UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA, GESTÃO DE NEGÓCIOS E MEIO AMBIENTE
MESTRADO PROFISSIONAL EM SISTEMAS DE GESTÃO

CYRO DRUMOND COLARES MOREIRA

**Análise de viabilidade da aplicação de logística reversa na gestão sustentável
de embalagens de cimento pós-consumo**

Exame de Defesa apresentado ao Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Gestão. Área de Concentração: Organizações e Estratégia.
Linha de Pesquisa: **Sistema de Gestão pela Qualidade Total.**

Orientador

Prof. Fernando B. Mainier, Dr.Sc.

Niterói, RJ
2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M835a Moreira, Cyro Drumond Colares

ANÁLISE DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE LOGÍSTICA REVERSA
NA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE EMBALAGENS DE CIMENTO PÓS-CONSUMO /
Cyro Drumond Colares Moreira ; Fernando Mainier, orientador.
Niterói, 2019.
86 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional)-Universidade Federal
Fluminense, Niterói, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PSG.2019.mp.10393182665>

1. Indústria do cimento. 2. Gerenciamento de resíduos. 3.
Logística reversa. 4. Coprocessamento. 5. Produção
intelectual. I. Mainier, Fernando, orientador. II.
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. III.
Título.

CDD -

Bibliotecária responsável: Fabiana Menezes Santos da Silva - CRB7/5274

CYRO DRUMOND COLARES MOREIRA

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE EMBALAGENS DE CIMENTO PÓS CONSUMO:
ESTUDO DE CASO COM USO DA LOGÍSTICA REVERSA**

Exame de Defesa apresentado ao Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Gestão. Área de Concentração: Organizações e Estratégia.
Linha de Pesquisa: **Sistema de Gestão pela Qualidade Total.**

Aprovada em 25 de março de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando B. Mainier, D.Sc. – Orientador
Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof^a. Rita de Cássia Colman Simões, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense – UFF

Prof. Fábio Merçon, D.Sc.
Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ

RESUMO

O crescimento populacional e seu consequente aumento no nível de consumo promovem o aumento da geração de resíduos, o que demanda da indústria e entes públicos, sistemas de gerenciamento de resíduos sustentáveis e eficientes. A pesquisa tem como objetivos os estudos dos dois principais modelos disponíveis de tratamento e destinação das embalagens de cimento pós-consumo, o coprocessamento e a reciclagem, e avaliação do emprego da logística reversa como ferramenta de gerenciamento destes resíduos através de um estudo de viabilidade. A metodologia adotada foi a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso em uma empresa cimenteira de grande porte, localizada no Estado do Rio de Janeiro. Os instrumentos de pesquisa utilizados foram o questionário aplicado em organizações aptas a realizarem a reciclagem e pré-processamento do resíduo na região metropolitana do Rio de Janeiro, e análises laboratoriais realizadas dentro da própria unidade industrial em estudo. Os resultados encontrados demonstraram a inviabilidade na operacionalização da destinação para fins de reciclagem, porém, comprovou via análises laboratoriais, a aptidão das embalagens de cimento pós consumo para utilização como combustível alternativo em fornos de clínquer. A viabilidade financeira foi comprovada através da utilização da ferramenta de logística reversa como modelo de gestão, utilizando alavancas facilitadoras como o frete de retorno e compactação dos volumes de embalagens coletadas. Por fim, foi proposto um modelo considerando a conversão do valor economizado como forma de desconto na recompra de novos volumes de cimentos ensacado aos clientes, gerando valor sustentável a empresa e ao cliente e garantindo sua fidelização. Deste modo, o modelo garante uma destinação sustentável do principal resíduo decorrente da produção das indústrias de cimento e propondo um modelo de incentivo ao retorno do resíduo aos pontos de coleta, tornando possível o ciclo sustentável de seus produtos, bem como a otimização de processos.

Palavras-chave: Indústria de cimento. Logística reversa. Gerenciamento de resíduos.

ABSTRACT

The population growth and its consequent increase in the consumption level promote the increase of waste generation, which demands from industry and public entities, sustainable and efficient waste management systems. The research aims to study the two main models available for treatment and destination of post-consumer cement packaging, coprocessing and recycling, and evaluation of the use of reverse logistics as a tool for the management of this waste through a feasibility study. The methodology adopted was the bibliographical research and the case study in a large cement company, located in the State of Rio de Janeiro. The research instruments used were the questionnaire applied to organizations able to perform the recycling and pre-processing of the waste in the metropolitan area of Rio de Janeiro, and laboratory analyzes carried out within the industrial unit under study. The results showed the non feasibility of the use of recyclable materials, but proved, through laboratory analyzes, the suitability of the post consumer cement packages for use as alternative fuel in clinker kilns. The financial viability was proven through the use of the reverse logistics tool as a management model, using facilitating levers such as return freight and packing volumes collected. Finally, a model was proposed considering the conversion of the saved value as a form of discount in the repurchase of new volumes of cements bagged to the costumers, generating sustainable value for the company and the client and guaranteeing their loyalty. In this way, the model ensures a sustainable destination of the main waste resulting from the production of the cement industries and proposes a model to encourage the return of the waste to the collection points, making possible the sustainable cycle of its products, as well as the optimization of processes.

Keywords: Cement industry. Reverse logistic. Waste management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hierarquia de controles de tratamento de resíduos	11
Figura 2: Volumes de vendas de cimento ensacado	14
Figura 3: Controle de embalagens rasgadas no processo produtivo	15
Figura 4: Estrutura metodológica do estudo	18
Figura 5: Etapas da revisão sistemática da literatura.....	20
Figura 6: Norma brasileira (NBR 5732:1991)	24
Figura 7: Fluxograma do processo de produção de cimento	25
Figura 8: Evolução do número de aterros sanitários em atividades nos Estados Unidos, desde o ano de 1988 até o ano de 2007	34
Figura 9: Forma genérica de logísticas reversa	40
Figura 10: Balança de pesagem de amostras	48
Figura 11: Triturador de facas	48
Figura 12: Chapa aquecedora.....	50
Figura 13: Calorímetro	51
Figura 14: Balança de precisão laboratorial	51
Figura 15: Titrino	52
Figura 16: Resultado de tentativa de contato com recicladores	57
Figura 17: Instituições que demonstraram interesse pela reciclagem das embalagens.....	58
Figura 18: Distâncias das blendeiras e a fábrica de cimento	59
Figura 19: Amostras de sacarias para os ensaios	61
Figura 20: Frente e lateral da prensa utilizada na montagem do fardo	63
Figura 21: Aspecto do fardo de sacarias pós consumo envelopado com lâminas de papelão e amarrado com tiras de aço.....	63
Figura 22: Fardo padrão para transporte	64
Figura 23: Modelo de caminhão bitrem utilizado no transporte de cimento ensacado.....	65
Figura 24: Capacidade de transporte de fardos	65
Figura 25: Mapa de distribuição das unidades	68
Figura 26: Proposta de <i>design</i> de embalagem	69
Figura 27: Amostra pós recorte manual.....	69

Figura 28: Amostras das sacarias já trituradas	70
Figura 29: Simbologia do Gross Added Value	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Palavras-chave selecionadas e combinadas	21
Tabela 2: Pesquisa inicial.....	22
Tabela 3: Artigos selecionados por base de dados	23
Tabela 4: Lista com <i>status</i> das instituições contactadas	55
Tabela 5: Quantidade anual de embalagens expedidas	60
Tabela 6: Registro de pesagens unitárias de amostras de embalagens	62
Tabela 7: Capacidade de transporte de fardos	65
Tabela 8: Montagem de fardos	66
Tabela 9: Custo para montagem de fardos	66
Tabela 10: Relação distância entre as unidades	67
Tabela 11: Relação custo de transporte e processamento	67
Tabela 12: Resultados dos ensaios laboratoriais	71
Tabela 13: Resultados de cálculo de substituição térmica	73
Tabela 14: Resultados cálculo de GAV	74
Tabela 15: Cálculo de viabilidade da operação com aplicação de desconto	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUAÇÃO DO TEMA	11
1.2 O PROBLEMA DA PESQUISA	13
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	15
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 QUESTÕES-PROBLEMA DA PESQUISA.....	16
1.5 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO	17
1.6 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA ESPERADA	17
1.7 ESTRUTURA METODOLÓGICA DO ESTUDO.....	18
1.8 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 REVISÃO SISTÊMICA DA LITERATURA.....	20
2.1.1 Definição de palavras-chave	21
2.1.2 Busca de artigos nas bases de dados	21
2.1.3 Seleção de artigos.....	22
2.1.4 Leitura dos artigos	23
2.1.5 Análise e discussão dos resultados.....	23
2.2 APRECIÇÃO CRÍTICA DA LITERATURA E CORRELAÇÃO COM OS OBJETIVOS DE PESQUISA.....	24
2.2.1 Produção de cimento.....	24
2.2.1.1 Mineração e britagem de calcário e argila.....	25
2.2.1.2 Moagem e armazenamento de farinha	26
2.2.1.3 Moagem de coque/carvão.....	27
2.2.1.4 Coprocessamento	28
2.2.1.5 Forno e resfriador de clínquer	28
2.2.1.6 Moagem e armazenamento do cimento.....	29
2.2.1.7 Ensacamento e expedição do cimento	29
2.2.2 Coprocessamento	31

2.2.2.1 Contextualização.....	31
2.2.2.2 Fatores importantes e oportunidades	32
2.2.3 Reciclagem	35
2.2.3.1 Contextualização.....	35
2.2.3.2 Reciclagem na construção civil	36
2.2.3.3 Vantagens e pontos de atenção	38
2.2.3.4 Contextualização.....	39
2.2.3.5 Definição	41
2.2.3.6 Fatores importantes e oportunidades	41
2.2.4 Embalagens	43
3 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	45
3.1 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA	45
3.2 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS	45
3.3 PESQUISA DE CAMPO.....	46
3.4 ANÁLISES POR QUESTIONÁRIO E ANÁLISES LABORATORIAIS.....	46
3.5 METODOLOGIA DE ANÁLISES POR QUESTIONÁRIO.....	47
3.6 METODOLOGIA DE ANÁLISES LABORATORIAIS	47
3.6.1 Determinação do peso unitário dos sacos de cimento pós-consumo	47
3.6.2 Preparação e quarteamento de amostras	48
3.6.3 Solução de ácido nítrico 1:5.....	48
3.6.4 Solução de nitrato de prata 0,01 n	49
3.6.4.1 Fatoração de solução de nitrato de prata 0,01 n.....	49
3.6.5 Determinação de unidade.....	49
3.6.6 Determinação de cinzas e poder calorífico superior para amostras de sacos de cimento pós consumo	50
3.6.7 Determinação de cloretos de sacos de cimento pós-consumo.....	52
3.6.8 Análise química quantitativa	52
3.7 ANÁLISES DE VIABILIDADE.....	53
4 DESENVOLVIMENTO	55
4.1 LEVANTAMENTO DE INSTITUIÇÕES PARA RECICLAGEM	55
4.2 LEVANTAMENTO DE EMPRESAS PARA COPROCESSAMENTO	58
4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS VOLUMES	59
4.3.1 Amostragem das embalagens	60

4.3.2 Pesagem das embalagens amostradas	61
4.4 ESTUDO DE TRANSPORTE	62
4.4.1 Compactação e amostragem de fardos	62
4.5 VIABILIDADE LOGÍSTICA	64
4.5.1 Capacidade de transporte dos caminhões	65
4.5.2 Fator abertura de embalagens	68
4.6 RESULTADOS DE ANÁLISE LABORATORIAL	69
4.7 CÁLCULOS VIABILIDADES	72
4.7.1 Viabilidade térmica	72
4.7.2 Viabilidade financeira	75
5 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	79

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O crescimento da população, o desenvolvimento industrial e a urbanização acelerada, vêm contribuindo para o aumento do uso dos recursos naturais e geração dos resíduos. O aumento do volume de resíduos sólidos, em específico, está intimamente ligado à produção industrial de bens de consumo, demandada pelo crescimento populacional, que demanda sistemas de gerenciamento mais sustentáveis e eficiente pela indústria e entes públicos (BARROS, 2002).

Na ausência de alternativas e novas tecnologias que visem à redução do ciclo de vida de produtos, há o aumento do descarte. Neste cenário, as empresas têm tido a necessidade de focar suas estratégias de sustentabilidade nos impactos gerados nas atividades de pós-venda e pós-consumo. No Brasil, após a aprovação de legislações mais restritivas com relação à disposição final dos produtos no final de sua vida útil, algumas empresas têm adotado o retorno dos seus produtos dos consumidores finais, visando uma possível reutilização, reciclagem no seu ciclo produtivo ou em outros ciclos, ou mesmo para a disposição final (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada no ano de 2010, define a ordem de prioridade como devem ser feitos o gerenciamento dos resíduos sólidos.

Figura 1: Hierarquia de controles de tratamento de resíduos

Fonte: Adaptado de ABCP (2009).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos ainda defini a obrigatoriedade dos resíduos que devem passar por um processo de estruturação e implementação de um sistema de logística reversa.

- I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens;
- II - pilhas e baterias;
- III - pneus;
- IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Parte integrante de praticamente todas as construções, edificações residenciais as grandes obras de infraestrutura, como as rodovias que cortam o Brasil, o cimento se caracteriza como base e principal componente do concreto, que é o produto mais consumido no mundo. O Brasil está entre os 10 maiores países produtores de cimento do mundo, sendo que sua produção interna de cimento no ano de 2016 acumularam 57,2 milhões de toneladas (SNIC, 2016)

O armazenamento correto do cimento é essencial para impedir perdas e alterações nas características do produto. Utiliza-se sacos de papel kraft de múltiplas folhas como embalagem adequada para transporte e para aplicação rápida. Os sacos de papel atendem as exigências dos fluxos de produção das ensacadeiras, que é o único que permite o preenchimento com o material ainda bastante aquecido proveniente do processo produtivo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2012)

A classificação dos resíduos pode ser dividida em duas classes: a) Classe I – perigosos e b) Classe II – não-perigosos, sendo a Classe II subdividida em outras duas Classes II A – não-inertes e II B – inertes. Assim como os demais resíduos de construção civil, as embalagens utilizadas de cimento comumente são classificadas como Classe II por serem compostos basicamente por papel e cimento. Porém, há casos em que as embalagens de cimento pós-consumo podem ter a presença de contaminantes e também ser classificados como Classe I (JOHN; AGOPYAN, 2000).

As embalagens de cimento não se enquadram na lista de resíduos com obrigatoriedade de serem tratados pelo processo de logística reversa, porém, esta instituída na Política Nacional de Resíduos Sólidos a responsabilidade

compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, devendo existir um compromisso por parte do governo, das empresas e da sociedade sobre a destinação final dos resíduos consoante as diretrizes da Política.

1.2. O PROBLEMA DA PESQUISA

A investigação preliminar do problema, a qual será relacionada estudo de caso, será desenvolvido em uma unidade de uma empresa cimenteira de grande porte, localizada no Estado do Rio de Janeiro. Os macroprocessos existentes entre as atividades de produção de cimento e até a destinação das embalagens de cimento rasgadas estão divididos entre as etapas de produção do cimento, ensacamento, distribuição, utilização e destinação das embalagens de cimento rasgadas.

