

III-112 - INDICADORES AMBIENTAIS PARA ANÁLISE DE UMA UNIDADE DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE PEQUENO PORTE

Lais Carlos Boaventura Santos⁽¹⁾

Urbanista pela Universidade do Estado da Bahia. Mestranda em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pelo Programa de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento da Universidade Federal da Bahia.

Viviana Maria Zanta⁽²⁾

Doutora em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Professora Associada III do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia

Endereço⁽¹⁾: Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Departamento de Engenharia Ambiental, 4º andar, sala 10. Rua Aristides Novis, 02, Federação, CEP 40296-630. e-mail: laisc.boaventura@gmail.com

RESUMO

A reciclagem de pequeno porte de resíduos da construção civil (URPP-RCC) é uma das alternativas para a destinação de RCC produzida em obras, muito atrativa, pois devido ao seu tamanho pode ser instalada em diferentes locais próximos às fontes geradoras. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o desempenho ambiental de uma URPP-RCC localizada em canteiro de obra de edificações por meio de indicadores. Estabeleceram-se indicadores de desempenho ambiental selecionados na literatura e validados por grupos de especialistas para as categorias emissão de ruído, material particulado, consumo de água e energia e produção de rejeitos e percentual de reciclagem de resíduos Classe A. Os indicadores mostraram que o processo atendeu aos padrões ambientais legais de emissão de partículas e ruído, apresentou consumos de água nulo e consumo de energia insignificante. Ainda, a perda por falta de segregação do RCC encaminhado a URPP foi de 0,05% e eficiência de produção nas condições observadas, de 92 %.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos da Construção Civil, Reciclagem, Desempenho Ambiental, Indicadores.

INTRODUÇÃO

Os componentes dos resíduos RCC são classificados em função do seu potencial de reaproveitamento (Brasil, /2002), priorizando-se a não geração e opções que reduzam a geração como a reutilização e reciclagem. Para que essas alternativas sejam adotadas da forma correta há necessidade de elaboração de planos de gestão e gerenciamento de RCC nas obras (Brasil, 2010), como também a existência de sistemas de mensuração para monitoramento contínuo das ações executadas.

A reciclagem de resíduos classe A baseia-se nos princípios da sustentabilidade e da ecoeficiência do setor da construção civil, processando resíduos que retornam como novos agregados ou agregados recicláveis para o ciclo produtivo, fomentando a prática da economia circular. A produção de agregados recicláveis diminui a extração de recursos naturais, contribui para a conservação dos biomas, reduz os custos para aquisição de matéria prima e de transporte. No entanto, de acordo com dados da ABRECON (2015), a estimativa de RCC classe A reciclado no país é de apenas 21%.

Leite (2001), Jadovski (2005) e Duarte e Lima (2007), classificam unidades de reciclagem como sendo de primeira, segunda e terceira geração, que se diferenciam entre si pelos diferentes processos envolvidos e equipamentos utilizados para eliminação das impurezas dos RCC e, conseqüentemente, pelo produto reciclado gerado no processo. Uma planta de primeira geração possui, somente, dispositivos para retirada de barras de aço e outros materiais metálicos, enquanto que uma planta de terceira geração visa à remoção total de contaminantes dos resíduos, envolvendo diferentes tipos de processos e dispositivos.

A área de reciclagem de RCC segundo a NBR 15.114 (ABNT, 2004) é aquela “destinada ao recebimento e transformação de RCC classe A, já triados, para produção de agregados reciclados”. Pinto e Gonzalez (2005) dizem que a área de reciclagem de RCC inclui os processos de trituração e peneiramento dos resíduos de

concreto, alvenaria, argamassa e outros para produção de agregados reciclados e sugerem a inclusão de áreas destinadas à trituração ou corte simples de madeira e solos.

Na literatura científica, os estudos encontrados sobre unidades de reciclagem de RCC e seu desempenho aplicam-se às instalações de médio e grande porte, que possuem mais de uma etapa de processamento e utilizam equipamentos robustos que ocupam grandes espaços (Carpenter *et al.*, 2012, Coelho e Brito 2012, Coelho e Brito 2013, Cunha, 2007, Duarte e Lima 2007, Sobral, 2012).

