

A APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NO PLANEAMENTO DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

S. XARÁ*^{1,2}, M. SILVA², M. F. ALMEIDA¹ e C. COSTA¹

¹ LEPAE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente e Energia
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

* Tel: + 351 22 5081687, Fax: 351 22 5081449, email: sxara@esb.ucp.pt

² Escola Superior de Biotecnologia - Universidade Católica Portuguesa
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 4200 Porto, Portugal

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) assenta actualmente no conceito de gestão integrada que se traduz na combinação dos métodos de recolha e tratamento de resíduos de forma a definir a opção mais favorável em termos ambientais, económicos e sociais. Relativamente à questão ambiental, dever-se-á ter em conta as cargas ambientais associadas às diferentes opções de gestão de resíduos, considerando não só o impacto das emissões, mas também o impacto associado ao consumo/recuperação de materiais e energia.

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma técnica de gestão ambiental que tem sido usada no planeamento da gestão integrada de RSU para comparar diferentes estratégias de gestão apresentando aos decisores as vantagens e desvantagens ambientais de cada opção.

Neste trabalho é usado um modelo desenvolvido com base na metodologia de ACV para comparar cenários de gestão de RSU produzidos numa região de 300 000 habitantes, nomeadamente deposição de todos os resíduos em aterro, realização de compostagem com e sem hipótese de comercialização do composto e incineração de todos os resíduos. Esta comparação tem por base o consumo de energia e o potencial de aquecimento global das emissões associadas a cada um dos diferentes cenários.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um tema polémico, complexo e frequentemente em debate. No passado, a gestão de resíduos limitava-se à recolha e sua deposição em lixeira ou aterro. Posteriormente, começou a associar-se a esta questão a consciencialização da necessidade de conservação de recursos e também aspectos relacionados com a poluição do meio e com a saúde pública. Surgiram, assim, manifestações a favor de alguns processos de gestão de resíduos em detrimento de outros. A própria Comissão Europeia, na estratégia geral da União Europeia em matéria de resíduos de 1996, estabeleceu a hierarquia preferencial de gestão de resíduos como minimização, reutilização, reciclagem, tratamento biológico, tratamento térmico (com e sem recuperação de energia) e deposição em aterro. No entanto, são reconhecidas as limitações e discutida a utilização desta lista de prioridades de uma forma rígida.

Actualmente, sabido o papel e função de cada operação de tratamento de resíduos, reconhece-se a necessidade de combinar de forma integrada as diferentes operações quando, como no caso dos RSU, se pretende gerir convenientemente um conjunto de resíduos diversificado em composição e outras características. Esta combinação deve, pois, ser escolhida de forma a minimizar os aspectos ambientais, mas tendo também em conta questões económicas e sociais. Surge assim o conceito de gestão integrada que hoje em dia está na base de qualquer sistema de gestão de resíduos.

2. A ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA GESTÃO DOS RSU

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma técnica de gestão ambiental que permite avaliar os aspectos ambientais e potenciais impactos associados a um sistema (produto ou serviço) ao longo de todo o seu ciclo de vida, isto é, do "berço" ao "túmulo", ou seja, desde a extracção das matérias-primas, sua produção e utilização até à deposição final. Cada sistema deve considerar-se um conjunto de unidades processuais ligadas por correntes de materiais e energia, que desempenha uma ou mais funções. Esta técnica tem sido usada com sucesso no desenvolvimento de modelos de avaliação das cargas ambientais associadas aos sistemas de gestão de resíduos, permitindo comparar diferentes estratégias de gestão e informar os decisores das vantagens e desvantagens ambientais de cada opção. Em cada opção há a necessidade de avaliar as cargas ambientais inerentes à gestão de resíduos, tendo em conta não só as operações de tratamento daqueles, como também todas as actividades associadas, desde a possível recolha dos resíduos até ao seu destino final, incluindo o transporte e a obtenção dos materiais e energia necessários.

