

**PANORAMA GERAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ÂMBITO MUNDIAL**

André Luis Gomes Simões (\*), Paula Polastri, Daniel Tait Vareschini, Marcelino Luiz Gimenes, Valdir Schalch

\* Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. E-mail: simoesalg@gmail.com

**RESUMO**

A geração de resíduos sólidos urbanos tem crescido exponencialmente durante o passar dos anos, diante deste contexto políticas públicas e leis federais além dos acordos climáticos como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris surgiram para estabelecer critérios e limites para a geração até então desenfreada. O trabalho objetivou buscar dados referentes a geração e disposição ou destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no âmbito mundial. Os resultados demonstraram que o Brasil ainda tem problemas com a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos sendo identificada uma grande disposição de resíduos sólidos urbanos ainda encaminhados para aterros sanitários e lixões. Nos EUA verificou-se uma grande geração *per capita* também sendo grande parte dos RSU encaminhados para aterros sanitários. Em relação a União Europeia foi identificado grande eficaz nas leis e acordos de redução de resíduos verificando redução dos RSU de 63,8% em 1995 para 25,3% em 2015. Para o Japão, verificou-se redução na geração *per capita* e destinação final ambientalmente adequada principalmente encaminhados para a incineração com geração de energia elétrica. Para China alternativas como a biometanização para cocção e geração de energia são vertentes atualmente utilizadas. Conclui-se que a gestão e gerenciamento dos RSU varia de acordo com cada país, verificando-se pela diferença entre composição e geração *per capita* de cada resíduo, indicando que cada caso seja analisado individualmente para proposição de tecnologias para disposição ambientalmente adequadas para os resíduos gerados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão de resíduos, FORSU, Reciclagem.

**ABSTRACT**

The generation of urban solid waste has grown exponentially over the years, in the face of this context public policies and federal laws in addition to the climate agreements with the Kyoto Protocol and the Paris Agreement have emerged to establish criteria and limits for generation hitherto unrestrained. The objective of this study was to collect data on the generation and disposal or disposal of municipal solid waste (MSW) worldwide. The results showed that Brazil still has problems with the management and management of solid urban waste, and a large urban solid waste disposal is still identified, which is still being sent to landfills and dumps. In the USA, a large generation per capita was also found to be a large part of MSW sent to landfills. In relation to the European Union, it has been identified as a very effective waste reduction law and agreement, with a reduction of the MSW from 63.8% in 1995 to 25.3% in 2015. For Japan, there was a reduction in generation per capita and destination environmentally adequate, mainly in incineration for electric power generation. For China alternatives such as biomethanization for cooking and power generation are currently used. It is concluded that the management and management of MSW varies according to each country, being verified by the difference between composition and per capita generation of each residue, indicating that each case is analyzed individually to propose technologies for environmentally adequate disposal of waste generated.

**KEY WORDS:** Waste management, FORSU, Recycling.

**INTRODUÇÃO**

Questões relacionadas à disposição final e ao tratamento de resíduos sólidos urbanos constituem um dos mais graves problemas da sociedade contemporânea, representando o maior percentual de desperdícios, motivo que constitui um fator de crescente preocupação (RUSSO, 2003). No contexto mundial, até pouco mais de um século atrás, pequena importância era dada à questão dos resíduos sólidos, ainda nesse panorama, os países desenvolvidos, especialmente os europeus, tiveram um grande avanço nessa questão nos últimos 25 anos. Tal motivação se deu por meio de políticas e legislações mais rigorosas e avançadas, que incentivaram o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de tratamento e proporcionaram melhora significativa na gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

No Brasil, a partir do estabelecimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada pela Lei Federal 12.305 em agosto de 2010 e regulamentada pelo Decreto 7.404, em 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010), tem-se um marco histórico na gestão de resíduos sólidos no país, não apenas por seu status de política nacional, mas fundamentalmente pelos avanços conceituais e técnicos e as importantes conquistas socioambientais que a PNRS representa.

No âmbito mundial, destaca-se o crescimento populacional, que está diretamente relacionado à geração de resíduos. Existem estimativas de que há necessidade de aumento em 70 % da produção de alimentos para atender a demanda da população, essa que pode chegar a 9,6 bilhões de pessoas em 2050 (FAO, 2014).