A prática da logística reversa visando a reciclagem ou reutilização das embalagens pós-consumo pode apresentar alguns gargalos devido presença do cimento ou até de outros contaminantes. Além disto, tal prática pode se tornar um processo custoso para as empresas cimenteiras.

Em seu processo de produção, a indústria de cimento tem uma necessidade inerente de combustível com alto calor de combustão. Assim, o setor se posiciona coma uma alternativa a destinação dos resíduos sólidos com alto valor calorífico, pois são desejáveis como combustível para processos térmicos na indústria de cimento (STAFFORD *et al.*, 2015). Se tornando assim, uma atividade de interessa tanto para a sociedade por garantir uma destinação ambientalmente correta, quanto para a indústria de cimento por seus ganhos econômicos. No entanto, a viabilidade ambiental deve ser avaliada de forma objetiva, sistemática e holística.

A indústria de pneumáticos é um modelo de sucesso de logística reversa. Em atendimento a resolução 416/09 do CONAMA, em 2007 os principais fabricantes de pneus do país criaram uma entidade voltada exclusivamente para a coleta e destinação de pneus inservíveis. Nos últimos 6 anos a entidade acumula um percentual de coleta e destinação superior a 104% (RECICLANIP, 2017).

A ausência de planejamento, que objetive pelo controle da quantidade de embalagens que retorna a sua origem, a ausência de um processo de conscientização de todos os entes, entre outras razões, impossibilita o sucesso do

processo reverso de resíduos. Deste modo, são necessários investimentos tanto no desenvolvimento do fluxo reverso nos setores participantes como em tecnologias para o retorno dessas embalagens aos processos produtivos, buscando o retorno ambiental e social da implantação da logística reversa (MENDES, 2012).

No caso do cimento em específico, após sua utilização nas obras em geral, gera-se apenas uma tipologia de resíduos, as embalagens de cimento rasgadas.

Apesar de alterar sua estratégia ao longo dos últimos anos com foco na venda de cimentos a granel, a unidade cimenteira estudada ainda produz números bastante elevados de sacos de cimento. A Figura 2 ilustra a quantidade anual das vendas de cimento entre os anos 2013 e 2016 na unidade da cimenteira analisada.

Figura 2: Volumes de vendas de cimento ensacado

Fonte: O autor (2018)

Decorrente das atividades desempenhadas pela unidade industrial estudada, desencadeiam duas formas de geração de embalagens de cimento rasgadas: as embalagens rasgadas ou rejeitadas durante o processo de expedição de cimento e as embalagens de cimento pós consumo.

Visando a melhoria contínua dos processos e principalmente evitando custos adicionais, a unidade industrial estudada já realiza o gerenciamento do volume de embalagens de cimento rasgadas decorrentes do processo de expedição através de metas específicas e a controles de percentuais de perdas.

Na Figura 3, a seguir, é ilustrado o evolutivo do volume de embalagens de cimento rasgadas da unidade estudada.

Figura 3: Controle de embalagens rasgadas no processo produtivo

Fonte: O autor (2018)

Neste caso específico, a destinação das embalagens de cimento rasgadas decorrentes do processo de expedição é encaminhada para empresas que realizam o tratamento de resíduos (blendeiras), são trituradas e posteriormente retornam a indústria cimenteira para serem coprocessadas no forno da unidade. Sendo assim, não há destinação indesejável nesta etapa do processo.

O desafio está na correta destinação das embalagens de cimento pós-uso. Primeiramente a necessidade de se estruturar uma rede logística de coleta e transporte das embalagens, pois as embalagens estão distribuídas em diferentes regiões, o que pode gerar gargalos do ponto de vista econômico pelo custo logístico. Em sequência, a necessidade de mapeamento das práticas ambientalmente corretas e mais próximas aos pontos de coleta será essencial para a sustentabilidade do processo.

1.3. OBJETIVOS DA PESQUISA:

1.3.1. Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral a identificação das modelos disponíveis de tratamento e destinação das embalagens de cimento pós consumo e avaliar o emprego da logística reversa como ferramenta de gerenciamento deste resíduos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica para identificação das principais alternativas para tratamento e destinação de embalagens de cimento pós consumo;
- Realizar pesquisa bibliográfica para identificação das principais tipologias de resíduos que estão atrelados ao processo de logística reversa e de que forma estas cadeias estão estruturadas;
- Realizar pesquisa empírica através de entrevistas com colaboradores do setor de construção civil e da indústria cimenteira a fim de identificar as atuais formas de acondicionamento, tratamento e destinação das sacarias de cimento pós consumo;
- Identificar as limitações e as oportunidades da implementação da prática de logística reversa para embalagens de cimento pós consumo vinculados a unidade da empresa cimenteira estudada, a fim de se ter um tratamento e destinação ambientalmente sustentável;
- Analisar os resultados encontrados nas pesquisas supracitadas para identificação dos ganhos e perdas na implementação desta cadeia na unidade cimenteira estudada;
- Desenvolver ensaios laboratoriais visando à identificação das propriedades das sacarias com vista a sua utilização.

1.4 QUESTÕES-PROBLEMA DA PESQUISA

- Quais alternativas devem ser observadas pela indústria cimenteira, quando da produção de cimento ensacado, visando o sustentável ciclo de vida das embalagens de cimento?
- O que pode ser feito para viabilizar a sustentabilidade do processo de logística reversa em embalagens de cimento pós-consumo?
- Quais os principais pontos de aproximação e afastamento entre a literatura, os casos estudados e os entrevistados?
- Quais são os fatores críticos de sucessos e de fracasso, para implementação de uma estrutura de logística reversa que busque o tratamento e destinação sustentável das embalagens de cimento pós-consumo?

1.5 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

O presente estudo aborda o tema do tratamento e destinação sustentável das embalagens de cimento pós-consumo, através da estruturação de uma cadeia de logística reversa. O estudo não procura estudar demais tipologias de resíduos, ficando a aplicabilidade para outros resíduos como sugestão para estudos futuros.

No estudo de caso, serão pesquisados as atuais formas de gerenciamento das embalagens de cimento pós-consumo vinculadas a uma unidade de indústria cimenteira multinacional de grande porte localizada na região sudeste. Não será objetivo desta pesquisa o estudo dos demais processos e resíduos desta empresa.

1.6 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA ESPERADA

A presente pesquisa é significativa, pois propõe uma análise dos atuais modelos de tratamentos e destinações dadas as embalagens de cimento pós-consumo e oferece uma análise da utilização da ferramenta de logística reversa como modelo de gestão para estes resíduos. Desta forma, é possível que as indústrias cimenteiras possam adotar tal prática a fim de garantir o ciclo sustentável de seus produtos, assim como outras indústrias com tipologias de resíduos semelhantes. Incentivando também, a adoção da operacionalização de sistemas de logística reversa em tipologias de resíduos que ainda não constam como passíveis de obrigatoriedade na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Academicamente, o trabalho pode corroborar com a literatura com foco na análise industrial de produção mais limpa, de cadeias de logística reversa e através do estudo de ciclo de vidas ambientalmente correto;

Os resultados deste estudo também podem colaborar para garantir uma otimização de processos e a melhoria da eficiência ambiental da indústria cimenteira.

1.7 ESTRUTURA METODOLÓGICA DO ESTUDO

Conforme descrito por Araujo (2011), a estrutura metodológica do estudo compõe-se por duas vertentes, uma teórica e outra empírica. Essas duas vertentes se complementam buscando atender aos objetivos da pesquisa conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4: Estrutura metodológica do estudo

Fonte: Adaptado de Araujo (2011).

A vertente teórica do estudo está pautada em revisões da literatura e objetiva uma fundamentação teórica sobre os principais temas da pesquisa. Deste modo, serão analisados os conceitos e as características das alternativas de tratamento e destinação de resíduos e modelos e estruturas de logística reversa. A proposição da metodologia da pesquisa será baseada no resultado deste estudo, que será

aplicada setorialmente para conduzir o desenvolvimento da vertente empírica.

A vertente empírica, baseada na metodologia desenvolvida, refere-se à identificação, coleta, divulgação e análise de dados de uma empresa multinacional do segmento de cimento e do setor de construção civil a serem avaliados neste estudo. Nesta etapa são realizadas a verificação dos dados das entrevistas e dos demais dados levantados no estudo de caso.

As conclusões do estudo e sugestões de pesquisas futuras e complementares podem ser obtidas a partir da análise das duas vertentes em conjunto. O objetivo das conclusões é responder às questão-problema da pesquisa e contribuir para a estruturação de cadeias de logística reversa para embalagens de cimento pós consumo a fim de se ter um tratamento e destinação sustentável.

1.8 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo busca contextualizar o tema da pesquisa, seguido da descrição da situação problema do estudo, dos objetivos, das questões da pesquisa, da relevância da pesquisa, das suas delimitações, da estrutura metodológica da pesquisa e do resumo da organização da dissertação

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura, a fundamentação teórica na qual se baseia a pesquisa e onde são expostos os conceitos e aspectos da proposta metodológica, para análise da aplicabilidade nas embalagens de cimentos pós consumo.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia de pesquisa proposta para se atingir os objetivos dessa pesquisa, assim como a estruturação das pesquisas empíricas.

No quarto capítulo é apresentado o desenvolvimento, a análise e a discussão dos resultados da pesquisa do estudo de caso e comparação com os resultados da revisão bibliográfica.

O quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões e sugestões para estudos posteriores.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 REVISÃO SISTÊMICA DA LITERATURA

Buscando identificar as obras capazes de apoiar a fundamentação do tema central do trabalho, foi realizada uma revisão sistemática da literatura através de pesquisas bibliométricas para apresentar aquilo que já foi consolidado, como também o que está em desenvolvimento em relação ao tema abordado.

O levantamento bibliográfico é um instrumento quantitativo que pode colaborar na organização e sistematização de informações científicas e tecnológicas. Sendo que, os balizamentos realizados através da bibliometria podem colaborar na tomada de decisão em sistemas de recuperação da informação, de avaliação e de comunicação científica (GUEDES, 2012).

Nesta etapa da pesquisa, foram definidas seis etapas para estruturação do levantamento bibliométrico, conforme figura abaixo:

Figura 5: Etapas da revisão sistemática da literatura

Fonte: O autor (2018)

2.1.1 Definição das palavras-chave

Tendo em consideração o tema central da pesquisa e termos mais utilizados e consolidados com aderência ao objeto do trabalho, foram identificadas quatro palavras chave com objetivo de nortear na base de dados, o levantamento dos periódicos publicados.

A fim de realizar o desenvolvimento em relação ao tema abordado, foram escolhidas palavras chave e utilizadas em ambos os idiomas, português e inglês. Deste modo, sendo possível realizar buscas por um maior número de artigos e artigos de abrangência nacional e internacional. Apenas na base BDTD, a busca foi realizada com base em palavras-chave somente em português, uma vez que essa plataforma somente contempla periódicos nacionais.

As palavras chave escolhidas foram combinadas através de lógica booleana e utilizado o operador AND para garantir todos os termos digitados sejam procurados nas pesquisas nas bases de dados selecionadas. Somente a busca pela palavra-chave “Coprocess” não foi utilizado o *string* AND devido a própria objetividade da palavra em separado. As palavras chaves escolhidas e combinadas foram: Logística Reversa, Reciclagem, Coprocessamento e Embalagem.

Tabela 1: Palavras-chave selecionadas e combinadas

Coluna 1	Operador	Coluna 2
"Coprocess"	AND	"Cement industry"
"Reverse Logistics"	AND	Package
"Recycle"	AND	Package

Fonte: O autor (2018)

2.1.2 Busca dos artigos nas bases de dados

Foram definidas as bases de dados Scopus (Elsevier) e Scielo para consulta dos periódicos disponíveis. As bases foram acessadas através do portal de periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) entre os dias 04 e 30 de maio de 2018.

Além das bases já citadas, foi também desenvolvido no mesmo período de acesso, consulta na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), encontrada no endereço eletrônico <http://bdtd.ibict.br>.

Após a estruturação das palavras-chave, e definição das bases de busca, foi executada uma pesquisa pelos periódicos, realizando algumas adaptações durante as seleções dos filtros nas bases.

Após a primeira busca, foi levantado um total de 1266 artigos, conforme ilustrado na tabela abaixo:

Tabela 1: Pesquisa inicial

Palavras-Chave	Base de dados		
	Scopus	Scielo	BDTD/IBICT
Coprocess AND Cement Indu	28	9	72
Reverse Logistics AND	364	36	8
Recycle AND package	414	12	323
Resultados	806	57	403

Fonte: O autor (2018).

2.1.3 Seleção de artigos

Posteriormente à realização da busca nas bases de dados Scopus, Scielo e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, foram realizadas filtragens para identificação dos trabalhos que de fato possam ter aderência e serem relevantes ao objeto da pesquisa e que possam responder as questões propostas. A Tabela 3 ilustra as etapas realizadas para seleção dos artigos.

Para realização da seleção dos artigos, foram estabelecidas três etapas de filtragem. Sendo a primeira filtragem para a identificação de artigos que tratavam de resenhas, resumos e capítulos de livros, temas sem aderência ao objeto da pesquisa e de estudos repetidos.

Na sequência foram realizadas as filtragens com base na leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos previamente filtrados, a fim de eliminar

aqueles que não possuíam relação com o objeto do trabalho, reduzindo assim para 123 artigos filtrados.

Por fim a última etapa foi baseada na leitura do capítulo de introdução dos artigos filtrados para a seleção daqueles que tiverem maior relevância com os objetivos do trabalho, restando 45 artigos para selecionados com maior aderência ao tema da pesquisa, sendo 37 artigos e 8 teses de mestrado ou doutorado.

Tabela 2: Artigos selecionados por base de dados

Base de dados	Número de Artigos	Percentual/base
Scopus	30	67%
Scielo	7	16%
BDTD/IBICT	8	18%
	45	100%

Fonte: O autor (2018)

2.1.4 Leitura dos artigos

Após a seleção dos 45 artigos, a leitura dos mesmos foi realizada possibilitando compreender aquilo que já foi consolidado, como também o que está em desenvolvimento em relação ao tema abordado, além de fornecer os recursos necessários para a consolidação dos dados.

2.1.5 Análise e discussão dos resultados

Após a realização da leitura dos artigos selecionados, foi realizada uma apreciação crítica da literatura, correlacionando os itens dos artigos levantados com o objeto principal da pesquisa.

2.2 APRECIÇÃO CRÍTICA DA LITERATURA E CORRELAÇÃO COM OS OBJETIVOS DA PESQUISA

2.2.1 Produção de cimento

De acordo com a Norma Brasileira (NBR 5732/1991), define-se cimento como:

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos.

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II - E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II - Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II - F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Figura 6: Norma brasileira (NBR 5732:1991)

A empresa em estudo tem como atividade principal a fabricação de cimentos, dos tipos CPII-F, CPIII, CPV-ARI e Cimento G especial para poços de petróleo. Suas atividades se iniciaram em 1981, na zona rural do município de Cantagalo-RJ. Cercada por matas e pastagens, a empresa não possui vizinhança antropizada. Além da Empresa em estudo a região possui mais duas cimenteiras de grupos distintos, o que fortalece a economia regional e demonstra a importância desta localidade para fabricação de cimentos no estado do Rio de Janeiro.

