

# AVALIAÇÃO DE PERIGOS E EVENTOS PERIGOSOS EM SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

## ASSESSMENT OF HAZARDS AND HAZARDOUS EVENTS IN MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEMS

*Bárbara Rani-Borges<sup>a</sup>, José M. P. Vieira<sup>a,\*</sup>*

<sup>a</sup>Universidade do Minho, Gualtar 4710-057 Braga, Portugal

### RESUMO

Os processos de recolha, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) podem induzir situações de riscos potenciais, implicando impactos nocivos para a qualidade do ar, do solo e da água. A aplicação de metodologias de avaliação e gestão de risco pode reduzir significativamente esses impactos, protegendo a saúde pública e permitindo bons padrões de qualidade ambiental. A metodologia de avaliação e gestão de riscos em sistemas de RSU é baseada na identificação das potenciais fontes de perigo, sucedendo-se a quantificação e priorização dos riscos, permitindo estabelecer medidas de controlo para evitar ou mitigar os eventos perigosos. Este trabalho descreve a forma como se estruturou uma base de dados de perigos e eventos perigosos associados a sistemas de RSU. Para isso, consideraram-se todos os procedimentos e estruturas utilizadas na recolha, transporte, armazenamento temporário e triagem, tratamento e disposição final. A informação contida na base de dados sobre perigos e eventos perigosos servirá para o desenvolvimento de um Plano de Segurança de Resíduos Sólidos (PSRS), cujo objetivo é a promoção de um sistema mais seguro e mais eficaz na proteção da saúde pública e do ambiente.

**Palavras Chave** – eventos perigosos, gestão de riscos, plano de segurança, resíduos sólidos, saúde pública.

### ABSTRACT

The process of municipal solid waste (MSW) collection, treatment and disposal may induce potential risks implying harmful impacts on the quality of air, soil and water. The implementation of risk assessment and risk management methodologies can significantly reduce those impacts, protecting public health and allowing good environmental quality standards. The methodology of risk assessment and risk management applied in MSW systems is based on the identification of potential hazards sources, followed by the qualification and prioritization of risks, and the establishment of control measures to prevent or mitigate hazardous events. This paper describes the construction of a database of hazards and hazardous events related to MSW management systems. For that purpose, processes and physical structures used in the collection, transport, temporary storage and sorting, treatment and final disposal were considered. The information on hazards and hazardous events contained in the database will be used in developing a Solid Waste Safety Plan (SWSP), whose goal is to promote a safer and more effective system for the protection of public health and the environment.

**Keywords** – hazardous events, safety plan, solid waste, public health, risk management.

---

\* *Autor para correspondência. Corresponding author.*  
E-mail: [jvieira@civil.uminho.pt](mailto:jvieira@civil.uminho.pt) (Prof. Doutor J. Vieira)

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma atividade que, embora requeira grande atenção de todos os países do mundo, apresenta grandes impactos ambientais e na saúde pública em países em desenvolvimento, devido a falta de tecnologias adequadas e a investimento insuficiente para o tratamento de resíduos (Abdoli *et al.* 2016). A produção desordenada de resíduos resulta em um grande conflito ambiental (Rani-Borges e Vieira 2015), já que a natureza não consegue assimilar materiais sintéticos e desconhecidos através de ciclos naturais, resultando na sua acumulação desordenada no ambiente (Pereira e Maia 2012).

A garantia da qualidade do sistema de gestão de RSU constitui elemento essencial das políticas de saúde pública e ambiental, já que podem ser afetados através do contacto directo ou indirecto com resíduos, originados através de agentes de perigo de carácter físico, biológico, químico ou radiológico. Tais aspectos negativos apresentados pelos sistemas de gestão de RSU são ocasionados, principalmente, por sistemas mal estruturados e pela disposição inadequada de resíduos, que provocam a contaminação de recursos hídricos, do ar e do solo (Cossu 2013, Gouveia 2012).

