

Comparação de cenários de gestão para Resíduos de Construção e Demolição por meio da Avaliação de Ciclo de Vida

Luiz Solon Souza Barreto¹, Sebastião Roberto Soares²

¹Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida – CICLOG, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (luizsolonsb@gmail.com);

²Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Campus Universitário, Centro Tecnológico, Trindade, Caixa Postal 476, Florianópolis, SC 88040-970, Brasil

Resumo

Nos dias atuais já é notório a grande geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e seus impactos potenciais relacionados ao desperdício e gestão ineficiente. Desse modo, o presente artigo visa analisar cenários de gestão para o RCD de maneira a indicar os caminhos para minimizar os impactos associados ao seu serviço de disposição. Por meio da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) são avaliados três cenários: Aterro Sanitário, Aterro Classe A (ou Aterro Inertes) e Usina de Reciclagem. Para este estudo foi utilizado o CML 2001 *baseline* adaptado pelo CICLOG e avaliadas as categorias de impacto Potencial de Aquecimento Global (GWP 100), Demanda Total Acumulada de Energia, e Depleção Abiótica. Os resultados mostram que o cenário Usina de Reciclagem não só é menos impactante para as categorias de impacto avaliadas como também evita 32% de GWP e 28% de Demanda de Energia, o ganho em desempenho deste cenário está associado aos impactos evitados da extração de novas matérias-primas por meio do uso do material reciclado reciclagem. Em seguida o cenário Aterro Sanitário com diferença de 5,3% para Dep. Abiótica, 1,2% para GWP100 e 4,1% para Demanda Acumulada de Energia em relação ao cenário Aterro Classe A.

Palavras chave: Avaliação de Ciclo de Vida; Resíduo de Construção e Demolição; Gestão Ambiental.

Área temática: Resíduos Sólidos; Gestão Ambiental Pública; Impactos Ambientais.

Comparison of disposal scenarios for Construction and Demolition Waste by Life Cycle Assessment methodology

Abstract

Nowadays it is already notorious the amount of Construction and Demolition Waste (CDW) generation and their potential impacts related to waste and mismanagement in the cities. Thus, this article aims to analyze alternatives for waste management in order to indicate the ways to minimize the impacts associated with its service provision. Through the method of Life Cycle Assessment (LCA) are evaluated three scenarios: Landfill, Landfill Class A (or Inert Landfill) and Recycling Plant. For this study we used the CML 2001 baseline adjusted CICLOG which were assumed by the Global Warming Potential (GWP 100), Energy Consumption, and Abiotic depletion as impact categories most representative. The results show that the scenario Recycling Plant is not only less impactful to the impact categories evaluated but also prevents 32% of GWP and 28% Energy Demand Avoided by recycling. Then the scenario Landfill with a difference of 5.3% for Dep Abiotic, 1.2% and 4.1% for GWP100 Accumulated Demand for Energy in the scenario Landfill Class A.

Keywords: Life Cycle Assessment, Construction and Demolition Waste; environment management.

Thematic area: Solid Waste; Public Environmental Management; Environmental Impacts.

1. Introdução

O setor da construção civil é um importante segmento da indústria brasileira, apontada como um indicativo do crescimento econômico e social. Não é por acaso que seja uma atividade geradora de impactos ambientais significativos, sendo importante uma gestão adequada destes (BRASIL, 2010).

Assim, a indústria de construção civil torna-se a principal responsável pela maior parte da geração dos resíduos urbanos, seja por meio de construções, reformas, ou demolições, representam 70% do total gerado (BRASIL, 2010).

A Green Council Brasil (GCB) afirma que o setor imobiliário é responsável pela geração de 65% de resíduo de construção e demolição (RCD) e por 25% das emissões de CO₂ equivalente provenientes destes resíduos.

Além do intenso consumo de recursos naturais (podendo chegar até 50% do consumo brasileiro segundo JOHN (2000)) os grandes empreendimentos colaboram com a alteração da paisagem e, como todas as demais atividades humanas, geram resíduos (ÂNGULO *et al.* 2001; BRASIL, 2010).