Em trabalhos como os de Evangelista *et al.* (2010) e Santos e Zanta (2016) são encontradas descrições de aspectos característicos de unidades de reciclagem de pequeno porte. Nesse artigo, assume-se que essa é uma alternativa de natureza descentralizada de valorização dos RCC, sendo possível sua instalação próxima a fonte geradora ou em bacia de captação de RCC de pequenos geradores. Desse modo, ampliam-se os agentes da rede técnica de valorização de RCC, pois podem estar envolvidos na cadeia de produtiva de logística reversa o pequeno e grande gerador, empresas do setor varejista e o setor público (Santos *et al.*, 2015).

Outras características assumidas são: capacidade de processamento de até 5m³/h, área física ocupada de cerca de 100m², abrangendo espaços para armazenamento dos RCC e agregados reciclados, para o equipamento móvel e circulação de até 2 colaboradores (Santos, 2017).

Embora se saiba dos potenciais benefícios da adoção dessa alternativa, a identificação de aspectos ambientais referentes a operação da URPP é pouco explorada. Um sistema de monitoramento baseado em indicadores permite a síntese de várias informações (Campos e Melo 2008), tornando-se assim, uma ferramenta de gestão capaz de auxiliar na avaliação de processos e indicar a etapa a ser aprimorada. Portanto, indicadores de desempenho ambiental são úteis para se identificar o nível de atendimento ao conceito de Ecoeficiência, entendido como a maior eficiência da utilização de recursos naturais, não geração ou minimização de resíduos possibilitando agregação de valor econômico e redução de danos ambientais (Tello e Ribeiro, 2012).

OBJETIVO DO TRABALHO

Caracterizar o desempenho ambiental de uma unidade de reciclagem de pequeno porte de resíduos da construção civil (URPP-RCC), localizada em canteiro de obras por meio de indicadores.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em duas etapas, a primeira consistiu na seleção de indicadores que pudessem caracterizar o desempenho ambiental da URPP-RCC classe A que utiliza equipamento reciclador modelo Queixada 200P da marca Vegedry. A segunda etapa correspondeu à obtenção e análise dos indicadores referentes a URPP. A Figura 1 mostra as etapas do trabalho realizado.

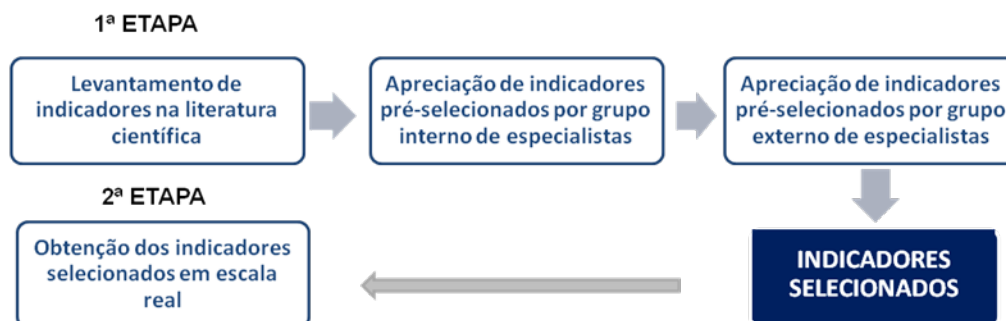


Figura 1: Etapas da pesquisa realizada

Indicadores de desempenho ambiental na literatura científica sobre reciclagem de RCC que fossem aplicáveis ao processo de uma URPP foram selecionados e apreciados por grupos de especialistas. Os critérios de análise são descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios de seleção de indicadores de desempenho ambiental para URPP-RCC pelos grupos de especialistas

CRITÉRIO DE SELEÇÃO	REFERÊNCIA
Coerência com o objeto de estudo	Sperling e Sperling, 2013
Viabilidade tecnológica, econômica e temporal para medir o desempenho	Sistema FIRJAN, 2008
Facilidade de acesso aos dados primários	Sperling e Sperling, 2013
Confiabilidade da fonte	Sperling e Sperling, 2013
Ser passível de enquadramento na categoria de desempenho ambiental	MMA, 2014

A segunda etapa consistiu no levantamento de dados em campo obtidos por medições, observações e consultas à gerência responsável pela obra no qual se localizava a URPP investigada, pertencente a uma grande empresa de construção civil. A URPP recebia RCC classe A gerados pela construção de edificações residenciais com multipavimentos em alvenaria com bloco estrutural. Os resíduos gerados eram segregados e os de classe A encaminhados à URPP, a critério da gerência da Obra.