Apresenta-se no fluxograma abaixo e nos tópicos a seguir, breve descritivo dos processos produtivos e equipamentos principais utilizados na atividade de produção de cimento relacionadas à unidade em estudo.

Figura 7: Fluxograma do processo de produção de cimento

Fonte: O autor (2018)

2.2.1.1 Mineração e britagem de calcário e argila

A fase de preparação da matéria-prima marca o início de todo o processo de produção de cimento e consiste na dosagem e redução da granulometria do material, através das operações de britagem e moagem para a confecção da farinha crua.

A operação de perfuração é realizada através de perfuratriz pneumática que executa os furos de detonação, onde são introduzidos os explosivos os quais são

interligados pelos acessórios cordéis e acionados através de espoletas para a detonação das frentes de lavra.

A atividade de extração de argila pode acontecer concomitante ao avanço da lavra de calcário, utilizando-se das minas do material de decapeamento e os bolsões de argila existentes na cava da mina de calcário, ou em paralelo através de extração unitária em mina de argila.

O calcário é processado por um britador e posteriormente transportado para as pilhas denominadas “Pilhas de Homogeneização”. Após extração do calcário das pilhas, o mesmo é conduzido para um silo intermediário.

A argila cinza e/ou vermelha é processada por um britador de Argila, e alimenta o depósito de armazenamento de argila.

2.2.1.2 Moagem e armazenamento de farinha crua

Após a cominuição das principais matérias primas, calcário e argila, são adicionadas outras matérias primas, tais como minério de ferro e bauxita, a fim de se garantir a correção dos módulos químicos ideais a fabricação do clínquer. Todos estes insumos dosados e misturados, compõem o cru, que após processo de moagem irá compor a “farinha”, matéria prima base para produção de clínquer.

Os materiais que alimentam o Moinho de Cru são extraídos dos silos de armazenamento e descarregados em uma correia transportadora. O processo de moagem consiste em secar a matéria prima e moer para reduzir a granulometria do material e homogeneizar a matéria prima.

Após o processo de moagem, a farinha que se assemelha a um talco, é transportada para os silos de homogeneização, através de elevadores pneumáticos. O sistema de transporte e os silos possuem filtro de mangas para despoeiramento.

A extração da farinha crua do silo é realizada por parafusos transportadores para dois elevadores de caçamba (um em reserva) existentes no edifício de alimentação do forno, os quais elevam a farinha bruta ao topo da instalação de alimentação do forno. A farinha crua é então transportada por uma regueira de transporte e de um elevador pneumático ao pré-aquecedor do forno.

O ar é usado como meio de transporte no elevador pneumático e em seguida separado da farinha crua por um conjunto de ciclones e um filtro de mangas.

A extração dos silos de farinha crua bem como a instalação de alimentação do forno são desempoeirados por filtros de mangas.

2.2.1.3 Moagem de coque/carvão

Principal combustível das unidades de cimento, o coque precisa passar por um processo de moagem para se obter os critérios físicos ideais para a produção de clínquer.

Na unidade em estudo, a recepção do combustível bruto é realizada através de caminhões caçambas, que descarregam o material em pátio pavimentado e impermeabilizado. A alimentação da tremonha de recepção é realizada por meio de pá carregadeira. Da tremonha o coque é extraído por meio de uma correia transportadora que transporta o coque até um silo de concreto, que serve de reservatório para a seção de moagem de coque / carvão.

Nos moinhos é realizada a cominuição do combustível sólido. Na unidade em estudo, o moinho é do tipo vertical de rolos, sendo a secagem realizada com gases quentes oriundos do forno. O moinho tem na sua parte superior um separador dinâmico que só permite que saia deles os finos, fazendo os refugos retornarem a pista de moagem. Os finos são arrastados do moinho até um ciclone que separa o pó dos gases: o coque moído vai para dois silos metálicos e os gases retornam ao moinho, fechando o circuito. Para não haver saturação dos gases com a umidade do coque, há uma permanente renovação dos gases, sendo o excedente lançado à atmosfera após passar por um filtro de mangas automático. Dos silos de armazenagem de coque moído, este sai por gravidade até duas bombas pneumáticas que impulsionam o coque para as duas diferentes estações de queima localizadas no forno e no précalcinador, numa proporção de 40 e 60 %, respectivamente.

Todo o circuito de moagem de coque é fechado e mantido em pressão negativa para evitar a emissão de material particulado para atmosfera.

2.2.1.4 Coprocessamento

A atividade de coprocessamento contempla a utilização de resíduos sólidos, pastosos (blend) e líquidos, para a injeção no forno e no précalcinador, seguindo – se medidas de segurança para a atividade de destruição térmica de resíduos. Estes resíduos são utilizados como substituição térmica e ou substituição de matéria-prima.

Os resíduos utilizados são oriundos de processos diversos, como químicos, petroquímicos, automotivos, eletroeletrônicos, siderúrgicos e outros industriais, os quais têm suas análises realizadas pelo gerador, pela empresa blendadora e pela unidade receptora (fábrica).

Os resíduos sólidos são recebidos a granel, identificados, amostrados e armazenados, em área coberta, com pavimento especial impermeabilizado. Pneus inservíveis picados são armazenados em local não coberto. Após a descarga na tremonha de alimentação, o material é escoado para uma balança dosadora.

A balança dosadora de resíduos é comandada e integrada no sistema supervisório da fábrica.

O galpão da unidade em estudo destina-se a receber resíduos: Classe I, Classe IIA e Classe IIB, a granel (caminhões basculantes). O galpão é dotado de redes de drenagem e mecanismos para recolhimento de eventuais líquidos, visando à proteção do solo e dos mananciais hídricos. Também possui rede de hidrantes e extintores a base de “CO₂ e espuma química”, visando o combate a incêndios.

2.2.1.5 Forno e resfriador de clínquer

Na unidade em estudo, a seção do forno compreende um pré aquecedor de ciclones de quatro etapas, com calcinador, e um forno rotatório com um resfriador de grelha. O forno é rotativo, dimensionado para uma produção de clínquer por 24 horas, com um consumo térmico.

Em especial fornos de clínquer, utilizam como fonte de energia térmica principal, combustíveis tradicionais como: óleos combustíveis, moinha, carvão vegetal e coque de petróleo. Sendo o acendimento do forno, quando frio, se faz com GLP.

Após a transformação da farinha em clínquer através do processo térmico do forno, é realizado o rápido resfriamento do clínquer. O equipamento utilizado é um resfriador de grelha, por onde o clínquer é inflado e resfriado através de ventiladores e deslocado pelo movimento das grelhas. Da saída do resfriador, o clínquer é descarregado em um britador e, após a britagem, o clínquer é transferido para o depósito de clínquer; Toda a transferência é desempoeirada por dois filtros de mangas.

2.2.1.6 Moagem e armazenamento do cimento

Principais componentes dos diversos tipos de cimento, o clínquer, gesso e demais possíveis matérias pozolânicas, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos são extraídos das tremonhas por alimentadores gravimétricos, e enviados diretamente à entrada do moinho de cimento a fim de garantir sua homogeneização e cominuição.

O moinho é dividido em duas câmaras de moagem sendo a primeira câmara provida com revestimento escalonado e a segunda câmara com revestimento classificador. Para assegurar o controle de qualidade do cimento, a sua temperatura não deve exceder 120 – 125°C. O moinho é provido de um equipamento de injeção de água vaporizada na entrada e na saída.

O material moído é transportado a um separador rotativo onde os refugos do separador são devolvidos à entrada do moinho e os finos são conduzidos pelo ar que circula do separador a um ciclone, onde os mesmos são separados com entre cimento acabado e gás. Sendo o excesso de ar do sistema de separação e os pontos de despoeiramento do circuito são enviados a um filtro de mangas.

O cimento acabado é elevado ao topo dos silos onde é separado de acordo com sua tipologia.

2.2.1.7 Ensacamento e expedição do cimento

As superfícies inferiores dos silos são equipadas com regueiras especiais, que garantem a extração e encaminhamento para as instalações de ensacamento manual e ou ensacamento automática.

Em cada instalação de ensacamento, há controles para remoção de qualquer corpo estranho porventura existente no cimento. O cimento é então descarregado em uma das duas tremonhas de alimentação do equipamento de ensacamento. As tremonhas são providas de indicadores de nível que automaticamente iniciam e param a extração do cimento dos silos de armazenagem.

A ensacadeira automática é programada e operada por sistema tendo em sua saída um sistema de “checkway” que pesa todos os sacos e permite correção automática no enchimento de forma independente em cada bico, sendo os sacos colocados nos bicos automaticamente.

Para recuperação do cimento que seria desperdiçado durante o ensacamento, uma tremonha equipada com um parafuso transportador devolve o cimento ao processo de armazenagem inicial.

Os sacos, depois de cheios pelas Ensacadeiras, são transportados por correias transportadoras para a Estação de Carregamento, onde os sacos são direcionados aos dispositivos de carregamento.

Durante o processo de transporte um dispositivo realiza a eliminar sacos rasgados, quando ocorre, do processo de final. Este dispositivo desvia o saco para uma tremonha que retorna o cimento novamente ao processo e os sacos rasgados são armazenados para posterior destinação.

O carregamento dos caminhões também é realizado via empilhadeiras que retiram os pallets carregados com sacos de cimento da paletizadora. As paletizadoras automáticas acondicionam os sacos nos pallets em forma cruzada, fazendo o intertravamento dos sacos.

Para o carregamento de cimento a granel, existe mecanismo de carregamento que extrai o cimento de dois silos. O cimento é extraído das laterais ou fundos. Abaixo do dispositivo de carregamento, existe uma balança para a pesagem dos caminhões.

2.2.2 Coprocessamento

2.2.2.1 Contextualização

A indústria de cimento é considerada acentuada quando se trata de necessidade de energia térmica, uma vez que o processo precisa atingir altas temperaturas. Usualmente, utilizam-se combustíveis fósseis como carvão, óleo combustível e coque de petróleo. O coprocessamento de resíduos industriais é uma alternativa para a redução do consumo de tais combustíveis. Nesse processo, os resíduos são adicionados às matérias-primas substituindo-as, parcialmente, os combustíveis tradicionais (PORTO; FERNANDES, 2006).

A atividade de coprocessamento é definida como uma incineração realizada em fornos rotativos utilizados na produção de clínquer, devidamente licenciada para este fim, com o aproveitamento da exploração energética de frações internas e / ou minerais como matéria-prima sem geração de novos resíduos (SNIC, 2009).

Wehenpohl, Dubach e Degre (2006) definem coprocessamento como o uso de resíduos como matéria-prima (sem alterar a qualidade final do produto), ou como fonte de energia, ou ambos para substituir recursos minerais naturais e combustíveis fósseis (recuperação de energia) em processos industriais, principalmente em indústrias intensivas em energia, como cimento, cal, aço, vidro e geração de energia. Os materiais residuais utilizados para coprocessamento são referidos como combustíveis alternativos e matérias-primas (AFR).

Segundo Kara (2012), o coprocessamento na indústria de cimento é uma técnica de destruição de resíduos térmicos em que a energia térmica gerada pela combustão desses materiais é aproveitada no processo de fabricação de clínquer, mantendo a qualidade da produção em conformidade com as normas e sem alterar a qualidade do cimento produzido.

Os resíduos são incinerados no forno rotativo em temperaturas de 1200 °C e 2000 °C. As altas temperaturas, associadas ao tempo de residência de aproximadamente 30 minutos para materiais sólidos e 3 segundos para gases, condições adequadas de oxigenação, alta turbulência, ambiente alcalino, troca de calor entre os gases de combustão com a matéria-prima, podem garantir a destruição de praticamente todos os orgânicos, neutralização e adsorção de alguns

contaminantes e a incorporação das cinzas dos compostos inorgânicos no clínquer, sem prejudicar a qualidade do cimento fabricado (CEMBUREAU, 2009; MARINGOLO, 2001; SALOMON, 2002).

Antes que esses resíduos sejam colocados em fornos de clínquer (a principal matéria-prima para cimento), existem pré-tratamentos para garantir que as características dos resíduos permaneçam constantes e não causem efeitos adversos ao cimento produzido ou ao meio ambiente (LAMAS; PALAU; CAMARGO, 2013).

A fim de atender aos requisitos atuais de produção, tais como restrições ambientais e energéticas são cada vez mais utilizadas combustíveis alternativos derivados de resíduos. A indústria de cimento tem o potencial de reutilizar resíduos de outras indústrias como combustível substituto ou matéria-prima. Além de eliminar a responsabilidade ambiental imposta pelos resíduos industriais, o processo permite que os compostos minerais, presentes nos combustíveis tradicionais não renováveis substituídos, são incorporados na massa do produto, substituindo parte da matéria-prima e economizando recursos naturais (TREZZA; SCIAN, 2005)

2.2.2.2 Fatores importantes e oportunidades

O coprocessamento é realizado e amplamente difundido na Europa, EUA e Japão desde a década de 70. No Brasil, a primeira prática começou a partir dos anos 90, tendo sido regulamentada nacionalmente em 1999, pela Resolução CONAMA 264. Para tender a sustentabilidade do processo, a atividade deve atender aos requisitos dos órgãos ambientais relevantes e preservar, sobretudo, a qualidade e as características do cimento (LAMAS; PALAU; CAMARGO, 2013).

Para a utilização de biomassa e outros combustíveis alternativos, como fonte energética, devem-se considerar as características físicas e químicas do material, que podem influenciar no rendimento e na manutenção dos equipamentos que realizam os processos de combustão (MOURA *et al.*, 2012). A análise e acompanhamento de variáveis como teor de umidade (%), teor de cinzas (%) e poder calorífico (kcal/kg) elevam a eficiência do material, tornando-o competitivo frente a outras fontes de energia (BRAND, 2007).

O coprocessamento de resíduos é uma fonte de duplo ganho para a indústria cimenteira, estabelecendo assim uma adequada convergência de diferentes

interesses, colocando os fornos de clínquer, na perspectiva do setor industrial como solução única para ambas as partes, que é orientada no eixo “resíduos (geração) - destruição térmica (descarte) - coprocessamento de combustíveis residuais (produção de energia térmica)” e atende às expectativas da indústria de cimento em sua busca contínua por energia de baixo custo e oferta regular, e os interesses de grande porte gerador de resíduos, que anseia por promover o seu destino final e rápido (LAMAS; PALAU; CAMARGO, 2013).

Segundo SNIC (2013), a atividade de coprocessamento apresenta como principais vantagens:

- diminuição e maior controle dos níveis de emissão de poluentes;
- substituição do combustível fósseis;
- diminuição no consumo de energia;
- diminuição da deposição inadequada de resíduos;
- ganho estratégico por aumento de competitividade; e
- melhoria na imagem da empresa frente a comunidade.