No Brasil, estima-se que seja gerado anualmente $68,5 \times 10^6$ t de RCD (ÂNGULO, 2005). Considerando que a população brasileira, segundo estatísticas do IBGE, era de 193.946.556 habitantes no ano de 2012, cada habitante gera aproximadamente 353,2 Kg de RCD anualmente, valor similar ao encontrado por Ângulo e Teixeira para o ano de 2011 de aproximadamente 367 kg/habitante. Já Karpinsk *et al.* (2009) e Pinto (1999) encontraram um valor aproximado de 500kg/habitante.

Desse modo, práticas de reciclagem de RCD podem ser uma forma de aproximar o setor da sustentabilidade, por meio da redução dos impactos negativos dos seus resíduos nas cidades e pela geração (retorno) de matérias-primas que podem substituir àquela extraída da natureza, geralmente não renovável (ÂNGULO *et al.*, 2005).

Uma gestão adequada de beneficiamento e manejo de resíduos de construção e demolição pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas. Consequentemente, poderá diminuir o impacto ambiental pela reutilização e reciclagem dos rejeitos minerais e poupa espaço em aterros sanitários (BLENGINI E GARBARINO, 2010, COELHO E BRITO, 2013; OLIVEIRA, 2002).

Em alguns casos, o aproveitamento do resíduo por meio de reciclagem pode até ser mais impactante do que a disposição do mesmo e consumo de matérias-primas virgens. Normalmente ocasionando um maior dano ambiental e custos mais elevados em comparação à produção de um novo produto, que seja talvez, de qualidade superior (BLENGINI E GARBARINO, 2010; MARINKOVIĆ, S. *et al.*, 2010).

Por esta razão, a metodologia de ACV se faz eficaz por considerar todo o ciclo de vida do produto ao levantar pontos implícitos, e por vezes de difícil visualização, auxiliando assim para a tomada de decisão mediante as alternativas de gerenciamento dentre três cenários propostos. Buscando assim, analisar alternativas de gestão para o RCD de maneira a indicar os caminhos para minimizar os impactos associados ao seu serviço de disposição e gerenciamento.

2. Metodologia

Este estudo seguiu as recomendações das normas vigentes de ACV baseando-se nas quatro etapas: Objetivo e Escopo, Análise de Inventário, Avaliação de Impacto e Interpretação (NBR ISO 14040, 2009).

2.1. Objetivo e Escopo

Na etapa de Objetivo e Escopo, foi estipulado um estudo ambiental de cenários de gestão para resíduos de construção e demolição a fim de comparar as principais alternativas para gerir o resíduo de maneira a minimizar os impactos associados ao serviço de disposição do mesmo. Por meio do método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) são avaliados três cenários: Aterro Sanitário (AS), Aterro Classe A (CA) (ou Aterro Inertes) e Usina de Reciclagem (UR).

2.1.1 Sistema de Produto

O Sistema de produto avaliado se refere ao serviço de gerenciamento dos RCD no tocante ao manejo dos rejeitos, excessos e desperdícios que são gerados durante a construção civil na fase de operação, manutenção e demolição, comumente chamada de entulho que é constituído de todo o material descartado por essas atividades.

Baseado no estudo de Coelho e Brito (2013), o gerenciamento consistirá no transporte do local de geração para as unidades de triagem e em seguida para as recicladoras para tratamento e processamento e transformação desses rejeitos em matérias primas secundárias, disposição em aterros, e operação da planta de reciclagem.

Admitiu-se que 90% do RCD gerado corresponde ao Classe A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados), tendo em vista que esta é a proporção mais comum encontrada para a realidade brasileira com uma densidade média de 2 t/m³ conforme identificado por alguns autores (ÂNGULO, 2005; ÂNGULO E TEIXEIRA, 2011; CARNEIRO *et al.*, 2000).

A fim de evidenciar os impactos relativos aos cenários e tendo em vista que o transporte para a maioria das ACVs é um fator bastante representativo (MERCANTE *et al.* 2011), foi considerado o mesmo veículo e uma distância de 20 km para todas as rotas de transporte até a disposição final.

