

ÁREA TEMÁTICA: Ferramentas da Gestão Ambiental

USO DA FERRAMENTA DE ACV PARA ESCOLHA DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

*Adriana de Souza Oliveira¹ (adrianaoliveira@ibict.br), Juliana Gerhardt¹ (julianagerhardt@ibict.br),
Luane de Souza Araújo¹ (luanearaujo@ibict.br), Thiago Oliveira Rodrigues¹
(thiagorodrigues@ibict.br)*

1 Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

RESUMO

O gerenciamento dos resíduos é uma tarefa que demanda ações diferenciadas e estratégicas, em função da quantidade e diversidade dos resíduos existentes e dos tipos de tecnologias que podem ser utilizadas para o tratamento destes. Para avaliar sistemas sustentáveis de manejo de resíduos sólidos, são utilizados diferentes montagens de cenários com diferentes tipos de coleta, tratamento e disposição final. Para definir um sistema de gerenciamento, é necessário conhecer a situação atual do resíduo e avaliar as suas possíveis rotas de tratamento. Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem se apresentando como uma técnica bastante adequada na gestão ambiental para auxiliar na tomada de decisões quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos. Desta forma, este trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre a Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta para escolha de tecnologias no tratamento de resíduos sólidos. A ACV ajudou escolher quais tecnologias são menos agressivas ao meio ambiente quanto à gestão dos resíduos sólidos. Durante o estudo, os resultados mostraram que o uso de técnicas estruturadas como a avaliação do ciclo de vida auxiliaram na escolha por alternativas que atendam a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). Estudos analisados de gerenciamento de resíduos sólidos utilizando ACV mostraram que a reciclagem e a incineração tiveram efeitos mais benéficos ao meio ambiente. Com esta análise da produção técnico-científica sobre o cruzamento dos temas em questão, espera-se vislumbrar como a ACV tem apoiado a gestão de resíduos sólidos pode se tornar mais sustentável.

Palavras-chave: resíduos sólidos; avaliação do ciclo de vida; gestão ambiental.

USE OF THE ACV TOOL FOR CHOOSING TECHNOLOGIES FOR SOLID WASTE TREATMENT

ABSTRACT

Waste management is a task that demands differentiated and strategic actions, depending on the quantity and diversity of the existing waste and the types of technologies that can be used to treat them. To evaluate sustainable systems of solid waste management, different scenarios are used with different types of collection, treatment and final disposal. To define a management system, it is necessary to know the current situation of the waste and to evaluate its possible routes of treatment. In this context, the Life Cycle Assessment (LCA) has been presented as a very adequate technique in environmental management to assist in the decision making regarding solid waste management. In this way, this work aims to present a bibliographic review on Life Cycle Assessment as a tool for choosing technologies in the treatment of solid waste. The ACV helped to choose which technologies are less aggressive to the environment in solid waste management. During the study, the results showed that the use of structured techniques such as life cycle assessment aided in choosing alternatives that meet the National Solid Waste Policy (PNRS). Analyzes of solid waste management using ACV have shown that recycling and incineration have had more beneficial effects on the environment. With this analysis of technical-scientific production on the cross-referencing of the issues in question, it is hoped to glimpse how the ACV has supported solid waste management can become more sustainable.

Keywords: solid waste; life cycle assessment; Environmental management.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE,2010), cerca de 84% da população brasileira vive em áreas urbanas. Porém, a infra-estrutura das cidades e o serviço público não acompanham esse crescimento, desta forma, com o crescimento das cidades, também cresce com ela os resíduos sólidos. De acordo com a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) a produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) totalizou 79,9 milhões de toneladas em 2015 (COSTA & PUGLIESI,2017) e não há um manejo correto desses resíduos sólidos. Essa situação impõe à sociedade e aos agentes públicos a necessidade de buscar soluções para o gerenciamento de forma adequada dos resíduos sólidos.

Com o intuito de apresentar diretrizes para a gestão relativa à gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos, foi feita a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 onde é apresentada os princípios, objetivos e instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS foi regulamentada pelo decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, onde outras medidas, institui o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos. O Comitê tem por objetivo apoiar a estruturação e implementação da PGRS por meio da articulação dos órgãos e entidades governamentais, de modo a possibilitar o cumprimento das determinações e das metas previstas na Lei nº 12.305 e no próprio Decreto (BRASIL, 2012).

