



**Elivone Lopes da Silva**

**Desenvolvimento de fluxograma de beneficiamento para  
produção de agregados minerais reciclados e aplicações  
tecnológicas dos mesmos.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio como requisito  
parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de  
Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos.

Orientador: Prof. Maurício Leonardo Torem

Rio de Janeiro  
Agosto de 2016



**Elivone Lopes da Silva**

**Desenvolvimento de fluxograma de beneficiamento para  
produção de agregados minerais reciclados e aplicações  
tecnológicas dos mesmos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Maurício Leonardo Torem**

Orientador

Departamento de Engenharia Química e de Materiais – PUC-Rio

**Prof. Flávio de Andrade Silva**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. Júlio Carlos Afonso**

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

**Prof. Márcio da Silveira Carvalho**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do Centro Técnico Científico da  
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2016.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

## **Elivone Lopes da Silva**

Graduou-se em Engenharia de Produção, Bacharelado pelas Faculdades Cathedral, MBA em Negócios de Petróleo e Meio Ambiente pela Universidade Veiga de Almeida.

### Ficha Catalográfica

Silva, Elivone Lopes da

Desenvolvimento de fluxograma de beneficiamento para produção de agregados minerais reciclados e aplicações tecnológicas dos mesmos / Elivone Lopes da Silva ; orientador: Maurício Leonardo Torem. – 2016.

158 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Química e de Materiais, 2016.

Inclui bibliografia

1. Engenharia de Materiais – Teses. 2. Engenharia Química – Teses. 3. Entulho. 4. Beneficiamento. 5. Caracterização. 6. Lixo. 7. Resíduos. I. Torem, Maurício Leonardo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Química e de Materiais. III. Título.

CDD: 620.11

## Agradecimentos

Eu quero agradecer primeiramente a Deus por ter conseguido chegar até o final. Ao Departamento de Engenharia Química e Materiais pela oportunidade de me aperfeiçoar. Ao meu orientador o Prof. Mauricio L. Torem pela paciência e discernimento para escolher a área que eu melhor me adaptava.

A CNPq e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Civil, na pessoa do Prof. Flávio Silva, pela ajuda incessante, pela disponibilidade em todas as horas possíveis e auxílios, quando foram necessários. Agradeço ainda pela disponibilidade do laboratório para realização dos ensaios mecânicos.

Agradeço a toda equipe técnica do laboratório de materiais e estruturas, em especial ao querido amigo Eric Vollatti Pereira, pela ajuda prestada independente da hora. Muito obrigada.

Agradeço à equipe do meu laboratório de tecnologia mineral, pelo apoio e assistência que me foram prestados sempre que solicitei. Muito obrigada.

E por fim sou grata a minha família, que mesmo longe esteve me apoiando e dando forças nos momentos difíceis. Agradeço também as minhas pacientes colegas de apartamento pelo apoio e palavras de incentivo sempre que foi necessário. E a todos os amigos e colegas que contribuíram para que eu conseguisse atingir meu objetivo final. Obrigada!

## Resumo

Silva, Elivone Lopes da; Torem, Maurício Leonardo. **Desenvolvimento de fluxograma de beneficiamento para produção de agregados minerais reciclados e aplicações tecnológicas dos mesmos.** Rio de Janeiro, 2016. 158p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

No Brasil os mecanismos de reciclagem dos resíduos sólidos gerados pelas obras de construção civil e demolições ainda são incipientes. Entretanto esses resíduos crescem em larga escala enquanto os agregados naturais se tornam mais escassos. Com intuito de preservar os recursos naturais; contribuir com a limpeza das cidades; poupar os rios, represas, terrenos incultos e o esgotamento sanitário; e aliviar o impacto nos aterros e lixões, tem-se como a melhor opção a reciclagem e beneficiamento desses resíduos. O programa pioneiro no Brasil, na cidade de Belo Horizonte em reciclagem, foi usado como referência na elaboração da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307 de 5 de julho de 2002, que estabeleceu critérios e procedimentos a serem adotados para gestão dos resíduos da construção civil em território nacional. O CONAMA além de classificar os resíduos em A, B, C e D, determinou como responsabilidade dos municípios a elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos (PMGIRS) e do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC), além de determinar os pequenos e grandes geradores de RCD. Nestes aspectos estes últimos elaboram seus Planos de Gerenciamento de Resíduos. O RCD ou entulho como é popularmente chamado, é todo material proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e escavação de terrenos. Esses resíduos após triagem podem ser beneficiados sofrendo alterações físicas, passando a possuir granulometrias diferenciadas. Cada granulometria tem utilidade dentro da construção civil, então os produtos gerados após a cominuição podem ser utilizados, em geral como sub-bases e concretos não estruturais de acordo com as normas técnicas vigentes. O intuito deste estudo foi caracterizar tecnologicamente os resíduos minerais reciclados através de ensaios granulométricos onde o RCD apresentou curva granulométrica dentro das normas técnicas, difração de Raios -X para conhecer os componentes minerais, que

foram semelhantes aos presentes nos agregados naturais com exceção da presença marcante de gesso que prejudica na resistência a compressão e módulos de elasticidade, a composição mineral diversificada das amostras demonstraram que os resíduos possuem alto teor de argila e materiais friáveis, alto índice de teor de absorção de água, além de textura superficial áspera, mesmo apresentando características de agregado natural médio. Após a caracterização tecnológica foi essencial o desenvolvimento de fluxogramas de beneficiamento de RCD com intuito de elevar a qualidade dos produtos gerados, além de desenvolver uma padronização para o beneficiamento de RCD. As amostras foram utilizadas para confecção de corpos de prova com frações de RCD diferenciadas no traço do concreto, como resultados dos ensaios mecânicos foi observado que as frações com até 30% de agregado reciclado obtiveram boa resistência a compressão e módulos de elasticidade, mas o mesmo resultado não foi possível para as frações que possuíam acima de 50% de agregado reciclado no traço do concreto.

## **Palavras-chave**

Entulho; Beneficiamento; Caracterização; Lixo; Resíduos.

