mesmo evidenciou resíduos, emissões e efluentes decorrentes de fases do ciclo de vida do produto que não puderam ser mensuradas *in loco*, por meio de um banco de dados proveniente de informações verificáveis e confiáveis, conforme metodologia adaptada de [3].

Já na fase de avaliação dos impactos ambientais, foram utilizadas as informações obtidas a partir do ICV para elaboração de matriz de aspectos e impactos ambientais de acordo com metodologias adaptadas de [4] e [5]. Os impactos foram analisados conforme os seguintes itens:

- Classe (C): Referente à natureza do impacto (positiva ou negativa).

- Severidade (S): De acordo com a magnitude do dano, podendo ser reversível em curto prazo, reversível em longo prazo e irreversível.

- Abrangência (A): Área impactada, pode ser representada por um setor, dentro ou fora da instituição.

- Frequência (F): Ocorrência do impacto, sendo contínua, moderada ou rara.

- Importância (I): Representa o grau de significância do impacto. É determinada pelo produto da classe, severidade, abrangência e frequência.

- Significância (S): definição do impacto como significativo ou não significativo.

De posse dos dados necessários, a interpretação do ciclo de vida do produto foi a fase final do procedimento de ACV e se deu conforme critérios da EN ISO 14040:2006. As informações obtidas foram reunidas e discutidas com apoio na literatura, considerando o objetivo e escopo estabelecidos.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Cálculo de Dados

A quantificação dos impactos ambientais foi realizada por meio do uso do *software Thinkstep GaBi®*, em que os dados de entrada e saída foram utilizados de acordo com o levantamento realizado in loco, referentes a composição dos materiais da autoclave, que foi 15,4 kg de partes de metal (aço), 02 kg de partes de plástico, 01 kg de componentes de borracha. Essa composição foi simplificada por motivos didáticos e por que tais componentes representam mais de 95% da estrutura da autoclave que pesa 18,4 kg. Também foram consideradas como entradas: 10 KW de energia elétrica consumida por autoclave produzida, utilização de aproximadamente 1,14 kg de papelão que compõem a sua embalagem e 40,4 kg de água (a organização quantifica os líquidos por peso, a mesma medida dos sólidos, por questões de gestão e legislação), cujo valor refere-se ao total consumido em todos os setores por número de autoclaves produzidas.

Já os fluxos de saída foram adotados como a autoclave de 18,4 kg, 1,14 kg de resíduos sólidos e 40,4 kg de efluentes sanitários gerados. Adicionalmente foram computados: a utilização de caminhões-baú pequenos movidos a diesel, com média de 100 quilômetros, a fim de considerar o deslocamento para distribuição dos produtos finais.

Por meio do *software* foi possível quantificar os impactos ocasionados pela utilização da autoclave (uso de energia elétrica) considerando 10 anos de vida útil da mesma, para análise de um sistema aberto, ou seja, sem a utilização de materiais reciclados na cadeia de produção.

A título de comparação e sugestões de melhoria, também foram adicionadas ao programa computacional a disposição final do produto, considerando-se apenas o aço e sua reciclagem, e posterior utilização no início do processo produtivo, para análise do “berço ao berço” (ciclo fechado), o que resultou em impactos positivos no meio ambiente, conforme serão apresentados e discutidos no tópico de interpretação da ACV.

B. Identificação e Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais

A matriz de aspectos e impactos ambientais referente as atividades da organização em estudo está representada na Fig.1.

Fig. 1. Matriz de avaliação de aspectos e impactos ambientais.

O critério “Classe” foi enquadrado como negativo para todos os impactos ambientais identificados, pois nenhum deles acarretava benefícios ao meio ambiente.

A “Severidade”, que analisa a dimensão do dano causado, foi caracterizada como reversíveis apenas em longo prazo para os impactos considerados significativos, enquanto para os impactos não significativos. Para os impactos (i) desequilíbrio de ecossistemas e (ii) ampliação de áreas alagadas para construção de hidrelétricas a severidade foi classificada como reversível em longo prazo e para (iii) poluição visual e (iv) proliferação de vetores este critério foi classificado como reversível a longo prazo.

Em relação a “Abrangência” dos impactos ambientais, a maioria foi diagnosticada com nota máxima devido aos seus efeitos negativos poderem atingir geograficamente uma região fora da empresa. Os únicos impactos classificados com nota mínima foram a (i) poluição visual e a (ii) proliferação de vetores, pois a disposição de resíduos dentro do setor pode ocasionar tais efeitos apenas no local em que os resíduos são descartados.