Baseando-se na preocupação com gestão dos resíduos sólidos de forma inteligente, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) torna-se uma boa ferramenta de estudo para escolha de metodologias baseadas em conceitos como análise de produtos e serviços por ACV, como de gerenciamento integrado de resíduo sólido, educação ambiental, consumo sustentável, rotulagem ambiental, integração de aspectos ambientais no desenvolvimento de produto (Ecodesign) que são ferramentas fundamentais para guiar o desenvolvimento sustentável de uma sociedade (COLTRO,2007).

2. OBJETIVO

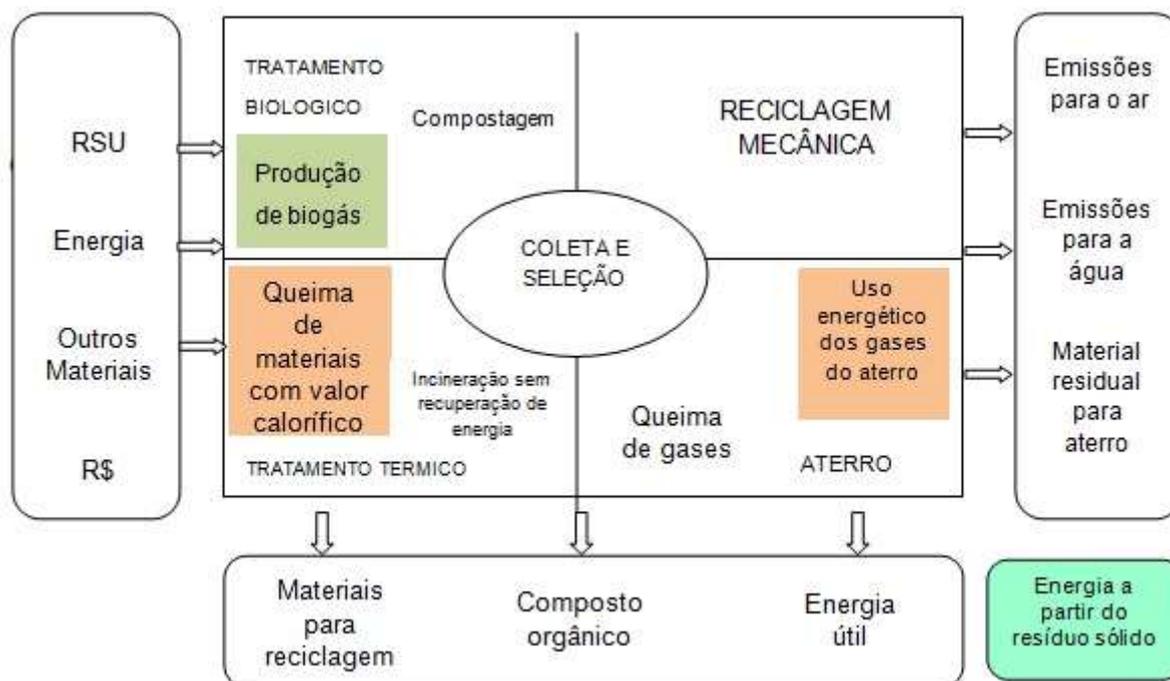
Este artigo tem por objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre a gestão integrada dos resíduos sólidos utilizando como ferramenta de decisão a Avaliação do Ciclo de Vida para escolha de tecnologias no tratamento de resíduos sólidos.

3. METODOLOGIA

Na primeira fase da pesquisa, foram levantados os artigos relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos utilizando a ACV como tomada de decisão. Estes estudos apresentaram formas de avaliação dos impactos gerados pelas determinadas formas de transporte do resíduo e formas e tratamento ou disposição final do mesmo.

Na análise de ACV de um produto, ao avaliar a disposição final, é importante que esteja expresso o consumo de energia, de recursos naturais e emissões relativas ao descarte desse resíduo. A Figura 1 abaixo mostra a visão da gestão integrada dos resíduos sólidos segundo a técnica de ACV.