Em termos metodológicos, a ACV divide-se em 4 etapas (ISO 14040, 1997): (i) definição do objectivo e âmbito; (ii) análise de inventário; (iii) avaliação de impactos; e, (iv) interpretação dos resultados.

A definição do objectivo e âmbito é a primeira etapa de um estudo de ACV. Estabelece o objectivo final do estudo e o seu nível de detalhe, pelo que a sua clara definição e apresentação é de extrema importância. O objectivo de um estudo de ACV deve incluir a aplicação prevista para o resultado do estudo, as razões para o seu desenvolvimento e destinatários. O âmbito de um estudo de ACV está intimamente relacionado com o detalhe com que se pretende desenvolver o estudo. Inclui a definição de: função ou funções do(s) sistema(s) em estudo, unidade funcional, como a unidade de referência para a quantificação das correntes de entrada e saída do(s) sistema(s), sistema(s) estudado(s) e sua(s) fronteira(s), isto é, as unidades processuais que são incluídas no(s) sistema(s) em estudo. No caso apresentado neste trabalho, o objectivo é comparar cenários opcionais de gestão de resíduos em termos de consumo de energia e de potencial de aquecimento global. As funções dos sistemas estudados são a recolha, tratamento e deposição dos resíduos produzidos numa região de 300 000 habitantes. Os sistemas opcionais estudados, definidos em cenários, incluem a recolha dos resíduos, o transporte até às unidades de tratamento especificadas em cada cenário, o transporte dos resíduos resultantes das unidades de tratamento para o aterro, o funcionamento das unidades de tratamento especificadas em cada cenário, a produção e uso de diesel, de gás natural e de electricidade, bem como a produção do polietileno de alta densidade (PEAD) usado nos sacos da recolha.

A realização do inventário envolve a recolha e tratamento de dados para quantificação das correntes (entradas e saídas) de materiais e energia de cada sistema. Em cada unidade processual procede-se à quantificação de recursos, materiais, energia e emissões associadas ao processo. No

caso aqui apresentado, para cada cenário de gestão de RSU quantificaram-se as correntes de materiais e energia de acordo com o modelo de inventário proposto por White et al, 1995. Apenas se contabilizaram o consumo/recuperação de energia e as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O.

Na etapa de avaliação de impactos, os dados de inventário são traduzidos no seu potencial efeito no ambiente. As categorias de impacto consideradas devem incluir a utilização de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas. No caso apresentado as categorias de impacto que se consideraram foram o uso de recursos (energia) e o aquecimento global resultante dos gases acima referidos.

Na fase de interpretação, as informações decorrentes do inventário e/ou da avaliação de impactos são avaliadas de modo a conduzir a conclusões e recomendações consistentes com os objectivo e âmbito do estudo.

Alguns exemplos de aplicação da ACV à gestão de resíduos incluem os seguintes:

- avaliação ambiental de sistemas de recolha de resíduos;
- avaliação das cargas ambientais associadas a programas de reciclagem de materiais;
- avaliação da vantagem da compostagem da fracção orgânica dos resíduos incluindo ou não a fracção de papel;
- avaliação da vantagem de diferentes cenários de tratamento de resíduos, tais como incineração, deposição em aterro, tratamento biológico e reciclagem;
- desenvolvimento de estratégias de gestão de resíduos a longo prazo;
- avaliação de benefícios ambientais resultantes da alteração de sistemas de gestão;
- avaliação de sistemas de tratamento a implementar localmente;
- avaliação das cargas ambientais dos sistemas de gestão que são propostos por entidades contratadas para a gestão nos municípios;
- promoção da participação pública nas questões ambientais; através da disponibilização de informação objectiva sobre as cargas ambientais dos diferentes sistemas de gestão.

A ACV ajusta-se à realidade local, usando dados decorrentes das infraestruturas existentes e tendo em conta as especificidades da região abrangida pelo estudo, permitindo, desse modo, realizar o planeamento da gestão de resíduos numa forma objectiva.

3. EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DA ACV NA GESTÃO INTEGRADA DE RSU

Na utilização de um modelo de gestão com base na ACV (White et al, 1995), foram considerados 4 cenários hipotéticos de gestão de RSU produzidos numa região com 300 000 habitantes. Os cenários estudados, além da permanência da composição dos resíduos, supõem o mesmo sistema de recolha indiferenciada em sacos de PEAD, 5 vezes por semana, seguida de transporte para a unidade de tratamento. As opções de tratamento incluem a deposição em aterro (cenário 1), compostagem com e sem mercado para o composto (cenários 2 e 3, respectivamente) e incineração de todos os RSU (cenário 4). Nos cenários 2, 3 e 4 há deposição em aterro dos resíduos respectivamente resultantes da compostagem e da incineração. A composição dos resíduos e os cenários estudados sintetizam-se na Tabela 1. Na Tabela 2 são apresentadas as hipóteses consideradas no modelo.

Na etapa de avaliação, tal como já referido, consideraram-se como categorias de impacto o consumo de energia e o potencial de aquecimento global (PAG). Para este último, foram tidas em conta as emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, com potenciais de aquecimento global de, respectivamente, 1 para CO₂, 21 para CH₄ e 310 para N₂O, de acordo com as propostas do Intergovernmental Panel for Climate Changes (IPCC, 1996). Os resultados obtidos com esta base de ponderação são apresentados nas figuras 1 a 5.

4. CONCLUSÕES

A análise das figuras 1 a 5 permite estabelecer algumas conclusões acerca dos sistemas de gestão de resíduos definidos pelos diferentes cenários da região em estudo.

O cenário 4 - incineração dos RSU - em termos de saldo energético tem uma clara vantagem face aos outros cenários devido à recuperação de energia realizada no processo de incineração. Nos restantes cenários há um consumo real de energia, e, portanto, um saldo energético negativo. O cenário 1 - deposição dos RSU em aterro - é o que apresenta menor consumo de energia, apesar da diferença em relação aos cenários 2 e 3 ser pouco significativa.

Sobre o potencial de aquecimento global o mais favorável é o cenário 2 - compostagem com possibilidade de comercialização do composto. Nesta categoria de impacto, o mais desfavorável é o cenário 1 - deposição dos RSU em aterro. Este facto deve-se essencialmente à emissão de CH₄ associada à degradação anaeróbia dos resíduos depositados em aterro. A emissão de CO₂ mais elevada verifica-se no cenário 4 - incineração de todos os RSU - mas o efeito no PAG é diminuída pelo valor negativo da emissão de N₂O neste cenário resultante da emissão evitada na produção de energia eléctrica por meios convencionais geradores de N₂O, como é o caso das centrais termoeléctricas.

O cenário 2 apresenta uma clara vantagem em relação ao cenário 3 em termos de PAG. Esta situação resulta na prática de não haver mercado para o composto produzido, por exemplo devido ao não cumprimento dos requisitos de qualidade, o que não é raro acontecer em alguns países europeus. Neste caso o composto foi considerado depositado em aterro, pelo que a vantagem de um cenário de compostagem avaliada com base no PAG aparece francamente diminuída. Em alguns países europeus é comum este composto não vendável ser incinerado.

Tabela 1. Características dos cenários estudados.

Características da região, recolha e resíduos produzidos	
População	300 000 habitantes
Nº de habitantes por habitação	4
Produção de resíduos	300 kg/hab.ano
Composição dos resíduos (% em peso)	Papel = 20,4 Vidro = 3,5 Metal = 2,4 (92% ferrosos, 8% não ferrosos) Plástico = 9,1 (75% filme, 25% rígido) Textêis = 4,7 Orgânicos = 38,5 Outros = 21,4
Nº total de visitas dos veículos de recolha	260 por habitação por ano
Nº de sacos recolhidos por habitação por ano	260 (1 saco por dia, 5 dias por semana)
Massa de cada saco (de PEAD)	20g
Consumo médio dos veículos de recolha	30l por 1000 habitações
Cenários	
<i>Cenário 1</i>	Recolha indiferenciada Deposição em aterro
<i>Cenário 2</i>	Recolha indiferenciada Pré-separação de todos os resíduos que não são papel e orgânicos com recuperação de 90% dos metais ferrosos Compostagem dos resíduos papel+orgânicos, com mercado para o composto Deposição dos resíduos da compostagem em aterro
<i>Cenário 3</i>	Recolha indiferenciada Pré-separação de todos os resíduos que não são papel e orgânicos com recuperação de 90% dos metais ferrosos Compostagem dos resíduos papel+orgânicos, sem mercado para o composto Deposição dos resíduos da compostagem e do composto em aterro
<i>Cenário 4</i>	Recolha indiferenciada Incineração conjunta de todos os resíduos Recuperação de 90% dos metais ferrosos das escórias Deposição de todos os resíduos de incineração em aterro