A avaliação da “Frequência” em que os impactos ambientais ocorrem foi decisiva para a classificação de efeitos significativos e não significativos. Os impactos classificados com frequência máxima atingiram pontuação necessária para serem diagnosticados como impactos significativos, com exceção do impacto (i) proliferação de vetores. O impacto (i) poluição de recursos hídricos, enquadrado como significativo, foi classificado com frequência moderada, pois a disposição inadequada de resíduos sólidos ou efluentes ocasionais pode contaminar águas superficiais e subterrâneas.

O resultado da avaliação do critério “Importância” classificou os impactos com valores igual ou maior a 30 como impactos ‘significativos’, enquanto os inferiores foram considerados impactos ‘não significativos’.

Portanto, pela análise de significância, dos nove impactos ambientais identificados, cinco deles foram considerados ‘não significativos’: (i) poluição do solo; (ii) proliferação de vetores; (iii) poluição visual; (iv) desequilíbrio de ecossistemas e (v) ampliação de áreas alagadas para construção de hidrelétricas. Os outros quatro impactos foram considerados ‘significativos’, sendo eles: (i) redução da vida útil do aterro sanitário; (ii) poluição de recursos hídricos; (iii) decréscimo de disponibilidade hídrica e (iv) decréscimo de recursos naturais disponíveis.

C. Interpretação da ACV

1) ACV para o processo do “Portão ao Portão”

Os impactos ambientais diretos e indiretos, resultantes da produção de um exemplar do produto analisado, foram

MATRIZ DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS								
Atividade	Aspecto	Impacto	RESULTADOS					
			Classe	Severidade	Abrangência	Frequência	Importância	Significância
Usinagem	Geração de resíduos	Poluição do solo	3	2	3	1	18	NS
		Redução da vida útil do aterro sanitário	3	2	3	3	54	S
Produção	Geração de resíduos	Proliferação de vetores	3	1	1	3	9	NS
		Poluição visual	3	1	1	1	3	NS
Atividades Administrativas	Consumo de água	Poluição de recursos hídricos	3	2	3	2	36	S
		Decréscimo da disponibilidade hídrica	3	2	3	3	54	S
Uso de Sanitários e cozinha	Consumo de energia elétrica	Decréscimo de recursos naturais disponíveis	3	2	3	3	54	S
		Desequilíbrio de ecossistemas	3	2	3	1	18	NS
		Ampliação de áreas alagadas para construção de hidrelétricas	3	2	3	1	18	NS

calculados com o auxílio do programa computacional e são apresentados a seguir, na Tabela 1.

Os efeitos negativos mais relevantes foram: geração de águas residuárias, que correspondem a 26264,3 toneladas e as emissões atmosféricas que totalizam 546 toneladas.

O expressivo valor referente às águas residuárias dá-se, principalmente, pelo volume de água considerado como essencial para a produção da autoclave, mesmo esta não sendo ligada diretamente a produção da autoclave, mas por considerar a água utilizada para o desempenho de outras funções na organização. Quanto às emissões atmosféricas são, principalmente, devido ao uso de energia elétrica, tanto na produção, quanto na fase de uso do equipamento.

TABELA 1 - IMPACTOS AMBIENTAIS POR AUTOCLAVE DO “PORTÃO AO PORTÃO”

Saídas	Kg
Materiais depositados	35500.0
Emissões atmosféricas	546000.0
Efluentes para águas doces	26200000.0
Efluentes para águas marinhas	64300.0
Resíduos em solo agrícola	0.0
Resíduos em solo industrial	0.023

Uma das informações importantes que o *software* apresenta é o Potencial de Aquecimento Global em relação a cada unidade de autoclave produzida, já que Créditos de Carbono podem até mesmo ser comercializados, no caso de uma redução de emissões. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que praticamente toda a emissão indireta de gases CO₂ equivalentes, material particulado, clorofluorocarbonetos (CFCs) de destruição da camada de ozônio, além dos impactos de eutrofização de águas e redução de recursos hídricos são relacionados ao uso de energia elétrica, tanto na fase de fabricação do produto como o uso de energia para o funcionamento do equipamento durante 10 anos de vida útil.