## Abstract

Silva, Elivone Lopes da; Torem, Maurício Leonardo (Advisor). **On the development of a crushing and grinding flowsheet applied to aggregates from the building construction and their application.** Rio de Janeiro, 2016. 158p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In Brazil the system of recycling of solid waste generated by the works of construction and demolition are still incipient. However such residues grow on a large scale while natural aggregates become scarcer. In order to preserve natural resources; contribute to the cleanliness of the cities; save the rivers, dams, uncultivated land and sewage; and alleviate the impact on landfills and dumps, we have the best option for recycling and processing of the waste. The pioneering program in Brazil, in the city of Belo Horizonte in recycling, was used as reference in drafting the resolution of the National Environmental Council (CONAMA), nº 307 of July 5, 2002, which established rules and procedures to be adopted for the management of civil construction waste in national territory. The according to CONAMAS's classification the debris, may belong to classes A, B, C and D, the council decided the municipalities are responsible for drawing up plans of the Integrated Management of Waste and the Integrated Management of Civil Construction. The CDW or rubble as it is popularly called is all waste from the construction, renovations, repairs and demolition of building works and resulting from the excavation and ground preparation. This debris after sorting can be benefited suffering physical changes, amendments shape and size of the rubble, producing differentiated grain size. Each grain size has specific use within in building construction, and then the generated products after the community can be used overall as subfloor and not structural concrete in accordance with the technical standards. The purpose of this study was to characterize technologically recycled mineral waste through particle size distribution, where the CDW presented grading curve within the technical standards, the DRX test was essential to know the mineralogical composition this rubble, which were similar to those present in natural aggregates except for the strong presence gypsum that affect the compressive strength and modulus of elasticity, the diversified mineral composition of the samples showed that residues have high concentration of clay content and friable materials, high rate of water absorption

content, and rough surface texture, even with characteristics medium natural aggregate. After the technological characterization was essential develop objective beneficiation flowcharts to CDW, with goal to raise the quality of the products generated, and develop a standard for the processing of CDW. The samples were used for preparation of specimens with CDW fractions different in the concrete mix, as results of the mechanical tests it was observed that the fractions of up to 30% of recycled aggregate had good resistance to compression and elastic modulus, but the same result was not possible for the fractions that had over 50% of recycled aggregate in the concrete mix.

## **Keywords**

Rubble; Beneficiation; Characterization; Waste; Residue.

## Sumário

1. Introdução	20
1.1. Aspectos gerais	20
1.2. Justificativa e Relevância do trabalho	23
1.3. Objetivo geral	24
1.3.1 Objetivos específicos	24
2. Revisão de Literatura	25
2.1. Resíduos sólidos gerados pela construção civil	25
2.2. Gerenciamento dos RCD	36
2.2.1. Normas ABNT para uso de agregado reciclado	41
2.2.2. Municípios e a gestão de RCD	42
2.3. Beneficiamento e aproveitamento dos RCD	53
2.3.1. Equipamentos para beneficiamento de resíduos	58
2.3.2. Processos de britagem de RCD	65
2.4. Modelos de fluxograma para beneficiamento de RCD	68
2.4.1. Características e composição dos RCD	72
2.4.2. Caracterização química dos RCD	76
2.4.3. Caracterização química dos RCD física e mecânica dos RCD	76
2.4.4. Comportamento mecânico de concretos com RCD	77
2.5. Produtos gerados dos RCD aplicados na construção civil	78
3. Materiais e métodos	81
3.1. Estudo do comportamento do agregado reciclado fino em substituição ao agregado natural	81
3.2. Coleta do material	82
3.3. Segregação dos resíduos	82
3.4. Quarteamento e homogeneização dos resíduos	83
3.5. Caracterização dos resíduos sólidos na construção civil	83
3.6. Ensaio de caracterização	84

3.7. Ensaio de composição granulométrica	85
3.7.1. Ensaio de difração de raios-x	87
3.7.2. Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV)	87
3.7.3. Ensaio de material pulverulento	88
3.7.4. Ensaio de massa unitária no estado solto do RCD	90
3.7.5. Ensaio de massa específica do RCD	90
3.7.6. Ensaio de absorção do agregado	91
3.8. Ensaio de teor de argila, torrões e materiais friáveis	93
3.9. Materiais usados na fabricação dos corpos de prova	93
3.9.1. Características do cimento utilizado na produção dos corpos de prova com RCD	94
3.9.2. Característica do superplastificante utilizado na produção dos corpos de prova com RCD	95
3.9.3. Processo de fabricação dos corpos de prova	96
3.9.4. Ensaio mecânicos	97
3.9.5. Ensaio de resistência à compressão axial	98
3.9.6. Ensaio do módulo de elasticidade	99
4. Resultados e discussões	101
4.1. Composição do agregado reciclado	101
4.2. Ensaio de composição granulométrica na fração fina reciclada	102
4.3. Análise de difração de raios-x	106
4.4. Análise de microscopia eletrônica de varredura – MEV	109
4.5. Ensaio de massa unitária no estado solto da fração reciclada fina	113
4.6. Ensaio de massa específica da fração reciclada fina	114
4.7. Ensaio de material pulverulento da fração fina reciclada	114
4.8. Teor de humidade e absorção de água da fração fina	115
4.9. Teor de argila, torrões e materiais friáveis	115
4.10. Elaboração de fluxograma de beneficiamento de RCD	115
4.10.1. Fluxograma para usinas fixas	117
4.10.2. Fluxograma com britadores móveis	119
4.11. Ensaio de resistência à compressão	122

4.11.1 Ensaio de módulos de elasticidade	124
5. Conclusões e sugestões	128
5.1. Conclusões	128
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	129
6. Referências Bibliográficas	130
Anexos	137

