

Trabalho de Graduação
Curso de Graduação em Geografia

O Uso de Modelos de Análise na Gestão Sustentável de Resíduos da Construção e Demolição: estado da Arte

Vitor Baganha Caritá

Prof(a).Dr(a). Ana Tereza Caceres Cortez

RIO CLARO (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

VITOR BAGANHA CARITÁ

O USO DE MODELOS DE ANÁLISE NA GESTÃO
SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO: ESTADO DA ARTE

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP
2015

604.6 Carita, Vitor Baganha
C277u O uso de modelos de análise na gestão sustentável de
resíduos da construção e demolição : estado da arte / Vitor
Baganha Carita. - Rio Claro, 20
48 f. : il., figs., gráfs.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia)
- Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Ana Tereza Caceres Cortez

1. Resíduos. 2. Dinâmica de sistemas. 3. Análise de ciclo
de vida. 4. Ecoeficiência. 5. Sustentabilidade. I. Título.

VITOR BAGANHA CARITÁ

O USO DE MODELOS DE ANÁLISE NA GESTÃO
SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO: ESTADO DA ARTE

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

_____ (orientador)

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Dirceu Ivo Caritá e Rosemary Pereira Baganha Caritá, por me apoiarem e por cobrarem que eu desse o meu melhor, sem vocês este trabalho não seria possível;

Agradeço ao meu irmão, Lucas Baganha Caritá, pelas ideias durante o trabalho, as correções e o apoio;

Agradeço a minha orientadora, Prof^a Dr^a Ana Tereza Caceres Cortez, pela orientação durante minhas pesquisas, e por estar sempre disponível quando precisei de sua ajuda;

Agradeço aos meus amigos Nathan, Felipe, Eduardo, Renato, André, Clarissa, Carol, pelo companheirismo, amizade, e também pelas festas;

Agradeço aos meus professores de Geografia do ensino médio, que me ensinaram a ver o mundo muito além das apostilas;

E agradeço também a pessoa que, junto com meus pais, me fez chegar até aqui, Vanessa Genari. Com seu apoio, companheirismo, puxadas de orelha, e momentos maravilhosos, o caminho foi mais fácil.

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo de Sistema de Produto.	26
Figura 2 - Exemplo de Diagrama X-Y.	31
Figura 3 - Diagrama de Ciclo Causal.	35
Figura 4 - Modelo Stock-FLow.	36

RESUMO

Considerado um dos motores da economia brasileira, a construção civil nunca teve uma grande preocupação com o gerenciamento da enorme quantidade de resíduos produzidos em suas atividades. Com o advento da consciência ecológica e maior regulação estatal, alguns atores responsáveis pelo setor começam a dar maior importância para este assunto. Porém, nem sempre as formas de gestão escolhidas vão ser as mais corretas do ponto de vista da sustentabilidade, e muitas vezes ações são tomadas por falta de informação em relação aos possíveis impactos ambientais e sociais causados por estas escolhas. Para tentar corrigir isso variadas metodologias vêm sendo criadas procurando analisar as formas de gerir estes resíduos e para compreenderem os danos causados pelas mesmas. Tendo isto como ponto de partida, o presente trabalho buscou entender uma destas metodologias, realizando uma revisão bibliográfica sobre o uso de Modelos de Análise para a gestão sustentável de resíduos da construção e demolição de forma a chegar ao Estado da Arte do tema. Com isto pretende-se criar uma base para que futuras pesquisas possam desenvolver modelos voltados para a realidade brasileira. Os modelos estudados são chamados de Modelos de Suporte à Decisão, pois utilizam variados métodos e ferramentas para agregar e analisar dados de forma a auxiliar na escolha do melhor sistema a ser empregado. Desta forma, chegou-se a conclusão que uma das melhores maneiras de se modelar a gestão de resíduos é através da Dinâmica de Sistemas, pois esta permite analisar e compreender sistemas dinâmicos e complexos através de simulações e equações lógico-matemáticas. Além de permitir compreender os sistemas de gestão, estes modelos também podem ser usados para a projeção de geração futura de resíduos, de forma que diminua a imprecisão ao se planejar estruturas e equipamentos a serem utilizados na gestão. Por último observou-se a falta de interesse dos pesquisadores em relação ao aspecto social da sustentabilidade, focando-se apenas nas questões ambientais e econômicas.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos; Dinâmica de Sistemas; Análise de Ciclo de Vida; Ecoeficiência; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Considered one of the driving forces of the Brazilian economy, the construction industry has never had a concern with managing the massive amount of waste produced in their activities. With the advent of environmental awareness and greater state regulation, some actors responsible for the sector begin to pay more attention to this issue. But not always the chosen forms of management will be the better ones from the sustainability point of view, and actions are often taken with lack of information about the potential environmental and social impacts of these choices. To try to fix that, a number of methodologies have been created trying to analyze ways to manage these wastes and to understand the damage caused by them. With that as a starting point, this study aimed to understand one of these methodologies, conducting an extensive literature review on the use of analysis models of the sustainable management of construction and demolition waste in order to reach the state of the art of this subject. That way, a basis for future development of models geared to the Brazilian reality could be created. The models studied are called Decision Support Models because they use different methods and tools to aggregate and analyze data to assist in choosing the best system to be employed. Thus we reached the conclusion that one of the best ways to model waste management is through the System Dynamics, as this allows you to analyze and understand complex and dynamic systems through simulations and logical-mathematical equations. Besides allowing understand the management systems, these models can also be used for the projection of future waste generation in ways that minimize inaccuracies in planning structures and equipment to be used in management. Finally there was a lack of interest among researchers about the social aspect of sustainability, focusing only on environmental and economic issues.

Key-words: Waste; System Dynamics; Life Cycle Assesment; Ecoefficiency; Sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS E PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS	9
3 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	10
3.1 Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.....	12
4 OS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	15
4.1 Os RCD's e Seu Gerenciamento.....	17
5 ÍNDICES E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	21
5.1 Indicadores de Sustentabilidade.....	23
5.1.1 Análise de Ciclo de Vida (ACV).....	25
5.1.2 Ecoeficiência.....	20
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
8 BIBLIOGRAFIA	42

1 Introdução

Ao longo da história a humanidade tem usado, de forma contínua, os mais variados recursos naturais para a produção de bens e serviços. Por muito tempo este uso se deu em uma relação comensal, onde os seres humanos se serviam da natureza, mas respeitando seus limites. Porém, com o advento da Revolução Industrial, a humanidade obteve meios de ultrapassar esses limites, levando a uma exploração predatória sem preocupações com os danos causados. Na sociedade contemporânea essa exploração se encontra fundada nos modos de consumo exacerbados da população, o que acaba gerando enorme excedente de resíduos sólidos que vem a se acumular nas ruas e em terrenos abandonados.

A geração de resíduo está estritamente ligada à urbanização e ao desenvolvimento econômico. Conforme os países se desenvolvem, a taxa de urbanização cresce, levando a um aumento da qualidade de vida da população e da renda, fazendo com que haja um maior consumo e conseqüentemente o aumento dos resíduos descartados.

Um das principais fontes geradoras é a Construção Civil. Responsável por mais da metade, em volume e massa, dos resíduos coletados pelos municípios, historicamente este setor produtivo nunca se preocupou com o destino de seus lixos, muito menos com os impactos ambientais advindos do alto consumo de materiais e dos métodos produtivos ultrapassados.

Apenas recentemente a indústria da construção civil começa a dar alguns passos na busca de uma produção mais sustentável, reconhecendo a enorme pressão que faz sobre a qualidade do meio-ambiente e os recursos naturais. Porém a maior parte desses esforços surge por motivos financeiros, ao perceberem que algumas ações tomadas durante as fases de planejamento e execução de um projeto geravam perdas excessivas de materiais.

Uma das formas de se entender a sustentabilidade é com o uso de índices e indicadores. Isto permite que os dados obtidos sobre os impactos econômicos, sociais e ambientais sejam facilmente visualizados e entendidos. Na construção civil os principais indicadores usados são a Análise de Ciclo de Vida e a Ecoeficiência.

2 Objetivos e Procedimentos Metodológicos

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o uso de modelos de análise no contexto da gestão sustentável de resíduos de construção e demolição.

Para isto, foram estabelecidos como objetivos específicos:

- Construir referencial teórico sobre Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, a Indústria da Construção Civil, e o Uso de Índices e Indicadores de Sustentabilidade, observando o estado atual das pesquisas sobre o assunto;
- Analisar os referenciais teóricos e empíricos que fundamentam e caracterizam os modelos de análise no contexto da sustentabilidade;
- Entender as principais qualidades e defeitos dos modelos de análise, buscando na bibliografia autores que se propõe a corrigir estes defeitos;
- Avaliar os modelos de análise (Dinâmica de Sistemas e Análise de Fluxo de Sistemas) com base neste referencial construído, de forma a entender se esta metodologia é aplicável à gestão sustentável de resíduos da construção e demolição.

Esta monografia é fruto de uma pesquisa exploratória que usa como procedimento metodológico a revisão bibliográfica, de forma a fornecer subsídios para posterior julgamento do uso de Modelos de Análise como metodologia na gestão sustentável de resíduos de construção e demolição.

3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

Para Jardim *et al.* (1995), o lixo é todo aquele conteúdo gerado após o consumo de determinado produto e considerado inútil pelo consumidor. Sua classificação é feita através do estado em que se encontra (sólido, semi-sólido, semi-líquido) e da fonte geradora (domiciliar, hospitalar, industrial, construção civil).

Demajorovic (1995) afirma que a troca de nomes de lixo para resíduo se deve ao fato de que o primeiro representava apenas um artigo sem valor algum, cuja única destinação seria o descarte, enquanto que o segundo é um artigo com valor econômico agregado por poder ser reinserido na cadeia produtiva do produto original ou de outros. Além disso, com a caracterização como resíduo sólido, ele vai passar de subproduto descartável para gerador de problemas ambientais.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, p. 1, 2004) – NBR 10.004:

Resíduos Sólidos: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

No Brasil, o lixo domiciliar é composto, aproximadamente, por: 65% de matéria orgânica, 25% de papel; 4% metal, 3% de vidro e 3% de plástico (MUCELIN E BELLINI, 2008). Por definição, os municípios são responsáveis por todo o lixo domiciliar e até 50kg do lixo comercial, aquilo que passar disso é de responsabilidade do gerador, que deve realizar a gestão adequada do mesmo.

Os principais problemas provocados pelo lixo são: a poluição do solo e da água, gerados por produtos tóxicos eliminados de maneira incorreta; poluição da água pelo chorume advindo da decomposição dos produtos orgânicos; a geração de gases de efeito estufa durante a incineração dos resíduos e a queima de combustível fóssil durante o transporte; a perda de materiais descartados que poderiam ser reutilizados ou reciclados; entre inúmeros outros problemas.