O potencial indireto de emissões atmosféricas, relacionado à produção de cada autoclave, pode ser visualizado na Fig. 2. Os dois fatores de consumo de energia elétrica combinados correspondem a 10,1 toneladas de CO₂ equivalente, o que é praticamente 100% das emissões.

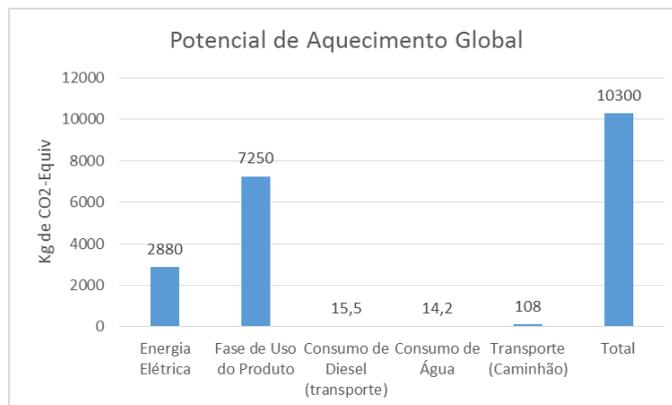


Fig. 2. Gráfico do potencial de aquecimento global.

A emissão de gases provenientes de atividades antrópicas também influencia na camada de ozônio, principalmente os óxidos de nitrogênio e os CFC. A destruição de ozônio favorece também o aquecimento global, além de expor animais e plantas a radiações UV, provenientes do sol e diminuir a eficiência de plantações. O chamado potencial de depleção da camada de ozônio resulta de um cálculo onde são fixados quantidades de gases CFC emitidos e apresentados em quilogramas R11 equivalente. No trabalho em questão foram obtidos 6,44E-07 kg R11 equivalente para o potencial destruidor, conforme representado pela Fig.3.

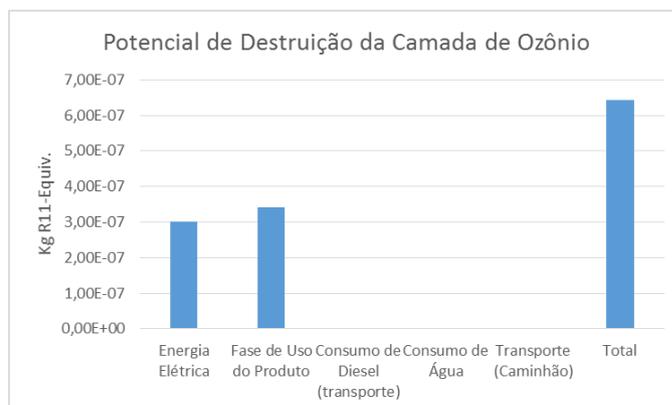


Fig. 3. Gráfico do potencial de destruição da camada de ozônio.

2) ACV para o processo do “Berço ao Berço”

Com a utilização de um ciclo de produção fechado, ou seja, onde o material principal, neste caso o aço, é reciclado e reintroduzido na cadeia produtiva, deixa-se de poluir o meio ambiente com 134 toneladas de materiais que seriam depositados. Já em relação às águas residuárias, os valores continuam semelhantes ao ciclo aberto e sugerem-se medidas mitigadoras que envolvem a redução de consumo.

A título de comparação, a Fig. 4 apresenta o potencial de aquecimento global em quilogramas de CO₂ equivalente para os tipos de ciclo aberto e fechado (sem reintrodução de material reaproveitado no processo produtivo).

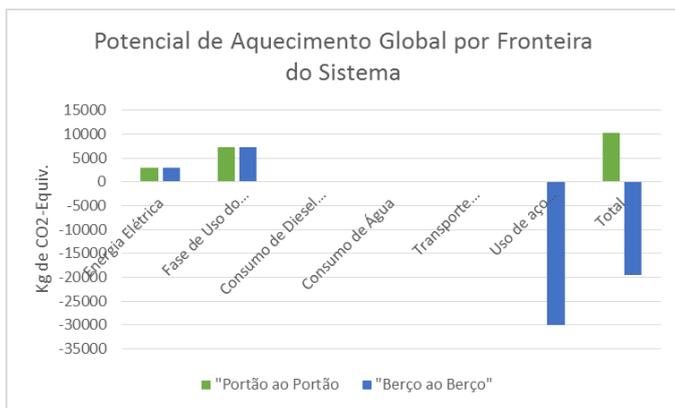


Fig. 4. Gráfico da comparação de potencial de aquecimento global por fronteira do sistema.