Quando observado a tendência história de países desenvolvidos, é notório a tendência de diminuição do número de aterros em operação e a substituição por outras alternativas de destinação, como o coprocessamento. Conforme figura 8 nos Estados Unidos no ano 1988, o número de aterros era de aproximadamente 8000, regredindo para um número inferior a 2000 em 2007, durante apenas 19 anos, representando uma redução de mais de 75% no número de aterros. Santos (2011)

Figura 8: Evolução do número de aterros sanitários em atividade nos Estados Unidos, desde o ano de 1988 até o ano de 2007

Fonte: US EPA (2008).

Considerando a situação da indústria do cimento em constante expansão e a necessidade de utilizar combustíveis mais viáveis financeiramente, o coprocessamento surgiu também como uma grande oportunidade de negócios para o setor. Essa alternativa se mostra de cinco a dez vezes mais barata que as formas convencionais de incineração (LIMA, 2006).

Segundo Galvez-Martos e Schoenberger (2014), os Estados Unidos alcançam uma média de 11% de substituição térmica de combustível pela produção de cimento, enquanto a Europa alcança uma média de 28% de substituição. Entre os países membros da União Europeia, no entanto, as taxas de substituição são muito diferentes, variando de menos de 5% a mais de 80%. Por exemplo, na Áustria a atual taxa de substituição é de 46%, 61% na Alemanha e 83% na Holanda. Nestes países, o coprocessamento de resíduos está bem implementado e, com isto, a fabricação de clínquer pode desempenhar um papel importante nas políticas nacionais e internacionais de resíduos.

No Brasil, há um parque industrial de cimento formado por 102 unidades sendo 60 delas integradas a fornos rotativos, com predominância de presença nas regiões Sudeste e Nordeste, onde 37 dessas unidades são licenciadas para coprocessamento. Os resíduos processados representaram a eliminação de um

passivo ambiental de 1,12 milhões de toneladas. Deste montante, 20% dos resíduos foram utilizados como substitutos das matérias-primas e os restantes 80% como combustíveis alternativos. A taxa de reposição térmica naquele ano devido ao uso de combustíveis alternativos atingiu 8,1% (ABCP, 2015; SNIC, 2016).

2.2.3 Reciclagem

2.2.3.1 Contextualização

Segundo Alves (2003), a reciclagem pode ser definida como sendo um conjunto de procedimentos que possibilita a recuperação e a reintrodução no ciclo produtivo de resíduos das atividades humanas como matérias-primas e/ou insumos de processos industriais, visando à produção de novos bens, idênticos ou similares aqueles que se originaram aos referidos resíduos.

Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação (BRASIL, 2010).

Embora o termo já venha sendo utilizado popularmente para designar o conjunto de operações envolvidas, o vocabulário surgiu na década de 1970, quando as preocupações ambientais passaram a ser tratadas com mais rigor, especialmente após o primeiro choque do petróleo em 1973, com o início da preocupação do esgotamento do petróleo, bem não renovável, por países do Oriente Médio. (SANTOS, 2007).

Em 2002, as diretrizes da Agenda 21 Brasileira apontavam como estratégias para o gerenciamento adequado dos resíduos: a diminuição da geração; o aumento das iniciativas de reutilização e reciclagem ambientalmente corretas; o incremento de sistemas de tratamento e disposição de resíduos e a ampliação dos serviços de coleta e destino final (SATO; SANTOS, 1996).

No Brasil o marco regulatório de fato foi estabelecido com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por intermédio da Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Nesta legislação, define-se a forma como o país deve dispor os seus resíduos, incentivando a reciclagem e a sustentabilidade. A lei estabelece que os geradores de resíduos, deverão ter como meta prioritária relacionada a gestão de

resíduos, a não geração de resíduos; redução; reutilização; reciclagem e a destinação final em sequência de prioridade.

Ministério do Meio Ambiente: É uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos (lixo) mais vantajosa, tanto do ponto de vista ambiental quanto do social: ela reduz o consumo de recursos naturais, poupa energia e água, diminui o volume de lixo e dá emprego a milhares de pessoas.

Morais (2006) propõe alternativas, como redução do consumo de matérias primas, obtidas através da redução e reciclagem de resíduos, aperfeiçoamento de projetos, substituição dos materiais tradicionais por outros mais eficientes e aumento da durabilidade dos produtos; redução do consumo de energia e redução da poluição como principais alternativas sustentáveis para a gestão dos resíduos.

Em diversas regiões do país, além das contribuições ambientais e econômicas, a reciclagem passou também a representar possibilidades de melhorias nas condições de vida. Conforme Figueiredo (2012), as administrações públicas de países desenvolvidos e em desenvolvimento, recorrem ao processo de reciclagem para mitigar os problemas ambientais atrelados a gestão de resíduos; como mecanismo de inclusão social; e como meio de aquecimento econômico. Em países desenvolvidos, a reciclagem se posiciona como principal ferramenta de gestão pública no controle de passivos ambientais gerados pela má gestão pelos resíduos. Enquanto em países em desenvolvimento, a reciclagem desempenha um papel socioeconômico importante.

2.2.3.2 Reciclagem na construção civil

Segundo Jacintho *et al.* (2012), desde o início no final da década de 1980, em alguns países da Europa já começa a desenvolver ações para o gerenciamento dos resíduos de construção civil (RCC). Porém o Brasil, até 2002 não havia legislação própria para gestão desta tipologia de resíduos. Somente em 05 de Julho de 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

As informações sobre a geração e a destinação de RCC no Brasil são escassas, mas a participação no Produto Interno Bruto do setor de atividade de

origem é significativa. A contribuição em massa de RCC em relação aos resíduos sólidos urbanos aproxima-se de 40% (Mariano, 2008).

Segundo Leite (2011), no Brasil, somente no ano de 1995 as primeiras usinas de reciclagem começaram de fato a operar. Para Evangelista, Costa e Zanta (2010), a reciclagem de RCC no Brasil encontra-se em atraso quando comparado aos países europeus. De acordo com o IBGE (2008), dos 5.564 municípios brasileiros, 4.031 municípios (72,45%) possuem “serviço de manejo dos resíduos de construção e demolição”; em 392 municípios (7,05%) tem “existência e tipo de processamento dos resíduos”, 124 (2,23%) existe a “triagem simples dos resíduos de construção e demolição reaproveitáveis (classes A e B)”, em 14 (0,25%) existe “triagem e trituração simples dos resíduos classe A”, em 20 (0,36%) existe “triagem e trituração dos resíduos classe A, com classificação granulométrica dos agregados reciclados” e somente em 79 municípios (1,42%) existe o programa de “reaproveitamento dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos. Estes números sinalizam que a grande maioria dos RCC no Brasil não são reciclados.

Grehs (2016) pontua ainda que em 2008, o IBGE constatou que houve desenvolvimento no cenário de gerenciamento dos resíduos sólidos nos últimos 20 anos, principalmente nas Regiões Sul e Sudeste. Contudo, 50,8% dos municípios brasileiros continuavam a destinar seus resíduos sólidos em depósitos a céu aberto, os lixões.

Em países como Dinamarca, Inglaterra, República Checa, Itália e França Cobrança, há de preços elevados para a deposição de RCC em aterros. O dispositivo de cobrança visa criar um incentivo para a reciclagem dos resíduos, sendo que em cinco países europeus é proibida a deposição de algumas categorias de RCC em aterros. Cada país pode adotar diferentes tipos de proibições, mas todos com objetivo principal é evitar a deposição, no solo, de materiais recicláveis e reutilizáveis (COSTA, 2014).

Segundo Pereira (2002), em Portugal, cerca de 76% do RCC são depositados em aterros, 11% é reutilizado, 9% é reciclado e 4% incinerado. Se comparado a outros países europeus, como o Reino Unido (52%), a Holanda (92%), a Bélgica (89%), a Áustria (48%) e a Dinamarca (81%), o percentual de reciclados/reutilizados ainda é pequeno.

2.2.3.3 Vantagens e pontos de atenção

A reciclagem se posiciona como solução para o gerenciamento dos resíduos sólidos quando atrelado à economia no custo de produção a partir da matéria reciclável, quando comparado à produção a partir de matérias-primas virgens (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

Campos *et al.* (2009) complementam a análise, ressaltando a reciclagem como um processo vantajoso para a sociedade por representar uma possibilidade de solução para três grandes problemas, a geração de emprego para os mais pobres, o controle e redução de resíduos sólidos, e a minimização dos impactos ambientais causados por esses resíduos.

Segundo Rossignoli (2016), entretanto, o processo de reciclagem só é atrativo se assegurar economia no retorno do material às empresas recicladoras e se as tecnologias necessárias para esse fim forem acessíveis e viáveis. Deste modo, cada vez mais se pesquisam e se desenvolvem tecnologias buscando diminuir os custos dos processos de transformação dos resíduos em matérias-primas recicláveis.

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) dentro dos principais processos envolvidos com a logística reversa, a reciclagem é um dos mais importantes. No Brasil, as embalagens PET (politereftalato de etileno) e de alumínio estão entre aquelas com maior índice de reciclagem.

As redes hipermercadistas fazem uso de pontos de coleta de embalagens visando o estímulo de marketing que, considerados outros estímulos (econômicos, culturais, etc.) e as características do comprador, poderiam influenciar o processo de decisão do comprador quanto à sua escolha do local de compra.

Chaves e Batalha (2006) destacam, porém que, para que este processo funcione, é fundamental que os consumidores reconheçam e valorizem a necessidade da coleta seletiva de embalagens. Caso o julgamento dos clientes seja positivo, há haverá a decisão de escolher novamente aquele ponto de venda para efetuarem suas compras e assim a fidelização dos clientes.

Logística reversa

2.2.3.4 Contextualização

O conceito e execução da logística reversa existem nas empresas desde o surgimento do capitalismo, porém restrita a duas formas: sejam através dos produtos que sofreram algum tipo de erro de processo, apresentam danos e retornam sem serem consumidos ou por terem atingido sua obsolescência no mercado, conhecido como logística reversa de pós-venda, e aqueles pós-consumo, que cumpriram sua vida útil, mas permanecem como resíduos utilizáveis. Nesta ultima forma, há dois tipos de produtos: aqueles resíduos que possuem valor agregado importante e, por isso, o próprio mercado os retorna sem muita dificuldade, como metais, peças de motores e equipamentos de medicina, e aqueles que não retornam, pois seus resíduos não têm valor agregado suficiente e não necessitam ainda de desenvolvimento para tornar atrativa a logística de retorno. É o caso típico de plásticos, embalagens Tetra Pak e entulhos de obras (PIRES *et al.*, 2016).

Segundo Govindan, Soleimani e Kannan (2015), a logística reversa, começa nos usuários finais (primeiros clientes) onde os produtos usados são coletados dos clientes (produtos de retorno) e tentativas de gerenciar os produtos no fim da vida útil por meio de diferentes decisões, incluindo reciclagem (ter mais matérias-primas ou peças brutas), remanufatura (para revendê-las para segundos mercados ou, se possível, para os primeiros clientes), reparação (para vender nos segundos mercados através de consertos) e, finalmente, descarte de algumas peças usadas.

A figura 9 ilustra uma cadeia de suprimentos genérica para logística reversa. Nesta figura, as cadeias de suprimentos clássicas (para frente) e reversa são apresentadas por linhas e traços contínuos, respectivamente. Na fase de avaliação de retorno, possíveis decisões sobre produtos de retorno são feitas.

Figura 9: Forma genérica de logística reversa

Fonte: Tonanont *et al.* (2008) (modificado).

Segundo Lacerda (2009), a necessidade contínua de aumento das margens de rentabilidade, impulsionada pela internacionalização da economia, leva muitas empresas a buscarem oportunidades em fontes ainda não explorados, através de operações mais competitivas e inovadoras.

A logística reversa permite que as empresas sejam incumbidas da destinação final adequada de seus produtos e/ou embalagens. Deste modo, diminuição dos riscos associados ao descarte inadequado, realizado pelos consumidores, proporcionando como exemplo, a correta destinação de produtos e embalagens perigosos como baterias, lâmpadas, embalagens de agrotóxicos, entre outros. (ANDRADE; FERREIRA; SANTOS, 2009).

Para Norek (2003), por seu potencial econômico, a logística reversa tem conquistado maior relevância e espaço na operação logística das empresas. Nos Estados Unidos, em grandes empresas, a logística reversa contabiliza cerca de 4% dos custos logísticos totais, o que representa a necessidade de desenvolvimento dos processos e aumento da abrangência dos produtos e materiais retornados.

2.2.3.5 Definição

A logística reversa pode ser definida como a parte da logística que objetiva relacionar tópicos como: redução; conservação da fonte; reciclagem; substituição; e descarte às atividades logísticas tradicionais de compras, como suprimentos, tráfego, transporte, armazenagem (PEREIRA, 2010).

Rogers e Tibben-Lembke (1999) definem como logística reversa o processo de planejamento, implementação e controle de fluxos de matérias-primas, produtos em processo e acabados e de informações, desde o consumidor final até o fornecedor, com o objetivo de recuperar valor ou fazer uma apropriada disposição ambiental.

Adlmaier e Sellitto (2007) ampliam o conceito de logística reversa e a definem como:

Área da logística empresarial que visa gerenciar, de modo integrado, todos os aspectos logísticos do retorno dos bens ao ciclo produtivo, por meio de canais de distribuição reversos de pós-venda e de pós-consumo, agregando-lhes valor econômico e ambiental [...] pela sua reintegração a um ponto do ciclo produtivo de origem, ou a outro ciclo produtivo, sob a forma de insumo ou matéria-prima.

No Brasil, entre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e seu regulamento, Decreto Nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, determinam a importância da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa.

A Política Nacional dos resíduos sólidos define logística reversa como:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, p. 2).

2.2.3.6 Fatores importantes e oportunidades

A fim de garantir êxito na aplicação do processo de logística reversa, alguns fatores, devem ser considerados e analisados, são eles:

- bons controles de entrada, para que não haja confusão com os tipos de materiais que seguirão cada fluxo (revenda, reciclagem, recondicionamento);
- padronização e mapeamento de processos, para garantir a qualidade nos serviços, uma vez que, algumas vezes não há um ciclo contínuo;
- tempo de ciclos reduzidos, tempo da identificação da necessidade até seu efetivo processamento, porque quanto maior o tempo, maiores os custos;
- sistema de informação, para garantir um processo mais eficiente; v-rede logística planejada, uma vez que a ausência de planejamento, pode afetar a qualidade do serviço (LACERDA, 2009).

Rogers e Tibben-Lembke (1999) apontam como as principais barreiras para o desenvolvimento da logística reversa como a subestimação do setor em relação a outros, política da interna das organizações, falta de sistemas, razões competitivas, negligência administrativa, ausência de recursos financeiros e humanos e legislação.

Em contrapartida, os principais fatores que motivam as empresas a implementar a logística reversa segundo Andrade, Pereira e Santos (2009), são razões competitivas, melhoria da imagem corporativa, revalorização econômica, renovação de estoques, ganhos econômicos, responsabilidade sócio-ambiental, recuperação de ativos e/ou de valor, legislação ambiental ou tributária e prestação de serviços diferenciados.