## Lista de siglas e abreviaturas

**ABRELPE** – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza pública e Resíduos Sólidos.

**ATT** – Área de Transbordo e Triagem.

**ASSAERJ** – Associação dos Aterros de Resíduos de Construção e Demolição.

**ABNT** – Associação de Brasileira de Normas Técnicas.

**CETEM** – Centro de Tecnologia Mineral.

**CPV-ARI** – Cimento Portland de alta Resistência Mineral.

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

**CREA-PR** – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná.

**CTR** – Centro de Triagem e Recepção.

**CTR** – Controle de Transporte de Resíduos.

**EDS** – Sistema de energia dispersiva.

**DRX** – Difração de raios – X.

**ICMS** – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

**ICDD** – International Centre for Diffraction Data.

**INEA** – Instituto Estadual do Ambiente.

**IPEA** – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

**MEV** – Microscopia Eletrônica de Varredura

**MTR** – Manifesto de Transporte de Resíduos.

**NTR** – Nota de Transporte de Resíduos.

**PBQP-H** – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat.

**PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos.

**PMGIRS** – Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

**PMGRCC** – Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

**PUC** – Pontifícia Universidade Católica.

**RCD** – Resíduos da Construção Civil e Demolições.

**RIA** – Relatório de Implantação e Acompanhamento.

**SINDUSCON-MG** – Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais.

**SMAC** – Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

**SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

**USGS** – United States Geological Survey.

**NBR** – Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

**ETR** – Estação de Tratamento de Resíduos.

## Lista de Figuras

Figura 1. Total de RCD coletados em região por dia e o total geral coletado no Brasil pelo serviço	30
Figura 2. Origem dos Resíduos	31
Figura 3. Média do total de RCD coletados nos últimos cinco anos por regiões	35
Figura 4. Organização do plano de gerenciamento integrado de RCD	38
Figura 5. Representação dos 3Rs	39
Figura 6. Como deveria ser o sistema de geração de resíduos	40
Figura 7. Ciclo do pequeno gerador	43
Figura 8. Ciclo do grande gerador	43
Figura 9. Exemplo do ciclo de vida dos RCD	55
Figura 10. Destino final dos resíduos	57
Figura 11. Alimentador de sapata	58
Figura 12. Alimentador vibratório	59
Figura 13. Alimentador correia	59
Figura 14. Britador de mandíbulas	60
Figura 15. Britador giratório	61
Figura 16. Britador de impacto	61
Figura 17. Britador de rolo dentado	62
Figura 18. Modelo de peneiras para materiais finos e grossos	63
Figura 19. Transportadores correia	63
Figura 20. Modelo de lavadores para materiais finos e grossos	65
Figura 21. Planta fixa para beneficiamento de RCD	66
Figura 22. Planta semimóvel para beneficiamento de RCD	67
Figura 23. Planta móvel para beneficiamento de RCD	68
Figura 24. Fluxograma de usina de reciclagem de RCD em Pinhão, SP-Brasil	69
Figura 25. Fluxograma de uma usina de reciclagem de RCD na Alemanha	70

Figura 26. Fluxograma de um processo a úmido empregando Jigue	71
Figura 27. Porcentagem média da composição de agregados reciclados	73
Figura 28. Porcentagem média da compressão de agregados reciclados	73
Figura 29. Estimativa percentual de composição volumétrica dos RCD e volumosos de Olímpia – SP	75
Figura 30. Estimativa percentual por classes de RCD de Olímpia – SP	75
Figura 31. Granulometrias beneficiadas de RCD	79
Figura 32. RCD sem beneficiamento e triagem superficial	82
Figura 33. Britador móvel utilizado no beneficiamento do material	83
Figura 34. Homogeneização da amostra beneficiada	84
Figura 35. Peneiramento para retirada de frações acima de 4,8 mm	84
Figura 36. Quarteamento na figura (a) e ensaio de granulometria na figura (b)	86
Figura 37. Frações retidas nas peneiras	86
Figura 38. Ensaio de massa unitária no estado solto	90
Figura 39. Ensaio de massa específica nas amostras (a) e (b)	91
Figura 40. Representação dos estados de humidade das partículas	92
Figura 41. Propriedade e benefícios de Glenim 51	96
Figura 42. Misturador de concreto	96
Figura 43. Moldagem dos corpos de prova	97
Figura 44. Cura dos corpos de prova (a) e corpos de prova aptos para ensaios mecânicos (b)	97
Figura 45. Máquina de ensaio universal	99
Figura 46. Equipamentos utilizados para ensaio de módulos de elasticidade	100
Figura 47. Composição gravimétrica dos resíduos analisados	102
Figura 48. Representação de curva granulométrica do RCD Analisado	104

Figura 49. Representação de curva granulométrica da areia natural fina e grossa	105
Figura 50. Zonas de curvas de granulometrias	105
Figura 51. Análise de difração de Raios-x da amostra de RCD	107
Figura 52. Análise MEV na amostra A	110
Figura 53. Análise MEV na amostra B	111
Figura 54. Análise MEV da areia natural (a) e análise MEV de areia reciclada (b)	112
Figura 55. Análise MEV de areia natural	113
Figura 56. Fluxograma para beneficiamento de RCD em planta Fixa	120
Figura 57. Fluxograma para beneficiamento de RCD com conjunto de britador móvel substituindo os britadores, peneiras e transportadores da planta fixa	121
Figura 58. Resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova	123
Figura 59. Gráfico mais próximo de média do módulo de elasticidade para CP-50	126
Figura 60. Gráfico mais próximo da média de módulo de elasticidade para CP-100	126
Figura 61. Gráfico mais próximo de média de módulo de elasticidade para CP-Ref.	127

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Quantidade de RCD coletado no Brasil (t/d)	31
Tabela 2. Política de resíduos sólidos dos estados e Regulamentações	32
Tabela 3. Regulamentação nos municípios	33
Tabela 4. Municípios com serviço de manejo de RCD	34
Tabela 5. Quantidade de RCD coletada pelos serviços público e privado	35
Tabela 6. Taxa de desperdício de materiais da construção civil	39
Tabela 7. Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural	41
Tabela 8. Fases e a geração de resíduos na obra	49
Tabela 9. Quantidade coletada de RCD em Olímpia – SP	50
Tabela 10. Empresas licenciadas no município do Rio de Janeiro	53
Tabela 11. Fases de obras, resíduos gerados e formas de aproveitamento	57
Tabela 12. Caracterização física do RCD	77
Tabela 13. Determinação do tipo e frequência de execução de ensaios	86
Tabela 14. Normas para ensaios	89
Tabela 15. Normas para ensaios	89
Tabela 16. Materiais e quantidades utilizados na moldagem dos corpos de prova	94
Tabela 17. Determinação da composição química do cimento CPV-ARI	95
Tabela 18. Composição do RCD na amostra analisada	101
Tabela 19. Análise granulométrica	103

Tabela 20. Determinações de variações granulométricas	103
Tabela 21. Limites determinantes entre grossa, média e fina	104
Tabela 22. Composição química da amostra A	111
Tabela 23. Composição química da amostra B	111
Tabela 24. Composição química da areia natural	112
Tabela 25. Análise MEV da areia natural	113
Tabela 26. Relação de massas unitárias de RCD	113
Tabela 27. Resultados dos ensaios mecânicos	122

*I never saw a wild thing sorry for itself. A small bird will drop frozen dead from a bough without ever having felt sorry for itself.*

D. H. Lawrence

# 1. Introdução

## 1.1. Aspectos gerais

O Brasil é um país rico em recursos naturais, que ao longo dos anos acompanhou o crescimento desordenado nos seus grandes centros e cidades. Em função desse vetor, o setor de construção civil se destaca com o uso extremamente intensivo de recursos naturais.