Tabela 2. Hipóteses consideradas no modelo

<p>Aterro Consumo de diesel no aterro = 0,6 l/ton res. Eficiência de recolha do gás no aterro = 40% Não há recuperação de energia a partir do gás do aterro Volume de gás gerado por cada tipo de resíduo (Nm³/ton res.): Papel = 250 Vidro = 0 Metais ferrosos = 0 Metais não ferrosos = 0 Plástico filme = 0 Plástico rígido = 0 Têxteis = 250 Orgânicos = 250 Outros = 0 Composto = 0 Escórias = 0 Composição do gás do aterro (g/Nm³): CO₂ = 883,93 CH₄ = 392,86 N₂O = 0 Composição do gás resultante da queima do gás do aterro (g/Nm³): CO₂ = 1964,29 CH₄ = 0 N₂O = 0 Incineração Distância da unidade de incineração ao aterro de resíduos perigosos = 2 km Distância da unidade de incineração ao aterro de resíduos não-perigosos = 10 km Quantidade de cinzas volantes produzidas = 0,032 ton/tonres. (para qualquer resíduo) % de reutilização de cinzas = 0% Eficiência da recuperação de energia = 20% Não há reutilização de escórias Produção de escórias por cada tipo de resíduo (ton/tonres.): Papel = 0,084 Vidro = 0,9 Metais ferrosos = 0,85 Metais não ferrosos = 0,9 Plástico filme = 0,09 Plástico rígido = 0,06 Têxteis = 0,075 Orgânicos = 0,077 Outros = 0,42 Consumo de electricidade = 70 kWh/ton res. Consumo de gás natural = 0,23 m³/ton res. Emissão de CH₄ = 0 g/ton res. Emissão de N₂O = 0 g/ton res.</p>	<p>Emissão de CO₂ por cada tipo de resíduo (g/ton res.): Papel = 1128500 Vidro = 0 Metais ferrosos = 0 Metais não ferrosos = 0 Plástico filme = 2336700 Plástico rígido = 2492500 Têxteis = 1209200 Orgânicos = 563900 Outros = 1025900 Tratamento biológico Fracção de orgânicos e papel considerados como não completamente biodegradáveis e/ou aderidos ao material removido na pré-separação = 5% Distância da unidade de compostagem ao aterro = 10 Km Consumo de energia na unidade de compostagem = 30 kWh/ton res. Produção de composto = 0,5 ton/ton res. Emissão de CO₂ = 320 kg/ton res. Emissão de CH₄ = 0 g/ton res. Emissão de N₂O = 0 g/ton res. Combustíveis, matérias-primas e transportes Produção e uso de diesel: Resíduos não perigosos = 0,0057 ton/1000l Consumo de energia = 44,1 GJ/1000l Emissão de CO₂ = 3036258 g/1000l Emissão de N₂O = 41 g/1000l Emissão de CH₄ = 0 Produção de PEAD dos sacos: Resíduos não perigosos = 0,0885 ton/ton Consumo de energia = 98,1 GJ/ton Emissão de CO₂ = 1691657 g/ton Emissão de N₂O = 70 g/ton Emissão de CH₄ = 0 Produção e uso de electricidade: Resíduos não perigosos = 0,0491 ton/MWh Consumo de energia = 9,5 GJ/MWh Emissão de CO₂ = 441657 g/MWh Emissão de N₂O = 70 g/MWh Emissão de CH₄ = 0 Produção e uso de gás natural: Emissão de CO₂ = 2061211 g/1000m³ Emissão de CH₄ = 0 Consumo de diesel de um camião de 20 ton = 0,3211/km Obtenção de metais ferrosos: Consumo de energia = 12,4 GJ/ton Emissão de CO₂ = 0 Emissão de N₂O = 176 g/ton Emissão de CH₄ = 0</p>
---	---