Dentre as problemáticas relatadas, destaca-se a emissão do gás metano. Embora seja responsável por crescente parcela das emissões de GEE no mundo, esse gás detém um elevado potencial calorífico, tornando seu uso energético atrativo, seja para geração de energia elétrica, energia térmica, como biocombustível veicular (biometano) e/ou para injeção na rede de gás natural, mitigando os efeitos dos GEE (SIMÕES, 2017).

## OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo realizar um levantamento abrangente da geração dos resíduos sólidos urbanos, bem como sua composição gravimétrica e seus tipos de destinação e disposição finais realizados, esses no âmbito mundial.

## METODOLOGIA

Foram selecionados países da América Latina, América do Norte, União Europeia e Ásia. Utilizou-se da busca de dados atualizados, valendo-se de sites oficiais dos governos, artigos científicos e pesquisas publicadas relacionadas aos países selecionados.

## RESULTADOS

### Resultados obtidos para o Brasil: geração e tratamento

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2010) apontou que cerca de um terço dos resíduos sólidos gerados no Brasil ainda tinham como destino lixões e aterros controlados.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2010), somente cerca de 27,7% das unidades de destino final em 2008 eram aterros sanitários e 50,8%, lixões a céu aberto. Porém, o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA (2012), avaliou a evolução da disposição final dos RSU entre 2000 e 2008, nesse contexto observou que houve aumento de 120% na quantidade de resíduos dispostos em aterros sanitários e redução de 18% na quantidade de resíduos encaminhados para lixões. Todas as regiões tiveram acréscimo na quantidade de resíduos conduzida para aterros sanitários, nesse cenário as regiões Norte e Nordeste aumentaram em quase quatro vezes a quantidade em relação ao ano de 2000. Os municípios de pequeno e médio portes tiveram acréscimos significativos de 370% e 165%, respectivamente. Esse fato pode ter ocorrido em função da escassez de locais adequados para disposição dos resíduos nos municípios de grande porte (IPEA, 2012).

De acordo com as informações referentes a 2015, essas constantes no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2017), a massa total coletada é estimada em 62,5 milhões de toneladas de resíduos domiciliares e de limpeza pública, que corresponde ao valor de 171.239 t/dia. Desse montante, 60,9% eram dispostas em aterros sanitários, 11,5% em aterros controlados, 10,1% em lixões e 2,3% encaminhados para unidades de triagem e de compostagem, restando então uma parcela de 15,4% sem informação, a qual se refere, sobretudo aos pequenos municípios de até 30 mil habitantes.

Outro fato a se destacar é a geração dos RSU em relação ao crescimento populacional, onde, de acordo com os dados informados pela ABRELPE (2009 - 2017) pode-se verificar que entre os anos de 2008 a 2016 houve aumento de 32,4% da geração de RSU, índice superior à taxa de crescimento populacional no país no mesmo período, chegando ao número de 23,8%.

Outro importante dado demonstrado é a geração *per capita*, índice que também obteve aumento significativo no período abordado com 11,2% de aumento na geração de quilo de RSU por habitante/ano. Essa situação ilustra um cenário preocupante para o futuro, tendo em vista que quanto maior a população, conseqüentemente, maior será a geração de resíduos sólidos urbanos, além do mais, o crescente aumento da geração *per capita* intensifica esse fator de acréscimo da quantidade gerada

### Resultados obtidos para os Estados Unidos da América: geração e tratamento

Outro cenário com grande destaque na geração de RSU são os Estados Unidos da América, observa-se pela Figura 1 o montante de geração de RSU em milhões de toneladas e a sua quantia recuperada.



Verifica-se na Figura 1 que houve uma geração praticamente crescente de RSU nos EUA desde 1960 até meados de 2008, ano em que ela sofreu um ligeiro declínio, devido à crise econômica enfrentada pelo país, e tendeu a se estabilizar entre os anos de 2009 e 2012. Mesmo após o pico de geração de RSU, ainda é possível verificar-se uma alta geração *per capita*, comparada com o Brasil esse valor é o dobro de sua geração.