Figura 1. Visão do GIRS segundo a técnica de ACV



Dentro da estrutura metodológica da ACV, existe a definição de fronteira do sistema (ABNT,2001). De forma geral, essas fronteiras podem ser definidas de 4 formas: berço ao túmulo (*cradle to grave*), berço ao portão (*cradle to gate*), portão ao túmulo (*gate to grave*) e portão ao portão (*gate to gate*) (GABI,2017).

Nas análises de ACV do resíduo sólido, a fronteira mais utilizada foi a do portão ao túmulo. Esta fronteira analisa a fase de uso do resíduo sólido até a sua disposição final. Como no caso do estudo de YAY (2017), onde foi realizado uma avaliação do ciclo de vida na gestão dos resíduos sólidos em Sakarya. A fronteira do sistema se limitou a um estudo onde a avaliação começa na coleta do resíduo sólido até a unidade de tratamento ou disposição final. Esta coleta inclui o transporte do resíduo até pontos de tratamento, instalações de recuperação de materiais, alternativas de tratamento de resíduos (reciclagem, incineração e compostagem) e aterro do resíduo.

Em seu artigo, YAY (2017) apresentou cinco alternativas de gerenciamento do resíduo sólido usando a perspectiva da ACV. Foram elas: aterro sem recuperação de biogás (alternativa 1); recuperação de materiais e aterro (alternativa 2); recuperação de materiais, compostagem e aterro (alternativa 3); incineração e aterro (alternativa 4); e recuperação de materiais, compostagem, incineração e aterro (alternativa 5).

Para a alternativa 1 (A1), os resíduos sólidos são depositados em um aterro controlado. Na alternativa 2 (A2), papel, vidro e plásticos são separados e reciclados. Na alternativa 3 (A3) é explorado o potencial para reduzir o impactos ambientais da eliminação de resíduos sólidos urbanos por reciclagem e compostagem. Já os resíduos domésticos são tratados por compostagem e o restante descartado no aterro. A alternativa 4 (A4) usa incineração e aterro como forma de tratamento do RS. Todo o lixo é transportado para o incinerador e o resíduo que sobra da incineração é enviado ao aterro. Na alternativa 5 (A5) é usado a recuperação de materiais, compostagem, incineração e aterro. Esta alternativa possui o intuito de minimizar os impactos ambientais, fazendo primeiramente uma recuperação dos materiais de metal, papel e plásticos por reciclagem. Os resíduos domésticos foram tratados por compostagem Os combustíveis e o papel/plástico que não foram reciclados foram levados para o incinerador. Por fim, os resíduos gerados pela recuperação de materiais, compostagem e incineração são levados para o aterro. As análises de ACV foram realizadas no software SimaPro.

REICHERT & MENDES (2014) estudaram o tratamento do resíduo sólido do município de Porto Alegre utilizando a ACV para análise de decisão. Foi utilizado o programa IWM-2 como ferramenta de inventário do ciclo de vida com a metodologia do CML-2001 para análise dos resultados. As etapas do inventário consistiram na seleção das categorias de impacto (energia, mudanças climáticas, toxicidade humana, formação de foto-oxidantes ou oxidação química, acidificação, eutrofização), a classificação (alocação dos resultados do inventário às categorias de impacto) e a caracterização (cálculos para avaliar a significância relativa de cada fator contribuinte ao impacto global do sistema em estudo).

Foram construídos oito cenários para avaliação mostrados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Descrição dos oito cenários analisados no estudo em Porto Alegre

CENÁRIO	DESCRIÇÃO BÁSICA DO CENÁRIO
#1 BASE	Base ou atual de Porto Alegre, relativo ao ano de 2011
#2 PGTA	Provável geral com participação de todos os atores
#3 PDT	Provável atores do DMLU
#4 OGTA	Otimista geral com participação de todos os atores
#5 ODT	Otimista atores do DMLU
#6 DASI	Ênfase para a digestão aeróbica sem ênfase à coleta diferenciada
#7 QM	Ênfase para queima máxima (incineração) com coleta diferenciada
#8 GICI	Ênfase para coleta diferenciada e o gerenciamento integrado

DMLU- Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre.