Um relatório publicado pelo Banco Mundial (HOORNWEG E BHADA-TATA, 2012) mostra que são gerados 1,3 bilhões de toneladas de resíduos por dia no mundo, em uma razão aproximada de 1,2kg *per capita*. Dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil da ABRELPE (2014) demonstram que são coletadas 195.233 toneladas de resíduos diários nos 5564 municípios da União com um índice *per capita* de 0,963kg. Destes municípios, 3608 fazem a coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis.

Ainda segundo esta pesquisa, podemos observar que mais da metade dos municípios não fazem a gestão adequada dos resíduos. Os lixões (espaço de depósito a céu aberto do lixo coletado) são usados como principal forma de manejo em 1559 municípios, enquanto que os aterros controlados (manejo em que há um tratamento posterior do espaço, com o lixo sendo coberto por terra e grama) estão presentes em 1775. Por fim, os aterros sanitários vão ser utilizados em 2236 municípios.

O aterro sanitário é a disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos. O diferencial dele é a responsabilidade com que se trata o lixo a ser armazenado no local. Tudo é pensado, preparado e operado de maneira racional para evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente – desde a escolha da área até a preparação do terreno, operação, determinação de vida útil e recuperação da área após o seu encerramento. Trata-se de um projeto arrojado de engenharia.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei nº12305/10 (Ministério do Meio Ambiente, 2010), foi um grande avanço quanto ao objetivo de disciplinar essa questão ao estabelecer, entre outras decisões:

- sejam criadas metas para a eliminação de lixões e o uso exclusivo de aterros sanitários;

- seja determinada a elaboração de um Plano Nacional de Resíduos Sólidos com ampla participação social, contendo metas e estratégias nacionais sobre o tema;

- prevê a criação de um Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), com o objetivo armazenar, tratar e fornecer informações que apoiem as funções ou processos de gestão do resíduos;

- prevê a criação de planos de gestão integrada de resíduos sólidos e os planos de gerenciamento de resíduos sólidos nos níveis estadual, municipal e regional;

- impõe que empresas elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Pode-se, então, definir a gestão de resíduos sólidos como o conjunto de ações e medidas tomadas pelo ator responsável para dispor o resíduo gerado ou coletado. Portanto, os responsáveis pelo gerenciamento destes resíduos (em sua maioria os gestores municipais) são encarregados com uma enorme tarefa: descartar os resíduos e fazer isso da forma mais econômica, social e ambientalmente correta possível.

Em uma breve análise podemos determinar inúmeros problemas com as formas de gestão dos resíduos mais comuns. Se for decidido por incinerá-los, temos como problemas a geração de gases estufa proveniente do processo de combustão, o descarte das cinzas, e o armazenamento dos resíduos de forma que permaneçam secos. Se escolher pelo descarte em aterro, os problemas giram em torno do espaço que será usado, se existe algum curso d'água por perto, se os vizinhos vão concordar com a instalação, etc. Geralmente, resolver um problema acaba gerando outro, de maneira que a gestão dos resíduos depende de numerosos fatores a serem considerados pelos atores responsáveis durante as fases de planejamento para que tenha o menor impacto possível.

3.1 Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos

A gestão dos resíduos gira em torno de três fases principais, sendo elas: a coleta, o tratamento e a disposição final adequada de todos os subprodutos gerados, tanto para o resíduo convencional quanto para os resíduos tóxicos.

Para Demajorovic (1995), a gestão pública dos resíduos sólidos urbanos no Brasil pode ser definida através de três momentos distintos, caracterizados pela forma com que o resíduo era gerido. O primeiro, que vai até o início dos anos 70, priorizava o descarte realizado principalmente em lixões, sem controle dos subprodutos da decomposição do lixo, sem coibir o acesso de pessoas aos locais de

deposição, e sem tratamento ou mitigação ambiental após o fim da vida útil dos mesmos.

Num segundo momento, com a evolução da visão ambientalista (e também pela falta de espaço para o descarte indiscriminado nos países europeus), vai começar a serem priorizados: os aterros sanitários; a reutilização de alguns materiais através da reciclagem; a redução da geração de resíduos; e a incineração dos mesmos com reaproveitamento de energia. Esta linha de pensamento vai predominar do início dos anos 70 até a da década de 80.

No final dos anos oitenta começam a surgir críticas ao modelo anterior, por não prevenir de forma eficiente a geração de resíduos durante a produção dos bens, e por fazer com que a reciclagem dos rejeitos gerados após o consumo do produto fosse conduzida de forma a serem uma externalidade à empresa produtora, ou seja, não gerar custos para a mesma. Então surgem as novas diretrizes para a gestão dos resíduos, que são seguidas até hoje: “evitar, ou quando não for possível, diminuir a produção de resíduos; reutilizar, ou quando não for possível, reciclar resíduos; utilizar a energia presente nos resíduos; inertizar e dispor os resíduos.” (DEMAJOROVIC, 1995 p. 93)

Para Nunesmaia (2002), a gestão integrada têm muitas definições: pode ser aquela gestão realizada por atores públicos e privados de forma integrada; ou significar a forma como os investimentos são feitos, por pagamento direto do cidadão a empresa privada responsável ou o pagamento ao Estado através de impostos que então repassa a empresa; ou até mesmo por ser uma gestão realizada com forte participação popular.

Garcia e Queiroz (2007) vão afirmar que o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos deve ter como objetivo a recuperação do valor dos materiais descartados, ocupando menos espaços (mínimo de descarte possível) e com o menor impacto ao meio ambiente. Deve ser sustentável em todos os aspectos: econômico, ambiental e social. Este gerenciamento é realizado através das seguintes fases: recuperação de materiais que possam ser reciclados mecanicamente; compostagem; incineração com recuperação de energia; aterro do resíduo inerte não reaproveitado/reciclado.

Em Nunesmaia (2002, p. 4) este modelo é chamado de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos Socialmente Integrada, e tem como suporte cinco pontos:

1) o desenvolvimento de linhas de tratamento (tecnologias limpas) de resíduos, priorizando a redução e a valorização; 2) a economia (viabilidade); 3) a comunicação/educação ambiental (o envolvimento dos diferentes atores sociais); 4) o social (a inclusão social, o emprego); 5) o ambiental (os aspectos sanitários, os riscos, a saúde humana)

O modelo socialmente integrado visa também à relação entres os diversos atores envolvidos no processo de gestão do resíduo: os produtores, os catadores de recicláveis, os municípios, e as empresas responsáveis pela coleta, reciclagem e descarte.

Uma publicação importante nessa temática foi o Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos que define:

Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos é, em síntese, o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo, elevando assim a qualidade de vida da população e promovendo o asseio da cidade, levando em consideração as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos – para a eles ser dado tratamento diferenciado e disposição final técnica e ambientalmente corretas –, as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais. (ZVEIBIL, 2001, pg. 8)

Desta forma, prossegue o Manual, o gerenciamento integrado deve focar na obtenção de uma urbanização mais consciente e num maior afeto do cidadão com o meio ambiente urbano. Para isso é preciso que haja programas eficientes de limpeza urbana, reaproveitamento e reciclagem de materiais, disposição dos resíduos de forma sanitariamente correta e conscientização populacional. Além disso, ele deve ser capaz de “promover a sustentabilidade econômica das operações; preservar o meio ambiente; preservar a qualidade de vida da população; contribuir para a solução dos aspectos sociais envolvidos com a questão.” (ZVEIBIL, 2001, pg. 10)

4 Os resíduos na Construção Civil

A Construção Civil surge como um dos principais responsáveis pela geração de resíduos, com os chamados Resíduos Sólidos de Construção e Demolição (RCD), popularmente conhecidos como entulho. Eles são todo resíduo proveniente de atividades da construção civil tais como a construção, demolição, reforma, aterro, etc. Em sua maioria são formados por solos, materiais cerâmicos, metais e materiais orgânicos.

Para Marques Neto (2005), o entulho inclui elementos como: calça, pedregulho, areia, terra, tudo quanto sirva para entupir, aterrar, nivelar depressão de terreno, escavação, fossa, vala, etc.; são conjuntos de fragmentos e restos de tijolo, argamassa, madeira, etc.; provenientes da construção de um prédio; materiais inúteis resultantes da demolição; escombros, ruínas.

Segundo a Resolução CONAMA 307 de 05/07/2002, os RCD são classificados da seguinte forma:

- Classe A: São os Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados;
- Classe B: São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C: São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D: São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

O setor, marcado pela baixa qualidade das empresas, é caracterizado pelo alto consumo de matérias e energia, pela falha no gerenciamento, baixa produtividade, e uma grande perda de tempo e materiais. Segundo John (2005), a indústria da construção civil consome, no Brasil, até 75% dos recursos naturais, representa em torno de 15% do PIB e emprega 15% dos trabalhadores do país.

Ainda de acordo com John (2001), nas cidades brasileiras de médio e grande porte, a massa dos RCD pode variar de 41 a 70% dos resíduos sólidos urbanos gerados, sendo coletadas 117.435 toneladas diárias de RCD's, em um índice de 0,584kg/habitante/dia (ABRELPE, 2014).

Para alguns autores, a principal forma de diminuir o volume destes resíduos seria com o aumento da qualidade das obras, fazendo com que a perda de materiais reduza. Aqui se faz uma ressalva para como perda e desperdício são definidos por Formoso *et al* (1996, p.1):

O conceito de perdas na construção civil é, com frequência, associado unicamente aos desperdícios de materiais. No entanto, as perdas estendem-se além deste conceito e devem ser entendidas como qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão de obra e capital em quantidades superiores àquelas necessárias à produção da edificação. Neste caso, as perdas englobam tanto a ocorrência de desperdícios de materiais quanto a execução de tarefas desnecessárias que geram custos adicionais e não agregam valor.

Segundo Suzuki (2007), os principais problemas relacionados aos RCD's são:

- Os danos ambientais causados pelo descarte irregular dos mesmos, como riscos de deslizamento, transtorno ao tráfego e aos moradores da cidade, assoreamento de rios e criação de vetores de doenças, entre outros;
- As já citadas perdas de materiais, dos quais aproximadamente 50% serão retirada da obra como entulho, Farias (2014);
- A energia desperdiçada na construção civil com a produção de novos materiais, quando os resíduos, por serem inertes, poderiam ser reciclados e reutilizados.

O texto da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei nº12305/10 (Ministério do Meio Ambiente, 2010, p. 20) é dito que os impactos principais causados pelo RCD e seu gerenciamento são:

(...) grande volume gerado. Contudo, nesses resíduos também há presença de material orgânico, produtos químicos, tóxicos e de embalagens diversas que podem acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças.