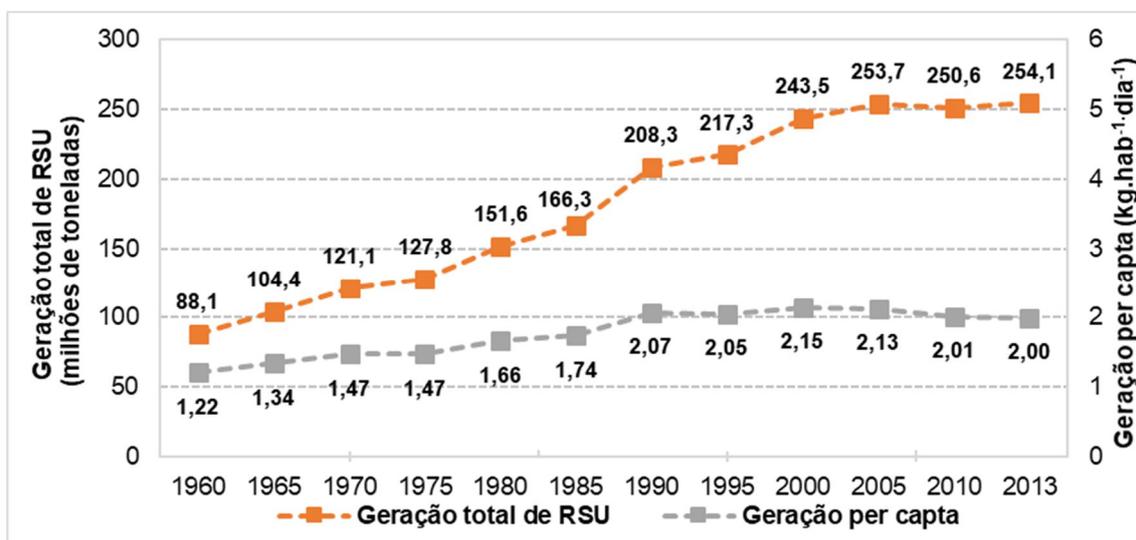


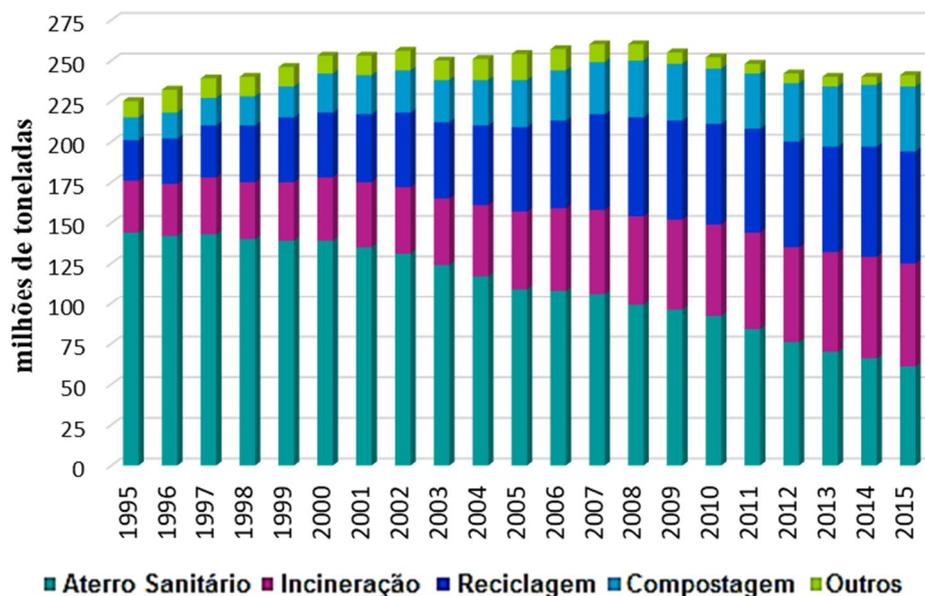
Figura 1: Geração em quantidade e per capita dos RSU entre 1960 e 2013. Fonte: Adaptado de EPA (2016).