Para Goto, Koga e Pereira (2009), o processo de logística reversa abrange as atividades que uma empresa realiza para coletar, separar, embalar e expedir itens usados, danificados ou obsoletos, dos pontos de consumo até os locais de reprocessamento, revenda ou de descarte. Sendo que, para regressar ao sistema logístico, os produtos podem retornar aos fornecedores; serem revendidos, em condições adequadas de comercialização; reconicionados, se houver justificativa econômica; ou, quando não há possibilidade de recuperação reciclados

O ciclo reverso inicia-se a partir da geração dos resíduos dos processos, logo depois são separados em função da classe, é feita uma classificação final e eles são armazenados separadamente em local definido, para que se providencie a

destinação final do resíduo, que pode ser reciclagem, reaproveitamento em outro novo processo (BUTTER, 2003).

Para Lacerda (2009), os materiais passíveis de aplicação no processo de logística reversa são: produtos e embalagens. Os produtos, devido à possibilidade da necessidade de reparo, reciclagem ou por serem devolvidos por clientes, e as embalagens devido à reutilização ou restrições legais.

2.2.4 Embalagens

Na Comunidade Europeia, a fim de assegurar o livre comércio na União Europeia, foi criada a Diretiva 94/62 com o objetivo de reduzir o impacto negativo das embalagens. A diretiva estabelece algumas medidas para redução de resíduos compreendendo os seguintes pontos: reduzir os resíduos na origem dos mesmos; utilizar materiais recicláveis; reutilizar os materiais, maximizando o nível de rotação; implementar sistemas de recuperação e reciclar continuamente os materiais. (SLIJKHUIS, 2000).

Segundo Leite (2005), na Alemanha, desde 1993 ocorreu a obrigatoriedade de tornar as embalagens recicláveis. O governo começou com as leis em 1991, tornando obrigatório a princípio apenas a reciclagem de embalagens de transporte de bens, depois a embalagem secundária, que é a que envolve a primária, até que se tornou obrigatório para qualquer tipo de embalagem. Fabricantes e todos os participantes da cadeia direta dos produtos, distribuidores e varejistas ficaram submetidos a esta lei. Em um primeiro momento, houve resultado positivo, com um índice de 86% de reciclagem sobre todas as embalagens em 1997. Porém, como meio de evitar os recicláveis. O número de embalagens retornáveis aumentou e houve o aumento da quantidade de plásticos, excedendo a capacidade do país de reciclar, o que desequilibrou o mercado de recicláveis na Europa.

De acordo com Adlmaier e Sellitto (2007), há uma opção pelas embalagens retornáveis uma vez que diminuem desperdícios e riscos ao ambiente. Além disto, em sua maioria garantem maior proteção aos produtos, serem mais confiáveis para os sistemas de produção de alta velocidade de resposta (*Just-in-time*), por serem ecologicamente corretas e oferecerem maior flexibilidade ao usuário, por poderem retornar ao fabricante como material reciclável. Sendo as embalagens retornáveis

ainda utilizadas visando à diminuição da geração de resíduos e custos com embalagens e com o descarte correto das mesmas.

Há no Brasil uma relação a aspectos ambientais, aplicados por uma necessidade de atender à legislação, para o transporte de produtos considerados perigosos. Neste cenário, as embalagens, que podem ser descartáveis e podem perder grande parte do valor durante o consumo do produto, e a logística reversa, tem a finalidade de recolher e destinar o material, ou podem ser retornáveis, cujo valor se mantém após o consumo do produto (ADLMAIER; SELLITTO, 2007).

No Brasil, a necessidade de logística reversa de determinados tipos de embalagens já acontece, como, por exemplo, as siderúrgicas, que usam como matéria prima à produção, a sucata metálica gerada por seus clientes e os fabricantes de bebidas, que têm que gerenciar todo o retorno de suas embalagens (garrafas de vidro) dos pontos de venda até seus centros de distribuição.

Como caso específico, a indústria de latas de alumínio no Brasil destaca-se no aproveitamento do insumo reciclado, tendo buscado e desenvolvido meios inovadores para a coleta de latas pós-consumo, o que colocou o país em primeiro lugar mundial na atividade de reciclagem de alumínio, na frente de países com tradição nesta área, como o Japão e os Estados Unidos (PIRES, 2007).

O Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Embalagens em Geral foi assinado no dia 25/11/2015 e tem como objetivo garantir a destinação final ambientalmente adequada das embalagens.

Uma iniciativa para atendimento a legislação foi a criação do CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), em março de 1992. Após a criação do começou a ser forjado o modelo brasileiro de reciclagem com inclusão social. Em sua primeira fase, entre 2012 e 2014, o plano empresarial previu o incremento da recuperação de embalagens pós-consumo por meio de investimentos das empresas, seja trabalhando em conjunto ou individualmente, em iniciativas de melhorias, capacitação e benfeitorias de estruturas e equipamentos das cooperativas de catadores, além do aumento dos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) para entrega de resíduos recicláveis pela população. Desde então, o número de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) tem crescido substancialmente, saindo de 215 para 2010 para 1646 em 2014 (CEMPRE, 2015).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo aborda o tema de forma quantitativa e qualitativa. A análise quantitativa engloba as quantificações de resíduo de sacarias de cimento pós consumo geradas e o volume passível de logística reversa. A abordagem qualitativa se dá através das análises laboratoriais e análises para qualificar as possíveis reinserções destes resíduos em outros processos.

A pesquisa se limita a indústrias que fazem uso de logística reversa, a fim de se buscar melhores práticas para a aplicação na indústria de produção de cimento.

3.2 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS

O estudo foi desenvolvido através de uma estrutura metodológica composta de duas partes: uma teórica e outra prática.

Revisões da literatura, para apresentação de uma fundamentação dos principais temas abordados compõem a parte teórica da pesquisa. Serão analisados os conceitos e características dos processos de fabricação de cimento, bem como os estudos vinculados ao tema de logística reversa.

O resultado do estudo auxilia a construção de uma metodologia que utiliza a filosofia da aplicação de logística reversa para sacos de cimento pós-consumo, podendo ser aplicada a qualquer tipo de indústria que produza resíduos de tipologias similares.

A parte prática se caracteriza pela identificação, coleta, análises e tratamento de dados coletados em uma indústria de produção de cimento, laboratório químico da própria indústria e centros de triagem e reciclagem de resíduos e em obras civis.

Em seguida, serão confrontados os dados obtidos e analisados em laboratório e em campo, através de cálculos de viabilidade, a fim de identificar dentre as iniciativas de reciclagem e o coprocessamento, as melhores iniciativas que possam validar a proposta final, considerando que todos os volumes de resíduos gerados e captados passem por um processo de logística reversa de forma sustentável.

As conclusões do estudo visam a responder às questões-problema desta pesquisa e identificar formas de contribuir com a gestão sustentável das sacarias de cimento pós-consumo.

3.3 PESQUISA DE CAMPO

A técnica utilizada coleta de dados referente à quantidade anual de sacarias de cimento expedidas pela unidade em estudo, informadas em boletins de expedição da própria unidade.

Serão coletadas amostras de sacos de cimento pós-consumo em 3 obras civis que fazem uso dos cimentos expedidos pela unidade industrial em estudo. As amostras irão contemplar todas as tipologias de cimentos expedidos ensacados pela unidade em estudo, sendo eles CPV, CPIII, CP II F.

Em conjunto a transportadores terceirizados, será realizada pesquisa de dados a fim de viabilizar a logística do transporte dos volumes de sacarias até o destino final, garantindo a logística reversa.

De posse dos dados em campo e das análises subsequentes, será possível levantar as quantidades de resíduos de sacarias geradas pela unidade em estudo, avaliar o custo operacional do transporte das sacarias de cimento pós-consumo e fornecer matéria prima para as análises laboratoriais e em campo a serem realizadas em sequência.

3.4 ANÁLISES POR QUESTIONÁRIO E ANÁLISES LABORATORIAIS

A fim de se conseguir os dados esperados, serão realizadas duas formas de análises para obtenção de dados, as análises em campo e análises laboratoriais.

Análises laboratoriais serão realizadas a fim de se conhecer a aptidão para coprocessamento das amostras de sacaria de cimento pós consumo.

As análises do Poder Calorífico Superior (kcal/kg), teor de umidade (%), teor de cloretos (Cl⁻) na amostra (%) e teor de cinzas (%) serão realizadas através das normas ABNT/NBR 11856:1990, ABNT/NBR 14257:1998, ABNT/NBR16586:2017, com algumas adaptações referentes a procedimentos de análises laboratoriais internas já realizadas dentro da unidade em estudo.

As análises serão realizadas com apoio de um técnico de laboratório químico, garantindo a correta avaliação, comunicação, notificação e lançamentos dos resultados em planilha de registros.

3.5 METODOLOGIA DE ANÁLISES POR QUESTIONÁRIO

Após o levantamento da listagem das empresas, industriais, instituições e organizações habilitadas a realização de reciclagem de resíduos dentro do Estado do Rio de Janeiro, será aplicado um questionário para filtrar quais aquelas que estão aptas a realizar o processo de reciclagem dos sacos de cimento pós-consumo e se aplicável, o preço por tonelada reciclada. .

Em paralelo, após levantamento das empresas blendeiras, aptas a realizarem a trituração das sacarias para encaminhamento a coprocessamento na unidade industrial em estudo, será aplicado questionário para levantamento dos preços a serem taxados por tonelada triturada.

3.6 METODOLOGIA DE ANÁLISES LABORATORIAIS

3.6.1 Determinação do peso unitário dos sacos de cimento pós-consumo

- Limpar superfície da balança;
- Garantir que a tara em branco da balança seja igual a 0 gramas.
- Pesar cada unidade de sacos de cimento pós-consumo.

Figura 10: Balança de pesagem de amostras

Fonte: O autor (2018)

3.6.2 Preparação e quartejamento de amostras

- Colocar a amostra no moinho de facas para a primeira homogeneização;
- Retirar a amostra e realizar o quartejamento.

Figura 11: Tritador de Facas

Fonte: O autor (2018)

3.6.3 Solução de ácido nítrico 1:5

- Medir 10 mL de ácido nítrico PA em uma proveta;
- Medir 50 mL de água deionizada em uma proveta;
- Transferir o ácido nítrico + a água deionizada para um balão

volumétrico de 100 mL;

- Homogeneizar e transferir para um frasco conta gotas.

3.6.4 Solução de nitrato de prata 0,01N

- Pesar 1,6987g de Nitrato de Prata;
- Transferir para um balão volumétrico de 1000 mL;
- Completar com água deionizada e homogeneizar.

3.6.4.1 Fatoração da solução de nitrato de prata 0,01n

- Realizar a fatoração quando acaba a solução do titrino.
- Pesar 1g de Cloreto de Sódio (NaCl);
- Secar na estufa a 110°C durante 6 horas;
- Para a fatoração pesar 0,006g de Cloreto de Sódio (NaCl) já seco e dissolver em 50 mL de água deionizada;
- No Titrino (para fazer a fatoração)
- Teclar enter (procurar a opção chamar método);
- Teclar select = com a tecla enter, procurar FAT CL;
- Teclar enter novamente;
- Lançar no titrino o valor de NaCl pesado.
- Exemplo: Se pesar 0,0061g lançar no titrino 6,1g
- Adicionar 5 mL da Solução de Ácido Nítrico 1:5;
- Teclando enter vai executar normalmente a leitura, refazer 3x a leitura.

3.6.5 Determinação de umidade

- Pesar uma cápsula de porcelana/vidro ou ferro vazia (P), anotar o peso;
- Colocar 10g de amostra na cápsula (P1), anotar o peso;

- Levar a cápsula com amostra para chapa à 70°C, em caso de AF, para AR colocar na estufa à 100°C;
- Deixar a amostra durante uma hora na chapa,
- Retirar o material da chapa/estufa para esfriar;
- Em seguida, anote o peso final (P2).

Cálculo: Umidade (%) = $[(P1-P2) \times 100] \div P$

Figura 12: Chapa aquecedora

Fonte: O autor (2018)

3.6.6 Determinação de cinzas e poder calorífico superior para amostras de sacos de cimento pós consumo

- Pesar o cadinho de níquel vazio (P), anotar o peso;
- Colocar 1g ± 0,5g da amostra (P1), anotar o peso;
- Passar o fio metálico na bomba calorimétrica, depois colocar o cadinho de níquel na bomba calorimétrica;
- Fechar a bomba calorimétrica;
- Inserir 400 Psi de Oxigênio na bomba calorimétrica;
- Levar a Bomba Calorimétrica para o aparelho calorímetro;
- Ligar o aparelho, aguardar a análise;
- Conectar os fios do aparelho na bomba calorimétrica;
- Inserir a massa de da amostra e teclar START;
- Finalizando o ensaio, o resultado sairá na tela do aparelho;
- Retirar a bomba do calorímetro;

- Retirar o Oxigênio da bomba.
- Retirar o cadinho de níquel, levar ele a chapa deixando secar completamente;
- Retirar o cadinho de níquel da chapa, esperar esfriar e anotar o peso final (P2).

Cálculo: Cinzas (%) = $[(P1-P2) \times 100] \div P - 100$;

Figura 13: Calorímetro

Fonte: O autor (2018)

Figura 14: Balança de precisão laboratorial

Fonte: O autor (2018)

3.6.7 Determinação de cloretos de sacos de cimento pós consumo

- Fazer a lavagem interna da bomba com água deionizada;
- Transferir essa água de lavagem para um Becker com bastão magnético;
- Adicionar 5ml de Solução de Ácido Nítrico 1:5 no Becker com bastão magnético;
- Colocar o Becker no agitador do titrino, inserir eletrodo;
- Ligar o agitador do titrino;
- Inserir o peso de massa da amostra no titrino e aguardar o titrino fazer a leitura.

Figura 15: Titrino

Fonte: O autor (2018)

3.6.8 Análise química quantitativa

- Pesar 20g de resíduo innatura;
- Adicionar 10g de ácido bórico;
- Adicionar 10 mL de álcool etílico;
- Deixar moer no moinho de panelas durante 4min;
- Retirar a amostra, levá-la a chapa para secar;
- Retirar da chapa;
- Pesar $15g \pm 5g$ e prensar na prensa manual;
- Fazer a leitura da pastilha na curva de varredura do raio-x.

3.7 ANÁLISES DE VIABILIDADE

Após levantamento das organizações aptas a realizarem a reciclagem ecoprocessamento, e a análise laboratorial da aptidão das sacarias de cimento pós-consumo para o coprocessamento, será realizada a estimativa dos melhores pontos de entrega das sacarias, dentre os centros de distribuição da indústria em estudo ou diretamente nos próprios pontos de processamento.

Para cada destinação será realizado o mapeamento dos melhores pontos de processamento. Os pontos que disporem das menores distancias serão mapeados e posteriormente será calculado o preço de transporte entre os pontos de entrega e empresa que irá processar o material.

Reciclagem: Será realizado o mapeamento considerando as menores distâncias entre os pontos de coleta e as organizações aptas a realizarem a reciclagem.

Coprocessamento: Será realizado o mapeamento em duas etapas considerando as menores distâncias entre os pontos de coleta e as blendeiras, aptas a realizarem a trituração das sacarias de cimento pós-consumo e a distância entre as blendeiras e a unidade industrial em estudo.