O uso de agregados e materiais de construção fez evoluir outro fator, que é a crescente geração de resíduos sólidos provindos desta área, que seria reflexo do desperdício de material dentro dos canteiros de obra, o que eleva os custos, não somente do produto final, mas também do transporte para retirada desses resíduos, além dos restos de materiais e estruturas no caso de reparos, reformas e demolições. O problema é a destinação final desses resíduos, que pode acontecer de forma errônea, causando danos ambientais em níveis distintos.

Embora o tema reciclagem de resíduos sólidos esteja em ênfase atualmente, a reciclagem seletiva desses materiais no Brasil ainda é muito incipiente e complicada em diversos aspectos, seja pela falta de informação, seja pelo receio em utilizá-los. Contamos ainda com o preconceito cultural em relação a agregados reciclados da construção civil, o que sugere uma discussão sobre a qualidade dos produtos desenvolvidos a partir desses resíduos.

É fundamental que haja um estímulo para a reciclagem do entulho, porque esse material está entre as porcentagens de 54% e 70% da quantidade total dos resíduos sólidos urbanos, representando uma geração per capita entre 0,4 e 0,76 toneladas por hab./ano.

Como a geração de resíduos da construção civil é elevada, existe a preocupação com a disposição final deles, que geralmente é realizada em aterros clandestinos, terrenos incultos, encostas, leito e margens de rios, além de ruas da periferia. Segundo Mendes et al. (2004) os resíduos ocasionam proliferação de vetores de doenças, entupimento de galerias e bueiros, assoreamento de córregos, além de causarem poluições hídrica e visual.

O Brasil vem desenvolvendo aos poucos a cultura de beneficiamento para reaproveitamento desses resíduos sólidos. Algumas cidades se destacam com seus relativos programas de reciclagem de entulhos. Entretanto ainda falta avançar muito mais para que esse processo se torne corrente e faça parte da rotina empresarial das construtoras, de grandes e pequenas obras além das demolições. É essencial estabelecer um programa de controle eficiente, que facilite o entendimento entre os geradores, transportadores e receptores.

Atualmente o Brasil possui um número relativamente pequeno de usinas de reciclagem levando em consideração que apenas 9,7% dos municípios possuem plano efetivo para uso do agregado reciclado. Algumas usinas de beneficiamento pertencem ao município, mas são privadas em sua maioria, então além da falta de incentivo do setor público no que diz respeito ao uso dos agregados beneficiados, entra a questão da carga tributária, que impede que a reciclagem seja vista de forma atraente para beneficiamento. De acordo com o presidente da Associação dos Aterros de Resíduos de Construção e Demolição o Sr. Hécio Maia a carga tributária sob o agregado natural é de 6% ICMS e sobre os agregados reciclados é de 19% ICMS, em teoria não se justifica pagar novamente por um produto já utilizado.

Neste cenário de insatisfação, no estado do Rio de Janeiro, o projeto de lei 3.344/10 autoriza o estado a conceder isenção de ICMS para os produtos reciclados da construção civil, o que é um grande passo para o incentivo da reciclagem.

No Rio de Janeiro, assim como em outras cidades, não existe controle preciso na destinação dos resíduos da construção civil. Somente o Rio produz 575 mil toneladas mensais, cerca de 80% são gerados na região metropolitana. De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro, diagnóstico de 2012, existem sete aterros na capital, que recebem as toneladas de RCD gerados na cidade.

Cerca de 90% dos RCD possuem potencial de reciclagem e podem ser aplicados em diversas áreas na construção civil. Segundo reportagem do Jornal Nacional do dia 28 de setembro de 2015, o material descartado dessas obras seria suficiente para construir 4 milhões de casas populares ou pavimentar até 168 mil quilômetros de estradas.

O Estado em tese deveria participar ativamente do processo, visto que é o agente responsável por introduzir instrumentos de regulamentação direta e econômica do gerenciamento da coleta, transporte e disposição, além de criar uma política de incentivo.

Em algumas cidades, atuando em conjunto com as prefeituras, estão as empresas terceirizadas, que fazem a coleta e o processamento dos RCD. Todavia esse procedimento não é via de regra, já que algumas prefeituras, além do sistema, de coleta possuem usinas de processamento, cabendo aos grandes geradores determinar o destino dos resíduos gerados em suas obras.

O sistema funciona basicamente assim: o gerador contrata um transportador e escolhe também quem será o receptor. Em tese é um ciclo que não deveria haver falhas e o processo deveria ser gradual e efetivo. No entanto existem falhas nesse procedimento, que podem ser explicadas em grande parte pela existência de obras não regularizadas e a falta de controle eficiente.

Em 1995, Belo Horizonte iniciou um programa de reciclagem de resíduos sólidos, com implantação de três usinas de beneficiamento. Atualmente duas usinas estão em funcionamento, chegando a produzir 109 t/d de material processado.

O programa pioneiro do estado mineiro em reciclagem foi usado como referência na elaboração da resolução CONAMA nº 307 de 5 de julho de 2002, que estabeleceu critérios e procedimentos a serem adotados para gestão dos resíduos da construção civil em território nacional. O CONAMA além de classificar os resíduos em A, B, C e D, determinou como responsabilidade dos municípios a elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos (PMGIRS) e do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC), além de determinar os pequenos e grandes geradores de RCD. Nestes aspectos estes últimos elaboram seus Planos de Gerenciamento de Resíduos.

De forma geral, entulho é todo material proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e escavação de terrenos. Esse material gerado após triagem pode ser beneficiado e possuirá granulometrias diferenciadas. Cada granulometria tem função dentro da construção civil, então os produtos gerados após a cominuição podem ser utilizados, em geral como sub-bases e concretos não estruturais, de

acordo com as normas vigentes para a utilização destes materiais. Esse estudo visa obter agregados reciclados de granulometria fina  $4,8 \text{ mm} > 150 \mu$ , caracterizar tecnologicamente, elaborar fluxogramas de beneficiamento desse material e realizar ensaios mecânicos para avaliação do comportamento desses agregados em frações diferenciadas no traço do concreto. As variações serão de 10%, 20%, 30%, 50% e 100% de agregado fino reciclado em substituição à areia natural no traço original.