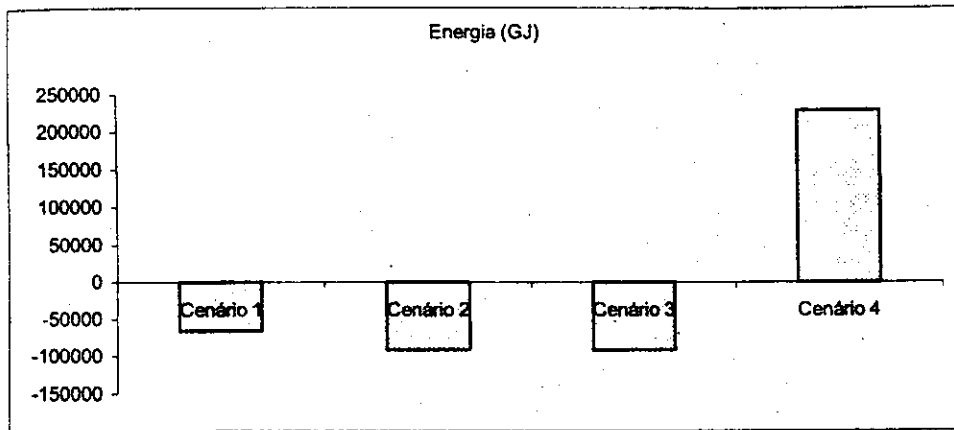


Figura 1. Balanço energético (GJ)