Atualmente, existem disponíveis diversas tecnologias com o propósito de minimizar a geração, volume e impactos negativos causados por RSU. Entretanto, estas tecnologias estão sendo cada vez mais otimizadas, a fim de minimizar os efeitos negativos sobre a saúde pública e para o ambiente. As mais frequentemente utilizadas são: reciclagem, compostagem, incineração com recuperação de energia e disposição final em aterro sanitário (Abdoli *et al.* 2013, Williams 2005).

Um sistema de RSU, compreendendo as etapas de recolha, transporte, tratamento e disposição final de resíduos, comporta perigos e riscos para saúde pública e ambiente que é necessário prever e minimizar. A avaliação de gestão de riscos de RSU pode ser realizada através de um esquema estruturado que garanta qualidade e segurança através de um Plano de Segurança de Resíduos Sólidos (PSRS), o qual pode assumir elevada relevância para decisores políticos, agências reguladoras, entidades gestoras de resíduos, profissionais de saúde e ambiente, educadores e líderes de comunidades.

O PSRS deve ser baseado em objetivos de saúde pública definidos pelo Ministério da Saúde e em níveis de preservação da qualidade ambiental estipulados pelas agências reguladoras ambientais. A implementação de um PSRS pode constituir um elemento fundamental para avaliação de um sistema de gestão de RSU, para reduzir a sua vulnerabilidade e assegurar uma gestão de alta qualidade. Na Figura 1 apresenta-se o enquadramento de um PSRS numa perspectiva de garantia de saúde pública e qualidade ambiental.

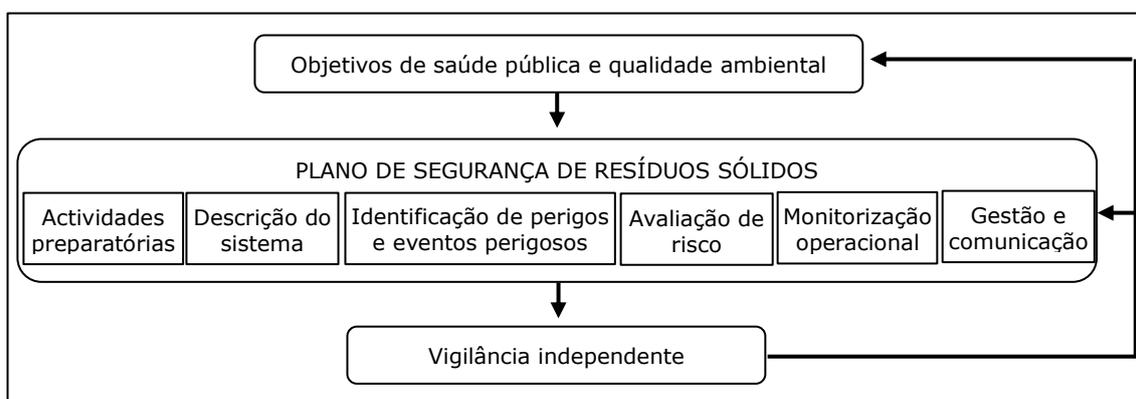


Figura 1 – Enquadramento funcional de um PSRS

Na estruturação de um PSRS assume particular importância a identificação de perigos e avaliação de risco em todo o sistema de gestão de resíduos. Para tal, são desenvolvidas actividades preparatórias com a avaliação do sistema em todas as suas etapas, monitorização operacional e a gestão e comunicação.

Para a realização da avaliação de risco é imprescindível identificar perigos e eventos perigosos, etapa objeto de desenvolvimento no presente trabalho. Para esta identificação é necessário considerar os procedimentos e estruturas utilizados no sistema de RSU, que podem contemplar processos de recolha e transporte, armazenamento temporário e triagem, compostagem, reciclagem, incineração e disposição final (Forastiere *et al.* 2011). As tecnologias utilizadas para gestão de RSU podem variar de acordo com diversos fatores, principalmente devido à necessidade de se aplicar uma tecnologia apropriada para a realidade local, tais como capacidade financeira, espaço físico e mão de obra qualificada.