2.1.2 Unidade Funcional

Foi adotada a unidade funcional (UF) como sendo uma tonelada de RCD gerenciado.

2.1.3 Alocação/Expansão do Sistema

No cenário Usina de Reciclagem (UR) vide item 2.1.4, o RCD ao sair da etapa de triagem, segue o processamento para a produção da nova matéria-prima que irá substituir o material virgem retirado da natureza. Nesta etapa foi utilizada a expansão do sistema conforme dispõe a norma NBR ISO 14044 a fim de evitar o uso de procedimentos de alocação.

Desse modo, baseados em dados da Ecoinvent, foram avaliadas as extrações de areia bruta, cascalho, britam e demais consumos de produção desses recursos virgens que são evitados por meio da reciclagem do RCD. Para o cenário de Aterro Sanitário e Aterro classe A não foram necessários os procedimentos de alocação, uma vez que não possui coprodutos associados à UF.

2.1.4 Cenários

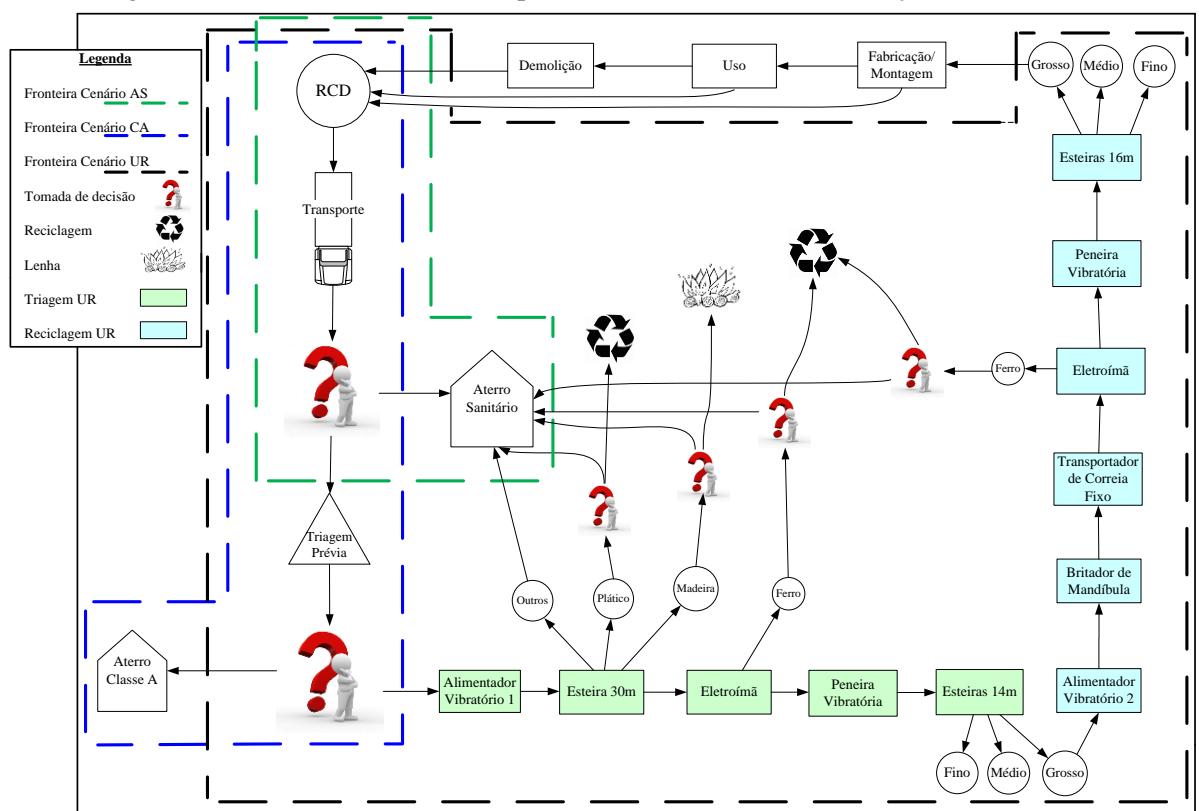
Para a pesquisa foram avaliados cenários para disposição legal que acontecem atualmente no Brasil como dispõe os órgãos regulamentadores: Aterro Sanitário, Aterro Classe ou Aterro Inerte (CA) e Usina de Reciclagem (UR) conforme apresentado na Figura 1.