4.1 Os RCD's e seu gerenciamento

Por ser constituído de materiais inertes, o entulho sempre foi disposto em terrenos ociosos e áreas públicas de forma a não provocarem reclamações da população, pois se integravam aos lugares sem gerar incômodos como odores fortes e criação de vetores de doença. Segundo Farias (2014), com o aumento das populações urbanas no Brasil e os avanços tecnológicos (que vão inserir outros materiais na construção civil) esta situação de descarte irregular, antes aceitável, acaba se tornando um problema grave. Além da degradação do meio ambiente e dos problemas sociais decorrentes desta disposição inadequada, vai haver também um gasto energético excessivo proveniente das perdas do setor, que acarreta em um maior volume de entulho produzido.

Por seu gerenciamento ser oneroso e difícil, o tratamento dos RCD reflete este padrão, onde seu destino final sempre foi o descarte. Os responsáveis pela sua origem tratam o entulho como lixo, e acabam pagando para alguém tirar os materiais da obra, sem se importar com seu destino, quando muitas vezes estes poderiam ser reciclados e reutilizados dentro da própria obra, ou vendidos após o processamento.

Porém, pelo fato de o Brasil ter em seu território uma abundância de recursos naturais, a reciclagem ainda é um assunto pouco explorado, por conta da pouca necessidade atual de se reutilizar estes materiais. Carecendo de uma legislação mais abrangente e de políticas de conscientização, a população brasileira tem uma visão limitada dos produtos reciclados, enxergando nestes uma qualidade inferior a dos originais. Isso é ainda mais presente na construção civil, onde a qualidade do material é de extrema importância, por conta de seus objetivos estruturais.

O ciclo de vida do entulho (se é que pode se considerar assim, visto que o entulho é em si o resíduo do ciclo de vida de outros produtos), e seu gerenciamento, engloba seis fases: geração, segregação, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, triagem, reutilização / reciclagem e disposição final. Porém, para Suzuki (2007), as fases de segregação, tratamento, triagem e reuso/reciclagem, são deixadas de lado principalmente por conta do descaso dos geradores. Todos os atores envolvidos nessas seis fases são responsáveis pelo gerenciamento, cabendo ao município fiscalizar e disciplinar esses agentes a serem cumpridas as legislações vigentes.

A geração dos RCD, que engloba a segregação e o acondicionamento, é a fase inicial e também onde surge a maior parte dos problemas relacionados a ele: desde o excesso de perda de materiais, gerando maior quantidade de entulho, até a falta de segregação por parte do gerador, misturando todo tipo de resíduo nas caçambas coletoras. Esta fase pode ser dividida em dois grupos de atores, o dos grandes geradores (construtoras, obras públicas, etc.) e o dos pequenos geradores (pequenas reformas e demolições realizadas geralmente pelos próprios moradores, autoconstrução, “construção formiguinha”, ampliações, etc).

Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA, cabe ao gerador a responsabilidade de gerenciar os RCD produzidos, incluindo também a retirada desses resíduos, sem afetar a limpeza pública urbana. Nos resíduos brasileiros, há uma predominância dos provenientes de construções novas em relação aos gerados em demolições, muito em conta do crescimento recente das áreas urbanas.

É muito difícil estimar a geração de entulho, mas Pinto (1999) chegou a uma taxa de geração de RCD por área construída de 150kg/m². Para isso, considerou que a massa estimada para edificações construídas segundo métodos convencionais é de 1200kg/m², que a perda média de materiais é de 25% e que dessa 50% é descartado como entulho.

Porém, hoje as construtoras trabalham com valores menores de perda, chegando a um valor médio de 5% do volume total da obra (<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=43&Cod=1289>). Em obras informais ou de menor porte esse valor pode variar para mais ou menos, dependendo da qualidade dos operários e do conhecimento da pessoa responsável.

A coleta e o transporte são as fases posteriores, que consistem na retirada do resíduo da obra e condução até a fase seguinte. Os atores envolvidos nesse processo são as empresas que alugam caçamba e contêiner e os carroceiros.

Sendo os últimos os responsáveis pela maior parte do descarte irregular dentro do perímetro urbano, principalmente por conta da falta de fiscalização e da dificuldade de percorrerem grandes distâncias (geralmente um raio de 2,5 km) devido as limitações do animal que traciona essas carroças.

Porém, é irresponsabilidade culpar apenas os carroceiros pelos danos ambientais causados pelos RCD. Os geradores e a administração municipal são

corresponsáveis, sendo que a Prefeitura é interessada e responsável pelo controle dos carroceiros e deve oferecer subsídios que facilitem a atuação dos mesmos.

Já os grandes coletores, por serem legalizados, costumam gerar menos danos ambientais e sanitários. Mas eles nem sempre descartam o resíduo de forma regular, se diferenciando dos pequenos apenas por terem a capacidade de levarem por maiores distâncias e jogarem em locais escondidos, sem a devida regularização. Além disso, o acondicionamento em caçambas acarreta também alguns problemas, como:

- Inexistência de tempo de proteção nas caçambas, o que propicia a dispersão de sedimentos, retenção de água que favorecem a proliferação de vetores de doenças;
- Extrapolamento das caçambas e derramamento de resíduos nas vias públicas;
- Despejo de resíduos não inertes nas caçambas como resíduos perigosos (baterias, pilhas, lâmpadas fluorescentes, etc) e resíduos orgânicos, que segundo a SIERESP-Sindicato das Empresas Removedoras de Entulho do Estado de São Paulo: “cada caçamba (4m³) recolhe em média 2,5 kg de resíduos domiciliares”;
- Existência de pequenos resíduos que se dispersam pela ação dos ventos e das chuvas;
- Mau estado de conservação e falta de sinalização refletora de segurança. (SUZUKI, 2007, p.10)

A última fase do gerenciamento vai ser a de tratamento e destinação destes resíduos, que abrange da separação dos materiais até a disposição final. E, assim como nas outras etapas, é caracterizada pela falta de eficiência e as falhas.

Principalmente porque é muito difícil que este resíduo seja tratado. Devido aos custos extras para realizar o gerenciamento adequado dos resíduos, os geradores e coletores preferem “eliminar” o problema descartando o material o mais cedo possível, e com isto surgem os principais impactos desta fase.

O descarte de RCD sem tratamento faz com que ocorra um esgotamento prematuro dos aterros de resíduos sólidos, com este tipo de resíduo correspondendo a mais de 50% do volume disposto nos mesmos (ÂNGULO *et al*, 2003). Além disso, com a não separação, alguns materiais como amianto, gesso e produtos químicos tóxicos vão parar nos aterros junto com os resíduos inertes, podendo causar danos graves ao meio ambiente e à saúde humana.

Entre as opções de tratamento para o RCD estão a reciclagem, a incineração e a reutilização de produtos. Porém, todas elas necessitam de um gerenciamento

adequado na obra, com o armazenamento seletivo dos materiais, ou de uma estação de separação e pré-tratamento que faça esta seleção, separando os materiais segundo seu tipo, para depois serem transferidos para a planta de processamento.

5 Índices e Indicadores de Sustentabilidade

A base para um estudo geográfico da sustentabilidade se dá no conhecimento das relações da sociedade com seu meio, e este só é possível ao entender a origem da dicotomia Ser Humano-Natureza.

Para Maia (2007), esta dicotomia surge da tríade Natureza-Trabalho-Sociedade, trabalho este entendido como a aplicação das forças e capacidades humanas para produzir algo, intelectual ou fisicamente. A relação Sociedade-Natureza é materializada pelo trabalho, ou seja, o trabalho é a mediação da natureza pela sociedade, que por sua vez produzem o espaço.

Segundo a autora, em um primeiro momento, o ser humano via-se como parte integrante da natureza, onde o trabalho era um prolongamento da mesma (caça e coleta eram relações interdependentes as ações de outros seres e do próprio ambiente), o Humano é Natureza e sente-se Natureza. Com o surgimento das técnicas (principalmente as agrícolas), vai haver uma divisão do trabalho e, conseqüentemente, a individuação dos membros das sociedades (os mesmos começam a se ver como indivíduos únicos, e não mais parte integrante da Sociedade/Natureza). É a partir deste momento que o Ser Humano começa a enxergar a Natureza como exterior a ele.

Segundo Milton Santos (1996), é através da técnica que o homem vai trabalhar o meio, sendo a principal forma de relação entre homem/natureza. As técnicas são um conjunto de meios instrumentais e sociais através dos quais o homem realiza a vida e, portanto, produz o espaço.

Com a ruptura do humano com seu meio, acontece também a separação na relação com o trabalho. Este passa a ser um trabalho alienado, ou seja, ao invés de um prolongamento do que é ser humano ele se torna uma obrigação, não mais sendo realizado para a satisfação de uma necessidade imediata, mas como meio para satisfazer outras necessidades.

É então que vamos começar a enxergar a natureza como algo a ser dominado, fonte de riquezas e recursos, transformando-a em bens e mercadorias. A Natureza fica subalternizada, ela se torna inferior ao Ser Humano e não mais parte

do mesmo. Com o desenvolvimento econômico, esta questão vai passar também para a relação Ser Humano/Ser Humano, em que os grandes atores com poder de decisão começam a ver os outros apenas como fontes de trabalho e potencial de geração de riqueza, surgindo assim a transformação do Ser em Recurso Humano. (Rua, 2012)

Neste contexto, a sustentabilidade é projeto natimorto se tratada como ferramenta para o crescimento econômico. Ela deve ser vista como meio para se atingir um desenvolvimento completo e buscar a religação do Ser Humano com seu meio.

O conceito de sustentabilidade é utilizado oficialmente pela primeira vez no relatório “World Conservation Strategy” produzido pela International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN, 1980). Mais tarde, no Relatório Brundtland (WECD, 1991), ele vai ser definido pela primeira vez como “(...) o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer as habilidades das futuras gerações em realizar as suas necessidades.”

Sachs (1990) vai dizer que existem cinco dimensões de desenvolvimento sustentável: a cultural, que se baseia na transmissão dos valores fundamentais; a social, que busca a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e a igualdade de direitos e oportunidades; a espacial, que tem como objetivo neutralizar a ocupação desordenada, a concentração de atividades e a centralização do poder; a econômica, que tem seus princípios fundamentados na organização da estrutura econômica, na lucratividade e na conservação do patrimônio, material ou não; e por fim a ambiental, que busca a eficiência do uso dos recursos naturais, a limitação no consumo de materiais energéticos não renováveis, controle da poluição gerada e busca por uma maior taxa de reciclagem e reuso de materiais nos ciclos produtivos.