Neste trabalho descrevem-se excertos de uma base de dados de perigos e eventos perigosos organizada para servir de apoio à avaliação de riscos num sistema de RSU. Esta base de dados, fundamental para a implementação de um PSRS, permite realizar a avaliação de exposição aos perigos, determinando a população de risco e as possíveis rotas de exposição para cada perigo identificado, considerando diversos tipos de sistemas de gestão de RSU.

## 2 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, a metodologia utilizada foi baseada na adaptação da estrutura metodológica dos Plano de Segurança de Água (PSA) e Plano de Segurança de Saneamento (PSS) propostos pela Organização Mundial da Saúde (TECHNEAU 2008, Vieira 2011, WHO 2011, WHO 2016).

Em particular, neste trabalho são referidos detalhes da metodologia utilizada para a identificação de perigos e eventos perigosos ao longo de sistemas de RSU. Para tanto, foi necessário estudar as etapas que constituem os sistemas e reunir dados suficientes para construção da base de dados. As etapas consideradas foram: recolha e transporte; armazenamento e triagem; compostagem; incineração; reciclagem; disposição em lixeira; e disposição em aterro sanitário.

A base de dados foi criada a partir da análise individualizada de cada uma das etapas consideradas, com o objetivo de servir de auxílio para qualquer sistema de RSU, independente das tecnologias que o compõem. Desta forma, a base de dados pode ser consultada para diferentes sistemas, tendo em conta apenas as tecnologias desejadas.

No Quadro 1 apresentam-se os conceitos que foram utilizados na identificação de perigos e eventos perigosos.

Quadro 1 – Conceitos utilizados no processo de identificação de perigos e eventos perigosos

Perigo	Agente capaz de causar danos e ameaçar a integridade física de pessoas, de propriedades ou do ambiente	
Evento Perigoso	Consequência indesejada que se dá através dos agentes de perigo e que pode vir a provocar danos para o meio ambiente, saúde pública ou estruturas físicas	
Tipo de Perigo	F: Físico Q: Químico	B: Biológico R: Radiológico
Recursos Afetados	1: Ar 2: Água 3: Solo 4: Paisagem 5: Clima 6: Saúde Pública e Ambiente 7: Saúde do Trabalhador	

No Quadro 2 identificam-se classes de população com maior probabilidade de exposição aos perigos e eventos perigosos.

Quadro 2 – Classes de população exposta a perigos e eventos perigosos

Sigla	Classe	Descrição
C	Consumidores	Pessoas que consomem ou utilizam produtos que foram produzidos a partir do processo de gestão de RSU
A	Agricultores	Pessoas que manipulam produtos do processo de gestão de RSU
L	Comunidade local	Pessoas que moram nas proximidades de etapas de sistemas de RSU
T	Trabalhadores	Responsáveis pela manutenção, limpeza ou operação de sistemas de RSU

Na Figura 2, representa-se em um exemplo de diagrama de fluxo de sistemas de RSU com diversas possibilidades de disposição final. Neste diagrama referem-se as classes de população com uma exposição mais directa relativamente a cada uma das etapas consideradas.