DAÍ-PRÁ ET al , (2018) avaliaram um estudo do uso da ACV para gestão dos RSU no município do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. O estudo avaliou da geração do resíduo até a disposição final, no entanto não foram avaliadas neste estudo a logística de destinação dos resíduos. Foram analisados 4 cenários para avaliar os impactos causados de acordo com cada tecnologia utilizada para o gerenciamento desses resíduos. O Cenário 1 analisou a coleta, transporte e disposição até o aterro controlado. O Cenário 2 analisou as mesmas etapas até a disposição final em aterro sanitário com 90% do lixiviado coletado, 70% de eficiência no tratamento do resíduo e 90% de captura dos gases gerados, no entanto esse gases não são aproveitados energeticamente, os mesmos são apenas queimados. No Cenário 3 foi incluído a triagem dos resíduos. No Cenário 4 foi analisado todas as etapas até o Cenário 3 e acrescentado o uso da compostagem com 50% de matéria orgânica presente na massa dos resíduos coletados. Os autores utilizaram o software Integrated Waste Management (IWM)-2 para análise da avaliação do ciclo de vida. Os indicadores analisados foram: cenários: Uso de Energia (GJ/ano); Resíduo Sólido Final (t/ano); Potencial de Aquecimento Global (PAG) (kg CO₂ eq./ano); Potencial

de Acidificação (PA) (kg SO₂ eq./ano); Potencial de Eutrofização (PE) (kg PO₄ eq./ano) e Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (PDCO) (kg CFC-11 eq./ano).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o estudo de YAY (2017), foram analisados 11 categorias de impacto baseadas no método CML-IA-2000. As categorias foram: depleção abiótica; depleção abiótica fóssil; aquecimento global; depleção na camada de ozônio; toxicidade humana; ecotoxicidade aquática de água doce; ecotoxicidade aquática marinha; ecotoxicidade terrestre; oxidação fotoquímica; acidificação e eutrofização.

Dentre as cinco alternativas analisadas para gerenciamento dos resíduos sólidos, a que mais apresentou impactos foi a alternativa 1, aterro sem recuperação de biogás. A que obteve menos impactos foi a alternativa 5, usando como tecnologias a recuperação de materiais, compostagem, incineração e aterro. Como no caso do aquecimento global, a alternativa 1 obteve o resultado de $1,84 \times 10^3$ kg CO₂ eq já na alternativa 5 o resultado foi de $-1,03 \times 10^3$ kg CO₂ eq apresentando um valor inferior à alternativa 1. O fator que mais contribuiu na A1 para o aumento do aquecimento global foi o metano, pois por não haver um sistema de controle de emissões, o mesmo era emitido na atmosfera sem qualquer tratamento. Já na A5, o controle das emissões de CO₂ e NO devido a produção de adubo e fertilizante pela técnica da compostagem, resultaram em impactos positivos no aquecimento global. O mesmo acontece com a ecotoxicidade terrestre (1,28 kg DB eq para A1 e 0,02 kg DB eq para A5) e a oxidação fotoquímica (0,405 kg C₂H₄ eq para A1 e -0,07 kg C₂H₄ eq). Níquel, cobre e bário são os principais poluentes emitidos no aterro que refletiram na ecotoxicidade terrestre. Já na incineração os principais poluentes que impactaram essa categoria foram os principais poluentes do gás natural (bário, vanádio, hidrogênio, flúor). O metano também apresentou influências na oxidação fotoquímica. Dessa forma, a alternativa 5 apresentou os melhores resultados. No entanto, por possuir várias formas de tratamento pode ser considerada cara dependendo da condição financeira que o local apresente. A alternativa 3 também apresentou bons resultados e possui técnicas de tratamento mais acessíveis. Vale ressaltar que o estudo de YAY (2017) foi realizado no Japão, país em que o uso de incineração já é bastante desenvolvido, o que não acontece no Brasil, pois esta tecnologia ainda é muito cara principalmente para municípios pequenos. Assim, para a realidade brasileira em Municípios mais simples, o uso da compostagem e reciclagem pode ser uma alternativa ambientalmente e economicamente viável.