Para Siche *et al* (2007), a noção de sustentabilidade deve estar vinculada ao conceito de Capital Natural, ou seja, as funções exercidas pelo meio ambiente para a humanidade e para ele mesmo. Ele pode ser dividido em quatro tipos:

Primeiro, ele fornece o material bruto para produção e consumo direto como alimento, madeira e combustíveis fósseis. Segundo, ele assimila os resíduos decorrentes da produção e consumo de bens e materiais. Terceiro, ele fornece serviços de amenidade, como a amenidade visual da paisagem. Quarto, ele fornece funções básicas ao bem estar da biosfera, que as três primeiras funções citadas dependem. (SICHE *et al*, 2007, p. 141)

Durante a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente – Rio 92, surge pela primeira vez a ideia de desenvolver índices e indicadores para a sustentabilidade de forma a definir padrões de desenvolvimento que considerassem todos os seus aspectos (econômico, cultural, social, ético e ambiental). “É preciso elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável (...) que contribuam para uma sustentabilidade auto-regulada dos sistemas integrados do meio ambiente e o desenvolvimento” (UNITED NATIONS, 1992)

5.1 Indicadores de Sustentabilidade

Segundo Tayra e Ribeiro (2006), um indicador é um dado simples que permite a observação do estado de um fenômeno no presente momento. Através de elementos numéricos previamente graduados, obtidos com metodologias normatizadas, podemos entender se existe algum problema ou dano sofrido pelo fenômeno. Os autores usam como exemplo os indicadores da temperatura corporal humana, que ao atingirem determinado valor vão demonstrar que a pessoa está com alguma doença e precisa ser tratada. Mas um indicador pode ser usado também para identificar problemas futuros, demonstrando pontos em que o fenômeno estudado tem condições críticas que, se não cuidadas, podem levar a um problema. Ainda mantendo o paralelo com a medicina, os autores citam os índices de colesterol, que vão demonstrar que o paciente precisa tomar cuidados extras para não ficar doente.

Aplicando Paulista *et al* (2008, p. 190) podemos sintetizar que indicador é:

(...) um fato, ou manifestação de um fenômeno, expresso geralmente em número, e que orienta a explicação desse dado fenômeno. Sua função é orientar a compreensão, o planejamento, a manutenção, transformação, ou extinção do fenômeno.

Os termos índice e indicador costumam ser erroneamente usados como sinônimos, mas existem algumas diferenças conceituais entre eles. Segundo Siche *et al* (2007), Indicador é um parâmetro utilizado separadamente para refletir um sistema em análise, ele deve ser: fácil de entender, ter uma quantificação estatística e lógica coerente, e comunicar eficientemente o estado do objeto de estudo. Ele é usado normalmente como um pré-tratamento dos dados originais.

Já o índice é um conjunto de dados obtidos a partir do tratamento de um ou mais indicadores, sendo formado por valores numéricos que representem a realidade de um sistema simples ou complexo. “O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão, e é considerado um nível superior da junção de um jogo de indicadores ou variáveis.” (SICHE *et al*, 2007, p. 141) É preciso ressaltar, entretanto, que índices e indicadores representam um único momento em um sistema dinâmico, logo são elementos estáticos. Portanto, devem ser considerados como ferramentas para a avaliação do momento de um sistema, auxiliando no desenvolvimento de projetos e ações para corrigir os problemas detectados pelo mesmo.

Portanto, um índice ou indicador de sustentabilidade deve informar: “como a ação humana está afetando seu entorno; alertar sobre os riscos de sobrevivência humana e animal; prever situações futuras; guiar na tomada de melhores decisões políticas.” (SICHE *et al*, 2007, p. 141)

Para Tayra e Ribeiro (2006) os indicadores de sustentabilidade se desenvolveram em três fases distintas: uma primeira, em que os indicadores não se relacionavam e apenas demonstravam uma característica do sistema, como as emissões de CO₂, desmatamento, etc.; num segundo momento eles vão ser compostos por quatro dimensões (ambiental, social, econômica e institucional), sendo apenas uma lista de dados; e, por último, surgem os indicadores chamados de “vinculantes, sinérgicos e transversais” que buscam incorporar vários atributos e dimensões da sustentabilidade de um sistema, não se tratando mais de listas de indicadores como na fase anterior, mas de uma busca pela correlação entre os dados.

Além disso, os autores vão separar os indicadores desenvolvidos em dois tipos: os sistêmicos, que seguem o Livro Azul da ONU (que lista 57 indicadores a serem aferidos por um país e suas metodologias); e os de síntese, que tentam transformar os dados de todas as áreas em um único elemento numérico.

As vantagens dos indicadores sistêmicos decorrem do consenso internacional que há sobre esta metodologia, e também por ser a forma preferida dos governos e organismos internacionais para aferir a sustentabilidade. O sistema de indicadores mais popular é o PER (Pressão, Estado, Resposta), desenvolvido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Este modelo busca descrever a

dinâmica dos fenômenos ambientais através de pontos específicos: a Pressão exercida por algum problema, as alterações exercidas por essa pressão no Estado do meio ambiente e, por fim a Resposta dos governos ou entidades a esse estado. Para Bossel (1999) os principais defeitos dos indicadores sistêmicos são que ele não consegue revelar de forma sintética e imediata o que pretende informar e que, por serem construído a partir dos mais variados dados, acabam tendo áreas muito densas de informações e outras bem esparsas.

Já os indicadores síntese foram desenvolvidos a partir do sucesso de índices econômicos do mesmo tipo (como o Produto Interno Bruto e o Índice de Desenvolvimento Humano). Desta forma, estes indicadores buscam agrupar os dados de todas as dimensões da sustentabilidade para que seja transmitido de forma simples e imediata, e que mesmo um observador com pouco ou nenhum treinamento saiba reconhecer o que ele significa, um ótimo exemplo é a Pegada Ecológica que busca mensurar o impacto humano *per capita* no meio ambiente. Tayra e Ribeiro (2006) vão dizer que para alguns pesquisadores, a inexistência de um indicador universalmente aceito e que sintetize os dados ambientais possa fazer com que os atores tomadores de decisão acabem não levando em consideração a sustentabilidade na elaboração de projetos e políticas. A principal desvantagem destes indicadores é o fato de que ele tenta agregar dados de assuntos que não se relacionam, podendo gerar vínculos falsos entre eles.

5.1.1 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Uma análise de Ciclo de Vida (ACV) estuda os possíveis impactos ambientais de um produto ou serviço durante seu ciclo de vida, ou seja, da extração dos materiais até o fim da vida do produto (reuso, reciclagem e/ou disposição final), caracterizando o enfoque que se convencionou chamar de “berço ao túmulo” (*cradle to grave*).

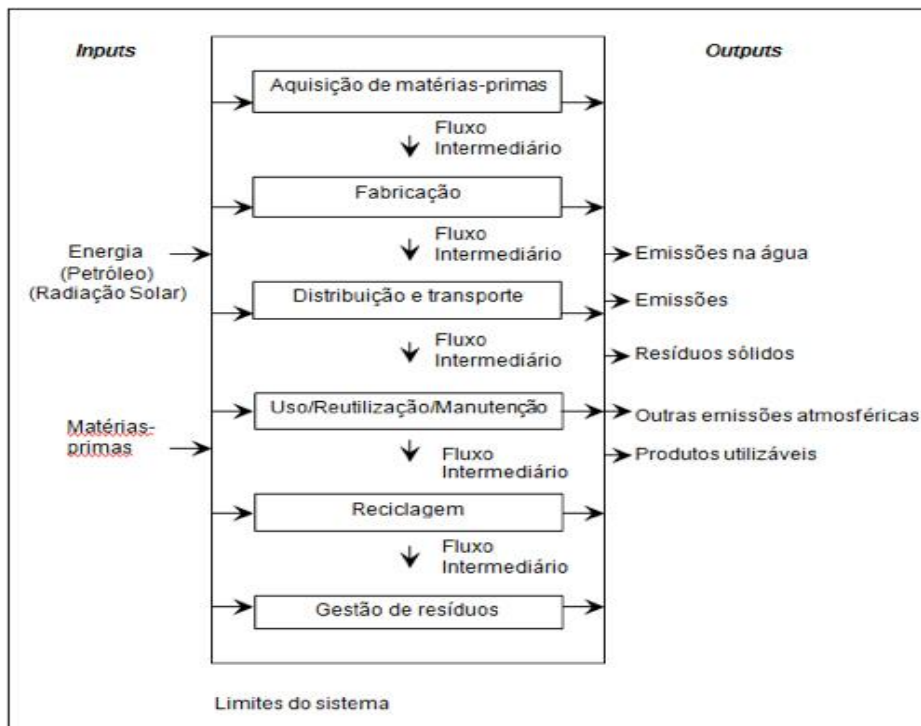
Segundo Silva (p. 18, 2003), os principais objetivos da ACV são:

- (1) retratar, da forma mais completa possível, as interações entre o processo considerado e o ambiente;
- (2) contribuir para o entendimento da natureza global e independente das consequências das atividades humanas sobre o ambiente e
- (3) produzir informações objetivas que permitam identificar oportunidades para melhorias ambientais.

Para que isto seja possível, Palsson (2011) destaca ser necessário seguir alguns princípios básicos, baseados na ISO 14040, que normatiza a metodologia usada para a realização de uma ACV. Desta forma, uma Análise deve: Englobar todo o Ciclo de Vida; incluir todos os impactos ambientais relevantes; estar relacionada com a função desempenhada pelo sistema do produto; ter uma abordagem iterativa, ou seja, mudar expectativas e pré-requisitos da pesquisa baseado nas experiências e informações coletadas; transparência na apresentação das informações; Abrangência, não deixando nenhuma parte que possa ser importante de fora do estudo; e, por fim, sempre priorizar a abordagem científica, de forma que este estudo possa ser reproduzido.

O Sistema de Produto é um conceito central da ACV. Para Palsson (2011), ele modela o ciclo de vida do produto analisado, estudando todos os processos envolvidos (da extração ao gerenciamento dos resíduos) e como eles se conectam. É limitado pelas Fronteiras do Sistema, que definem o que faz parte do sistema, e geralmente tem sua representação dada por um fluxograma, como na imagem abaixo.

Figura 1: Modelo de Sistema de Produto



Fonte: Luz *et al* (2011)

Também na imagem podemos observar mais dois conceitos centrais da ACV: o *Unit Process*, que é a menor parte do Sistema do Produto para o qual se há dados coletados, e pode representar processos dos mais variados scopos; e o Fluxo Elementar, que são os fluxos de entrada (input) ou de saída em um *Unit Process* ou Sistema de Produto originado ou finalizado no sistema ambiental, exemplos são materiais extraídos do solo ou emissões de poluentes no ar.

De acordo com a ISO 14040 (ABNT, 2001) existem quatro fases em uma Análise de Ciclo de Vida:

- Objetivos e Alcance do estudo, em que serão definidos: quais processos devem ser incluídos no Sistema do Produto; quais os objetivos do estudo (aplicação pretendida, a razão de fazer o estudo, o público alvo, e se o resultado será ou não divulgado); e o alcance do estudo, que vai definir a função do sistema (representada pela Unidade Funcional, que é uma medida quantitativa da função do sistema estudado permitindo comparações, e o Fluxo de Referencia, representando um fluxo físico de energia e/ou materiais necessários para completar a Unidade Funcional), o Sistema do Produto, as Fronteiras do Sistema e os requerimentos da qualidade dos Dados obtidos para o estudo.