No cenário Aterro Sanitário (AS), é considerada a disposição de todo o RCD sem ser triado, começando da coleta no lugar onde foi gerado, sendo transportado e disposto no Aterro Sanitário.

No cenário CA se faz necessário uma triagem prévia onde são separados os resíduos classe A dos demais (madeira, plástico, ferro e outros) para reservá-los em um galpão especial para resíduos inertes (aterro Classe A) onde poderão ser reaproveitados futuramente.

No cenário UR o RCD é transportado para a Usina de Reciclagem onde é triado. O resíduo classe A é beneficiado em matéria-prima secundária na substituição da areia, cascalho e brita virgens, utilizados na fabricação de argamassa, concreto e pavimentos respectivamente. Os demais resíduos separados na triagem quando não são vendidos para outras empresas de reciclagem são encaminhados para aterro sanitário (esta ultima opção considerada no estudo).

Figura 1 – Fronteiras dos Cenários para o Ciclo de Vida da Construção Civil.



2.2 Análise de Inventário

A etapa de Análise de Inventário corresponde à coleta de dados no qual se deu prioritariamente de fontes primários contribuídos por uma empresa do ramo em Santa Catarina (tabela 1 e 2). Para complementação foi recorrido ao banco de dados da Ecoinvent por meio do software Sima-Pro 7.3.3 e de outros estudos já realizados e da própria literatura.

Tabela 1. Inventário de dados primários do cenário UR para uma tonelada de RCD.

4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Fiema Brasil - Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 e 25 de Abril de 2014

Etapa/Cenário		Usina de Reciclagem		
	Fluxo Transporte	Entrada elementar (KW.h)	Fluxo Intermediário (kg RCD)	Saída elementar
Triagem	Euro 3 >32t, 20 t.km	-	1000,00	-
	Alimentador Vibratório	14,71	1000,00	-
	Esteira 30m	12,50	1000,00	-
	Eletroímã	1,47	1000,00	-
	Peneira Vibratória1	7,35	1000,00	-
Disposição	Esteiras 16m	16,55	1000,00	-
	Aterro Sanitário	0,5	1000,00	100 kg RCD Classe B
Reciclagem	Alimentador Vibratório	73,55	900,00	-
	Britador de Mandíbula	0,02	900,00	-
	Esteiras 2m	11,03	900,00	-
	Esteira 16m	11,03	900,00	300 kg de Fino
	Peneira Vibratória2	22,06	600,00	300 kg de Médio
	Esteiras 16m	-	300,00	300kg de Grosso

Tabela 2. Inventário de dados primários do cenário CA para uma tonelada de RCD.

Etapa/Cenário		Aterro Classe A		
	Fluxo Transporte	Entrada elementar (KW.h)	Fluxo Intermediário (kg RCD)	Saída Elementar
Triagem	Euro 3 >32t, 20 t.km	-	1000,00	-
	Alimentador Vibratório	14,71	1000,00	-
	Esteira 30m	12,50	1000,00	-
	Eletroímã	1,47	1000,00	-
	Peneira Vibratória	7,35	1000,00	-
Disposição	Esteiras 16m	16,55	1000,00	-
	10% Aterro Sanitário	-	1000,00	100 kg RCD Classe B
	90% Aterro Classe A	-	900,00	900kg RCD Classe A

Tabela 3. Inventário de dados primários do cenário AS para uma tonelada de RCD.

Etapa/Cenário		Aterro Sanitário		
	Fluxo Transporte	Entrada elementar (KW.h)	Fluxo Intermediário (kg RCD)	Saída Elementar
Transporte	Euro 3 >32t, 20 t.km	-	1000,00	-
Disposição	100% Aterro Sanitário	-	1000,00	-

O cenário Aterro Sanitário consistiu nos processos de transporte do RCD gerado até a disposição no Aterro Sanitário. Este cenário, portanto, é baseado exclusivamente em dados da base Ecoinvent.