A incineração com recuperação energética começou a ser utilizada a partir de 1980, verifica-se um aumento de 98,3% na utilização desse tratamento de (1980 a 2012), outro tratamento que merece destaque é o de reciclagem com um aumento de 91,4% desde seu início (1960 a 2012), para a compostagem obteve-se um aumento de 80,3% (1990 a 2012) e a disposição em aterro sanitário com um acréscimo de 38,9% observando-se um pico em volume disposto na década de 90 e sua redução até a data de referência de 2012.

Nos EUA, onde a disposição final em aterros sanitários ainda é elevada, tem-se optado pela compostagem dos resíduos de limpeza urbana, uma vez que a FORSU é normalmente triturada e descartada em rede de esgoto sanitário. No ano de 2012 foram geradas 228 milhões de toneladas de RSU dos quais 79 milhões foram destinadas para a reciclagem ou compostagem e 146 milhões foram dispostas em aterros sanitários (EPA, 2014). Ressalta-se que os resíduos de limpeza urbana, devido ao seu baixo peso específico e grandes quantidades geradas, quando dispostos em aterros sanitários reduzem consideravelmente a vida útil dos mesmos. Quanto à biometanização nos EUA, a EPA (2014) sequer a cita em seu documento, provavelmente por ser pouco significativa em âmbito nacional.

### Resultados obtidos para os países da União Europeia: geração e tratamento

No Brasil, a normatização estabelecida pela PNRS em seu artigo 9º indica a não disposição final de resíduos em aterros sanitários, entretanto, já há algum tempo há adesão em países desenvolvidos como, por exemplo, em países do continente europeu. O avanço no quesito da redução da geração de resíduos e o estabelecimento de novas propostas para a destinação final estão demonstradas na Figura 2.



**Figura 2: Geração de quantidade de RSU e suas relações entre as destinações finais na União Europeia entre 1995 e 2015. Fonte: Adaptado de EUROSTAT (2017).**

Verificado o histórico de geração da União Europeia (UE-27) em 20 anos, apesar do aumento na geração dos RSU, a quantidade total de RSU depositados em aterros sanitários diminuiu. No período de referência, o total de RSU depositados na UE-27 teve uma redução de 83 milhões de toneladas, ou em 58%, onde passou do montante de 144 milhões de toneladas (302 kg *per capita*) em 1995 para 61 milhões de toneladas (120 kg *per capita*) em 2015. Isso corresponde a uma queda média anual de 4,0%. Nos últimos dez anos (2005-2015), a disposição em aterros sanitários caiu em média 5,6% ao ano.

Em consequência, a taxa de disposição final em aterro sanitário em comparação com a produção de RSU na UE-27 reduziu de 63,8% em 1995 para 25,3% em 2015.

Outro aspecto a ser considerado é a Diretiva 31/1999, relacionada aos aterros sanitários onde, estipulava-se que os Estados-Membros eram obrigados a reduzir em 75% a quantidade de RSU biodegradáveis enviados para os aterros sanitários em até 16 de julho de 2006, para 50% até a data de 16 de julho de 2009 e para 35% até a data de 16 de julho de 2016. A redução foi calculada com base na quantidade total de resíduos sólidos urbanos biodegradáveis gerados em 1995. A Diretiva levou os países a abordarem diferentes estratégias para evitar o envio da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para aterros sanitário, empregando assim, outras tecnologias como a compostagem, biometanização, a incineração e o Tratamento Mecânico Biológico (EUROSTAT, 2017).

Como consequência dos investimentos em novas tecnologias para a destinação final ambientalmente adequada dos RSU, a quantidade de resíduos reciclados aumentou de 25 milhões de toneladas (52 kg *per capita*) em 1995 para 69 milhões de toneladas (137 kg *per capita*) em 2015. A recuperação de resíduos sólidos orgânicos por compostagem cresceu com uma taxa média anual de 5,4% entre 1995 e 2015. A partir da Figura 3 verifica-se a geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos na União Europeia no ano de 2015.



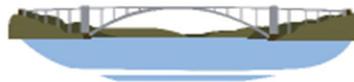
Figura 3: Geração per capita ( $\text{kg.hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) de RSU com destinação final na UE em 2015. Fonte: Adaptado de EUROSTAT (2017).