Especificamente para o fim de coprocessamento, será utilizado o cálculo baseado em metodologia utilizada pela indústria em estudo para obtenção de valor GAV (Gross Added Value).

A fim de ter o levantamento do custo ou benefício financeiro da substituição térmica dos combustíveis tradicionais utilizados na indústria em estudo pela utilização do combustível alternativo, sacaria de cimento pós-consumo.

CAF: Custo Térmico sacaria

CAT: Custo Térmico combustível tradicional

PAF: Preço por tonelada (R\$/Ton) entregue na indústria do combustível alternativo.

PAT: Preço por tonelada (R\$/Ton) entregue na indústria do combustível alternativo.

PCI AF: Poder Calorífico do Combustível Alternativo

PCI TF: Poder Calorífico do Combustível Tradicional

TSR: Taxa de Substituição de Térmica

Pkk: Produção anual de Clinquer

CT: Consumo Térmico

VTs: Volume Total de Sacaria

CF: Custo Frete

CP: Custo Processamento

C Antes: Custo Térmico de Total sem sacaria

C Depois: Custo Térmico de Total com sacaria

$$CAF = PAF / (PCI \cdot AF \cdot 4,1868 / 1000)$$

$$TSR = (Pkk \cdot CT) / (PCI \cdot AF \cdot 4,1868 \cdot VTS)$$

$$C \text{ Antes} = (CAT) \cdot CT / 1000$$

$$C \text{ Depois} = (TSR \cdot CAF) + (1 - TSR \cdot CAT) \cdot CT / 1000$$

$$GAV = ((C \text{ Antes} - C \text{ Depois}) \cdot Pkk)$$

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 LEVANTAMENTO DE INSTITUIÇÕES PARA RECICLAGEM

Para o estudo de viabilidade de processamento da logística reversa com fins para a reciclagem das embalagens de cimento pós-consumo. Foi realizado um levantamento de instituições e organizações de recicladores e catadores do Rio de Janeiro, cadastradas no programa do Governo Estadual do Rio de Janeiro denominado Pacto pela Reciclagem, habilitadas a realização de reciclagem de resíduos.

O Pacto pela Reciclagem – Projeto Coleta Seletiva Solidária, é um compromisso firmado entre as Secretarias Estadual e Municipal do Ambiente do Rio de Janeiro, Secovi Rio, Febracom (Federação das Cooperativas de Catadores de Materiais Recicláveis do Rio de Janeiro), Firjan (Federação das Indústrias do Rio de Janeiro) e Movimento Nacional dos Catadores de Material Reciclável (MNCR).

De posse da lista de 27 associações de reciclagem e catadores, foram realizadas entrevistas com perguntas objetivas. A aplicação do questionário apresentou os seguintes resultados:

Tabela 4: Lista com status das instituições contactadas

Cooperativa	Status	Tem interesse pela reciclagem do resíduo?	Se sim, processo ou somente transporta	Observação
ACAMJG, Associação de Catadores de Gramacho.	Contato feito por telefone.	Não	-	Reciclam resíduos do aterro de Gramacho.
ACMR, Associação de Catadores de materiais recicláveis.	Telefone não compatível.		-	Telefone Residencial não é da associação
BARRACOP	Telefone não compatível.		-	Ligações
COOPAMA	Contato feito por telefone.	Não	-	Barreira: resquício de cimento. Opera somente com materiais limpos
COOPCAL, Cooperativa de Catadores do Complexo do Alemão	Telefones indisponíveis		-	Telefone fixo e móvel - não atende
COOPCARMO, Cooperativa Mista de Coleta Seletiva e Reaproveitamento de Mesquita	Contato feito por telefone.	Não	Não	Não acha viável pela distância até o Rio de Janeiro
COOPCAT Cooperativa mista de Catadores de Materiais de Barra Mansa Ltda.	Contato feito por telefone.	Não	Não	Não aceita pelo fato de ter cimento na sacaria
COOPERANGEL	Contato feito por telefone.	Sim	Somente Transporta	No momento esta sem estrutura de transporte. Se disse interessada futuramente
COOPERATIVA BEIJA FLÔR	Telefone não compatível.		-	

COOPERLIBERDADE, Cooperativa de Reciclagem Eu Quero Liberdade Ltda	Telefones indisponíveis		-	Ligações feitas e não atendeu
COOPERATIVA MORRO DO CÉU	Contato feito por telefone.	Não	-	Direcionou para ECONIT (21) 3716 9669 (Nayara)
COOPERCENTRO	Contato feito por telefone.	Não	Não	Não tem interesse pela presença de cimento na sacaria
COOPERGRAMACHO	Telefone não compatível.		-	
COOPER RIO OESTE	Contato feito por telefone.	Não	-	Recicla somente papel branco
COOPERNORTE	Telefone não compatível.		-	Telefone não compatível.
COOPERSOCIAL	Telefones indisponíveis		-	Caixa de mensagem
COOPGERICINÓ, Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de Gericinó	Telefones indisponíveis		-	Caixa de mensagem
COOPQUITUNGO, Cooperativa Coopquitungo Cooperandoe Reciclando o Rio Ltda.	Telefone não compatível.		-	Número mudou
COOPTUBIACANGA	Telefone não compatível.		-	Contato feito por e-mail e sem retorno
COOTRABOM	Telefones indisponíveis		-	Chamou até cair a ligação
ECONIT (Direcionada pela Cooperativa Morro do Céu)	Contato feito por telefone.	Sim	Somente Transporta	Não tem capacidade de processar o material
GAMACOOPELA	Telefone não compatível.		-	Tentado contato pelo site mas sem retorno. Site movimentado em 2010
RECICLAGEM VIDA NOVA	Telefones indisponíveis		-	Telefone fornecido indisponível
RECICLAGEM VIVA A VIDA	Contato feito por telefone.	Não	-	Volume grande. Trabalha com artesanato em material reciclado, confecção de roupa feminina e outros.
RECOOPERAR	Contato feito por telefone.	Não	-	Não aceito por causa do resquício de cimento na sacaria e pela localidade que nos encontramos.
RIOCOOP, Cooperativa de Coleta Seletiva e Reciclagem de Materiais Plásticos e Resíduos Ltda.	Contato feito por telefone.	Não	-	Interesse somente por materiais plásticos
SARAIVACOOP, Cooperativa Mista da Comunidade de Saraiva	Contato feito por telefone.	Não	-	Atesta por ser cooperativa pequena, foco somente em Duque de Caxias
TRANSFORMANDO, Cooperativa de Transformadores Ambientais	Contato feito por telefone.	Não	-	Não tem interesse pela presença de cimento na sacaria

Fonte: O autor (2018)

Conforme Batista (2013), as cooperativas de catadores e reciclagem apresentam difíceis perspectivas limites na industrialização da reciclagem no Estado

do Rio de Janeiro, sendo ainda, em grande parte, dependentes de políticas públicas.

Neste contexto, o cenário encontrado na tentativa de contato com as instituições abordando o interesse pela aplicação e operacionalização da logística reversa para fins de reciclagem foi bastante desfavorável.

Inicialmente em apenas 50% das instituições contatadas foi possível obter êxito no contato. Para os demais contatos das instituições, em 21% das vezes os números estavam indisponíveis, como desligados, fora da área de cobertura celular ou foram direcionados a caixa de mensagem, e em 29% os números não eram compatíveis com a instituição ou não existiam conforme mostra o gráfico apresentado na Figura 16.

Figura 16: Resultado de tentativa de contato com recicladores

Fonte: O autor (2018)

Dentre as 14 instituições das quais foi possível o contato, apenas 2 delas demonstraram interesse pela recepção do volume de embalagens de cimento pós-consumo. Um dos maiores entraves indicados pelas instituições foi a presença de resquícios de cimento presentes na embalagem, devido ao fato de demandar um esforço manual grande para o retorno financeiro baixo conforme mostra o gráfico apresentado na Figura 17.

Figura 17: Instituições que demonstraram interesse pela reciclagem das embalagens

Fonte: O autor (2018)

Ainda dentre as duas instituições que demonstraram interesse, foi questionado se as mesmas iriam processar o material para fins de reciclagem ou apenas transportar para outra empresa. Ambas as instituições afirmaram não realizarem o processamento dos resíduos, sendo apenas responsáveis pelo transporte até outras unidades industriais fora do Estado do Rio de Janeiro. Além disto, ambas não disponibilizaram o contato das empresas as quais é realizado a destinação dos volumes.

Tendo este cenário desfavorável em vista, com ausência de instituições interessadas e aptas a processar o volume de embalagens de cimento pós-consumo, foi definida a opção pela não utilização da alternativa de reciclagem para estudo.

4.2 LEVANTAMENTO DE EMPRESAS PARA COPROCESSAMENTO

Para o estudo de viabilidade de processamento da logística reversa com fins para coprocessamento, foi realizado um levantamento das empresas Blendadeiras, aptas a receber os volumes de sacarias de cimento pós consumo, que já realizam o

envio de blends de resíduos para a unidade industrial em estudo e considerando uma distancia máxima de 200km.

Neste cenário, foram obtidas empresas, com as seguintes localizações e distâncias até a unidade industrial em estudo conforme apresentada na Figura 18.

Figura 18: Distâncias das blendeiras e a fábrica de cimento

4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS VOLUMES

A unidade industrial em estudo realiza a expedição de duas formas: a granel ou ensacados. Para este estudo, foi considerado os dados de expedição entre os anos de 2015 e 2018. No final do ano de 2015 a unidade passou por um novo enquadramento estratégico comercial visando um número maior de indústrias de artefatos e indústrias de concreto. Neste novo cenário, registra-se um aumento superior a 30% no volume de cimento expedido a granel, diminuindo, conseqüentemente a 2 milhões de unidades de embalagens de cimento expedidas a partir do ano de 2016.

	Peso	% Granel	Quantidade de Sacarias
	Ton	%	Unidades
2015	527461	7%	10579853
2016	629364	34%	7986436
2017	716770	43%	8403212

Tabela 5: Quantidade anual de embalagens expedidas

Fonte: O autor (2018)

4.3.1 Amostragem das embalagens

Para o desenvolvimento, foram coletadas amostras de sacarias de cimento pós consumo em 2 obras aleatórias nas proximidades da unidade industrial em estudo, e na própria unidade industrial, amostras de sacarias antes de seu enchimento e consumo, denominadas sacarias limpas. No ato da coleta foram priorizadas as embalagens integras, que possuísem apenas uma abertura para consumo, evitando assim possíveis divergências na pesagem.

No ato da amostragem obteve-se 5 amostras de cada uma das 4 tipologias de cimento expedida pela unidade industrial em estudo, CP II F 32 (50kg), CP III 40 (50 kg), CP II F 32 (25kg) e CPV, garantindo assim a possibilidade de se identificar possíveis divergências decorrentes das diferenças de composição e finura entre as tipologias de cimento conforme mostram as sacarias apresentadas na Figura 19.

Figura 19: Amostras de sacarias para os ensaios

Fonte: O autor (2018)

4.3.2 Pesagem das embalagens amostradas

As amostras coletadas foram pesadas individualmente em balança laboratorial, certificada pelo Inmetro. Toda a superfície da embalagem coletada foi disposta sobre a superfície da balança.

Tabela 6: Registro de pesagens unitárias (kg) de amostras de embalagens

Tipo	Capacidade	01/mar					Peso Médio	Peso Médio Total	Aumento de peso	Aumento Médio
		1	2	3	4	5				
Sacaria limpa	50kg	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,164	16,7%	17,46%
Mistura sacarias	50kg	-	-	-	-	-	-			
Sacaria CPIIF32	50kg	0,15	0,16	0,18	0,15	0,16	0,163			
Sacaria CPV	50kg	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16	0,163			
Sacaria CPIII 40	50kg	0,16	0,16	0,19	0,17	0,16	0,168			
Sacaria CPIIF32	25kg	0,9					0,9			

Fonte: O autor (2018)

4.4 ESTUDO DE TRANSPORTE

4.4.1 Compactação e montagem de fardos

Devido a composição da embalagem ser de papel kraft e sua forma após o consumo final apresentar conformação heterogênea, a capacidade de transporte de grandes quantidades de embalagens de cimento pós consumo se apresentou como um possível entrave da operação de logística reversa.

Deste modo, buscando a viabilidade econômica e ambiental do processo, foi desenvolvido em uma unidade industrial de preparação e blendagem de resíduos, o envio de uma carga teste de sacarias de cimento pós consumo e realizado a prensagem para montagem de um fardo teste utilizando uma prensa para papel e papelão apresentada na Figura 20.

A tentativa de montagem da estrutura do fardo foi realizada utilizando a capacidade máxima do equipamento, permitindo um volume de $0,45\text{m}^3$. Novamente devido à disparidade da conformação das embalagens, fez-se necessário o uso de lâminas de papelão para o envelopamento do fardo e posteriormente amarração com tiras de aço conforme mostra, a seguir, a Figura 21.

Figura 20: Frente e lateral da prensa utilizada na montagem do fardo

Fonte: O autor (2018)

Figura 21: Aspecto do fardo de sacarias pós consumo envelopado com lâminas de papelão e amarrado com tiras de aço

Fonte: O autor (2018)

Para se tornar viável o transporte foi feito deste fardo envelopado com lâminas de papelão um fardo padrão conforme mostra a Figura 22.

Figura 22: Fardo padrão para transporte

Fonte: O autor (2018)

4.5 VIABILIDADE LOGÍSTICA

Atualmente a unidade industrial em estudo possui contrato com empresa do ramo logístico, para prestação de serviço de transporte de embalagens de cimento até outras três unidades de distribuição e revenda do mesmo grupo, localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro-RJ, são elas: Unidade Marechal Hermes, Unidade São Gonçalo e Unidade Santa Cruz.

O transporte é realizado em caminhões bitrem, com capacidade máxima de 36 toneladas conforme mostra a Figura 23. Após a entrega nas unidades, os caminhões retornam a sua origem, Cantagalo-RJ vazios. Neste cenário, foi observado a oportunidade de utilização de frete de retorno, entre os centros de distribuição e revenda e a blendeira apta a realizar o processamento dos fardos montados de embalagens de cimento pós-consumo.

Figura 23: Modelo de caminhão bitrem utilizado no transporte de cimento ensacado

Fonte: O autor (2018)

4.5.1 Capacidade de transporte dos caminhões

Considerando as seguintes medidas dos caminhões apresentadas na Tabela 7 e na Figura 24, pode-se afirmar que será possível transportar 45 fardos de embalagens por segmento de carreta bitrem.