2.3 Avaliação do impacto de Ciclo de Vida

Para o serviço de gerenciamento dos RCD brasileiro, em específico os gerados em Florianópolis- SC foi utilizado um método de caracterização baseado no CML 2001 *baseline* adaptado pelo Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida da Universidade Federal de Santa Catarina (CICLOG) por meio do software Sima-Pro 7.3.3 no qual, inspirado em estudos de ACV que envolvem RCD, foram admitidos como mais representativos, as seguintes categorias de impacto: Potencial de Aquecimento Global (num horizonte de 100 anos), Demanda Acumulada de Energia e Depleção Abiótica (COELHO e BRITO, 2013; SOARES *et al.* 2012; ORTIZ *et al.*, 2010; DEWULF, 2009; WEIL, 2006; BISWAS, 2008).

3. Resultados e Discussões

Os resultados caracterizados pelo método CML 2001, apresentados na Tabela 4, demonstram os impactos ambientais de cada cenário por categoria avaliada.

Tabela 4: Impactos dos cenários por categoria de impacto para 1 UF

Cenário/Categoria de Impacto	Depleção Abiótica (kg Sb eq.)	Aquecimento Global (kg CO ₂ eq.)	Demandas totais de Energia (MJ eq.)

4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Fiema Brasil - Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 e 25 de Abril de 2014

Usina de Reciclagem (UR)	-0,0138	65,54	-32,53
Aterro Classe A (CA)	0,1618	84,52	389,99
Aterro Sanitário (AS)	0,1532	83,49	374,09

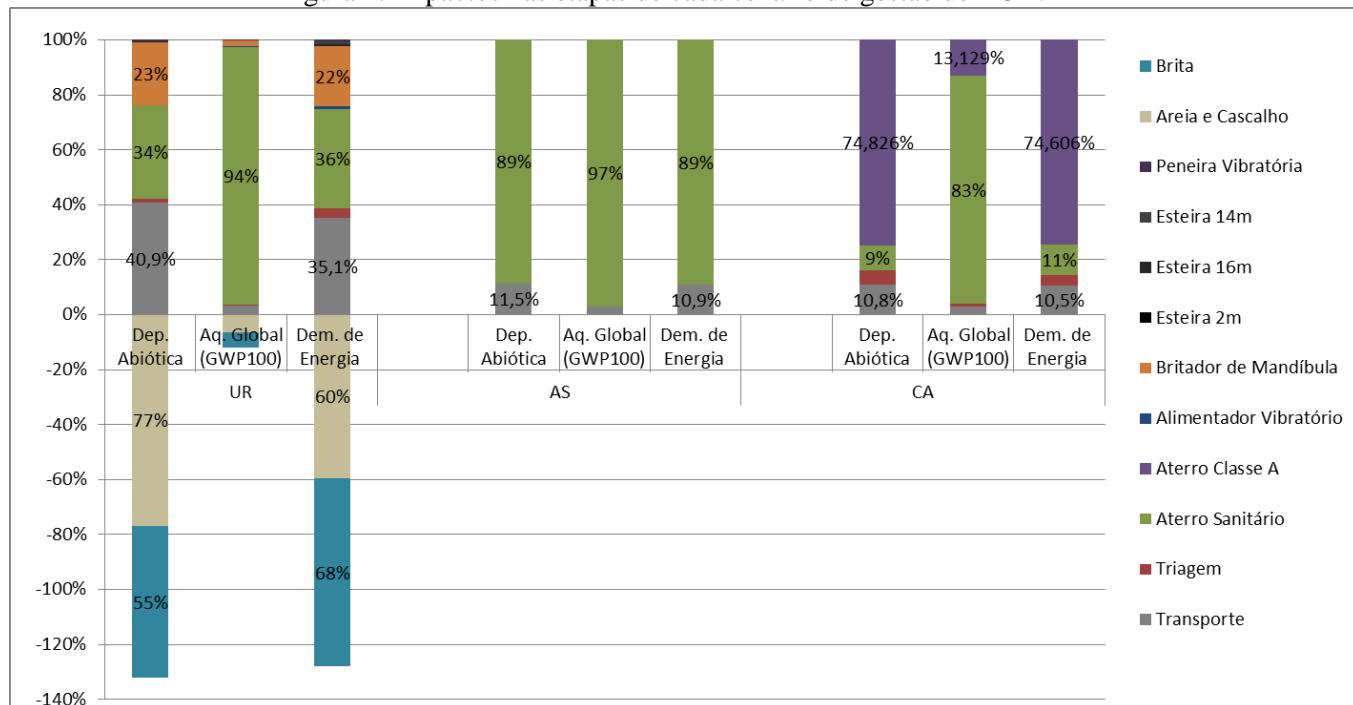
O valor negativo do cenário UR na Tabela 4 representa um impacto evitado de -0,0138 kg Sb eq. Este conceito significa que ao recolocar no mercado de agregados, areia, brita e cascalho, evita-se que os mesmos sejam extraídos da natureza.