Para medição do nível de ruído emitido pelo equipamento reciclador empregou-se o método baseado na NBR 10.151 (ABNT, 2000) sendo escolhidos 4 pontos na URPP próximos a unidade, com as seguintes localizações:

- Ponto A, localizou-se a 1,5m do equipamento reciclador, ponto mais próximo da fonte sonora.
- Ponto B, localizou-se na área de armazenamento de RCC, na qual o operador da reciclagem transitava.
- Ponto C a uma distância de 4,2m da fonte sonora e a uma distância de 2m do limite do canteiro de obra.
- Ponto D, a uma distância de 2m das residências vizinhas ao canteiro de obras.

O método utilizado para medição dos níveis de emissão de material particulado foi estabelecido com base no trabalho de Campos, 1995. Os níveis de emissão de material particulado foram medidos por equipamento impactador Berner, com amostrador de seis estágios de impactação com diferentes diâmetros de abertura. Em cada estágio o material particulado de diâmetro compatível com a abertura do equipamento fica retido nos filtros que são inseridos no equipamento que são pesados antes e depois das amostragens in loco para se determinar a quantidade de material particulado. Quatro amostragens foram realizadas, 3 delas com o equipamento reciclador em operação e uma com o equipamento desligado.

Para a estimativa do grau de segregação do resíduo classe A, realizou-se a composição gravimétrica de coletadas 3 amostras de RCC recebidos e armazenados na URPP.

A análise dos indicadores de desempenho ambiental obtido foi realizada comparando-se os valores encontrados com os de referência indicados pela literatura ou legislação brasileira pertinente.

RESULTADOS OBTIDOS

Levantou-se 48 indicadores ambientais com base na literatura. Após a apreciação dos especialistas cinco indicadores foram mantidos e um novo incluído, totalizando 6 indicadores. As razões para a exclusão dos demais indicadores foram diversas, tais como a similaridade entre indicadores, ausência de viabilidade financeira ou técnica de obtenção do indicador, falta de coerência com as características de uma URPP. O Quadro 2 apresenta os indicadores de desempenho ambiental e as etapas a que se relacionam.

Quadro 2 – Indicadores selecionados para análise de desempenho ambiental de uma URPP-RCC.

Nº	INDICADOR	UNIDADE DIMENSIONAL	FASE DA RECICLAGEM
1	Nível de emissão de ruído	dB	Britagem
2	Nível de emissão de material particulado	µg/m ³	Britagem
3	Produtividade de Material Reciclado: Quantidade de Agregado reciclado/Quantidade RCC Classe A recebido	Adimensional	Britagem
4	Grau de Segregação do RCC A	%	Recebimento
5	Consumo de água	L/m ³ de agregado reciclado produzido	Todas as etapas
6	Consumo de energia do equipamento/consumo total de energia da obra	Adimensional	Britagem

A Tabela 1 apresenta os valores ou resultados obtidos para os indicadores de desempenho ambiental de URPP investigada.

Tabela 1 –Indicadores de desempenho ambiental da URPP estudada.

INDICADOR	RESULTADO DA APLICAÇÃO	OBSERVAÇÕES
Nível de emissão de ruído	Em acordo com a legislação incidente	Recomenda-se a utilização de EPI para o colaborador responsável pela operação do equipamento reciclador
Nível de emissão de material particulado	Parcialmente em acordo com a legislação incidente	Recomenda-se a utilização de EPI para o colaborador responsável pela operação do equipamento reciclador
Produtividade de Material Reciclado	92%	Problemas de acúmulo de agregado reciclado provocaram a mistura de material com resíduos de RCC classe A
Grau de Segregação do RCC A	0,05% do total de RCC	Corresponde a parcela de resíduos de outras classes que para o processo de reciclagem de RCC classe A é considerado rejeito , por exemplo madeira
Consumo de água	0	Na unidade estudada não existiu consumo de água nas atividades realizadas
Consumo de energia (óleo diesel) do equipamento/consumo total de energia da obra	0,16 a 0,62%	-

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nível de emissão de ruído

A partir dos valores medidos em cada ponto, foi possível verificar que no Ponto A foram detectados os maiores níveis de pressão sonora, uma média de 81,6 dB. O ponto B, localizado um pouco mais afastado do equipamento reciclador apresentou o valor médio de 71,3 dB. Os pontos C e D apresentaram níveis de pressão sonora menores, 50,3 e 45,1dB, respectivamente. Esses valores são muito próximos do ruído residual observados de 46,9 e 47,3dB.