## 1.2. Justificativa e Relevância do Trabalho

O uso de RCD para produção de agregados reciclados é importante para o ciclo da construção civil, obras em rodovias, ferrovias, entre outras áreas e principalmente para o meio ambiente, pois está se reutilizando o que já pertenceu ao ciclo da construção, e em vista disso existiria a redução do uso de agregados naturais. Abaixo alguns pontos importantes:

1. Os resíduos sólidos são produzidos em larga escala pelo homem e podem ser encaixados na categoria de *urban mining*. Cossu e Bisinella. (2012), citam que a mineração urbana (urban mining) fornece uma gestão sistemática dos recursos das ações antropogênicas e resíduos, com a finalidade de proteger o meio ambiente em longo prazo, visando a conservação de recursos e benefícios econômicos. Esses resíduos possuem características e composição variadas, dependendo dos materiais utilizados no preparo original e ao meio em que estão expostos.
2. Apesar da diversidade de dimensões e formas dos materiais que constituem os entulhos, aproximadamente 90% apresentam potencial de reciclagem se segregado corretamente.
3. Quanto mais se explora o meio ambiente em busca de agregados naturais mais escassos eles ficam, além de demandarem grandes gastos com logística e reparação do meio ambiente ao fim do processo de exploração.
4. Reciclar RCD para uso como agregado não só reduz o impacto ao meio ambiente, como gera comodidade logística dentro da obra, como

também reduz custos operacionais com transporte e local de disposição final.

5. Implantar um sistema de beneficiamento de resíduos dentro do canteiro de obras é viável e fundamental no processo de estruturação de reciclagem de resíduos, podendo ser iniciado com um incentivo para que exista conscientização junto aos trabalhadores, que podem aprender a utilizar a matéria-prima de forma eficiente, sem grandes desperdícios, assim como segregar e reciclar os resíduos que anteriormente seriam dispostos em aterros.

### **1.3. Objetivo Geral**

Desenvolvimento de fluxograma empírico para beneficiamento de resíduos da construção civil e demolições e análise do comportamento do agregado reciclado fração fina no concreto.

#### **1.3.1. Objetivos Específicos**

O primeiro objetivo é a caracterização tecnológica do resíduo sólido. Como esse *urban mining* possui diversos componentes e está exposto a vários agentes, é necessário conhecer a composição desse material para prosseguir com o processo de beneficiamento, visto que as composições químicas destes resíduos determinam a escolha dos equipamentos.

O segundo objetivo é elaborar o fluxograma do processo de beneficiamento, de forma que atenda a empresa com suas limitações financeiras e as normas as quais os agregados reciclados precisam se submeter, segundo as NBR ativas relacionadas à construção civil.

O terceiro objetivo é obter agregado reciclado fino (areia) tendo como matéria-prima o resíduo sólido proveniente da construção civil. Após obter a fração desejada, produzir corpos de provas para avaliação mecânica do concreto com RCD.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Resíduos sólidos gerados pela Construção Civil

Da construção civil sempre foram geradas grandes quantidades de subprodutos e resíduos sólidos. As primeiras notas a respeito do uso de agregados reciclados remetem ao Império Romano, tornando-se mais forte e evidente após a Segunda Guerra Mundial na Europa. De acordo com Associação brasileira para reciclagem de resíduos da construção civil e demolição (ABRECON) a “primeira aplicação significativa de entulho só foi registrada após a segunda guerra mundial, na reconstrução das cidades europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e os escombros ou entulho resultante foi britado para produção de agregado visando atender á demanda na época”.

O entulho, como é popularmente conhecido, nada mais é do que os resíduos sólidos provenientes da construção civil, que segundo a resolução do CONAMA 307 de 2002, podem ser classificados de acordo com suas características podendo ser da classe A, B, C e D. Os resíduos classe A podem ser beneficiados e retornar ao ciclo da construção em granulometrias diferenciadas, assim como os resíduos classe B, que podem ser reaproveitados de outras maneiras dentro do setor de reciclagem.

Embora o segmento da construção civil seja um dos parâmetros para indicar crescimentos econômico e social, o aumento populacional ao longo dos anos em conjunto com o crescimento desordenado do processo de urbanização dos municípios tem intensificado a geração de grandes volumes de resíduos, que conseqüentemente acarreta impactos ambientais negativos que vão além da poluição visual nas ruas, chegando aos impactos causados na extração da matéria-prima.

Apesar de serem considerados resíduos inertes de baixa periculosidade, o grande problema é que são produzidos em grandes quantidades, geralmente são compostos por materiais semelhantes aos agregados naturais e solos e em alguns casos podem conter materiais tóxicos ao meio ambiente.

O volume produzido, as características desse material, a disposição incorreta e tendo como referência países europeus, julgou-se necessário ter legislações específicas nos âmbitos Federal, Estadual e Municipal, além de normas técnicas brasileiras para padronizar seu uso.

Na conferência Rio-92 foram discutidas a Agenda 21, onde definições foram firmadas entre os países, com recomendações de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica. A intenção seria a estimulação de mudanças nos padrões de produção e de consumo das cidades, reduzindo custos e desperdícios além de desenvolver tecnologias urbanas sustentáveis, fato que seria determinante para redução de resíduos.

Dentro destes aspectos, medidas foram adotadas como a elaboração da resolução do CONAMA Nº 307/2002 em âmbito nacional, entre outras leis e resoluções para estabelecer diretrizes e determinar responsabilidades.

Com a implantação bem sucedida de usinas de reciclagem em Belo Horizonte e a real necessidade de amenizar a disposição irregular desses resíduos e a degradação ambiental, o Ministério do Meio Ambiente através da resolução do CONAMA Nº 307/2002, observou não somente a necessidade de classificar os resíduos em classes distintas para facilitar o processo de reciclagem, mas também determinou que o município é responsável pela elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (PMGIRS) e do Plano Municipal de Gestão dos Resíduos da Construção Civil (PMGRCC). Determinou também que é de responsabilidade municipal determinar os pequenos e os grandes geradores. No caso destes é de responsabilidade da empresa elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos.

A resolução apresenta os resíduos e suas terminações, classifica e determina responsabilidades:

I - *Resíduos da construção civil*: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

II - *Geradores*: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

III - *Transportadores*: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

IV - *Agregado reciclado*: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

V - *Gerenciamento de resíduos*: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

VI - *Reutilização*: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

VII - *Reciclagem*: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

VIII - *Beneficiamento*: é o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto;

IX - *Aterro de resíduos da construção civil*: é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe "A" no solo, visando à preservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro e/ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente;

X - *Áreas de destinação de resíduos*: são áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.