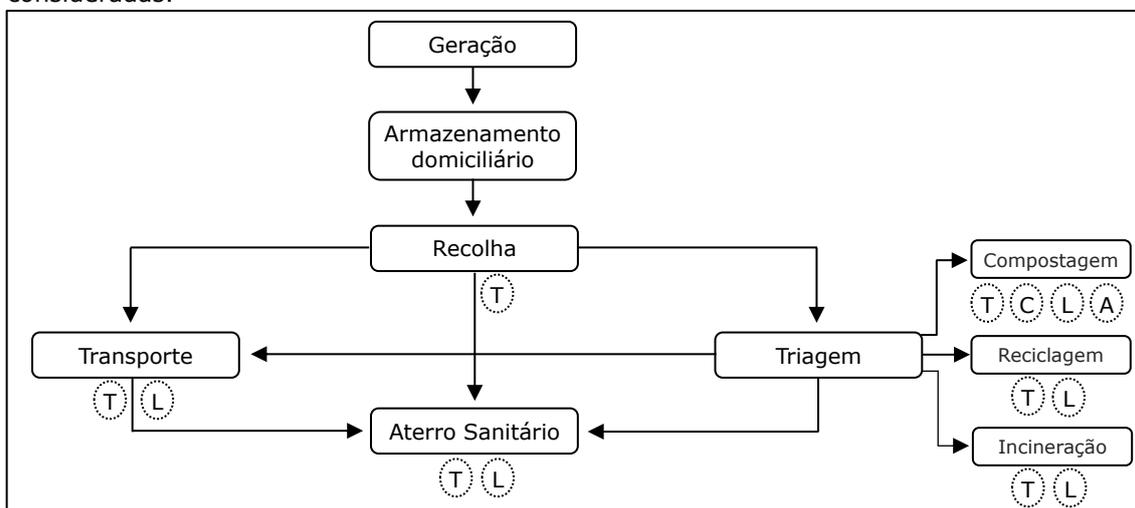


Figura 2 - Diagrama de fluxo de um sistema de RSU com referência de exposição da população

Na Figura 3 apresenta-se um esquema com as rotas de exposição aos perigos e eventos perigosos com influência directa na saúde humana.

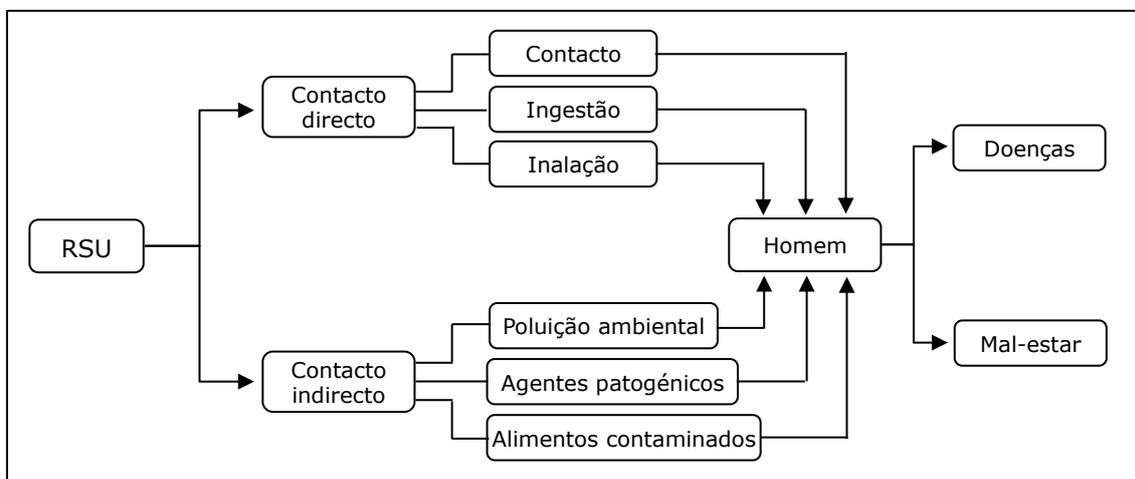


Figura 3 - Rotas de exposição com influência directa na saúde humana

©APESB

### 3 BASE DE DADOS DE PERIGOS E EVENTOS PERIGOSOS

Nos Quadros 3 a 9 apresentam-se, respectivamente, conjuntos de perigos e eventos perigosos constantes da base de dados construída, associados as etapas de recolha e transporte, armazenamento e triagem, transporte, compostagem, reciclagem, incineração, disposição em lixeira e disposição em aterro sanitário.