O método utilizado para medição de ruído não teve como finalidade avaliar a exposição ocupacional ao ruído, porém foi possível observar que os pontos que apresentaram maiores níveis de pressão sonora são aqueles nos quais o colaborador responsável pela operação do processo de reciclagem tem maior exposição. Esses níveis se

aproximam daqueles que caracterizam o trabalho como insalubre, de acordo com a NR 15 (Brasil, 1978) e requerem que o colaborador faça uso de equipamentos de proteção auditiva adequado, pois há risco de lesão auditiva permanente, bem como penalização por órgãos competentes.

A Norma 10.151 (ABNT, 2000) determina o nível de critério de avaliação para ambientes externos em decibéis. Para áreas mistas, predominantemente residenciais, que é o caso da área de estudo, o limite do nível de ruído é 55dB durante o dia e 50dB durante a noite. O ponto de medição mais próximo às residências, ponto D, apresentou valor médio de nível de pressão sonora equivalente corresponde a 50,3 dB durante o dia, valor muito próximo ao ruído residual e abaixo do que é estabelecido como limite aceitável na norma.

Nível de emissão de material particulado

Na amostragem realizada sem o equipamento reciclador estar em funcionamento foi observada a presença de material particulado retido nos filtros, predominantemente na faixa de até 4,9µm de diâmetro.

Os dados obtidos por meio das amostragens mostram que as partículas que ficaram retidas no estágio 5 do impactador, com até 4,9µm de diâmetro, representaram as maiores quantidades de material particulado nas amostragens realizadas estando ou não o equipamento em funcionamento. Nas amostragens com o equipamento em operação a quantidade de material particulado retido foi maior, indicando a contribuição da operação do reciclador.

Os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 003 (Brasil, 1990) utilizam o período de 24h para estabelecer limites de concentração de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis ou Material Particulado de até 10µm (MP10). Para padrões primários e secundários de qualidade do ar é estabelecido um limite de 240 e 150 µg/m³ de ar de PTS e 150 µg/m³ de ar de MP10.

De acordo com os dados obtidos, os valores limites estabelecidos pela legislação foram ultrapassados apenas em um dia de amostragem em dois estágios do impactador. Em razão disso, considera-se recomendável a utilização da máscara respiratória como equipamento de proteção individual pelo operador do reciclador, mesmo que os efeitos na saúde por inalação do material particulado dependa da distribuição do tamanho e composição química das partículas emitidas, já que exposições a altos níveis de material particulado podem ocasionar doenças respiratórias como asma e bronquite. As partículas menores que 10 µm representam um fator de risco para o desenvolvimento e agravamento de doenças cardiovasculares e respiratórias, pois partículas desse tamanho conseguem acessar partes do organismo mais internas (Araújo, 2014).

Consumo de água

Constatou-se que não há consumo de água durante a operação da URPP-RCC ou manutenção de equipamentos. Esse fato pode ser explicado por ser a unidade em área anexa, contígua ao canteiro de obras, sendo as demandas de consumo humano de água atendidas pela infraestrutura do canteiro de obras.

Produtividade de Material Reciclado

O indicador Qar/Qrcc obtido foi de 92%, o que representou uma perda percentual de 8% de RCC durante o processo. Essa perda de produtividade no beneficiamento se deveu em alguns momentos a interrupção do processo e retorno de agregado reciclado acumulado na bica de saída para área de alimentação do equipamento.

Grau de Segregação do RCC A

O grau de segregação do RCC classe A foi de 0,05 %, basicamente resíduos de madeira, predominando material cinza, composto por restos de concreto simples e pedaços de blocos.

Consumo de energia do equipamento/consumo total de energia da obra

O consumo de óleo diesel da obra se destinava ao equipamento reciclador, ao gerador de energia para o escritório da obra e para o equipamento de britagem. Com os valores globais de consumo de óleo diesel da obra, obteve-se o consumo de óleo diesel do gerador específico para o equipamento de reciclagem. Durante

o período de 8 meses de observação, o consumo de óleo diesel representou no máximo 0,62% do consumo global.

CONCLUSÕES

Os resultados de aplicação dos indicadores ambientais selecionados mostram que no período observado nesse estudo a URPP atendeu os padrões legais de emissões de ruído e de material particulado.

