

III-071 – PEGADA DE CARBONO COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Rafaela da Silva Limons⁽¹⁾

Engenheira Ambiental. Mestre em Engenharia Química. Professora nos cursos de Engenharia Ambiental e Engenharia Civil (Escola Politécnica) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Doutoranda em Gestão Urbana na Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Carlos Mello Garcias

Professor Titular em Gestão Urbana. Engenheiro Civil. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Doutor em Engenharia Urbana pela Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho, Curitiba – PR – CEP: 80215-901 - Brasil - e-mail: rafaela.limons@pucpr.br

RESUMO

O gerenciamento de resíduos sólidos é um dos maiores desafios a serem enfrentados pela sociedade moderna, em decorrência da dinâmica plural da cidade contemporânea, da necessidade de equacionamento da geração excessiva e destinação e disposição ambientalmente adequada dos resíduos e rejeitos. Além disso, é um setor com uma contribuição importante para as emissões de gases de efeito estufa, mas que dispõe de relevantes oportunidades de ação para reduzi-las na cidade. A motivação desta pesquisa emerge da possibilidade de participação em um projeto que envolve a parceria entre a prefeitura de Curitiba, universidades do Brasil e Suécia, além de outros participantes, com o objetivo de se pensar em soluções para problemas reais que ocorrem no município de Curitiba, desenvolvendo e avançando na busca de uma cidade mais sustentável. O objetivo desta pesquisa foi de identificar e avaliar de forma teórica diferentes estratégias aplicadas na gestão de resíduos urbanos considerando como parâmetros de análise a redução das emissões de gases de efeito estufa. Os resultados indicam que a ferramenta de pegada de carbono tem potencial para auxiliar nas decisões dos gestores públicos porque permite avaliar os diferentes cenários da gestão de resíduos sólidos urbanos e comparar a emissão de gases de efeito estufa em cada um deles.

PALAVRAS-CHAVE: Pegada de carbono, resíduos urbanos, decisões dos gestores públicos.

INTRODUÇÃO

A palavra lixo, derivada do termo latim *lix*, significa cinza. Pode-se considerar lixo todos os tipos de resíduos resultantes das atividades humanas ou do material considerado imprestável ou irrecuperável pelo usuário.

A Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, define resíduos como:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (Brasil, 2010)

A partir destas duas definições e também do Art 7º inciso XV da PNRS que define Rejeitos como “resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”.

Nesta perspectiva, entende-se a necessidade de valorização dos resíduos, que grande parte do que é produzido pode ser considerado como matéria prima para outro processo, e somente aquilo que não tiver possibilidade, o rejeito, deve ser encaminhado para aterros.

Outra definição importante que deve ser abordada nas ações relacionadas aos resíduos refere-se a diferença entre gestão e gerenciamento.

Para o conjunto de ações voltadas a solucionar os problemas com os resíduos, tais como normas, leis e procedimentos sob a premissa do desenvolvimento sustentável denomina-se de Gestão Integrada e as fases operacionais para o funcionamento do sistema, como etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos define-se como Gerenciamento Integrado (OLIVEIRA, 2012).

A destinação dos resíduos refere-se as possibilidades de valorização, como reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético. Enquanto a disposição final refere-se a distribuição ordenada dos rejeitos em aterros.

O gerenciamento de resíduos atual conhecido como linear (Figura 1) encontra desafios, a medida que se intensifica o consumo e as dificuldades e impactos associados aos processos de destinação e disposição final.

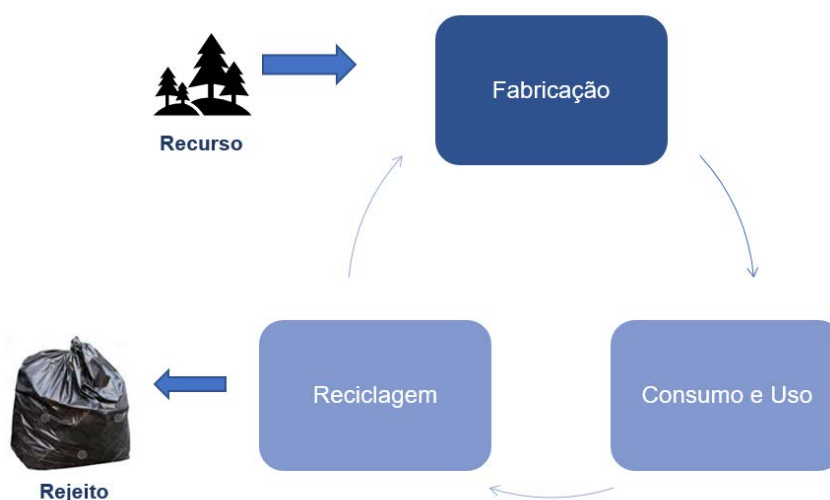
Figura 1 - Gerenciamento linear dos resíduos