Quadro 3 – Perigos e eventos perigosos relacionados com a recolha e transporte de RSU

Perigo	Evento Perigoso	Tipo de Perigo				Recursos Afetados
		F	B	Q	R	
Partículas, poeira e gases	Exposição a contaminantes aerotransportados	X	X	X		1, 5, 6, 7
Odor	Exposição contínua ou temporária a odores	X	X			1, 7
Vibrações e ruídos	Vibrações e ruídos produzidos por equipamentos	X				7
Agentes patogénicos	Contacto com agentes patogénicos provenientes dos resíduos e da decomposição dos mesmos		X			6, 7
Resíduos misturados	Contacto com resíduos especiais sem equipamentos apropriados		X	X	X	6, 7
Objetos pontiagudos	Acidentes causados pelo contacto directo com objetos cortantes descartados inadequadamente	X				7
Resíduos mal acondicionados	Contacto directo com resíduos ou espalhamento de resíduos em vias públicas	X	X			4, 6, 7
Veículo compactador	Acidentes com o veículo compactador	X				7
Derrames líquidos	Derrame líquido de óleo ou combustível por razão de avaria mecânica no veículo compactador			X		2, 3, 4, 6
Condições atmosféricas adversas	Exposição a condições atmosféricas adversas, como calor, frio e humidade	X				7
Ergonomia	Lesões e dores musculares causadas pela movimentação de cargas e postura errada	X				7

Quadro 4 – Perigos e eventos perigosos relacionados com o armazenamento e triagem de RSU

Perigo	Evento Perigoso	Tipo de Perigo				Recursos Afetados
		F	B	Q	R	
Partículas, poeira e gases	Exposição a contaminantes aerotransportados	X	X	X		1, 5, 6, 7
Odor	Exposição contínua ou temporária a odores	X	X			1, 7
Vibrações e ruídos	Vibrações e ruídos produzidos por equipamentos	X				7
Agentes patogénicos	Contacto com agentes patogénicos provenientes dos resíduos e da decomposição dos mesmos		X			6, 7
Resíduos misturados	Contacto com resíduos especiais sem equipamentos apropriados		X	X	X	6, 7
Objetos pontiagudos	Acidentes causados pelo contacto directo com objetos cortantes descartados inadequadamente	X				7
Calor	Exposição contínua ou temporária a situações adversas de temperatura	X				5, 6, 7
Gases	Emissão de gases durante o processo de degradação de RSU	X		X		1, 5, 6, 7

Quadro 5 – Perigos e eventos perigosos relacionados com a compostagem de RSU

Perigo	Evento Perigoso	Tipo de Perigo				Recursos Afetados
		F	B	Q	R	
Partículas, poeira e gases	Exposição a contaminantes aerotransportados	X	X	X		1, 5, 6, 7
Odor	Exposição contínua ou temporária a odores	X	X			1, 7
Vibrações e ruídos	Vibrações e ruídos produzidos por equipamentos	X				7
Agentes patogênicos	Contacto com agentes patogênicos provenientes dos resíduos e da decomposição dos mesmos		X			6, 7
Resíduos misturados	Contacto com resíduos especiais sem equipamentos apropriados	X	X	X		6, 7
Toxicidade, agrotóxicos e metais pesados	Contacto, ingestão ou inalação de produtos contaminados devido ao processo de compostagem	X	X			1, 2, 3, 6, 7
Substâncias tóxicas e COV	Inalação e contacto com substâncias tóxicas geradas durante o processo de compostagem			X		1, 2, 3, 6, 7