Tabela 7: Capacidade de transporte de fardos

	Carreta	Fardo	Quantidade de fardos
Cumprimento	7,48	0,8	9
Largura	2,54	0,5	5
Altura	0,6	1,1	
Total por trem			45

Fonte: O autor (2018)

Figura 24: Capacidade de transporte de fardos

Fonte: O autor (2018)

Considerando a massa específico do fardo de embalagem de cimento pós consumo de 182,45 kg, é possível afirmar que a carreta bitrem terá a capacidade de transporte de 16,4 toneladas por viagem, carregadas com 90 fardos distribuídos uniformemente sem empilhamento conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8: Montagem de fardos

	Peso (ton)	Fardos
Por fardo	0,18	-
Por carreta	16,4	90
Por mês	123	673
Por unidade	41	224,5
Por unidade/dia	2	10

Tempo de montagem	20 minutos
Tempo por dia	3,33 horas

Fonte: O autor (2018)

Durante o processo de montagem do fardo teste, foi observado um tempo médio de montagem de 20 minutos por fardo. Tendo em visto a necessidade de montagem média de 10 fardos por dia por unidade, para atendimento do volume a ser recebido pela operação. Deste modo, calculou-se a necessidade de tempo de 3,33 horas por dia útil, dedicado para um funcionário na montagem dos fardos.

Considerando uma margem de descanso e pausas, foi estimada a necessidade de um operador durante meio turno para a operação conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Custo para montagem de fardos

	Unidade	Unidade Marechal Hermes	Unidade São Gonçalo	Unidade Santa Cruz
Número de funcionários	Unidade	1,0	1,0	1,0
Horas trabalhadas	Horas/mês	88,0	88,0	88,0
Custo total	R\$/mês (1/2 turno)	1144	1144	1144
Peso médio	Ton/mês	123,0	123,0	123,0
Custo específico	R\$/Tonelada	9,3	9,3	9,3
Custo total médio	R\$/Tonelada	9,3		

Fonte: O autor (2018)

O custo médio observado do modelo de prensa utilizada é de R\$13.900,00. Considerando-se a necessidade de compra de 3 unidades, se prevê um investimento de R\$41.700,00 para montagem das unidades de compactação.

Após o mapeamento logístico das possíveis empresas passíveis de recebimento, foi observado que a empresa Blendeira com maior atratividade logística é a Blendeira B conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10: Relação distância entre as unidades

	Município	Distância unidade Marechal Hermes	Distância unidade São Gonçalo	Distância unidade Santa Cruz
Blendeira A	Magé-RJ	60,6	46,5	89,5
Blendeira B	Magé-RJ	52,4	45,5	81,2
Blendeira C	Macaé-RJ	189	144	216

Fonte: O autor (2018)

Deste modo, foram realizados dois levantamentos, sendo um direcionado para orçamento de custo de transporte junto a transportadora responsável pelo frete de retorno e outro para obtenção da estimativa do custo do processamento das embalagens de cimento pós consumo pela Blendeira B em conformidade com a Tabela 11 e a posição das unidades no mapa do Estado Rio de Janeiro apresentado na Figura 25.

Tabela 11: Relação custo de transporte e processamento

	Município	Unidade Marechal Hermes	Unidade São Gonçalo	Unidade Santa Cruz
Custo Transporte	R\$/Tonelada	26,0	21,5	39,6
Custo montagem do fardo	R\$/Tonelada	80,0	80,0	80,0
Custo processamento e entrega	R\$/Tonelada	9,3	9,3	9,3
Custo total	R\$/Tonelada	115,3	110,8	128,9
Custo total médio	R\$/Tonelada	118,3		

Fonte: O autor (2018)

Figura 25: Mapa de distribuição das unidades

4.5.2 Fator abertura de embalagens

Durante o processo de pesagem, foi observado que as embalagens abertas ao meio, continham mais cimento residual, aproximadamente 0,1 a 0,2 gramas a mais que as demais embalagens pós consumo. Este valor se observado separadamente poderia ser considerado irrelevante, porém, após a realização dos cálculos de viabilidade de transporte, foi possível quantificar o impacto do efeito rejeito, no transporte das sacarias de cimento pós consumo.

O percentual aportado pelo rejeito advindo das embalagens que foram abertas ao meio foi de 13,1%. Mantendo esta proporção para o transporte, pós prensagem, conclui-se que há um adicional do mesmo percentual de cimento, material sem aporte térmico, retornando para o processo produtivo. Além disto, o cliente final, usuário, perde com a não utilização do material adquirido.

Neste cenário, visando a diminuição das perdas do cliente, diminuição do volume retornado e consequente diminuição do custo com transporte da operação, a propõe-se a adição no *design* da sacaria de uma indicação de rasgamento da embalagem na parte inferior, permitindo assim que um volume maior de cimento se desprenda da sacaria conforme mostra a Figura 26.

Figura 26: Proposta de *design* de embalagem

Fonte: Adaptado de www.istockphoto.com/br

4.6 RESULTADOS DE ANÁLISE LABORATORIAL

Análises laboratoriais foram realizadas a fim de se conhecer as propriedades das amostras de sacaria de cimento pós consumo para coprocessamento.

Anteriormente as análises do Poder Calorífico Superior (kcal/kg), teor de umidade (%), teor de cloretos na amostra (%) e teor de cinzas (%), foi realizado a preparação das amostras. A preparação constitui da separação das embalagens por tipologia de cimento, processo recorte manual das em partes inferiores a 50mm, trituração em equipamento específico e preenchimento de cadinho e pesagem. Todos procedimentos conforme normas ABNT/NBR 11856:1990, ABNT/NBR 14257:1998, ABNT/NBR 16586:2017, com algumas adaptações referentes aos procedimentos de análises laboratoriais internas já realizadas dentro da unidade em estudo. A figura 27 apresenta cortes das embalagens de cimento para as análises, enquanto a Figura 28 apresenta as amostras das sacarias já trituradas.

Figura 27: Amostra pós recorte manual

Fonte: O autor (2018)

Figura 28: Amostras das sacarias já trituradas

Fonte: O autor (2018)

A Tabela 12, a seguir, representa os resultados das amostras das sacarias referentes ao poder calorífico superior, cloreto, cinzas e o teor de umidade.

Tabela 12: Resultados dos ensaios laboratoriais

Tipologia	PCS Kcal/kg	Cloreto %	Cinzas %	Umidade %
Sacaria limpa	3614,3	0,1	4,94	3,29
Mistura sacarias	3625,8	0,09	11,67	8,71
Sacaria CPIIF32	3516,8	0,09	8,96	6,39
Sacaria CPV	3638,5	0,07	5,33	10,23
Sacaria CPIII 40	3622,6	0,04	5,54	5,88
Sacaria CPIIF32 25kg	3417,2	0,04	12,54	5,62

Fonte: O autor (2018)

Poder Calorífico Superior – PCS (kcal/kg): Todas as amostras apresentaram resultados satisfatórios por estarem aproximados aos valores encontrados por Marco *et al.* para materiais derivados de papeis, nos demais blends de resíduos sólidos utilizados em estudo, entre 2800 kcal/kg a 4500kcal/kg.

Em nível de restrição ambiental, não há legislação legal estabelecendo um limite mínimo para PCS no Estado do Rio de Janeiro. Quando comparados a legislação no Estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa 154/2010, estabelece o valor mínimo de 2000kcal/kg para substituição de combustível, valor este bastante inferior aos acima encontrados.

Cloreto: Conforme Costa (2014), a análise do teor de Cl^- nos combustíveis esta intimamente relacionada as preocupações ligadas ao processo de produção, uma vez que sua volatilização poderá promover distúrbios como obstruções nos ciclones.

Nas análises realizadas, foi observado teores muito inferiores de cloro (cloreto) quando comparados a referência máxima permissível da própria unidade em estudo, ou seja, maior que 0,4%.

Umidade: Diferentemente do processo de transporte e armazenamento de embalagens pré-consumo, quando todos os cuidados são tomados a fim de evitar o contato com superfícies úmidas, as situações encontradas nos pontos de amostragem das embalagens pós consumo não apresentavam o mesmo cuidado. Deste modo, as embalagens de cimento pós consumo estão mais sujeitas a retenção de umidade. Na análise realizada, foi possível observar um incremento de 3% a 7% de umidade quando comparadas as embalagens pré e pós consumo.

Cinzas: A quantidade de cinzas presentes nas amostras esta intimamente ligada a quantidade de remoção de cimento aderida as partículas amostradas, uma vez que o cimento é o componente majoritário. As cinzas da embalagem representaram 4,94%, e após o consumo houve um incremento de 0,4% a 7,5% no teor de cinzas. O baixo teor de cinzas indica também a facilidade de queima da maior parte das embalagens pós-consumo, reforçando assim sua aptidão para geração de energia térmica.

4.7 CALCULOS VIABILIDADES

4.7.1 Viabilidade térmica

Para realização dos cálculos de viabilidade térmica, foram utilizadas as fórmulas descritas na metodologia de análise de viabilidade, item 3.7.

No primeiro estágio, buscou-se calcular o percentual térmico passível de substituição da matriz energética do forno da unidade industrial em estudo, tendo como base a quantidade e peso total anual expedido e retornado por meio de logística reversa e o poder calorífico superior encontrado após a realização das análises laboratoriais conforme apresentado na Tabela 13

Tabela 13: Resultados de cálculo de substituição térmica

Item	Unidade	2015	2016	2017
Peso	t	527.461	629.364	716.770
% Granel	%	7%	34%	43%
Quantidade de embalagens	Unidades	10.579.853	7.986.436	8.403.212

Peso médio unitário da embalagens pós consumo	kg	0,164	0,164	0,164
Peso total das embalagens pós consumo	kg	1.735.096	1.309.776	1.378.127
Peso total das embalagens pós consumo	t	1.735	1.310	1.378

Produção de clínquer	t/ano	717.970	599.484	584.657
Consumo térmico específico do forno	MJ/t	3.447	3.516	3.473
Consumo térmico total do forno	MJ	474.973.168	2.108.066.111	2.030.464.500

Poder Calorífico Superior da embalagem	Kcal/kg	3.564,00	3.564,00	3.564,00
Poder Calorífico Superior da embalagem	MJ/t	14.922	14.922	14.922
Calor total fornecido pelas embalagens	MJ	25.890.676	19.544.150	20.564.069

Substituição Térmica	%	1,05%	0,93%	1,01%
-----------------------------	----------	--------------	--------------	--------------

Realizado os cálculos para compreender o aporte de energia térmica advinda das embalagens de cimento pós consumo, obteve-se o percentual próximo a 1% de substituição térmica de toda a matriz energética utilizada na unidade industrial em estudo, por meio do coprocessamento deste material.

Na metodologia utilizada para cálculo da viabilidade de coprocessamento dos resíduos, tem-se como três pilares: substituição térmica, a possível receita caso haja pagamento para a prestação de serviços de coprocessamento e os custos envolvidos para operacionalização do coprocessamento como o custo de transporte, trituração e mão de obra.

Figura 29: Simbologia do Gross Added Value

Após o cálculo do aporte térmico, foram desenvolvidos os cálculos financeiros comparativos, entre a operação normal da unidade industrial em estudo e após um incrementado médio de 1% de substituição térmica advinda de embalagens de cimento pós consumo apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados cálculo de GAV

		Normal	Embalagem CPC
Produção Clinquer	t/ano 2017	634.037	634.037
Produção Clinquer	t/dia	2.304	2.304
Consumo Térmico	MJ/Ton kk	3.479	3.479
Poder Colorífico Superior Embalagens CPC	kcal/kg	-	3.564
Consumo Embalagens CPC	t /h	-	1474
Comb. Tradicional	%	73,7%	72,68%
Comb. Alternativo Total	%	26,3%	27,32%
Aumento Co-processamento	%	-	1,00%
Custo Comb. Tradicional	R\$/GJ	14,73	14,73
Custo comb. Alternativo Embalagem CPC	R\$/GJ	0,00	7,93
Custo comb. Tradicional no mix	R\$/GJ	10,85	10,71
Custo comb. Alternativo Embalagem CPC no mix	R\$/GJ	0,00	0,08
Custo total de Combustível	R\$/GJ	12,14	12,07
Custo total de Combustível	R\$/t kk	42,2	42,0
Saving aumento coprocessamento	R\$/t kk	-	0,24
GAV	R\$	-	R\$ 150.039

4.7.2 Viabilidade financeira

Após a realização do primeiro cenário de cálculo de viabilidade, foi obtido com a operação de logística reversa de embalagens de cimento pós consumo um GAV de 150.003 reais/ano. Considerando um investimento inicial R\$41.700,00, tem-se um payback simples de 3,3 meses, com confirmando a viabilidade da operação.

Considerando que a entrega das embalagens de cimento pós consumo realizada pelo cliente final, distribuidores e revendedores em uma das três unidades da empresa listadas anteriormente, é peça fundamental no fluxo do processo e, tendo em vista os entraves e dificuldades sociais, econômicos e culturais quanto a gestão de resíduos no país, foi calculado a possibilidade de conversão do GAV em desconto para os usuários que realizarem o entrega correta as embalagens.

Visando evitar uma operação que gera deficitária, foi retirado uma margem de 15% de segurança sobre o preço final do desconto.

Desconto = $(\text{GAV} / \text{Quantidade média anual de embalagens CPC}) * (100\% - 15\%)$

Desconto = $(150.009 / 8.989.833) * 85\%$

Desconto final = R\$0,0142/ embalagem CPC

Ainda neste cenário, considerando o desconto como um custo incremental na operação, uma taxa de atratividade mínima de 15% fornecida pela unidade industrial em estudo, uma inflação de 3% em um horizonte de 5 anos, foi possível obter um fluxo ainda bastante favorável, com um payback inferior a 24 meses, a Taxa interna de retorno (TIR) superior a taxa mínima de atratividade e o VPL positivo. Comprovando assim a sustentabilidade financeira da operação mesmo quando fornecido um incentivo financeiro aos clientes, revendedores e distribuidores para o retorno das embalagens de cimento pós consumo segundo a Tabela 15.

Tabela 15: Cálculo de viabilidade da operação com aplicação de desconto

Custo Prensa	R\$ 13.900,00
Quantidade	3
Custo investimento	R\$ 41.700,00

Saving anual	150.009,47
Taxa de retorno minima esperada	15%
Inflação	3%

Ano		1	2	3	4	5
Investimento prensa		- 41.700				
Desconto sobre as embalagens	85% do saving	-127.508	-131.333	-135.273	-139.331	-143.511
GAV (Saving)	com inflacao anual	150.009	154.510	159.145	163.919	168.837

VPL	R\$ 43.175,88	- 19.199	23.176	23.872	24.588	25.326
------------	---------------	----------	--------	--------	--------	--------

TIR	118%
------------	------

Payback Simples (meses)	21,94	Fluxo simples	- 19.199	23.176
		Saldo investime	- 19.199	3.978
		Tempo	1	1

Payback Descontado (meses)	23,43	Fluxo descontad	- 16.694	17.525
		Saldo investime	- 16.694	830
		Tempo	1	1

5 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido alcançou seu objetivo principal que era a análise de viabilidade da aplicação de logística reversa na gestão sustentável de embalagens de cimento pós-consumo, em uma unidade industrial produtora de cimento.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi buscado viabilizar a gestão sustentável das embalagens de cimento pós consumo através de duas destinações sustentáveis: a reciclagem e o coprocessamento.

Para viabilidade logística, foi realizada primeiramente a pesagem unitária das embalagens de cimento pós-consumo das diferentes tipologias produzidas pela unidade industrial em estudo. Neste momento foi observado o incremento de peso por resquícios de cimento das embalagens que tiveram sua abertura sendo realizada ao meio. Sugere-se então, a alteração do design da embalagem, indicando o local de abertura da embalagem, de modo a garantir a remoção do cimento retido na embalagem, evitando desperdícios do cliente final e diminuindo os custos da operação de logística reversa.