- Análise do Inventário em que serão compilados dados de entrada e saída relevantes para o Sistema do Produto, como uso de energia, emissões para o ar, etc. Nesta fase as contribuições de cada parte do sistema são agregadas e o resultado é analisado e interpretado. É organizada em duas partes, a coleta dos dados e a agregação ao inventário, em que cada dado individual será incluso no resultado final.

- Análise de Impactos do Ciclo de Vida (AICV), momento em que os resultados obtidos no Inventário são utilizados para avaliar os potenciais impactos ambientais do Sistema do Produto. É feito usando algum método já existente, e.g. CML 2002, ECO-Indicator 99, EDIP, etc.

Os impactos podem ser divididos em *Midpoint*, em que os fluxos são estudados visando o problema (causam danos na camada de ozônio), ou *Endpoint*, quando os fluxos são modelados de acordo com danos a saúde humana, ao ecossistema ou aos recursos naturais. Existem três elementos obrigatórios em uma AICV: as Categorias de impacto (incluem quais impactos serão incluídos e como

medi-los), a classificação (atribuição dos resultados do Inventário às Categorias de Impacto), e a Caracterização (cálculo dos resultados dos indicadores das categorias). Além desses obrigatórios, podem ser incluídos também outros opcionais como a normalização, o agrupamento, a ponderação, a disposição a pagar e a análise da qualidade dos dados.

-Interpretação da ACV, onde, por fim, os resultados finais serão analisados de forma a se chegar a conclusões e recomendações de acordo com os objetivos e alcance definidos para o estudo. Segundo a ISO 14040, são três os principais elementos da Interpretação: identificação dos principais problemas do estudo; avaliação dos resultados; conclusões, limitações e recomendações.

Desta forma, é possível ver que a ACV pode chegar a um nível de complexidade em que se torna inviável o estudo. Segundo Loques (2013), é necessário criar modelos simplificados que permitam a realização da Análise. Estes, por sua vez, vem sendo divididos em duas linhas: a dos métodos de ACV simplificada, em que se enfatiza as entradas e saídas mais relevantes; e a dos softwares que tornam mais fácil a realização das ACVs.

Para a construção civil, a Análise do Ciclo de Vida tem sido aplicada em:

- avaliação de materiais de construção, para fins de melhorias de processo e produto ou informação a projetistas (inserção de dados ambientais sistematizados nos catálogos);
- rotulagem ambiental de produtos, uma iniciativa incipiente, mas que tem recebido investimento crescente;
- ferramentas computacionais de suporte a decisão e auxílio ao projeto, especializadas no uso de LCA para medir ou comparar o desempenho ambiental de materiais e componentes de construção civil, como o ECO QUANTUM (Holanda), ECO-PRO (Alemanha), EQUER e TEAMTM for Buildings (França), BEES6 (EUA), ATHENAÓ (Canadá) e LCAid (Austrália);
- instrumentos de informação aos projetistas como The Green Building Digest, BRE ENVest e BRE Environmental Profile (UK); Environmental Choice (EUA); Environmental Preference Method (Holanda), Catálogo produzido pelo Politécnico de Milano (Itália); e
- esquemas de avaliação/certificação ambiental de edifícios. (SILVA, p. 18, 2003)

Desta forma, os agentes privados envolvidos no processo construtivo podem identificar quais os materiais, processos e/ou sistemas vem acarretando mais impactos ambientais, e então comparar outras opções que causem menos dano e realizar planejamentos de modo a minimizar estes impactos. Já para os agente

públicos, a ACV permite que se realizem políticas para a regulamentação do uso de materiais, a conservação de recursos naturais e a redução de impactos durante o ciclo de vida.

5.1.2 Ecoeficiência

Segundo Verfaillie e Bidwell (2000), o conceito de Ecoeficiência foi desenvolvido em 1992 pelo *World Business Council for Sustainable Development – WBSCD* (Conselho Empresarial Mundial Para o Desenvolvimento Sustentável), e tinha como objetivo unir os fatores econômicos e ambientais de forma a aumentar a prosperidade econômica enquanto diminui os danos ambientais.

Hoje, o WBSCD vai assim definir:

A Ecoeficiência é alcançada pela entrega de produtos e serviços a preços acessíveis que satisfaçam necessidades humanas e tragam qualidade de vida, enquanto reduzem progressivamente impactos ecológicos e o uso de recursos durante o ciclo de vida tentando chegar a um consumo, no mínimo, próximo da estimativa de capacidade da terra. (VERFAILLIE, BIDWELL, 2000, p.7)

Conforme os autores, a sustentabilidade só pode ser obtida se as empresas buscarem alcançar um maior valor com um menor consumo de energia, material e emissões, mas que não seja apenas com a melhoria de processos e atitudes existentes, mas também, em uma ação conjunta com os governos, com o avanço das leis e regulamentações existentes.

Para um melhor aproveitamento, a ecoeficiência deve ser feita de modo a buscar novas, e mais criativas, maneiras de se produzir e realizar serviços com menor custo ambiental e econômico. Porém, ela não deve se basear apenas no processo produtivo inerente a fábrica, mas buscar melhorar toda a cadeia de produção, levando o produto a um ciclo de vida, cada vez mais, ambientalmente saudável e economicamente viável.

De forma a alcançar estes objetivos, é necessário que sejam implementados no processo produtivo: a redução do consumo de materiais e energia, a redução das emissões de substâncias tóxicas, o aumento da reciclabilidade, uso maximizado de renováveis, vida de uso estendida dos produtos, e aumento do fornecimento de serviços.

Em um âmbito empresarial, a ecoeficiência vai definir o desempenho ambiental de um processo ou da empresa como um todo. Para Verfaillie e Bidwell (2000), um indicador de ecoeficiência pode ser obtido pela razão entre o valor econômico gerado (VEG) e o impacto ambiental causado (IAC): $[Ie=VEG/IAC]$. Onde VEG é representado pela quantidade de bens/serviços produzidos ou pela venda líquida. Já o IAC é representado pelo consumo de água, energia e matérias-primas, ou pelas emissões do sistema. Assim, Bohne (2005) afirma que a Ecoeficiência não representa um indicador único, mas que expressa o total dos impactos ambientais em relação ao retorno financeiro.

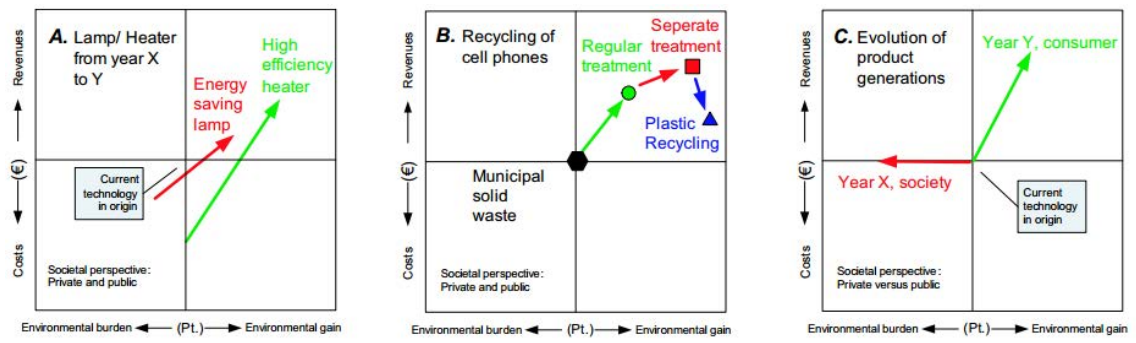
Um estudo de ecoeficiência, segundo o método BASF (2013), começa com a definição dos objetivos e critérios de decisão a serem usados. Para isso é necessário decidir: a audiência para a qual o estudo é dirigido; o alcance do trabalho (local, regional, global); a intenção (reduzir uso de material, reduzir uso de energia, etc.); quantos produtos serão analisados, e seu(s) mercado(s); e o ciclo de vida deste(s) produtos(s).

Então vão ser definidas as três características fundamentais do estudo: A unidade funcional, que é o desempenho quantificado de um material para ser usado como unidade comparativa; as alternativas, ou seja, os produtos e/ou sistemas que serão comparados no trabalho (devem ser no mínimo dois); e os limites do sistema, que, assim como no ciclo de vida, vão determinar os processos e materiais do produto. Com isto decidido, faz-se necessário ainda escolher os danos ambientais e os indicadores econômicos a serem focados.

Por último os dados obtidos devem ser normalizados, de forma que todos os valores possam ser comparados e o resultado divulgado através de relatórios. Além disso, a normatização permite que as informações sejam dadas de uma forma mais amigável para o leitor leigo.

Bohne (2005, p. 37) destaca que “Para a ecoeficiência ter alguma importância nas tomadas de decisão, é necessário medir as mudanças da ecoeficiência entre diferentes soluções alternativas.” Portanto, o autor demonstra uma nova maneira de comparar os resultados ao usar um diagrama X-Y para traçar as mudanças do desempenho econômico e ambiental em um esquema bidimensional (Figura 2). Isso vai permitir que os interessados no trabalho pudessem entender os valores das alternativas de uma maneira intuitiva.

Figura 2 – Exemplo de Diagrama X-Y



Fonte: Bohne, 2005.

6 Resultados e Discussões

Com o desenvolvimento da visão ambientalista, governos, empresas e indivíduos começaram a se preocupar cada vez mais com o excesso de lixo produzido pela sociedade contemporânea. Com isto, pesquisas foram realizadas para encontrar as melhores maneiras de se gerir estes resíduos, e também para entender os impactos causados por cada uma delas de forma a aperfeiçoarem seu funcionamento. A partir destes trabalhos, pesquisadores começaram a desenvolver modelos de análise da eficiência e sustentabilidade dos sistemas de gestão de resíduos.

Desta forma, ao invés de fazer a análise desde o começo para cada estudo de caso, o modelo provê uma base preparada para que os tomadores de decisão (governos, empresas, etc.) possam realizar a análise do sistema, mesmo sem terem conhecimentos específicos de como a metodologia da mesma funciona. Além disso, a aplicação de um mesmo modelo de análise a variados sistemas de gestão permite que possa ser realizada uma comparação entre os mesmos para posterior escolha do que melhor se aplica ao caso em estudo.