### Resultados obtidos para o Japão: geração e tratamento

A partir de informações sobre a geração e destinação final dos resíduos sólidos no Japão nos anos fiscais de 2000 a 2015 (*MINISTRY OF THE ENVIRONMENT GOVERNMENT OF JAPAN, 2017*) verifica-se uma redução praticamente contínua na geração total de resíduos neste período, o que pode ser ainda evidenciado pela queda de 15,1% na geração per capita. Nota-se, também, um aumento de 14,4% da capacidade média das unidades de incineração mostrando que as unidades antigas estão sendo substituídas por instalações de maior capacidade e uma redução de 50,6% da massa de resíduos sólidos aterrada neste período, principalmente devido à escassez de áreas para construção de aterros sanitários no país. Pode-se notar a redução do número de unidades que fazem o aproveitamento direto do calor (23,1%) e o aumento do número daquelas que geram eletricidade (34,2%) (Tabela 1).

Tabela 1: Informações sobre a gestão dos resíduos sólidos no Japão entre os anos fiscais de 2003 a 2015. Fonte: Web Site Ministry of the Environment Government of Japan (2017).

| Parâmetro  | Ano Fiscal |        |        |        |        |        |        |
|--|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 2003       | 2005   | 2007   | 2010   | 2012   | 2014   | 2015   |
| Massa total gerada/coletada ( $10^6$ t)                          | 51,61      | 52,73  | 50,82  | 45,36  | 44,36  | 44,32  | 43,98  |
| Geração <i>per capita</i> ( $\text{kg.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ) | 1,106      | 1,131  | 1,089  | 1,033  | 0,964  | 0,947  | 0,939  |
| Massa total reciclada ( $10^6$ t)                                | 9,16       | 10,03  | 10,3   | 9,78   | 9,26   | 9,13   | 9,00   |
| Disposição final ( $10^6$ t)                                     | 8,45       | 7,33   | 6,35   | 4,84   | 4,65   | 4,30   | 4,17   |
| Nº de instalações de Incineração                                 | 995        | 1.319  | 1.285  | 1.221  | 1.189  | 1.162  | 1.141  |
| Capacidade total de tratamento (t/dia)                           | 193.95     | 189.48 | 189.14 | 185.37 | 184.43 | 183.51 | 181.89 |
| Capacidade média por unidade (t/dia)                             | 139        | 144    | 147    | 152    | 155    | 158    | 159    |
| Instalação com aproveitamento do calor residual                  | 995        | 904    | 856    | 792    | 781    | 764    | 765    |



|                                    |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Instalações com geração de energia | 271   | 286   | 298   | 306   | 318   | 338   | 348   |
| Capacidade de geração (MW)         | 1.441 | 1.515 | 1.604 | 1.615 | 1.754 | 1.907 | 1.934 |

### Resultados obtidos para a China: geração e tratamento

Acompanhado de seu crescimento populacional a geração dos RSU na China vem crescendo rapidamente, onde, a sua geração passou de 31,320 milhões de toneladas em 1980 para 178,602 milhões de toneladas no ano de 2014 (GU et al., 2017).

A geração *per capita* aumentou nos anos 90 e após esse crescimento observou-se um declínio entre os anos 1994 e 2014 passando de 0,913 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> para 0,6532 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Isso sugere que a taxa de crescimento populacional está aumentando mais rapidamente que a taxa de geração de RSU.

Gu et al., 2017 estimaram a composição dos RSU gerados na China e obtiveram sua composição (Figura 4), onde verifica-se a grande proporção gerada de resíduos alimentares. Com a grande geração de resíduos sólidos orgânicos a partir dos RSU, tem-se cada vez mais a necessidade de dar-se uma destinação final ambientalmente adequada para o mesmo.