Em um segundo momento, a montagem do fardo teste se mostrou viável, a fim de garantir a compactação de um maior volume do resíduo e a diluição do custo de transporte até o ponto de processamento.

No estudo para viabilidade da destinação por meio da reciclagem, através de cooperativas e associações de catadores e reciclagem, foi observado um setor ainda pouco desenvolvido e sem estrutura para atendimento a escalas indústrias. No levantamento, foi observado um baixo interesse na operação da reciclagem do material, apenas 2 dentre 28 instituições, e também a ausência de uma indústria que processe dentro do Estado do Rio de Janeiro as embalagens.

A viabilidade da utilização das embalagens para coprocessamento, foi desenvolvida primeiramente por análises laboratoriais, as quais comprovaram a aptidão do resíduo para a geração de energia térmica. A opção pela utilização de transporte via frete de retorno, partindo das três unidades de distribuição e revenda de cimento, do próprio grupo da unidade industrial em estudo, até uma unidade de blendagem, colaborou para um baixo custo de frete. O custo do processo de

trituração e entrega das embalagens até a unidade industrial em estudo, apesar de superior aos demais custos, não inviabilizou o processo.

A viabilidade de toda a operação para fins de coprocessamento foi comprovada em um primeiro cenário através do GAV (Gross Added Value), positivo e com rápido payback.

Tendo em vista o cenário ainda pouco desenvolvido no país em nível cultural sobre gestão de resíduos, o desenho desenvolvido um segundo cenário, onde foi disponibilizado 85% do GAV, aproximadamente R\$0,014 por embalagem pós consumo retornada, para desconto ao cliente final na recompra de cimentos ensacados, se confirmou como a operação mais sustentável.

A partir desta pesquisa, a empresa em estudo, assim como outras indústrias cimenteiras, poderá utilizar o modelo de gestão desenvolvido para a destinação sustentável do principal resíduo decorrente da produção das indústrias de cimento, as embalagens de cimento pós-consumo. A viabilidade de sua aplicabilidade, traz a luz a exitosa possibilidade de aplicação de um modelo de gestão, que garanta o tratamento e destinação sustentável de outras tipologias de resíduos, além dos obrigatórios de aplicação de sistema de logística reversa listados na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Deste modo, tornando possível a indústrias e organizações, o ciclo sustentável de seus produtos, bem como a otimização de processos.

Em nível acadêmico, com base nos dados e modelos aqui apresentados, estudos explorando a aplicabilidade da logística reversa para outras tipologias de resíduos poderão ser realizados. Além disto, será possível embasar a produção de outros estudos direcionados a cálculos e ganhos ambientais com a redução das emissões de CO₂, através das taxas de substituição de térmica alcançadas com o coprocessamento das embalagens de cimento pós consumo, em substituição a utilização de combustíveis tradicionais fósseis.

REFERÊNCIAS

ADLMAIER, D.; SELLITTO, M. A. Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa. **Produção**, v. 17, n. 2, p. 395-406, 2007.

AGRAWAL, A. Turn your reverse supply chain into a profit center. **CSCMP Supply Chain Quarterly**, Q1, 2012.

ALVES, R. O. **Análise da viabilidade econômica da implantação de uma indústria de reciclagem de embalagens e PET na região de Ouro Preto**. 2003. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2003.

ANDRADE, E. M.; FERREIRA, A.C.; SANTOS, F. C. A. Tipologia de sistemas de logística reversa baseada nos processos de recuperação de valor. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO. LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 12., 2009. **Anais...** São Paulo: FGV:EAESP, 2009.

ARAÚJO, F.O. de. **Proposta metodológica para análise de Sistemas Setoriais de Inovação: aplicação na indústria brasileira de construção naval**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Rio de Janeiro: PUC-Rio: 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e Documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Norma ABNT –NBR 10007**. Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 11578** - Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 11856: 1990**. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 14257:1998**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR16586:2017**. Rio de Janeiro, 2017.

BAEDER, A. M. **Educação Ambiental e Mobilização Social: Formação de Catadores na Grande São Paulo**. 2009. 238f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BARROS, C.J. **Os resíduos sólidos urbanos na cidade de Maringá**: um modelo de gestão. Maringá, PR: Departamento de Engenharia Química/UEM, 2002.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 168f. Tese (Doutorado em Ciências

Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2007.

BRANDENBURG, M. et al. Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. **European Journal of Operational Research**, v. 233, p. 299-312, 2014.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 dez. 2010a.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010b. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 ago 2010b.

BRASIL, A. M.; SANTOS, F. **Equilíbrio Ambiental & Resíduos na Sociedade Moderna**. São Paulo: Faarte, 2007.

BUTTER, G. A. **Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento compartilhado dos resíduos industriais no sistema ambiental da empresa**. 2003. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade de Santa Catarina, 2003

CAMPOS, L. M. S.; et al. A reciclagem como empreendedorismo: fonte de transformação socioeconômica e ambiental. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 3, n. 1, p. 3-15, 2009.

CEMBUREAU. **Sustainable Cement Production**: Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials in the Cement Industry. The European Cement Association. 2009. Disponível em: <http://www.cembureau.eu/sites/default/files/Sustainable%20cement%20production%20Brochure.pdf>.

CEMPRE Review 2015. Disponível em: file:///C:/Users/geisa/Downloads/o_1abo5n62k1ra0166j1hls1fa019eca.pdf. Acesso em: 12 jan. 2017.

CHAVES, G.L.D.; BATALHA, M.O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 13, n. 3, p. 423-434, Dec. 2006.

COELHO, A.; BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and ... materials, technology and economic analysis. **J. Cleaner Prod.**, v. 39, p. 338-352, 2013.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **O mercado para reciclagem**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>.

COSTA, I.A.C. **Resíduos de Construção e Demolição**: fatores determinantes para a sua gestão integrada e sustentável. 2014. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais) - Universidade Nova de Lisboa, 2014.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP). **Supply chain and logistics terms and glossary**. 2005. Disponível em: <<http://www.cscmp.org/Terms/glossary03.htm>>

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa Sustentável Para Destinação de Resíduos de Construção Classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010.

FIGUEIREDO, F. F. O desenvolvimento da indústria da reciclagem dos materiais no Brasil: motivação econômica ou benefício ambiental conseguido com a atividade? **Scripta Nova-Revista Electrónica sobre Geografía y Ciencias Sociales**, v. 16, n. 387, 2012.

FLEISCHMANN, M. et al. Quantitative models for reverse logistics: A review. **European Journal of Operational Research**, 103, p. 1-17, 1997.

GALVEZ-MARTOS, J.L.; SCHOENBERGER, H. An analysis of the use of life cycle assessment for waste co-incineration in cement kilns. **Resour. Conserv. Recycl.**, 86, p. 118-131, 2014. <https://doi.org/10.1016%2Fj.resconrec.2014.02.009>.

GOTO, A. K., KOGA, E. K., PEREIRA, R. S. Logística reversa: um estudo de caso em indústria automobilística. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO. LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 9., 2009. **Anais...** São Paulo: FGV: EAESP, 2006

GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. **European Journal of Operational Research**, v. 240, iss. 3, p. 603–626, 2015.

GREHS, V. L. **Gestão de resíduos da construção civil** – análise do cenário nacional quanto à destinação e tratamento dos resíduos sólidos da construção civil. 2016. 83f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

GUEDES, V. L. S. A Bibliometria e a Gestão da Informação e do Conhecimento Científico e Tecnológico: uma revisão da literatura. **Ponto de Acesso**, Salvador, v. 6, n. 2, p. 74-109, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados Agregados. Censo 2008**. Disponível em

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS, 2000, São Paulo. **Anais ...** São Paulo, 2000. Disponível em <<http://www.recycle.pcc.usp.br/artigos1.htm>>. Acesso em 27 jan. 2005.

KARA, M. Environmental and economic advantages associated with the use of RDF in cement kilns. **Resources. Conserv. Recycl.**, 68, p. 21-28, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.011>.

LACERDA, L. **Logística reversa**: uma visão sobre os conceitos básicos e as praticas operacionais. Mai. 2009. Disponível em: <http://www.sargas.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=78&Itemid=29>. Acesso em: 15 jan. 2012.

LAGARINHOS, Carlos A. F.; TENORIO, Jorge A. S. Logística reversa dos pneus usados no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2013.

LAMAS, W.Q; PALAU, J.C.F.; CAMARGO, J.R. Waste materials co-processing in cement industry: Ecological efficiency of waste reuse. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 200-207, 2013.

LEITE, F.C. et al. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. **Const. Build. Mater.**, v. 25, n. 6, p. 2972-2979, 2011.

LEITE, P.R. **Logística Reversa**: Meio Ambiente e Competitividade. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

LINTZ, R.C.C. et al. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 166-181, 2012.

LIMA, R. M. S. **Implantação de um programa de coleta seletiva porta a porta com inclusão de catadores**: estudo de caso em Londrina – PR. 2006. Dissertação (Mestrado) - Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2006.

MARIANO, L. S. **Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural**: estudo de caso de uma obra com 4.000m². Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MARINGOLO, V. **Co-processed Clinker**: Integrated Technology Product for the Cement Industry Sustainability and Competitiveness (Clínquer Co-processado: Produto de Tecnologia Integrada para Sustentabilidade e Competitividade da Indústria de Cimento). 2001. 174f. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Universidade de São Paulo, USP, 2001.

MATTOS, B.B.M. **Estudo do reuso, reciclagem e destinação final dos resíduos da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MENDES, M.T. **Gerenciamento de embalagens de cimento pós-consumo na Grande Vitória: estudo de caso com aplicação de logística reversa**. 2012. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2012.

MOKRZYCKI, E.; ULIASZ-BOCHENCZYK, A.; SARNA, M. Use of alternative fuels in the Polish cement industry. **Appl. Energy**, v. 74, n. 1, p.101-111, 2003.

MOKRZYCKI, E.; ULIASZ-BOCHENCZYK, A. Alternative fuels for the cement industry. **Appl. Energy**, v. 74, n. 1, p. 95-100, 2003.

MORAIS, G.M.D. **Diagnóstico da deposição clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em bairros periféricos de Uberlândia**: Subsídios para uma gestão sustentável. 2006. 201f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

MOURA, L.F. de. et al. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de Pinus taeda. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.

NOREK, C. D. **Throwing it into reverse**. DC Velocity, 2003. Disponível em: <<http://dcvelocity.com/articles/january2003/returns.cfm>> Acesso em: abril de 2004.

PALMEIRA, E.M. Soluções de Baixo Custo Envolvendo Geossintéticos e Materiais Alternativos em Obras Geotécnicas e de Proteção Ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. 16, 2010, Gramado. **Anais** ... Gramado, 2010.

PEREIRA, L.H. **Construction and Demolition Waste recycling**: The Case of the Portuguese Northern Region. 2002. 87f. Master (Thesis in Civil Engineering) - Minho University, Braga, Portugal, 2002.

PEREIRA, P. L. **Logística reversa na Mercedes-Benz – Juiz de Fora evolução e oportunidades**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.

PINTO, P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de S. Paulo, SP, 1999.

PIRES, J. M. de A.; SILVA, J. L. G. da. Logística reversa: uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, SP, v. 12, n 5, p. 143-181, dez. 2016.

PIRES, N. **Modelo para a logística reversa dos bens de pós-consumo em um ambiente de cadeia de suprimentos**. Florianópolis: UFSC, 2007.

PORTO, M.F.S.; FERNANDES, L.O. Understanding risks in socially vulnerable contexts: the case of waste burning in cement kilns in Brazil. **Safety Science**, v. 44, n. 3, p. 241-257, 2006.

RECICLANIP. **Relatório de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis 2016** [relatório na internet]. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

RIBEIRO, D.V.; MORELLI, M.R. **Resíduos Sólidos: problema ou oportunidade?** 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

RODRIGUES, G. **Especial meio ambiente: alumínio**. São Paulo: Aguilla: TV Cultura, 2004. 1 arquivo (27 min): son., color. NTSC.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. An examination on reverse logistics practices. **Journal of Business Logistics**, v.22, n.2, p.129-148, 2001.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Pittsburgh: P. A. RLEC Press, 1999.

ROSSIGNOLI, M.K. **Reciclagem, educação e meio ambiente: interlocuções da vivência numa associação de catadores**. 2016. 148f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

SABAI, M.M. et al. Concrete block production from construction and demolition waste in Tanzania. **Res. Cons. Recycling**, v. 72, p. 9-19, 2013.

SALOMON, V. G. **Avaliação dos Efeitos da Presença de Metais Pesados nos Resíduos Co-processados Quando Utilizados como Combustíveis Alternativos e Matéria-Prima na Indústria Cimenteira**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, 2002.

SANTOS, G. G. D. dos. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: O Caso da Incineração e da Disposição em Aterros**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/GuilhermeGarciaDiasDosSantos.pdf. Acesso em: 05 jun. 2018.

SATO, M.; SANTOS, J. E. **Agenda 21 em sinopse**. São Carlos: Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, 1996.

SELLITTO, Miguel Afonso et al. Coprocessamento de cascas de arroz e pneus inservíveis e logística reversa na fabricação de cimento. **Ambient. soc.**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 141-162, mar. 2013.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DE CIMENTO. **Annual report 2009:** production and despatch numbers. Rio de Janeiro, RJ, 2010. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/relat2009-10web.pdf>.

_____. **Relatório Resultados Preliminares 2016.** Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdfresultado/Resultados%20Preliminares%20Dezembro%20016%20v2.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017

SLIJKHUIS, C. **Logística Reversa:** reciclagem de embalagens de transportes 2000. Disponível em: <http://www.guialog.com.br/artigo19.htm>. Acesso em: 26 jun. 2010

SOUZA C.D.R. de, D'AGOSTO, M.A. Value chain analysis applied to the scrap tire reverse logistics chain: An applied study of co-processing in the cement industry, **Journal of Resources, Conservation and Recycling**, v.78, p. 13–15, 2013.

TAKAHASHI, E.A.N. **Utilização da escória de alumínio na fabricação de argila expandida.** 2006. 82f Dissertação (Mestrado) - IPEN, SP, 2006.

TONANONT, A. et al. Performance evaluation in reverse logistics with data envelopment analysis. In: IIE ANNUAL CONFERENCE 2008. **Proceedings.** Institute of Industrial and System Engineers (IISE), 2008. p. 764–769.

TREZZA, M.A.; SCIAN, A.N. Burning wastes as an industrial resource: their effect on Portland cement clinker. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 1, p. 137-144, 2000.

TREZZA, M.A; SCIAN, A.N. Waste fuels: their effect on Portland cement clinker. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 3, p. 438-444, 2005.

WEHENPOHL, G., B.; DUBACH, J.-P.; DEGRE, D. M. **Guidelines on co-processing waste materials in cement production.** CH: Holcim Group, Basel, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2007.** United States Environmental Protection Agency. Nov. 2008. Disponível em: http://courses.washington.edu/envh311/Readings/Optional_24.pdf. Acesso em: 10 mar. 2018.