Fonte: Adaptado de PNRS, 2010.

É importante que se encontrem alternativas que considerem o problema dos resíduos de forma holística, como o exemplo da figura 2 que indica a economia Circular que busca um modelo no qual os produtos, e os materiais que o compõe, são valorizados de forma diferenciada, criando uma economia mais robusta (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015).

Figura 2 - Gerenciamento circular dos resíduos



Fonte: Adaptado de PNRS, 2010.

O governo e as autoridades locais de muitas grandes cidades ocupadas em economias em desenvolvimento são responsáveis pelo gerenciamento dos sistemas de resíduos desde o ponto inicial de coleta até o ponto de processamento final. Com a modernização, a maioria dessas organizações, especialmente nas economias em desenvolvimento, enfrenta desafios e não fornece um serviço abrangente.

Os resíduos sólidos urbanos – RSU, foco deste artigo, são materiais advindos de atividades domésticas em residências do perímetro urbano, da limpeza de vias públicas, de outros serviços de limpeza urbana e da varrição e de estabelecimentos comerciais que sejam equiparados aos resíduos domiciliares, conforme especificado pela PNRS.

Em termos de desempenho ambiental, as cidades são fonte de diversos impactos ambientais e, como atualmente ocupam cerca de 2% da superfície terrestre, representam 60-80% do consumo de energia e 75% das emissões de gases de efeito estufa (UN Habitat, 2013).

Entre os diferentes impactos ambientais associados ao meio urbano, pode-se ressaltar a gestão de resíduos como o que há de mais desafiador para se atingir a sustentabilidade ambiental nas cidades, já que, se não forem gerenciados adequadamente, provocarão impacto negativo na qualidade de vida da população, além de degradação do solo, da água e do ar e, consequentemente, da saúde pública (Scarlat, Motolo, Dallemand, Ferrario-Monforti, & Mofor, 2015).

O desenvolvimento de soluções para a gestão inteligente e eficaz dos resíduos sólidos têm constituído expressivo desafio para os gestores públicos e da própria sociedade na busca do desenvolvimento sustentável (URBAN, 2016; OLIVEIRA & GALVÃO JUNIOR, 2016). Segundo Martos et al. (2016) das emissões totais de gases do efeito estufa – GEE provenientes das cidades, 5% são atribuídos aos resíduos sólidos municipais. As emissões globais de gases de efeito estufa das áreas de disposição de resíduos são estimadas em cerca de 5% a 20% da emissão global de metano antropogênico, o que equivale a cerca de 1 a 4% das emissões antropogênicas de GEE (IPCC, 2006).

Assim, no contexto do aquecimento global deve-se repensar a abordagem de gerenciamento de resíduos nas cidades, a partir da consideração de que enquanto a gestão de resíduos é local, os seus problemas são reconhecidos como globais (SINGH et al., 2014).

Identifica-se um potencial elevado de ação neste setor, em que os gestores públicos poderiam repensar as abordagens atuais de gerenciamento, fornecendo uma direção para o planejamento orientado para a sustentabilidade a partir das quais possam ter maior capacidade de redução na emissão de gases do efeito estufa.

Na busca de novas abordagens no planejamento capazes de promover a inovação direta e a tomada de decisão dentro das cidades, extraindo, com isso, as melhores práticas e soluções de sustentabilidade é que se apresenta a ferramenta de pegada de carbono. Esta ferramenta permite avaliar cientificamente as emissões de carbono diretas e indiretas provocadas por um sistema de gerenciamento de resíduos sólido (WIEDMANN, 2008; KANEMOTO et al., 2016).