Com as determinações, diretrizes, critérios e procedimentos determinados, a mesma resolução também classifica os agregados em quatro classes distintas. São elas:

**I - Classe A** - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;

**II - Classe B** - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

**III - Classe C** - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

**IV - Classe D:** são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos das clínicas radiológicas, instalações industriais e outros tais como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Os conceitos elaborados pela resolução do CONAMA podem ser representados pelo gráfico básico de hierarquia, que exemplifica quem é quem, e quais serão suas funções básicas, além da destinação e locais para beneficiamento. Esse esquema deverá ser seguido pelos municípios.

Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS)

Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil (PMGRCC)

#### PEQUENOS GERADORES

São pessoas físicas ou jurídicas que realizam atividades geradoras de resíduos em volume ou quantidade que os obriguem a formalizar, mas que não ultrapassam os limites estabelecidos pelo PMGIRS que classificaria como grande gerador.

#### GRANDES GERADORES

Devem elaborar projetos de gerenciamento de resíduos da construção civil (PMGRCC) para cada empreendimento.

As políticas públicas em conjunto com as normas técnicas delimitam e fortalecem o papel dos agentes públicos no ato da fiscalização e esclarece o papel dos geradores na gestão dos resíduos. Determinar o papel de cada parte durante o processo é importante para que exista controle durante o processo. Dentro destes aspectos foi instituída a lei nº12. 305 de 02 de agosto de 2010 que discerne sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, discorrendo sobre o manejo adequado para resíduos sólidos, metas de redução, formas de reutilização e reciclagem.

Estabelece que as empresas de construção civil sejam responsáveis pela elaboração de planos de gerenciamento dos resíduos produzidos e determina o conteúdo mínimo necessário que o plano de gerenciamento precisa conter:

1. Descrição do empreendimento ou atividade a ser executada;
2. Diagnóstico prévio dos resíduos sólidos a serem gerados;
3. Explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;
4. É preciso estabelecer metas e procedimentos relacionados à minimização da geração dos resíduos sólidos.

O PNRS insere o Brasil no patamar de igualdade com os principais países desenvolvidos, no que tange a parte legal, além de inovar com a inclusão de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto dentro da logística reversa quanto na coleta seletiva. Suas principais diretrizes são:

1. Proteção da saúde pública e da qualidade do meio ambiente;
2. Gestão integrada de resíduos sólidos entre União, Estados, Municípios e Distrito Federal;
3. Capacitação técnica continuada na gestão de resíduos sólidos;
4. Incentivo a tecnologias ambientalmente saudáveis;
5. Incentivo ao uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais reciclados e recicláveis;
6. Cooperação técnica e financeira para gestão de resíduos sólidos.

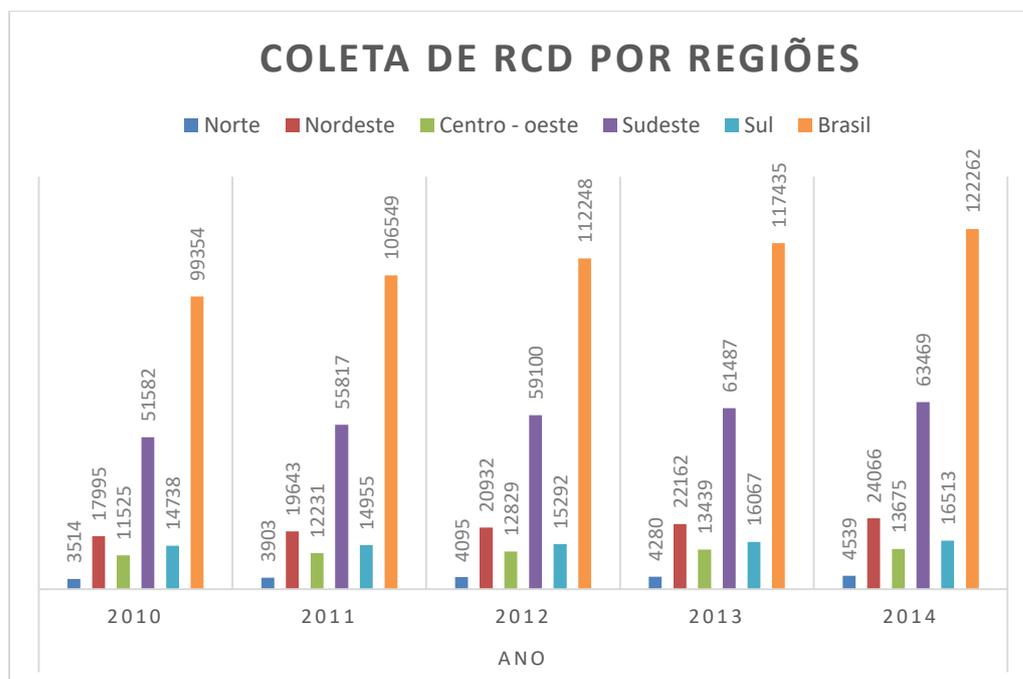
Os resíduos classe A são considerados inertes e com até 90% de possibilidades de reciclagem, o que sugere que podem ser beneficiados e utilizados novamente para fabricações de produtos e concretos não estruturais.

Partindo da ideia de conhecer a quantidade de resíduos produzidos no país, a ABRELPE elabora anualmente um panorama referente ao ano anterior,

que segundo a instituição representa a real situação da gestão de resíduos no país, isso considerando a vigência plena da PNRS.

O plano nacional de resíduos sólidos (PNRS), que como citado neste texto visa regulamentar a política nacional de resíduos sólidos, também estabelece princípios, objetivos, diretrizes, metas e ações a serem cumpridas por estados e municípios.

A ABRELPE registra em relatório e divulga os dados referentes à coleta pública, que se limita a recolher os resíduos sólidos da construção civil e dispensá-los em logradouros públicos. Como o CONAMA na resolução 307/2002, definiu que são de responsabilidade do gerador: a coleta, o transporte e o destino final do resíduo gerado em obras privadas, as informações referentes a essas obras não constam em seu relatório geral.