A Tabela 2 abaixo mostra a destinação final dos resíduos sólidos baseado no seu % em massa.

Tabela 2. Destinação final do resíduos de percentual em massa de acordo com as disposições finais

Cenário	Destinação Final (% em massa)		
	Aterro Sanitário	Reciclagem de materiais	Biodegradação ou combustão
#1 BASE	91,7	7,1	1,2
#2 PGTA	63,3	19,8	16,9
#3 PDT	83,9	12,3	3,8
#4 OGTA	18,6	42,1	39,3

#5 ODT	34,5	37,4	28,1
#6 DASl	38,3	36,3	24,4
#7 QM	16,1	18,0	65,9
#8 GICI	10,5	29,1	60,4

Para o caso analisado de REICHERT & MENDES (2014), para o aterro sanitário, o Cenário #1 BASE foi o que maior apresentou um percentual em massa com 91,7% e o Cenário #8 GICI foi o que menos possuía percentual em massa com 10,5%. Para a reciclagem de materiais o Cenário #4 OGTA apresentou um maior percentual em massa com 42,1% e o Cenário #1 BASE com menor representação de 7,1%. Já para a biodegradação ou combustão o Cenário #7 QM se mostrou com maior porcentagem em massa com 65,9% e o Cenário #1 BASE com 1,2%.

Avaliando as categorias de impacto (energia, mudanças climáticas, toxicidade humana, formação de foto-oxidantes ou oxidação química, acidificação, eutrofização), em todos os casos, o índice “mudanças climáticas” representou dano ambiental. O indicador mudanças climáticas foi o que também apresentou maior dano com 3% de todas as emissões da cidade. O Cenário que apresentou maior índice de mudanças climáticas foi o #7 QM e o menor foi #2 PGTA, assim, percebeu-se que o uso da incineração representou a maior emissão de gases para a atmosfera. Os indicadores de toxicidade humana e uso de energia apresentaram benefícios ambientais em todos os cenários analisados. Para a toxicidade humana o melhor desempenho apresentado foi no Cenário #6 DASl onde o cenário é focado na ênfase para a digestão aeróbica sem ênfase à coleta diferenciada e o pior desempenho foi no Cenário #1 BASE relativo ao cenário atual do ano de 2011 em Porto Alegre. Todos os cenários apresentaram resultados positivos em ganho de energia, ou seja, gerou-se energia a partir do resíduo sólido. Para a formação de foto-oxidantes, o melhor benefício foi no Cenário #4 OGTA e o pior no #1 BASE. Já os indicadores de acidificação e eutrofização, apresentaram valores menores comparados com os outros cenários analisados. Nestes dois indicadores, nos cenários #1 BASE e #3 PDT houveram impacto ou dano ambiental, e nos demais cenários ocorreu benefício ambiental.

Os resultados obtidos a partir do estudo de DAÍ-PRÁ ET al , (2018) são mostrados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3. Resultados dos indicadores analisados na ACV.

Indicadores	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Uso de energia (GJ/ano)	+744,00	+744,00	-1.878,00	-2.001,00
Resíduos Sólidos Final (t/ano)	+/-612,00	+/-612,00	+/-400,00	+/-315,00
PAG (kg CO ₂ eq./ano)	576.796.786,00	201.636.032,00	127.023.570,00	61.826.729,00
PA (kg CO ₂ eq./ano);PE	646,04	647,48	519,15	516,13
PE (kg PO ₄ eq./ano)	106,45	105,60	68,28	64,49
PDCO (kg PO ₄ eq./ano)	0,130	0,047	0,040	0,023

Legenda: (+): consumo de energia; (-): economia de energia; (+/-) aproximadamente