Nesta perspectiva, o trabalho se justifica com a possibilidade de colaborar com a eficácia das ações municipais e orientar no estímulo de diferentes autores para incentivar a aplicação de novas rotas tecnológicas e a diversificação dos sistemas de gestão de resíduos nos municípios.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para atendimento deste objetivo, o método utilizado para a elaboração deste trabalho foi o exploratório, a partir de uma revisão crítica de publicações acadêmicas disponíveis sobre a aplicação da ferramenta pegada de carbono na gestão de resíduos sólidos urbanos. Utilizou-se o banco de dados Scopus, realizando-se uma busca de artigos utilizando as seguintes palavras-chave: carbon footprint, solid waste e cites. Não foi estabelecida data inicial para a busca, e foi definida como estratégia a seleção somente em artigos revisados.

Inicialmente obteve-se uma identificação de 44 artigos, e após a leitura dos resumos, foram selecionados 34, que estavam relacionados diretamente com o objetivo desta pesquisa, que é a utilização da ferramenta pegada de carbono na avaliação dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A geração mundial de resíduos duplicou no período de 2000 até 2010, passando de 0,68 bilhão tonelada/ano para 1,3 bilhão tonelada/ano. As previsões são que o valor total vá crescer para 2,2 bilhões de toneladas em 2025, sendo que a China vai triplicar a sua geração até este período (de 520 milhões de toneladas para 1,4 bilhões); e ainda, a estimativa é de que no ano de 2050 a geração será de 4,2 bilhões de tonelada/ano (HOORNWEG e BHADA-TATA, 2012).

Segundo dados fornecidos pelo Panorama de Resíduos Sólidos divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2017, a população brasileira produziu um total de 214.868 toneladas de resíduo por dia, o que equivale a uma geração per capita de 1,035 kg/hab.dia. Esse valor representa um aumento de 0,48% comparado à taxa de geração per capita observada no ano de 2016 que foi de 1,032 kg/hab.dia (ABRELPE, 2017).

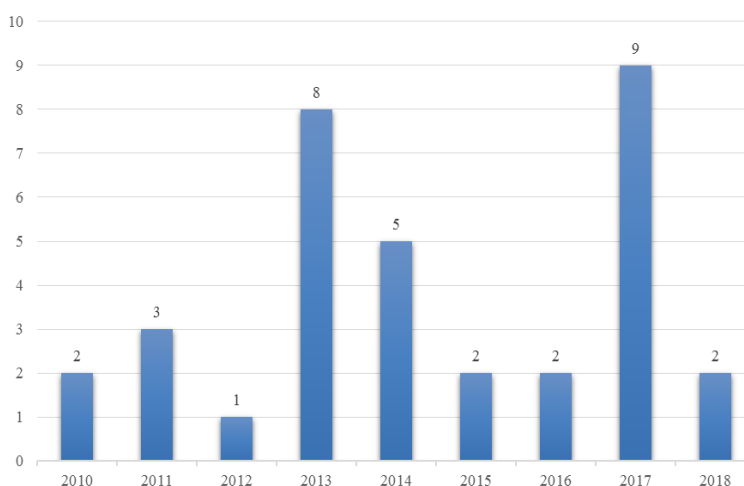
As economias emergentes, em particular a China, a Índia e o Brasil, terão um papel crucial na abordagem dessa questão global. Em volume, a China é o maior gerador de RSU do mundo, e a Índia e o Brasil são o terceiro e quarto maiores, respectivamente (WASTE ATLAS, 2017).

Além destas questões, deve-se citar o papel importante dos RSU na redução global das emissões de GEE e que, segundo Bogner et al. (2007), a gestão de resíduos sólidos contribui com a média de 5% para as emissões globais de gases do efeito estufa e em resposta às crescentes preocupações sobre a ameaça das alterações climáticas, a ação internacional destinada a reduzir as emissões destes gases espera uma contribuição de forma importante deste setor (TUNER et al., 2015).

Nesta perspectiva, desponta uma oportunidade para que os governos locais, principalmente durante o processo de formulação e implementação de políticas climáticas, avaliem as possibilidades da redução nas emissões de GEE a partir de alterações na abordagem do gerenciamento de resíduos sólidos.