No que se refere a Aquecimento Global, nota-se que não há uma diferença significativa entre os cenários de Aterro (1,03 kg CO₂ eq. a mais para o cenário CA) que por sua vez apresentam-se mais impactantes quando comparados ao cenário de Reciclagem que apresentou cerca de 18 e 19 kg CO₂ eq. a menos que os cenários de aterro.

Isto pode ser justificado pelo fato de que as etapas do ciclo de vida nos cenários de Aterro (as que mais emitem gases referentes a essa categoria de impacto) são bastante semelhantes diferindo apenas na etapa de triagem presente no cenário CA e que acrescenta mais emissões, associados ao consumo de energia elétrica. Já no cenário de Reciclagem, o menor impacto está associado às emissões evitadas da não extração de materiais da natureza.

No tocante à Demanda total de Energia, o cenário CA requer aproximadamente 16 MJ eq. a mais de energia do que o AS devido à etapa de triagem que implica no uso de equipamentos. Para o cenário de Reciclagem, o produto evitado novamente representou uma significativa diferença o tornando melhor ambientalmente para esta categoria de impacto com 32,53 MJ eq. de energia evitados. Esta diminuição significa que a reciclagem é energeticamente mais eficiente que a retirada e beneficiamento destes agregados da natureza.

Figura 2: Impactos nas etapas de cada cenário de gestão de RCD.



Na Figura 2 é possível discriminar o impacto de cada etapa no ciclo de vida do serviço de gestão dos RCD. Os valores negativos do eixo y do gráfico é referente aos impactos evitados associados ao cenário UR (devido aos materiais reciclados: brita, areia e cascalho). Observa-se que para Dep. Abiótica e Dem. de Energia o impacto evitado é maior que o impacto gerado para o beneficiamento e transformação do resíduo em matéria prima secundária.

4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Fiema Brasil - Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 e 25 de Abril de 2014

A Figura 2 demonstra que no cenário UR o transporte, a fração disposta em aterro sanitário (10% do RCD) e o Britador de mandíbula são as etapas mais impactantes para Dep. Abiótica e Dem. de Energia. O primeiro pode ser justificado pelo consumo dos combustíveis, vinculados à extração do petróleo que é um recurso não renovável e sua prospecção/refino demanda muita energia, o mesmo acontece com o britador de mandíbula pois consome óleo diesel. A etapa do aterro sanitário é sobresalente para Aq. Global pois esta etapa consiste basicamente em emissões provenientes da depuração do resíduo Classe B.

Resultado coerente com o encontrado por Coelho e Brito (2013) onde foi constatado que a fase operacional da indústria de reciclagem se mostrou mais impactante no tocante ao consumo de energia representado por aproximadamente 70% do total, em sequência o transporte com 32%.