Estes modelos são chamados de Modelos de Suporte à Decisão, pois usam variados métodos e ferramentas (análises de riscos ambientais, análises econômicas, etc.) para agregar os dados de forma a facilitarem a análise e a escolha do sistema a ser empregado. Os principais instrumentos de análise destes modelos são os indicadores e índices, pois estes permitem que os dados sejam visualizados de forma direta por serem construídos através de elementos numéricos previamente graduados e normatizados. Exemplos dessas ferramentas são: a Análise de Ciclo de Vida, a Ecoeficiência, análises de Custo-Benefício, etc.

Os modelos podem ser divididos em duas categorias básicas: de Otimização, assumem que os variados aspectos avaliados podem ser agregados em um denominador comum ou uma única escala, em que as perdas e ganhos de todas as variáveis podem ser diretamente avaliadas entre si; de Ajuste, que analisa cada variável em separado de forma que o tomador de decisão possa definir quais serão mais importantes para ele, de forma que os resultados possam ser comparados através desses pesos escolhidos.

Por fim, estes modelos podem ser classificados em uma de três categorias, sendo elas:

-Baseados em Custo-Benefício: Permite que os efeitos, positivos e negativos, sejam avaliados transformando-os em uma única variável, geralmente monetária. Desta forma, o sistema escolhido vai ser aquele com o melhor resultado neste valor. Tem como vantagens a apresentação simples dos resultados e a facilidade de entendimento para leigos, suas desvantagens são a dificuldade de transformar impactos ambientais e sociais em valores monetários e que estes valores econômicos variam durante o tempo de vida dos sistemas (portanto, variando também qual o melhor sistema a ser usado);

-Baseados em Decisão Multicritério: Considera que se tem um modelo de decisão mais robusto e completo se analisar cada variável de mais de uma maneira, de forma a permitir que o tomador de decisão possa entender melhor o problema e escolher entre variados pontos de vista. Este modelo tem como vantagens a possibilidade de usar variáveis quantitativas e qualitativas em suas análises, além da flexibilidade que o tomador de decisão tem para escolher quais variáveis são mais importantes para seu caso. Já a desvantagem principal é que as decisões são baseadas quase que puramente em preferências pessoais e subjetivas, podendo levar a escolhas mal feitas;

-Baseados em Análises de Ciclo de Vida (ACV): Cria um mapa do sistema (o ciclo de vida do produto) com todas as entradas e saídas de materiais e resíduos, permitindo que uma visão holística seja empregada para analisar e comparar os sistemas. Sendo esta a principal vantagem deste modelo, poder ver o sistema como um todo e seus impactos. Porém, por causa disso, tem como desvantagens o fato de que não se pode fazer uma análise do sistema levando em consideração apenas uma variável e que a ACV se foca apenas nos impactos ambientais, faltando estudar as variáveis econômicas e sociais.

Como exemplo do uso destes modelos para a escolha do melhor sistema, temos o trabalho de Winkler e Bilitewski (2007) que analisaram o sistema de gestão de resíduos urbanos domésticos da cidade de Dresden, na Alemanha, usando como base seis modelos baseados em ACV, para depois comparar os resultados obtidos. Para cada modelo foram analisados três cenários diferentes de tratamento de resíduo: incineração, aterro e recuperação dos materiais.

Segundo os autores, para um modelo de ACV ser considerado bom, ele deve ter as seguintes características: Ser fácil de usar (“acessibilidade”); deve fácil de ajustar o sistema estudado ao modelo (“ajustabilidade”); e ter uma boa apresentação dos dados, como o uso de tabelas e gráficos (“interpretabilidade”).

Desta forma, os modelos estudados (ARES, EPIC/CSR, DST, IWM2, ORWARE, UMBERTO) foram analisados, e os autores chegaram à conclusão de que os sistemas de gestão de resíduos são sistemas muito complexos, com inúmeras variáveis a serem consideradas, mapeadas e mensuradas, de forma que se faz necessária uma adaptação e simplificação dos mesmos para ser possível a realização da análise. Apesar disso, todos os modelos foram considerados aptos a serem usados para analisar a ACV da gestão de resíduos (cabendo ao ator responsável à decisão por qual escolher).

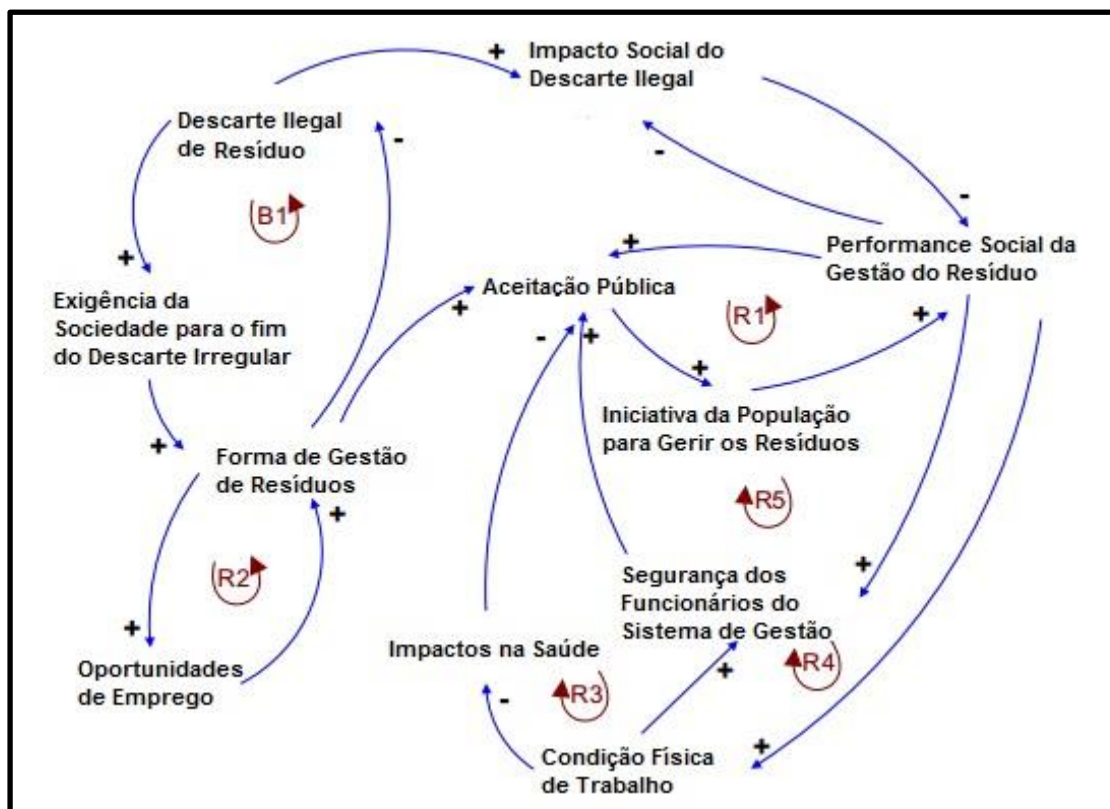
As principais características que tornam estes sistemas em algo tão complexo são: o número de elementos envolvidos (forma de armazenamento e transporte, tipos de tratamento diferentes, e as inúmeras partes interessadas, etc.); os elementos são extremamente interdependentes; e os sistemas de gestão de resíduos são extremamente dinâmicos. Desta forma é necessário entender melhor como podemos modelar um sistema tão complexo como este, para que os resultados obtidos sejam cada vez mais próximos da realidade e com mais aplicabilidade.

Para isto, Hao *et al.* (2007) usam como ferramenta a metodologia da Dinâmica de Sistemas (DS). Criada por Forrester (1958), esta é uma ferramenta que permite entender, esquematizar e discutir como sistemas de larga escala e alta complexidade funcionam. A base deste método é o entendimento de que a estrutura do sistema (muitas vezes circular e com alguns atrasos entre seus componentes) é tão importante para o entendimento de seu comportamento quanto à análise dos elementos individuais. Além disso, em alguns dos casos, características do todo não podem ser observadas quando os componentes individuais são estudados separadamente.

Um modelo de Dinâmica de Sistemas pode ser construído através de quatro passos básicos, sendo eles: 1) Construção do sistema; 2) Formulação do modelo; 3) Validação do Modelo; e 4) Análise de Cenários.

A construção (1) normalmente se dá através da utilização de um diagrama de ciclo causal para modelar as dinâmicas do sistema, de forma a apresentar os mecanismos de retroalimentação (saídas do sistema que são transferidas de volta para a entrada do mesmo) mais importantes. Este diagrama é uma ferramenta que permite visualizar a dinâmica entre as partes e os efeitos em cadeia podem ser traçados de volta a sua origem. Como exemplificado na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama de Ciclo Causal



Fonte: adaptado de Yuan, 2012b.

Em seguida (2), o diagrama anterior é transformado em um modelo de *Stock-Flow* (Figura 4). Este é um modelo mais formal, pois se utiliza de simbologia padronizada para organizar e determinar os fluxos e dados do sistema, de forma que os mesmos possam ser lidos por um software (exemplo: iThink®). Isto permite que informações quantitativas possam ser adicionadas e contabilizadas durante a análise do sistema.

Com o modelo construído, é possível então realizar a validação do mesmo (3) através do uso de testes e regras definidos na metodologia da DS. Estes testes são: de Fronteira (se todos os componentes essenciais estão incluídos); de Verificação da Estrutura (se a mesma é condizente com os dados obtidos sobre a estrutura de

Por fim, (4) cenários são desenvolvidos e analisados de forma que seja possível comparar diferentes estratégias e políticas para a gestão dos resíduos.

Além do problema da complexidade do sistema, outras questões vão influenciar e atrapalhar uma análise, quando utilizando um modelo de ACV para a gestão de resíduos. Primeiro, é muito difícil estimar a geração futura de RCD, pois flutuações na indústria da construção civil são imprevisíveis, e isto afeta a quantidade de obras de construção e demolição, e conseqüentemente no número de RCD gerado. Desta forma, pode acontecer de estes valores serem super ou subestimados, fazendo com que as plantas de tratamento dos resíduos fiquem ociosas ou com sua capacidade extrapolada.

Bohne *et al* (2007), criam um modelo de projeção de RCD para tentar resolver este problema. O primeiro passo é estimar a quantidade (m^2/ano) de atividade da construção, renovação e demolição na área de estudo (preferencialmente uma cidade). Depois se determina o fator de geração (kg/m^2) de cada fração do RCD, ou seja, quanto resíduo de aço, tijolo, madeira, concreto, etc., é gerado para cada metro quadrado em cada atividade. Por fim, é calculada a projeção do RCD a ser gerado (toneladas/ano) para cada fração material.

Dyson e Chang (2005) também vão realizar projeções da geração de resíduos sólidos urbanos, porém usando a DS como método. Os autores definem que os principais fatores contribuintes para o sistema são: Crescimento populacional, renda familiar, pessoas por casa e atividade econômica. Então pesos são definidos para cada um desses fatores e o modelo é simulado, definindo uma possível geração futura de resíduo. A vantagem desse método é que o modelo criado pode ser incluído no modelo da gestão sustentável, aumentando assim o alcance dos dados obtidos.