Avaliando de forma quantitativa as publicações, observa-se conforme apresentado na Figura 3 que este é um tema de pesquisa recente, sendo que entre os artigos selecionados, o primeiro foi publicado somente em 2010, com um pico de publicações do ano de 2017, ilustrando um interesse pelo tema de pesquisa.

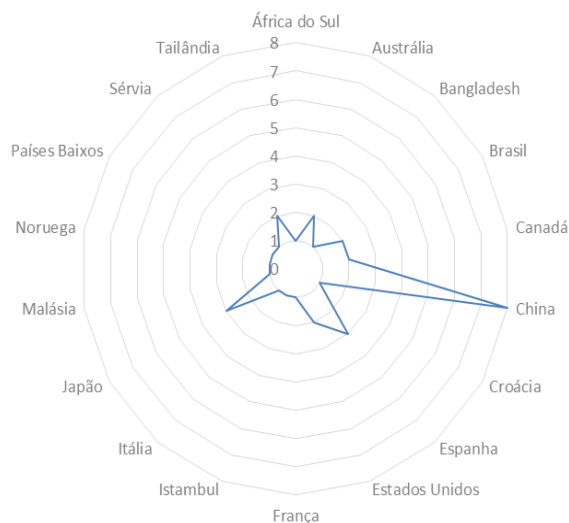
Figura 3: Número de publicações ao longo dos anos



Fonte: a autora, 2019.

De acordo com a Figura 4, observa-se uma diversificação entre os países que publicaram sobre os temas analisados nesta revisão, considerando que dos 34 artigos publicados, têm-se 18 países envolvidos. O país com o maior número de artigos publicados é a China com 23% das pesquisas, seguido da Espanha e Japão com 9% das publicações. O número de pesquisas nesta área na China se justifica pela grande população neste país, gerando grandes quantidades de resíduos sólidos e também com elevadas emissões de gases do efeito estufa.

Figura 4: Número de publicações por país



Fonte: a autora, 2019.

Diversas pesquisas já utilizaram a metodologia de cálculo de pegada de carbono para avaliar diferentes etapas do gerenciamento de resíduos sólidos comparando à situação atual de cada localidade com cenários alternativos, objetivando controlar e minimizar os impactos ambientais associados em cada caso.

Na maioria dos estudos se utilizam de normas internacionais para avaliar a pegada de carbono, que são baseadas *Guia para Inventariação Nacional de Gases com Efeito de Estufa* do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2006), e no *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*. Na grande maioria das pesquisas analisadas, observa-se que os cenários avaliados comparam as etapas de transporte ou disposição final.

Maimoun et al., (2013) e Pérez et al., (2017) analisaram de forma aprofundada potenciais tecnologias de combustíveis alternativos para veículos de coleta de resíduos, avaliando as emissões do ciclo de vida, custo, combustível e consumo de energia. Pérez et al., (2017) consideram que as emissões de gases de efeito estufa são condicionadas principalmente pelo consumo de combustível, que depende das características geográficas do terreno, das distâncias percorridas, sendo assim, todos esses fatores locais devem ser considerados pelos tomadores de decisão ao elaborar qualquer plano de gerenciamento de resíduos.

King & Gulberlet (2013) analisaram a importância das cooperativas de reciclagem na gestão de resíduos sólidos no Brasil, medindo as emissões dos gases nestas cooperativas de reciclagem bem como os seus benefícios ambientais, considerando que estes resíduos não seriam descartados em lixões ou aterros sanitários. Segundo os autores, as cooperativas são capazes de alcançar reduções de emissões de GEE semelhantes às alcançadas pela reciclagem e queima de gás de aterro sanitário. Os autores concluem que o apoio do governo à reciclagem do setor informal é crucial para a realização do serviço de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Enquanto Bong et al., (2017), analisaram como a implementação de um sistema de compostagem comunitário em uma aldeia localizada na Malásia poderia contribuir com a gestão eficaz dos resíduos urbanos e na mitigação das emissões de gases do efeito estufa. Os autores indicam que a planta em escala piloto foi capaz de reduzir 77,64% das emissões de GEE. Como desafios, os autores citam as incertezas tecnológicas e a necessidade de aumento de escala que podem dificultar a operação de um centro de compostagem.