Para o cenário CA, o próprio aterro de inertes é que é mais representativo dentre as etapas, exceto para GWP100 devido às emissões oriundas da degradação na fração destinada ao aterro sanitário. Para a categoria de impacto Dep. Abiótica o Aterro classe A torna-se predominante devido a área necessária para reserva e impactos relacionados à sua construção e infraestrutura.

No cenário CA o transporte fica proporcionalmente com menos emissões devido ao fato de já se encontrar triado e reduz assim o volume a ser transportado. Enquanto que no cenário AS é transportado e assimilado 100% do RCD no aterro sanitário. Ortiz (2010) também avaliou cenários de disposição e reciclagem por meio da ACV, no qual o menos impactante foi o de reciclagem seguido da incineração e por fim em aterro sanitário.

4. Conclusão

Os resultados mostram que o cenário UR não só é menos impactante para as categorias de impacto avaliadas como também evita 32% das emissões de CO₂ eq. bem como 28% da Demanda de Energia por meio da reciclagem. Em seguida o cenário AS com diferença de 5,3% para Dep. Abiótica, 1,2% para GWP100 e 4,1% para Demanda Acumulada de Energia em relação ao cenário CA.

No tocante aos resultados para os dois últimos cenários (AS e CA), apesar do cenário AS apresentar menores impactos para o serviço de gerenciamento do RDC, não significa que o mesmo seja ambientalmente preferível para o RCD (como produto), pois, no cenário CA o resíduo reservado se objetiva a uma futura reciclagem que implicará em impactos evitados não considerados para o serviço de gerenciamento.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14040: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2009.
- ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento de Concretos.** Tese de Doutorado em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ANGULO, S.; TEIXEIRA, C. **Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação.** Engenharia Sanitária e Ambiental, n. 11, p. 299-306, 2011
- BISWAS, W. **Life cycle assessment of building construction wastes in Western Australia.** EarthCare, Perth, n. October, 2008.

4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Fiema Brasil - Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 e 25 de Abril de 2014

BLENGINI, G. A.; GARBARINO, E. **Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix.** Journal of Cleaner Production, v. 18, n. 10-11, p. 1021-1030, jul. 2010.

BRASIL (2011). LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Ministério do Meio Ambiente, 2011.

CARNEIRO, A.P. et al. Construction waste characterisation for production of recycled aggregate – Salvador/Brazil. In: WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTION, 4, 2000, Leeds. Proceedings. Amsterdam: Elsevier, 2000. p. 825-835.

COELHO, A.; BRITO, J. DE. Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal - Part I: Energy consumption and CO(2) emissions. Waste management (New York, N.Y.), 16 fev. 2013.

DEWULF, J. et al. Quantification of the impact of the end-of-life scenario on the overall resource consumption for a dwelling house. Resources, Conservation and Recycling, v. 53, n. 4, p. 231-236, fev. 2009.

GREEN COUNCIL BRASIL. Disponível em: <http://www.gbcbrasil.org.br/?p=seja-membro&gclid=COjugfbJp7gCFUkS7Aodm00ASA> acesso em 06/09/2013.

JOHN, V. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese para obtenção do Título de Livre Docente, São Paulo, v. 5, 2000.

MARINKOVIĆ, S. et al. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. Waste management (New York, N.Y.), v. 30, n. 11, p. 2255-64, nov. 2010.

MERCANTE, I. T., BOVEA, M. D., IBÁÑEZ-FORÉS, V., & ARENA, A. P. (2011). Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. The International Journal of Life Cycle Assessment, 17(2), 232–241. doi:10.1007/s11367-011-0350-2

OLIVEIRA, M. DE. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: Estudo dos resíduos de concreto para reciclagem.** Tese de doutorado na área de concentração em Geociências e Meio Ambiente, Rio Claro, 2002.

ORTIZ, O.; PASQUALINO, J. C.; CASTELLS, F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. Waste management (New York, N.Y.), v. 30, n. 4, p. 646-54, abr. 2010.

SOARES, S. R. et al. Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste management. Waste management (New York, N.Y.), v. 33, n. 1, p. 175-83, jan. 2013.

WEIL, M. Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. Waste Management & Research, v. 24, n. 3, p. 197-206, 1 jun. 2006.