Outro problema apontado pelos autores é a subjetividade envolvida ao tentar estabelecer o período de vida útil ou de renovação de uma construção. Isto influencia tanto na estimativa dos impactos gerados pelo material durante seu ciclo de vida, quanto na geração de resíduo, pois, sabendo o período de vida útil dos edifícios, é possível calcular o quanto será produzido de RCD no futuro.

Brattebo (2008) também tenta corrigir este problema ao desenvolver um modelo para realizar projeções através de uma Análise de Fluxo de Materiais (AFM),

a partir do método aplicado por Müller (2006). A AFM tem como propósito principal quantificar e acompanhar o fluxo de entrada e saída de materiais (balanço de massa) de um determinado sistema produtivo durante um período de tempo.

Neste modelo, ele faz uma projeção da área construída e dos fluxos de material e energia na construção, renovação e demolição dos anos de 1900 a 2100 para a Noruega. Com este modelo, é possível executar simulações de cenários com mais ou menos atividades do setor, permitindo então realizar uma estimativa com maior precisão da área a ser construída.

Claramente estas resoluções para o problema da projeção dos resíduos a serem gerados e do tempo de vida útil de uma construção não são uma solução definitiva, pois este tipo de simulação envolve muitas subjetividades e trata de uma área que oscila muito sua produção. Porém elas possuem uma margem de erro menor, o que permite que os projetos e sistemas planejados não sejam super ou subestimados.

Durante as pesquisas sobre sistemas de gestão de resíduos sólidos (domiciliares ou de construção e demolição) pode se observar uma maior propensão para o uso de modelos baseados em Análises de Ciclo de Vida e modelos de Custo-Benefício. Estes dois modelos buscam analisar as eficiências e deficiências ambientais e econômicas de um produto, porém pecam ao considerar apenas estas duas facetas como peças fundamentais da sustentabilidade, deixando de lado a questão social.

Yuan (2012b) afirma que a razão para existirem poucas pesquisas envolvendo análises sociais na gestão de resíduos se deva a três aspectos: primeiro, a questão social é, de longe, a menos importante para os tomadores de decisão quando escolhendo o sistema de gestão (o foco geralmente está no custo, duração, impactos ambientais, etc.); segundo, os indicadores sociais são qualitativos, o que dificulta uma quantificação e o cálculo desses dados; por último, a implantação de sistemas de gestão de RCD envolve variados atores, de forma que pode haver conflito de interesses entre eles. Tentando minimizar estes problemas, o autor vai usar a DS para desenvolver um modelo de avaliação do desempenho social da gestão de RCD, levando em consideração fatores como qualidade do ambiente de trabalho, impactos à saúde, impactos sociais do descarte dos resíduos, etc. (figura 3).

Porém, para que estes modelos sejam funcionais faz-se necessário o uso de outras metodologias de obtenção de dados e cálculo dos mesmos, pois a DS apenas facilita entender e simular a inter-relação dos elementos que compõem um sistema. Estes outros métodos podem ser a ACV, ecoeficiência, entre outros.

Além de permitir observar as emissões e impactos ambientais de um produto durante seu ciclo de vida, a ACV também permite que, durante a fase de desenvolvimento (design) de um produto, um produtor possa simular em quais pontos há maior geração de emissões e resíduos de forma a melhorar estes fatores negativos antes mesmo de leva-lo a planta de produção. Também é possível planejar com antecedência as ações a serem tomadas em relação aos resíduos gerados pelo consumo dos produtos.

Já a Ecoeficiência, consegue fazer uma análise destes dados ambientais e compará-los com dados econômicos, de forma a definir se as mudanças para melhorar o desempenho ambiental do produto são também economicamente viáveis. Esta ferramenta é principalmente útil para empresas e instituições privadas.

7 Considerações finais

Este estudo partiu da ideia de se fazer uma análise da ecoeficiência da reciclagem *in loco* dos RCD's. Com o desenvolvimento das pesquisas ficou clara a falta de materiais nacionais sobre o tema, principalmente aqueles que faziam um estudo teórico sobre o uso de indicadores de sustentabilidade para estudar a eficiência de modelos de gestão dos resíduos sólidos, sejam eles domésticos ou da construção civil.

Então o projeto começou a mudar de foco, e o novo objetivo agora era buscar em autores internacionais o que de mais recente houvesse no assunto, entender as metodologias usadas e aplica-las no contexto brasileiro. Em suma, um estudo sobre o Estado da Arte do uso de Modelos de Análise na gestão de RCD.

Ao estudar uma extensa bibliografia podemos dizer que os resultados aqui presentes são, até o momento da publicação deste trabalho, as discussões mais atuais sobre o tema.

. Mas o Estado da Arte é mais que uma revisão literária, é um método para compreendermos quais as vantagens e desvantagens de um determinado processo ou teoria. Com ele podemos descobrir as maneiras com as quais os mais variados autores vêm tentando corrigir as falhas e aprimorar as qualidades de um método.

Para que um Modelo de Análise seja eficiente, ele deve ser capaz de ponderar todas as variáveis envolvidas no processo a ser estudado. Como a gestão de resíduos é um sistema extremamente complexo, que envolve enorme número de variáveis, a melhor forma de entender seu funcionamento e analisar as relações entre os seus mais variados elementos é através da metodologia conhecida como Dinâmica de Sistemas.

Outro problema encontrado por pesquisadores é a imprecisão para projetar gerações futuras de RCD. Dois métodos que permitem realizar as mesmas com mais certezas foram desenvolvidos. Um que também se utiliza da Dinâmica de Sistemas, (o que talvez permita a inclusão desses dados no modelo geral da gestão de resíduos) e outro que se utiliza de cálculos que levam em conta fatores como quantidade de atividades do setor, idade útil do prédio, materiais utilizados e o tipo da construção.

Por fim, é preciso que os pesquisadores assimilem aspectos sociais em suas análises, pois nenhuma atividade pode ser considerada sustentável quando tratamos apenas da economia e do meio ambiente, deixando o ser humano de lado.

8 Bibliografia

- ABDELHAMID, M. S. *Assessment of Different Construction and Demolition Waste Management Approaches*. HBRC Journal, Egito, v. 10, nº 3, p. 317-326, Dez. 2014.
- ABRELPE. *Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil – 2014*. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, São Paulo, 2014.
- ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. *Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil*. Seminário Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil– Materiais Reciclados e suas Aplicações. CT206. IBRACON. Anais. São Paulo, p. 45-56, 2001.
- ARENA, U.; MASTELLONE, M. L.; PERUGINI, F. *The Environmental Performance of Alternative Solid Waste Management Options: a life cycle assessment study*. Chemical Engineering Journal, Casserta - Itália, v. 96, nº 1-3, p. 207-222, Dez. 2003.
- ASSIS, B. B. *Avaliação do Ciclo de Vida do Produto Como Ferramenta para o Desenvolvimento Sustentável*. 2009. 53f. (Graduação em Engenharia da Produção) UFJF, Juiz de Fora, 2009.
- ASSIS, C. S. *Modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: uma contribuição ao planejamento urbano*. 2002. 120f. Tese (Doutorado em Ciências e Meio Ambiente) UNESP, Rio Claro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura*. ABNT, 2001.
- BARTON, J. R.; DALEY, D.; PATTEL, V. S. *Life Cycle Assessment for Waste Management*. Waste and Management Journal, S.I., v. 16, nº 1-3, p. 33-50, 1996.
- BASF. *BASF's Eco-efficiency Analysis Methodology*. BASF Corporation, Nova Jersey – Estados Unidos, 2013.
- BLENGINI, G. A. *Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy*. Building and Environment Journal, S.I., v. 44, nº 2, p. 319-330, Fev. 2009.
- BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. *Construction Waste: quantification and source evaluation*. Journal of Construction Engineering Management, Virginia – Estados Unidos, v. 122, nº 1, p. 55-60, Março. 1996.
- BOHNE, R. A. *Eco-efficiency and Performance Strategies in Construction and Demolition Waste Recycling Systems*. 2005. 206f. Tese (PHD em Ecologia Industrial) NTNU, Trondheim, 2005.
- BOHNE, R. A.; BRATTEBØ, H.; BERGSDAL, H. *Dynamic Eco-efficiency Projections for Construction and Demolition Waste Recycling Strategies at the City Level*. Journal of Industrial Ecology, S.I., v. 12, nº 1, p. 52-68, 2008.
- BORGES, F. H.; TACHIBANA, W. K. *A Evolução da Preocupação Ambiental e Seus Reflexos no Ambiente de Negócios: uma abordagem histórica*. XXV Encontro Nacional de Engenharia da Produção. Rio Grande do Sul, ABEPRO/PUC-RS, p. 5235-5242, 2005.

BOSSEL, H. *Indicators for Sustainable Development: theory, method, applications*. IISD, Canada, 1999.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. *Life Cycle Assessment of Building Materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. Building and Environment Journal, S.I., v. 46, nº 5, p. 1133-1150, Maio 2011.

BUTERA, S.; CHRISTENSEN, T. H.; ASTRUP, T. F. *Life Cycle Assessment of construction and Demolition Waste*. Waste and Management Journal, S.I., v. 44, p. 196-205, Out. 2015.

CHAERUL, M.; TANAKA, M.; SHEKDAR, A. V. *A System Dynamic Approach for Hospital Waste Management*. Waste and Management Journal, S.I., v. 28, nº 2, p. 442-449, 2008.

CHUNG, S. S.; LO WING-HUNG, C. *Evaluating Sustainability in Waste Management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong*. Resources, Conservation and Recycling Journal, S.I, v. 37, nº 2, p. 119-145, Jan. 2003.

COSTA, D. B. *Diretrizes para Concepção, Implementação e Uso de Indicadores de Desempenho para Empresas da Construção Civil*. 2003. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade Acadêmico) UFRGS, Porto Alegre, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução Conama 305 – Estabelece Diretrizes, Critérios e Procedimentos para a Gestão dos Resíduos da Construção Civil*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº. 136, Seção 1, p. 95-96, 17/07/2002

CRAIGHILL, A. L.; POWELL, J. C. *Lifecycle Assessment and economic evaluation of recycling: a case study*. Resources, Conservation and Recycling Journal, S.I, v. 17, nº 2, p. 75-96, Ago. 1996.

DAHLBO, H.; *et al.* *Construction and demolition waste management: a holistic evaluation of environmental performance*. Journal of Cleaner Production, S.I, v. 17, p. 333-341, Nov. 2015.

DEN BOER, J.; DEN BOER, E.; JAGER, J. *LCA-IWM: A decision support tool for sustainability assessment of waste management systems*. Waste and Management Journal, S.I, v. 27, nº 8, p. 1032-1045, 2007.