Diferentes pesquisadores em vários países avaliaram as emissões de GEE atualmente provocado pelo sistema de gerenciamento de resíduos adotado, e compararam com diferentes cenários para identificar as alterações nas emissões de gases de efeito estufa. Um destes autores é Islam (2017) que avaliou as emissões e propôs um novo sistema de gestão dos resíduos urbanos gerados em Bangladesh por meio da análise de cenários, incluindo aterros sanitários com geração de gás, resíduos de energia e recuperação de materiais. De acordo ainda com o

mesmo autor, em vista da ameaça global das mudanças climáticas e do aquecimento global, todos os países devem tomar iniciativas para reduzir a pegada de carbono nacional.

Yang et al., (2017) investigaram as emissões de GEE na China, em quatro cenários diferentes e em sete categorias: coleta de lixo e transporte, gestão de aterros, tratamento de chorume, emissões fugitivas de CH₄, substituição de produção de eletricidade, seqüestro de carbono e emissões de N₂O e CO. Segundo os autores, o conteúdo de água e o teor de matéria seca do desperdício de alimentos foram as duas principais características dos resíduos que afetaram as emissões de GEE durante o aterro de resíduos sólidos urbanos na China, sendo assim, separar o resto de alimentos do fluxo de resíduos sólidos urbanos do aterro seria uma possibilidade para mitigar as emissões de GEE por tonelada de aterro.

Babel & Vilaysouk (2016) estimaram a emissão de gases de efeito estufa da atual situação da gestão de resíduos urbanos no Vietnã e propuseram uma alternativa para reduzir a emissão de GEE a partir dos dados do IPCC para estimativa de emissões de GEE de aterros sanitários e compostagem. Segundo os autores, o melhor cenário para redução de emissões de GEE seria a utilização de aterro sanitário e compostagem, ou seja, reduzir a quantidade de resíduos encaminhados para aterros a partir da adoção de centros comunitários de compostagem e sistemas de compostagem domésticos. Considerando que no país, 77% do resíduo é composto por resíduos alimentares e de jardins, desviar uma média de 50% do total de resíduos orgânicos é um fator-chave na redução das emissões de GEE. Além disso, por ser um país com economia baseada na agricultura, o composto gerado poderia ser utilizado nestas atividades.

Zaman & Lehmann (2013) desenvolveram uma ferramenta de previsão de demanda chamada "índice de desperdício zero" para medir os recursos naturais recuperados de resíduos sólidos urbanos, e também conseguem estimar a quantidade de emissões evitadas ou salvas pelos diferentes sistemas de gestão de resíduos. Os autores testaram a ferramenta nos sistemas de gestão das cidades de Adelaide (Austrália) e Estocolmo (Suécia). Segundo os autores, o desempenho dos sistemas de gestão de resíduos em Adelaide é melhor do que os sistemas de gestão de resíduos em Estocolmo no contexto da substituição de materiais virgens, energia, gás de efeito estufa e economia de água. No entanto, segundo os autores, as duas cidades precisam maximizar a recuperação de recursos de materiais e minimizar a utilização de aterros sanitários, sendo assim, podem reduzir suas emissões de GEE.

Com base nestes resultados apresentados e dos outros artigos selecionados, conclui-se que a utilização da ferramenta de pegada de carbono pode, portanto, fornecer informações valiosas sobre a política de resíduos e reformulação de práticas que possam ser aplicadas nas cidades objetivando a melhoria de sua qualidade.

CONCLUSÕES

Os resultados observados indicam que a aplicação da ferramenta pegada de carbono podem contribuir no entendimento dos aspectos positivos e negativos em cada cenário avaliado para o gerenciamento dos resíduos urbanos. As pesquisas apontam que a utilização da ferramenta pegada de carbono é eficiente ao fornecer evidências apropriadas das emissões de gases de efeito estufa das práticas de gestão de resíduos existentes e cenários futuros.

Considerando os trabalhos selecionados, observa-se a necessidade da continuidade das pesquisas, visto que na maioria dos países têm-se aumentado a geração de resíduos urbanos, consequentemente ampliando as emissões de gases de efeito estufa associados ao seu gerenciamento. Importante também avaliar outras etapas do processo de gerenciamento, focando na redução da geração destes resíduos, e nos processos de coleta e tratamentos alternativos.