**Figura1.** Total de RCD coletados em regiões por dia e o total geral coletado no Brasil pelo serviço público.

**FONTE:** ABRELPE – Adaptado por esta autora

Com base nos relatórios dos últimos quatro anos, elaborou-se um gráfico que demonstra o total de RCD coletados por região e conseqüentemente o total geral coletado no Brasil por dia. Precisa ser observado que os quantitativos coletados pelas empresas privadas não estão dentro desse levantamento, ou

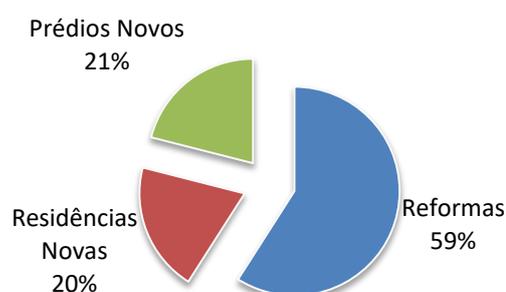
seja, os números podem ser superiores aos demonstrados na **tabela 1**, que apresenta a quantidade coletada pelos municípios em toneladas de RCD por dia.

Ano	RCD coletado (t/d)	Índice (Kg/Hab./dia)
2010	99.354	0,618
2011	106.549	0,656
2012	112.248	0,579
2013	117.435	0,584
2014	122.262	0,603

**Tabela 1.** Quantidade de RCD coletados no Brasil (t/d).

**FONTE:** ABRELP – Adaptado por esta autora

Os números demonstrados na tabela acima apresentam aumento crescente se comparado ao ano anterior, o que significa uma preocupação ainda maior com a disposição final desse material. Algumas prefeituras possuem plano de uso desse material para construção de calçadas, sub-base para ruas e casas populares em alguns casos. Pesquisas realizadas apresentam uma perspectiva em percentual da origem desses resíduos sólidos. Lima e Lima (2012) no caderno de projetos sobre resíduos do CREA-PR apresentam índices da origem desse material em sua grande maioria.



**Figura 2.** Origem dos resíduos.

**FONTE:** I&T informações e técnica.

A grande maioria dos resíduos gerados é proveniente de reformas, que podem ser regulares e irregulares. Precisa ser levado em consideração que muitas construções são realizadas sem nenhuma aprovação prévia e seus resíduos podem ser dispostos de forma irregular em terrenos baldios e encostas.

## RCD por Regiões

Em 2010 o IPEA, elaborou um relatório como um panorama da situação dos resíduos sólidos no Brasil e no âmbito estadual apenas uma pequena parcela dos estados até então, possuía uma política de resíduos sólidos, como demonstrado na **tabela 2**.

Estabelecer uma normatização em âmbito estadual é importante para estabelecer diretrizes, medidas que podem ser tomadas, que podem incentivar as empresas no processo de reciclagem de RCD.

Estados	Política estadual de resíduos sólidos	Instrumentos relativos aos RCC e os respectivos estados
	<i>Regulamentação</i>	<i>Regulamentação</i>
<b>Ceará</b>	Lei 13.103/2001	Lei 13.103/2001
<b>Mato Grosso</b>	Lei 7.862/2002	Lei 7.862/2002
<b>Minas Gerais</b>	Lei 18.031/2009	Deliberação normativa COPAM N. 155/2010
<b>Paraná</b>	Lei 13.557/2005	Lei 13.557/2005
<b>Pernambuco</b>	Lei 12.008/2001 (antiga)	Lei 12.008/2001 (antiga)
	Lei 14.236/2010 (nova)	Lei 14.236/2010 (nova)
<b>Rio de Janeiro</b>	Lei 4.191/2003	Lei 4.191/2003
<b>Santa Catarina</b>	Lei 13.557/2003	Lei 13.557/2003
<b>São Paulo</b>	Lei 12.300/2006	Resolução SMA 056/2010
		Revoga a resolução SMA 41/2002
<b>Rio Grande do Sul</b>	-	Resolução COSEMA Nº 017/01
		Resolução CONSEMA Nº 109/05
		Lei estadual Nº 9.921/1993
		Lei estadual Nº 11520/2000

**Tabela 2.** Política de resíduos sólidos dos estados e regulamentações dos RCD.

**FONTE:** IPEA – adaptado por esta autora.

No que diz respeito aos municípios 5.564, foram considerados e constatou-se que apenas uma pequena parcela desses, possui planos de gerenciamento de RCD, como demonstrado na **tabela 3**.

Municípios	Instrumento legal para RCD
	<i>Regulamentação</i>
Araraquara	Lei 6.352/2005
Caxias do Sul	Lei 6.359/2005
Guarulhos	Lei 6.126/2006
Ribeirão Preto	Decreto 332/2008
São Carlos	Lei 13.867/2006
São José dos Campos	Lei 7.146/2006
São José dos Pinhais	Lei 958/2006
Tremembé	Lei 3.327/2008
Belém	Lei 8.014/2000
Belo Horizonte	Lei 9193/2006 / Lei 8.357/2002
Campo Grande	Lei complementar nº 3241/1993
Cuiabá	Lei 3.586/1996 / Lei 3241/1993
Curitiba	Lei 11.682/2006 / Decreto nº 1.608/2004
Florianópolis	Decreto nº 8747/2011 / Lei 7964/2009 Lei complementar 398/2010 / Lei comp. 305/2007
Fortaleza	Decreto nº 9.374/1994 Lei municipal ordinária nº 5530/1981
Goiânia	Lei municipal ordinária nº 4653/1972
João Pessoa	Lei complementar nº 2/1991
Manaus	Lei 1.411/2010 Lei 605/2001
Natal	Decreto municipal 13.972
Porto Alegre	Projeto de lei 136/2008
Recife	Decreto nº 18.082/98 que regulamenta a lei nº 16.337/98
Rio de Janeiro	Decreto nº 27.078/2006
São Paulo	Lei 14.803/2008 Decreto nº 48.075/2006 Decreto nº 42.217/2002

**Tabela 3.** Regulamentação nos municípios.  
**FONTE:** IPEA – Adaptado por esta autora.

Coletar informações a respeito do serviço de coleta e beneficiamento destes resíduos é complicado devido à falta de padronização das informações e porque dentro da forma de coleta existem diversas metodologias para estimar a geração desses resíduos. Isto acontece devido ao fato das pesquisas serem respondidas a critérios dos gestores municipais, pois algumas informações podem não constar e outras podem ser omitidas, acarretando erro na hora de realizar o balanço geral. Estabelecer um padrão para coleta de informações e calcular o quantitativo de resíduos gerados podem ser metodologias lógica e funcional.