Quadro 6 – Perigos e eventos perigosos relacionados com a reciclagem de RSU

Perigo	Evento Perigoso	Tipo de Perigo				Recursos Afetados
		F	B	Q	R	
Partículas, poeira e gases	Exposição a contaminantes aerotransportados	X	X	X		1, 5, 6, 7
Odor	Exposição contínua ou temporária a odores	X	X			1, 7
Vibrações e ruídos	Vibrações e ruídos produzidos por equipamentos	X				7
Agentes patogênicos	Contacto com agentes patogênicos provenientes dos resíduos e da decomposição dos mesmos		X			6, 7
Resíduos misturados	Contacto com resíduos especiais sem equipamentos apropriados	X	X	X		6, 7
Metais pesados	Exposição a metais pesados presentes em determinados RS			X		2, 3, 6, 7
Agentes tóxicos	Inalação e contacto com substâncias tóxicas geradas pelo processo de reciclagem			X		1, 2, 3, 6, 7
Dioxinas	Produção e inalação de dioxinas	X		X		1, 6, 7
Máquinas	No momento de compactar: amputações, esmagamentos e queimaduras	X				7

Quadro 7 – Perigos e eventos perigosos relacionados com a incineração de RSU

Perigo	Evento Perigoso	Tipo de Perigo				Recursos Afetados
		Q	B	Q	R	
Partículas, poeira e gases	Exposição a contaminantes aerotransportados	X	X	X		1, 5, 6, 7
Odor	Exposição contínua ou temporária a odores	X	X			1, 7
Vibrações e ruídos	Vibrações e ruídos produzidos por equipamentos	X				7
Agentes patogênicos	Contacto com agentes patogênicos provenientes dos resíduos e da decomposição dos mesmos		X			6, 7
Resíduos misturados	Contacto com resíduos especiais sem equipamentos apropriados	X	X	X		6, 7
Gases ácidos e CO <sub>2</sub>	Emissão de gases durante o processo de degradação dos RSU	X		X		1, 5, 6, 7
Metais pesados	Exposição a metais pesados presentes em determinados RS			X		2, 3, 6, 7

Quadro 8 – Perigos e eventos perigosos relacionados com a disposição final de RSU em lixeira

Perigo	Evento Perigoso	Tipo de Perigo				Recursos Afetados
		F	B	Q	R	
Partículas e poeira	Exposição a contaminantes aerotransportados	X	X	X		1, 5, 6, 7
Odor	Exposição contínua ou temporária a odores	X	X			1, 7
Vibrações e ruídos	Vibrações e ruídos produzidos por equipamentos	X				7
Agentes patogénicos	Contacto com agentes patogénicos provenientes dos resíduos e da decomposição dos mesmos		X			6, 7
Resíduos misturados	Contacto com resíduos especiais sem equipamentos apropriados		X	X	X	6, 7
Objetos pontiagudos	Acidentes causados pelo contacto directo com objetos cortantes descartados inadequadamente	X				7
Calor	Exposição contínua ou temporária a situações adversas de temperatura	X				5, 6, 7
Gases CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub>	Emissão de gases durante o processo de degradação dos RSU	X		X		1, 5, 6, 7
Substâncias tóxicas e COV*	Inalação e contacto com substâncias tóxicas geradas durante o processo de compostagem			X		1, 2, 3, 6, 7
Metais pesados	Exposição a metais pesados presentes em determinados RSU			X		2, 3, 6, 7
Lixiviado, COV e COS**	Exposição a metais pesados presentes no lixiviado, contacto com COS e inalação de COV		X	X		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Incêndio e explosão	Incêndio e explosão provocados pela produção de gases oriundos da degradação de RSU	X		X		1, 4, 5, 6, 7

\*COV: Compostos orgânicos voláteis

\*\*COS: Compostos orgânicos solúveis

Quadro 9 – Perigos e eventos perigosos relacionados com a disposição final de RSU em aterro sanitário