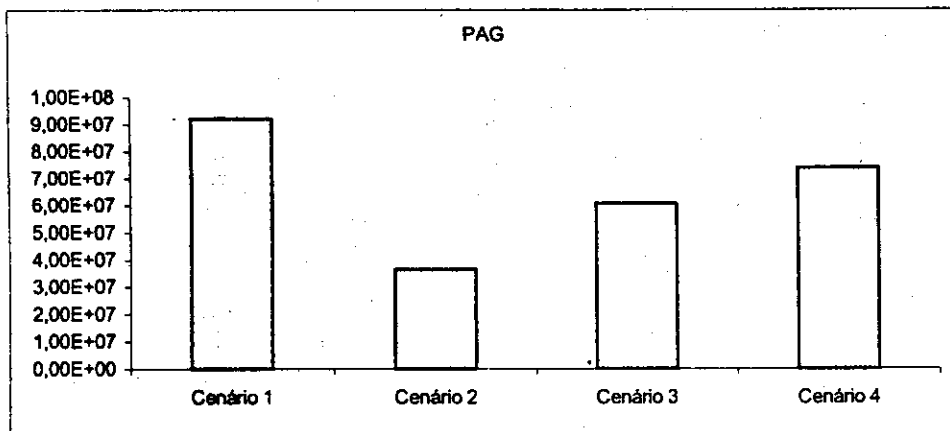


Figura 2. Potencial de aquecimento global

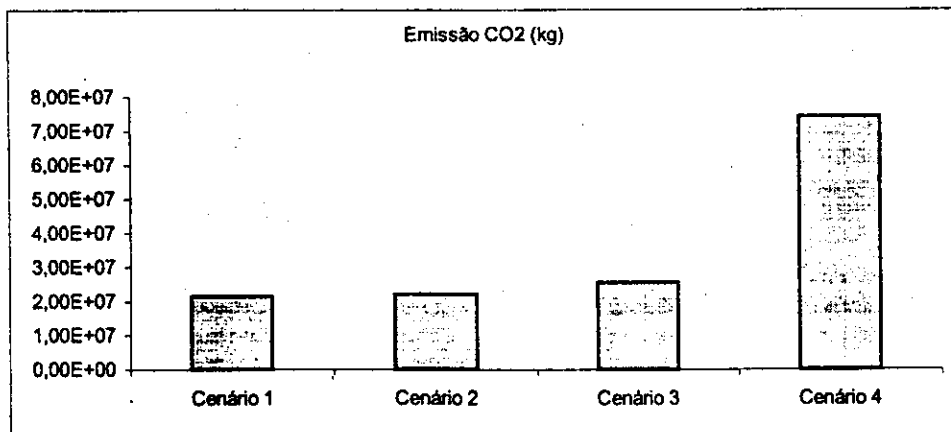


Figura 3. Emissão de CO₂ (kg)

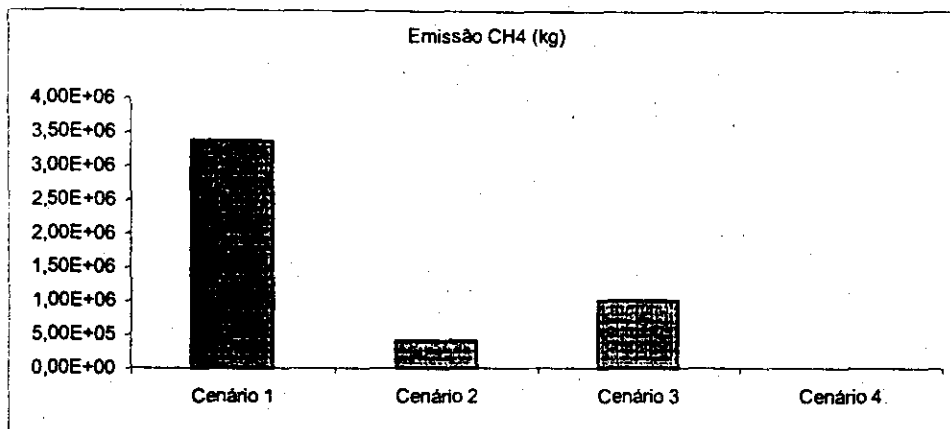


Figura 4. Emissão de CH₄ (kg)

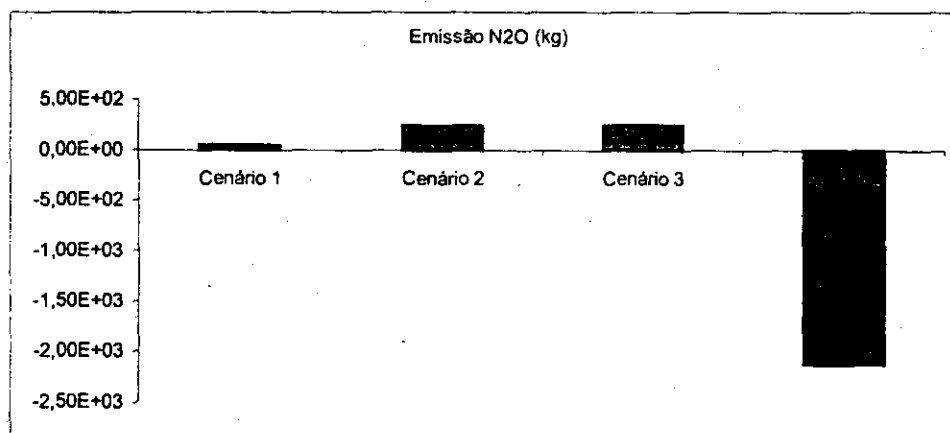


Figura 5. Emissão de N₂O (kg)

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO 14040 (1997) Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, International Organisation for Standardisation, Switzerland.

White et al (1995) Integrated Solid Waste Management: A life cycle inventory, Blackie A&P; Glasgow, U.K.

IPCC (1996) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 3, Intergovernmental Panel for Climate Changes.