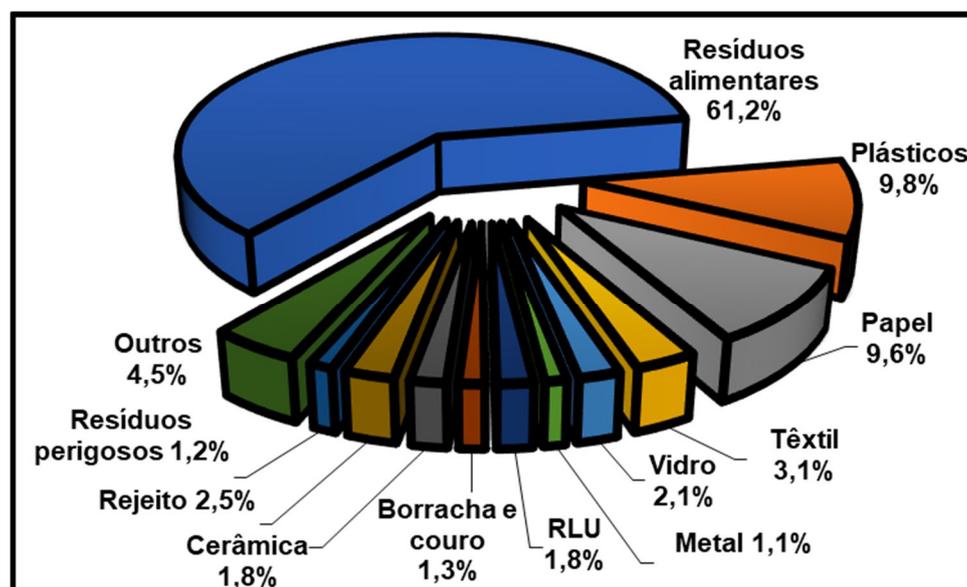


Figura 4: Estimativa da composição gravimétrica dos RSU na China. Fonte: Adaptado de GU et al. (2017).

Países asiáticos, a exemplo da Índia e China, têm utilizado, a séculos, o biogás como alternativa energética para cocção, iluminação e geração de calor. Estima-se que o uso prático do biogás surgiu na Índia, onde o biogás formado pela digestão anaeróbia do esgoto doméstico era utilizado em um hospital (NOGUEIRA, 1986).

## CONCLUSÕES

Portanto, conclui-se que para cada país existe um tipo de tecnologia ideal para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos gerados, sendo essa determinada por diversos fatores como a composição dos resíduos a serem tratados, o clima, os hábitos culturais e sociais da população e o investimento para a aquisição e a operação do empreendimento. Outro fator imprescindível é o treinamento efetivo dos colaboradores que irão operar o sistema, sendo, importante enfatizar também que, fatores como viabilidade técnica, econômica e ambiental são determinantes para a implantação e o funcionamento adequado da tecnologia selecionada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



1. ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/>,
2. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010.
3. EPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States**. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Resource Conservation and Recovery. Disponível em: <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/>.
4. EUROSTAT. Disponível em: < <http://ec.europa.eu/eurostat> >.
5. FAO - Food Agriculture Organization. **Food losses and waste in the context of sustainable food systems**. A report by the high level panel of experts on food security and nutrition, June 2014. Disponível em: < [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/hlpe/hlpe\\_documents/HLPE\\_Reports/HLPE-Report8\\_EN.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report8_EN.pdf) >.
6. Gu, B.; Jiang, S.; Wang, H.; Wang, Z.; Jia, R.; Yang, J.; He, S.; Cheng, R. Characterization, quantification and management of China's municipal solid waste in spatiotemporal distributions: A review. **Waste Management**, v. 61, p. 67-77, 2017.
7. IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/>.
8. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. Relatório de Pesquisa. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf).
9. MINISTRY OF THE ENVIRONMENT GOVERNMENT OF JAPAN. **Waste & Recycling**. 2017. Disponível em: <https://www.env.go.jp/en/recycle/index.html>.
10. Nogueira L.A.H. **Biodigestão, a alternativa energética**. Editora Nobel, São Paulo, 1986.
11. Russo, M. A. T. Tratamento de resíduos sólidos. Portugal: Universidade de Coimbra, 2003.
12. Simões, A. L. G. **Estudo da aclimação de lodos anaeróbios como estratégia de inoculação para partida de biometanizadores alimentados com fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos**. 2017. 288 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
13. SNIS - Sistema nacional de informações sobre saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos** – 2017. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>.