Perigo	Evento Perigoso	Tipo de Perigo				Recursos Afetados
		F	B	Q	R	
Partículas, poeira e gases	Exposição a contaminantes aerotransportados	X	X	X		1, 5, 6, 7
Odor	Exposição contínua ou temporária a odores	X	X			1, 7
Vibrações e ruídos	Vibrações e ruídos produzidos por equipamentos	X				7
Agentes patogénicos	Contacto com agentes patogénicos provenientes dos resíduos e da decomposição dos mesmos		X			6, 7
Resíduos misturados	Contacto com resíduos especiais sem equipamentos apropriados		X	X	X	6, 7
Cinzas da incineração	Contaminação com cinzas devido a presença de metais pesados e substâncias tóxicas			X		1, 3, 6, 7
Lixiviado, COV e COS	Exposição a metais pesados presentes no lixiviado, contacto com COS e inalação de COV		X	X		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
CH <sub>4</sub>	Emissão de CH <sub>4</sub> durante o processo de degradação dos RSU			X		1, 5, 6, 7

#### 4 CONCLUSÃO

O PSRS é uma ferramenta que tem como finalidade estabelecer uma metodologia de avaliação e gestão de riscos em sistema de gestão de RSU por forma definir e monitorizar medidas de controlo que garantam a proteção da saúde pública e a preservação da qualidade ambiental. Com o auxílio desta ferramenta é possível compreender e contornar a

vulnerabilidade dos sistemas a potenciais perigos e eventos perigosos, contribuindo para aumentar a segurança destas infra-estruturas sanitárias.

Neste trabalho focou-se a construção de uma base de dados relativa à etapa de identificação de perigos e eventos perigosos, fundamental para a elaboração de um PSRS. Esta base de dados foi construída utilizando informações de diferentes fontes bibliográficas e em informação fornecida por entidades gestoras, tendo como foco os impactos negativos na saúde pública e no ambiente que podem ser gerados a partir de sistemas de RSU.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve suporte financeiro da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - e do Programa Ciência sem Fronteiras [Bex 12993-13-1].

## REFERÊNCIAS

- Abdoli M. A., Rezaei M., Hasanian, H. (2016). Integrated solid waste management in megacities. *Global Journal of Environmental Science and Management* 2 (3) 289-298. doi: 10.7508/gjesm.2016.03.00.
- Abdoli M. A., Tavakolli H., Azari A. (2013). Alternatives for solid waste management in Isfahan, Iran: a case study. *Waste Management & Research* 31 (5) 531-537. doi: 10.1177/0734242X13477718.
- Cossu R. (2013). Groundwater contamination from landfill leachate: when appearances are deceiving! *Waste Management* 33 (2013) 1793-1794. doi:10.1016/j.wasman.2013.07.002.
- Gouveia N. (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva* 17 (6) 1503-1510. doi:10.1590/S1413-81232012000600014.
- Forastiere F., Badaloni C., Hoogh K., Kraus M. K., Martuzzi M., Mitis F., Palkovicova L, Porta D., Preiss P., Ranzi A., Perucci C. A., Briggs D. (2011). Health Impact Assessment of Waste Management Facilities in Three European Countries. *Environmental Health* 10 (53) 1-13. doi: 10.1186/1476-069X-10-53.
- Pereira A. L. e Maia K. M. (2012). Contribuição da gestão de resíduos sólidos e educação ambiental na durabilidade de aterros sanitários. *Sinapse Múltipla* 1 (2) 68-80.
- Rani-Borges B. e Vieira J. M. P. (2015). Risk management in landfills. A public health perspective. *Wastes solutions treatments and opportunities* 247-252. doi: 10.1201/b18853-42.
- TECHNEAU (2008). Identification and description of hazards for water supply systems - A catalogue of today's hazards and possible future hazards. TECHNEAU.
- Vieira J. M. P. (2011). A Strategic Approach for Water Safety Plans Implementation in Portugal. *Journal of Water and Health, IWA Publishing* 09.1, 107-116.
- WHO (2011). *Guidelines for Drinking-water (Fourth Edition)*. World Health Organisation Geneva, Switzerland.
- WHO (2016). *Sanitation Safety Planning. Manual for Safe Use and Disposal of Wastewater, Greywater and Excreta*. World Health Organisation Geneva, Switzerland.
- Williams P. T. (2005). *Waste Treatment and Disposal (Second Edition)*. Chichester, Wiley.