DEMAJOROVIC, J. *Da Política Tradicional de Tratamento do Lixo à Gestão de Resíduos Sólidos: as novas prioridades*. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, nº 3, p. 88-93, Jun. 1995.

DENINSON, R. A. *Environmental Life-Cycle Comparisons Of Recycling, Landfilling, And Incineration: a review of recent studies*. Annual Review of Energy and the Environment, Washington – Estados Unidos, v. 21, p. 191-237, 1996.

DING, G. K. C. *Sustainable Construction – the role of environmental assessment tools*. Journal of Environmental Management, S.I, v. 86, nº 3, p. 451-464, Fev. 2008.

DYSON, B.; CHANG, N. B. *Forecasting Municipal Solid Waste Generation in a Fast-Growing Urban Region With System Dynamics Modelling*. Waste and Management Journal, S.I, v. 25, p. 669-679, 2005.

- FARIAS, I. P. *Proposta de Modelo de Gestão de Resíduos da Construção Civil para a Zona Leste da Cidade de Teresina-PI*. 2014. 190f. Tese (Doutorado em Geografia) UNESP, Rio Claro, 2014.
- FARIAS, I. P. *Resíduos Sólidos na Construção Civil: a realidade nos canteiros de obra na cidade de Teresina-PI*. 2010. 174f. Dissertação (Mestrado em Geografia) UNESP, Rio Claro, 2010.
- FORMOSO, C. T. *et al. As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor*. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- FORRESTER, J. W. *Industrial Dynamics: a major breakthrough for decision makers*. Harvard Business Review 36 (4):37-66. 1958.
- FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. *Desperdício na Obra, Como Evitar*. 2013. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=43&Cod=1289>>; acessado em: 21 de Jul de 2015.
- HAO, J. L.; HILLS, M. J.; HUANG, T. *A Simulation Model Using System Dynamic Method for Construction and Demolition Waste Management in Hong Kong*. Construction Innovation, S.I., v. 7, nº 1, p. 7-21, 2007.
- HARRISON, K. W. *et al. Decision Support Tool for Life-Cycle-Based Solid Waste Management*. Journal of Computing in Civil Engineering, v. 15, nº 1, p. 44-58, 2001.
- HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. *What a Waste : a global review of solid waste management*. World Bank, Washington – Estados Unidos, 2012.
- IUCN. *World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, S.I., 1980.
- JARDIM, N.S. *et al. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995.
- JACOBI, P. R.; BEZEN, G. R. *Gestão de Resíduos Sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade*. Revista Estudos Avançados, São Paulo, v. 25, nº 71, p. 135-158, Abril 2011.
- John, V. M. *Resíduos de Construção e Demolição*. Palestra no Seminário de Resíduos Sólidos/Pares Poli. São Paulo, SP. 2001. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/Pares%20%20Poli_vmjohn.pdf>, acessado em 20/08/2014.
- John, V. M. *Construção Civil x Reciclagem*, Palestra, 2005. Disponível em: <http://www.ces.fgvsp.br/arquivos/Moacyr_John.pdf>, acessado em 20/08/2014
- KLANG, A.; VIKMAN, P.; BRATTEBØ, H. *Sustainable Management of Demolition Waste: an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects*. Resources, Conservation and Recycling Journal, S.I, v. 38, nº 4, p. 317-334, Jul. 2003.

- LAURENT, A. *et al.* *Review of LCA Studies of Solid Waste Management Systems – Part I: lessons learned and perspectives.* Waste and Management Journal, S.I., v. 34, nº 3, p. 573-588, Mar. 2014.
- LAURENT, A. *et al.* *Review of LCA Studies of Solid Waste Management Systems – Part II: Methodological Guidance for a Better Practice.* Waste and Management Journal, S.I., v. 34, nº 3, p. 573-588, Mar. 2014.
- LOQUES, R. *Avaliação do Ciclo de Vida do Cimento Portland.* UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2013.
- LUZ, L. M. *et al.* *Aplicação e utilização da Análise do Ciclo de Vida na Indústria.* Espacios, S.I., Vol. 32, nº4, p. 28-30, 2011.
- MADUREIRA, H. *Paisagem Urbana e Desenvolvimento Sustentável: apontamentos sobre uma estreita relação entre geografia, desenvolvimento sustentável e forma urbana.* X Colóquio Ibérico de Geografia. Évora, Universidade do Porto, 2005.
- MAIA, D. S. *Natureza, Sociedade e Trabalho: conceitos para um debate geográfico.* Revista OKARA, João Pessoa, v. 1, nº 1, p.33-42, 2007.
- MARQUES, D. C. S. *Indicadores De Eco-eficiência para Zonas Urbanas Segundo o Sistema LiderA.* 2010. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2010.
- MARQUES NETO, J. C. M. *Gestão de resíduos de construção e demolição no Brasil.* RiMa, São Carlos, 2005.
- MATOS, E. D. S. *Reaproveitamento de Resíduos da Construção Civil.* 2009. 56f. (Graduação em Engenharia Civil), UNAMA, Belém, 2009.
- MEDEIROS, R. B. *Dinâmicas Geoambientais: desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental.* Revista Eletrônica da Associação de Geógrafos Brasileiros, Três Lagoas, ano 11, nº 19, Maio 2014.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Lei 12.305/10: Política Nacional de Resíduos Sólidos.* Brasil, 2010.
- MORA, E. P. *Life-Cycle, Sustainability and the Transcendent Quality of Building Materials.* Building and Environment Journal, S.I., v. 42, nº 3, p. 1329-1334, Mar. 2007.
- MORRISSEY, A. J.; BROWNE, J. *Waste Management Models and Their Application to sustainable waste management.* Waste and Management Journal, S.I., v. 24, nº 3, p. 297-308, 2004.
- MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. *Lixo e Impactos Ambientais Perceptíveis no Ambiente Urbano.* Revista Sociedade e Natureza, Uberlândia, v. 20, nº1, p. 111-124, Jun. 2008.
- MULLER, D. B. *Stock Dynamics for Forecasting Material Flows: case study for housing in The Netherlands.* Ecological Economics, S.I., v. 59, nº 1, p. 142-156, 2006.
- NUNESMAIA, M. F. *A Gestão de Resíduos Urbanos e suas Limitações.* Revista Baiana de Tecnologia, S.I., v. 17, nº1, p. 120-129, Abr. 2007.

- ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. *Sustainability in the Construction Industry: a review of recent developments based on LCA*. Construction and Building Materials Journal, S.I., v. 23, nº 1, p.28-39, Jan. 2009.
- ORTIZ, O.; PASQUALINO, J. C.; CASTELLS, F. *Environment Performance of Construction Waste: comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain*. Waste and Management Journal, S.I., v. 30, nº 4, p.646-654, Abril 2010.
- PALSSON, A. ; RIISE, E. *Getting Started Guide for Life Cycle Assesment*. TOSCA Sustainability Framework, 2011. Disponível em: <<http://www.tosca-life.info/getting-started-guides/life-cycle-assessment/>>, acessado em 23/04/2015.
- PAULISTA, G.; VARVAKIS, G.; MONTIBELLER-FILHO, G. *Espaço Emocional e Indicadores de Sustentabilidade*. Revista Ambiente & Sociedade, Campinas, v. 11, nº 1, p. 185-200, Jun. 2008.
- PINTO, T.P. *Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana*. 1999. 189f. Tese (doutorado em Engenharia Civil). POLI-USP, São Paulo, 1999.
- POLAZ, C. N. M.; TEIXEIRA, B. A. N. *Indicadores de Sustentabilidade para a Gestão Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos: um estudo para São Carlos-SP*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, S.I., v. 14, nº3, p. 411-420, Jul. 2009.
- QUEIROZ, G. C.; GARCIA, E. E. C. *Análise de Custo do Ciclo de Vida: metodologia e aplicação em eficiência energética*. In: Avaliação e Ciclo de Vida Como Instrumento de Gestão, org. Coltro, L. p. 47-60. CETEA-ITAL, Campinas, 2007.
- RUA, J. *Desconstruindo Discurso Acerca das Noções de Sustentabilidade e Desenvolvimento*. II Semana de Geografia da FEBF, Rio de Janeiro, v. 1, nº 1, p. 7-12, 2012.
- SACHS, I. *Estratégias de Transição para o Século XXI*. In: BURSZTYN, M. Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: Brasiliense, 1993. p. 29-56
- SANTOS, M. *A Natureza do Espaço: técnica e tempo - razão e emoção*. Hucitec, São Paulo, 1996.
- SICHE, R. *et al. Índice Versus Indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países*. Revista Ambiente & Sociedade, Campinas, v. 10, nº 2, p. 137-148, Dez. 2007.
- SILVA, V. G. *Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: diretrizes e base metodológica*. São Paulo, 2003.
- SOLÍZ-GUZMÁN, J. *et al. A Spanish Model for Quantification and Management of Construction Waste*. Waste and Management Journal, S. I., v. 29, nº 9, p. 2542-2548, Set. 2009.
- SUZUKI, F. K. S. *Plano de Gerenciamento Sustentável dos Resíduos de Construção Civil: O caso de Rio Claro (SP)*. 2007. 58f. (Graduação em Engenharia Ambiental), UNESP, Rio Claro, 2007.
- TAYRA, F.; RIBEIRO, H. *Modelos de Indicadores de Sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências*. Revista Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 15, nº 1, p. 84-95, Abril 2006.

UNITED NATIONS. *Agenda 21*. Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, ONU, 1992. Disponível em:
<http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21_UNCED.pdf>

VERFAILLIE, H. A.; BIDWELL, R. *Measuring Eco-efficiency: a guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development, 2000.

WECD. *Nosso Futuro Comum*. Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2ªed., Rio de Janeiro, Editora FGV, 1991.

WINKLER, J.; BILITEWSKI, B. *Comparative Evaluation of Life Cycle Assessment Models for Solid Waste Management*. Waste and Management Journal, S.I., v. 27, nº8, p. 1021-1031, 2007.

YAHYA, K.; BOUSSABAIN, A. H. *Eco-costing of construction waste*. Management of Environmental Quality: An International Journal, S.I., v. 17, Nº 1, p. 6 – 19, 2008.

YUAN, H. *et al. A Dynamic Model for Assessing the Effects of Management Strategies on the Reduction of Construction and Demolition Waste*. Waste and Management Journal, S.I., v. 32, nº 3, p. 521-531, Mar. 2012.

YUAN, H. *A Model for Evaluating the Social Performance of Construction Waste Management*. Waste and Management Journal, S.I., v. 32, nº 3, p. 1218-1228, Mar. 2012.

ZORDAN, S. E. *A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto*. 1997. 140f. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental), UNICAMP, Campinas, 1997.

ZVEIBIL, V. Z. org. *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. IBAM, Rio de Janeiro, 2001.