A utilização de aço reciclado em um processo produtivo do “berço ao berço” (ciclo fechado) resulta em um total de -20 toneladas de CO₂ equivalente emitidas, enquanto no outro caso, o total emitido é de 10 toneladas associadas indiretamente ao ciclo de vida de uma autoclave.

O uso do material reciclado representa, em si, uma economia de 30 toneladas de CO₂ equivalente que, de outra forma, seriam dispersas no meio ambiente por meio da extração, produção e transporte de matéria-prima, além de resíduos.

As diferenças relacionadas a redução de disponibilidade hídrica, por ser um dos impactos avaliados como significativos neste trabalho, estão graficamente apresentadas na Fig. 5. O total de depleção em m³ equivalentes para o sistema de produção atual é de 143 m³, enquanto para um sistema ideal com a reutilização do aço, seria de 128 m³.

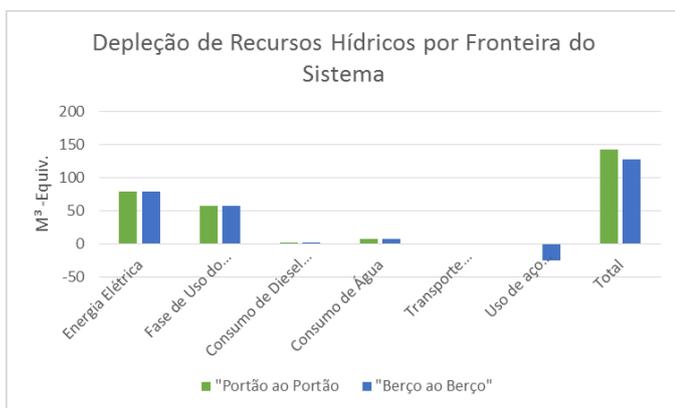


Fig. 5. Gráfico da comparação de depleção de recursos hídricos por fronteira do sistema.

IV. CONCLUSÃO

O presente trabalho aplicou os requisitos organizacionais da ferramenta de análise do ciclo de vida do produto (ACV), com base na norma EN ISO 14040:2006 para uma indústria de equipamentos biossegurança.

Dentre os impactos ambientais avaliados, a redução da vida útil do aterro, a poluição de recursos hídricos, o decréscimo de disponibilidade hídrica e de recursos naturais foram considerados ‘significativos’, principalmente devido a sua frequência e abrangência.

No processo de interpretação da ACV, foram identificados, mais de 26 mil toneladas de águas residuárias e 546 toneladas de emissões atmosféricas decorrentes, indiretamente, da produção de uma autoclave. De uma forma geral, a utilização de energia elétrica da matriz brasileira, composta maioritariamente por hidrelétricas, ocasiona emissões atmosféricas e também eutrofização e depleção de recursos hídricos. A quantidade de água utilizada também foi diagnosticada com um impacto negativo ao meio ambiente, por provocar processos de eutrofização e redução de recursos disponíveis.

A reciclagem de metais ao fim da fase de uso do produto, de forma que tais materiais sejam incorporados novamente no início do ciclo (ciclo fechado), gerou efeitos positivos no meio ambiente por meio de economia de extração, transporte e consumo de novas matérias primas. Nesse caso, foi constatado que possivelmente 134 toneladas de materiais deixariam de ser depositados no meio ambiente em forma de resíduos, além da diminuição de 6 mil toneladas de águas residuárias e redução de 100 toneladas de emissões atmosféricas.

REFERÊNCIAS

- [1] GARCIA, Conrado L. **Indicadores de desempenho baseados na análise do ciclo de vida de produto: um estudo na Weg Indústrias S.A. – motores**. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville, Joinville. 2008.
- [2] INSTITUTO PORTUGUÊS DE QUALIDADE, EN ISO 14040. **Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Princípios e enquadramento**. Caparica, 2008.
- [3] ASSIS, Bruno B. **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. 2009. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- [4] MOREIRA, Maria S. **Estratégia e implantação de sistema de gestão ambiental modelo ISO 14000**. Belo Horizonte: Ed Desenvolvimento Gerencial, 2001.
- [5] SEIFFERT, Mari E. B. **ISO 14001 Sistemas de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.