Ao analisar o Uso de Energia, percebeu-se valores semelhantes ao consumo de energia nos cenários 1 e 2, já nos cenários 3 e 4 houveram uma economia de energia, sendo o Cenário 4 o que obteve maior economia por ter a compostagem inserida como tecnologia para a disposição final do RSU. O indicador Resíduos Sólidos Final mostrou que para o uso de aterro controlado e aterro sanitário, não houveram diferenças significativas. Já para o Cenário 4, mostrou uma redução quando comparado aos outros cenários. O Potencial de Aquecimento Global mostrou o melhor resultado no Cenário 4 e o pior resultado no Cenário 1, essa redução significativa no Cenário 4 se deve ao uso dos gases gerados na compostagem para aproveitamento energético ao invés de serem queimados no caso dos outros cenários. O Potencial de Acidificação apresentou um maior valor nos cenários 1 e 2 provavelmente devido à queima incompleta de 90% dos gases gerados no aterro. Já nos cenários 3 e 4 houve uma redução principalmente pelo uso de triagem e reciclagem dos resíduos. Os cenários 1 e 2 apresentaram valores maiores do potencial de eutrofização devido aos gases produzidos pelo NOx gerados no aterro. E valores menores nos cenários 3 e 4 onde houveram a triagem e reciclagem. Para o Potencial de Depleção na Camada de Ozônio, o Cenário 4 apresentou o melhor resultado por ter as tecnologias de triagem, reciclagem e compostagem incluídas no tratamento dos resíduos.

5. CONCLUSÃO

Com base nos estudos analisados percebe-se que a utilização do aterro sanitário como fonte de disposição final do resíduo sólido, apresentou os piores índices ambientais analisados tanto no estudo realizado em Sakarya quanto em Porto Alegre. Também observou-se que para o caso estudado em Porto Alegre, o aterro sanitário foi o que maior possui disposição do resíduo sólido em porcentagem de massa, o que mostra uma má gestão no aproveitamento dos resíduos, pois os mesmos poderiam ser utilizados para geração de energia ou adubo por exemplo.

Ainda no estudo em Sakarya, a combinação das tecnologias de recuperação de materiais, compostagem, incineração e aterro combinadas apresentaram melhores resultados ao ser feito a avaliação do ciclo de vida, esta combinação de tecnologias apresentaram menos impactos ao meio ambiente e melhor otimização dos resíduos sólidos. Para o caso em Porto Alegre, não houve um único cenário que apresentou melhores resultados na análise de ACV, mas em todos os cenários o índice mudanças climáticas esteve presente com dano ambiental.

No estudo analisado no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, percebeu-se a importância do uso de tecnologias eficientes para um melhor aproveitamento energético e uma minimização do resíduo. O uso da compostagem para gerar energia e geração de composto orgânico, pôde trazer retornos financeiros para o local. Com a triagem e reciclagem houve uma minimização dos rejeitos e uma melhor uso dos resíduos para tratamento. A compostagem também trouxe benefícios na redução significativa do potencial de aquecimento global.

Concluiu-se assim que a gestão dos resíduos sólidos é muito importante para saber qual tipo de tecnologia e destinação correta dar ao resíduo. E com a utilização da avaliação do ciclo de vida como auxiliador para tomada de decisão foi determinante para avaliar qual a melhor tecnologia, dentre as várias existentes no mercado, e como saber escolher a melhor destinação do resíduo sólido.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, M., GHALY, A.E, 2007. Maximizing sustainability of the Costa Rican coffee industry. J. Clean. Prod. 15, 1716-1729.
- ABNT. NBR ISO 14040 Gestão Ambiental :Avaliação do Ciclo de Vida-Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, Nov. 2001
- COLTRO, LEDA. 2007 Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. Campinas: CETEA/ITAL.75 p.

BRASIL, 2012. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Versão Preliminar. 106p.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2010) *Censo demográfico 2010*. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>> Acesso em: 16 dez 2018.

COSTA, ALLINE; PUGLIESI, ÉRICA. Análise dos manuais para elaboração de plano municipais de gestão integrada de resíduos sólidos. São Paulo, 2017.

DAÍ-PRÁ, LÉA et al. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada aos resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros: uma revisão. São Leopoldo: UNISINOS, Rio Grande do Sul. 2018.

GABI. Paper Clip Tutorial Part 1. Disponível em:
http://www.gabisoftware.com/fileadmin/GaBi_Manual/GaBi_Paperclip_tutorial_Part1.pdf. Acesso: 08 jan 2017.

YAY, A. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. *Journal of Cleaner Production*. Tunkey. 2015.

Reichert, A. G.; Mendes, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Eng Sanit Ambient*. Caxias do Sul. 13p. Set, 2014.