Em vista do problema global de aquecimento global e as dificuldades observadas no gerenciamento adequado de resíduos sólidos, a utilização da ferramenta pegada de carbono pode auxiliar na definição de prioridades e orientações adequadas para os gestores públicos na definição de propostas políticas, administrativas e tecnológicas neste setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE, 2017, PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.
2. BABEL, SANDHYA; VILAYSOUK, XAYSACKDA. Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Vientiane, Lao PDR. *Waste management & research*. v.34. 2015.
3. BOGNER, J. et al. Waste Management. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
4. BONG, CASSENDRA PHUN-CHIEN, ET AL. Towards low carbon society in Iskandar Malaysia: Implementation and feasibility of community organic waste composting. *Journal of Environmental Management*. v. 203, p. 679-687, 2017.
5. BRASIL. (2010) 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. Brasília: Diário Oficial da União.
6. HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. What a waste: a global review of solid waste management. *Urban Development*. **World Bank**, Washington DC, USA, p. 98, 2012.
7. IPCC. (2006). *Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
8. ISLAM, K M NAZMUL. Greenhouse gas footprint and the carbon flow associated with different solid waste management strategy for urban metabolism in Bangladesh. *Science of the Total Environment* 580, p. 755–769, 2017.
9. KANEMOTO, K; MC BAIN, D; LENZEN, M; ARUNIMA, J., 2016. A structural decomposition analysis of global energy footprints. *Applied Energy*. v.163, 2015.
10. KING, MEGAN F; GUTBERLET, JUTTA. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. *Waste Management*. *Waste Management* 33, p. 2771–2780, 2013.
11. MAINOUN, MOUSA A; REINHART, DEBRA R; GAMMOH, FATINA T; BUSH, PAMELA MCCAULEY. Emissions from US waste collection vehicles. *Waste Management* 33, p. 1079–1089, 2013.
12. MARTOS, A., PACHECO-TORRES, R., ORDÓÑEZ, J., JADRAQUE-GAGO, E., Towards successful environmental performance of sustainable cities: intervening sectors. A review. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 57, 479–495, 2016.
13. OLIVEIRA, R. M. M. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos: O Programa de Coleta Seletiva da Região Metropolitana de Belém - PA. Belém, Dissertação Mestrado, 2012.
14. OLIVEIRA, THAIS BRITO DE; GALVÃO JUNIOR, ALCEU DE CASTRO. Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 55-64, Mar. 2016.
15. PÉREZ, J.; LUMBRERAS, J.; RODRÍGUEZ, E.; VEDRENNE, M. A methodology for estimating the carbon footprint of waste collection vehicles under different scenarios: Application to Madrid. *Transportation Research Part D* 52: 156–171, 2017.
16. RIBEIRO, L. A. Gestão de resíduos sólidos urbanos com geração de energia: O projeto Ecoparque de Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2008.
17. SCARLAT, N., MOTOLA, V.; DALLEMAND, J.F., FERRARIO-MONFORTI, F., & MOFOR, L. (2015) Evaluation of energy potential of municipal solid waste from African urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Rewies*. 50, 1269-1286.
18. SINGH, R., ET AL. An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario. *Renew. Sust. Energy. Rev.* 15 (9), 4797–4808, 2011.
19. UN HABITAT (2013). *Cities and climate change initiative: Abridged Report Port Moresby Papua New Guinea Climate Change Vulnerability*, 2013.
20. URBAN, RODRIGO CUSTÓDIO. Índice de adequação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos como ferramenta para o planejamento: aplicação no estado de São Paulo. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 367-377, June 2016. Available from . Acessado em: 10 Nov. 2016.
21. YANG, NA; ZHANG, HUA; SHAO, LI-MING; LU, FAN; HE, PIN-JING. Greenhouse gas emissions during MSW landfilling in China: Influence of waste characteristics and LFG treatment measures. *Journal of Environmental Management Journal of Environmental Management* 129 p. 510-521, 2013.
22. ZAMAN, ATIQ UZ; LEHMANN, STEFFEN. Development of demand forecasting tool for natural resources recouping from municipal solid waste. *Waste Management & Research* 31(10) p. 17-25, 2013.

23. WIEDMANN, T. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In U. Hauppauge NY (Ed.), Ecological Economics Research Trends: Nova Science Publishers.