Os indicadores relacionados aos consumos de água e energia indicam que a URPP RCC apresentou baixo consumo. O consumo de energia da URPP-RCC correspondeu a cerca de 1% do consumo de óleo diesel da obra. Não houve consumo de água na área da URPP. O grau de segregação dos RCC A foi de 0,05%, e a produtividade de material reciclado foi de 92%.

Os resultados mostram, portanto, que a URPP RCC A não apresentou impactos negativos, sendo recomendável apenas que regras de segurança individual sejam obedecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.
2. _____. NBR 15.114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004. 7 p.
3. ABRECON. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição. Relatório Pesquisa Setorial da Reciclagem de Resíduos da Construção 2014/2015 – A Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil. São Paulo, 2015.
4. ARAÚJO, I. P. S. Metodologia para medição de material particulado em canteiros de obra. 2014. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, Salvador.
5. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 1990. Resolução CONAMA nº 003 - Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>.
6. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 2002. Resolução CONAMA nº 307 - Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=563>.
7. BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.
8. BRASIL. Ministério do Trabalho. Limite de tolerância. Portaria 3214 de 08 de junho de 1978 – NR 15 – Anexo I.
9. CAMPOS, V. P. Especificação Inorgânica de Enxofre, Nitrogênio e Cloro na Precipitação Seca e Úmida no Recôncavo Baiano. Tese de doutoramento em Química Analítica. Instituto de Química. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 1995.
10. CAMPOS, L. M. de S; MELO, D. A. de. Indicadores de Desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. Produção, v. 18, n 3, p. 540-555, 2008.
11. CARPENTER, A.; Jambeck, J. R.; Gardner, K.; Weitz, K.. **Life-Cycle Assessment and End-of-Life Management Options for Construction and Demolition Debris**. Journal of Industrial Ecology. *Volume 17*, number 3. P. [396-406, 2012](#)
12. COELHO, A; BRITO, J. de. **Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – part I: location, materials, technology and economic analysis**. Journal of cleaner production. 39. P. [338-352, 2012](#).
13. COELHO, A; BRITO, J. de. **Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part I: Energy consumption and CO2 emissions**. Waste Management 33. P. 1258–1267. 2013.

14. CUNHA, N. A. **Resíduos da Construção Civil – Análise de Usinas de Reciclagem**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Edificações da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
15. DUARTE, P.; LIMA, V. L. de. Beneficiamento do resíduo de construção. In: II CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2007, João Pessoa. Anais do II CONNEPI. Paraíba, 2007.
16. EVANGELISTA, P. P. de A.; COSTA, D. B; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe A: sistemática para reciclagem em canteiro de obras. *Ambiente Construído*. Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010.
17. FIEB. Federação das Indústria do Estado da Bahia. *Gestão de Resíduos na Construção Civil: redução, reutilização e reciclagem*. 2007.
18. JADOVSKI, I. Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição. Trabalho de Conclusão (Mestrado) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
19. LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2001. 270 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
20. MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Painel Nacional de Indicadores ambientais: Referencial teórico, composição e síntese dos indicadores da versão-piloto 2012. Secretaria Executiva, Departamento de Gestão Estratégica. Brasília, 2014.
21. SANTOS, L.C.B. Análise do desempenho de uma unidade de reciclagem de pequeno porte de resíduos da construção civil. Dissertação de mestrado. Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2017.
22. SANTOS, L. C. B.; Zanta, V. M. Caracterização dos resíduos da construção civil para reciclagem de pequeno porte. Anais 17º Silubesa – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis/SC, 2016.
23. SANTOS, L. C. B.; Zanta, V. M; Lima, J. A. R. Rede Técnica dos resíduos da construção civil em Salvador – Bahia e a Política Estadual de Resíduos Sólidos da Bahia. Anais 28º CBESA – Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro/RJ, 2015.
24. SISTEMA FIRJAN. Manual de indicadores ambientais. Rio de Janeiro: DIM/GTM, 2008. 20p.
25. SPERLING, T. L. von; SPERLING, M. von. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 18, nº 4. Rio de Janeiro. 2013.
26. SOBRAL, R. F. D. **Viabilidade econômica de usina de reciclagem de resíduos da construção civil: estudo de caso da USIBEN – João Pessoa-PB**. 2012.114 f. Dissertação (mestrado) – UFPB/CT. João Pessoa
27. TELLO, R.; RIBEIRO, F. B. Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da Construção. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção; Serviço Social da Indústria; Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2012.