Ainda segundo o relatório elaborado pelo IPEA dos 5.564 municípios que foram avaliados, cerca de 4.031 deles possuem serviços de manejo dos RCD, mas somente 9,7% (cerca de 392 municípios) possuem alguma forma de beneficiamento desses resíduos, como demonstrado na **tabela 4**.

Região	Total de municípios avaliados	Total de municípios com serviço de manejo	Percentual	Total de municípios que exerce controle de RCD
Norte	<b>449</b>	<b>293</b>	<b>65,25%</b>	<b>117</b>
Nordeste	<b>1.793</b>	<b>1.454</b>	<b>81,09%</b>	<b>526</b>
Centro-oeste	<b>1.668</b>	<b>1.272</b>	<b>76,26%</b>	<b>106</b>
Sudeste	<b>1.188</b>	<b>639</b>	<b>53,78%</b>	<b>607</b>
Sul	<b>466</b>	<b>373</b>	<b>80,04%</b>	<b>267</b>

**Tabela 4.** Municípios com serviço de manejo de RCD.

**FONTE:** IPEA – Adaptado por esta autora.

O sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS) avaliou a quantidade coletada de RCD de origens pública e privada. O levantamento foi realizado por região e dentro das regiões os estados e por fim os municípios, como apresentado na **tabela 5**.

Em comparação com as demais regiões, a região Norte é a que menos avança no sistema de coleta de reciclagem de RCD. Analisando a tabela 5, podemos observar que de acordo com a quantidade gerada, o volume ainda é muito menor quando comparado com as outras regiões.

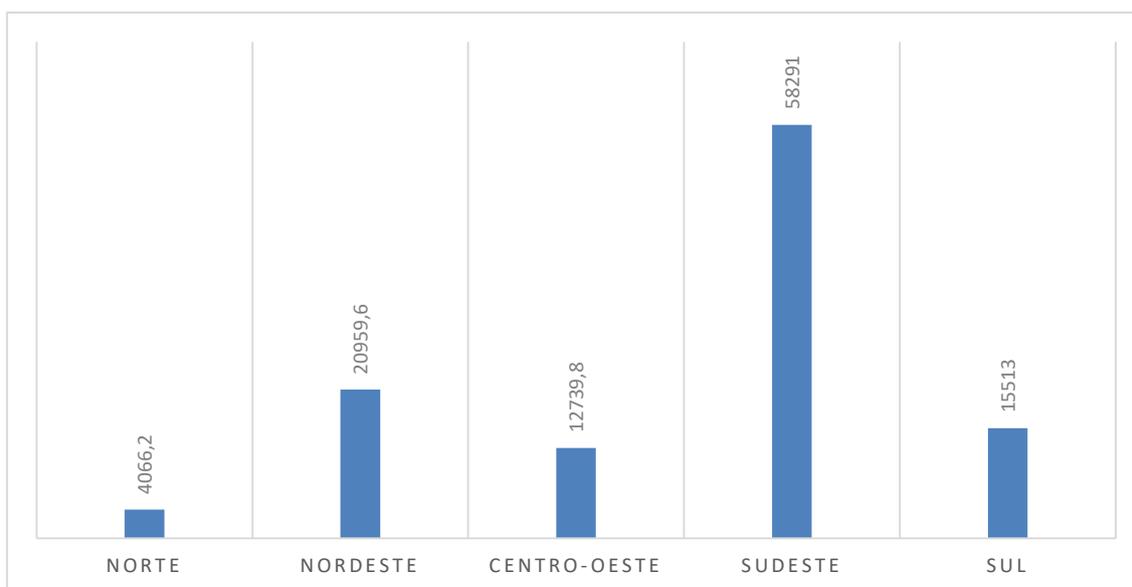
Região	Coleta pública t/a	Coleta privada t/a	Total de municípios
<b>Norte</b>	187.382,5	168.790	30
<b>Nordeste</b>	1.696.632,36	275.014,51	66
<b>Centro oeste</b>	893.787,4	776.953,1	31
<b>Sudeste</b>	3.393.007,1	5.101.471,6	138
<b>Sul</b>	1.021.563,35	1.043.337,3	79

**Tabela 5.** Quantidade de RCD coletada pelos serviços público e privado.

**FONTE:** IPEA.

Este fato deve-se justificar em função do agregado natural que se encontra em larga escala próximo aos centros comerciais, além dos fatores referentes ao índice populacional, às estruturas das casas em determinadas áreas da região, onde não são utilizados cimento e seus agregados. No Amazonas, especificamente em Manaus, já existem estudos sobre a possibilidade do uso de RCD na fabricação de argamassa.

Nas regiões Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul do País, existem usinas de reciclagem de RCD. O grande limitador do desenvolvimento da política de reciclagem de resíduos provenientes da construção civil, ainda é o fator cultural aliado à falta de incentivo público em determinadas regiões.



**Figura 3.** Média do total de RCD coletados nos últimos cinco anos por regiões.

**FONTE:** ABRELPE – Adaptado por esta autora.

O RCD possui composição diversificada e acaba gerando um produto final com níveis elevados de variabilidade mineral. Segundo Martin-Morales et al. (2011) a composição diversificada influencia de forma negativa nas propriedades físicas, mecânicas e químicas do concreto com agregado reciclado, o que por sua vez influencia na empregabilidade do produto final restringindo o uso desse agregado.

Em geral os produtos gerados nas usinas de reciclagem são usados em pavimentação e infraestrutura, pois esse meio de utilização não requer um material de qualidade superior.

A região Sudeste nos últimos anos é a que mais investe na coleta desse material, devido ao maior número de obras civis e ao acesso cada vez mais oneroso aos agregados naturais para obras que podem ser realizadas utilizando RCD, além da pressão da sociedade para que os impactos ambientais gerados pelo uso indiscriminado de resíduos naturais sejam reduzidos e que esses resíduos sejam dispostos corretamente.

## **2.2. Gerenciamento dos RCD**

Basicamente o gerenciamento consiste na organização, gestão e destinação correta dos resíduos das construções e demolições. De acordo com o demonstrado nas tabelas acima, os agregados provenientes das obras civis aumentam a cada ano, demonstrando um crescimento populacional, que muitas vezes é desordenado principalmente nas grandes cidades.

Preocupado com esse crescimento o governo federal desenvolveu o Programa brasileiro de qualidade e produtividade no habitat (PBQP-H), cuja finalidade é melhorar a qualidade de vida, além disso, modernizar de forma produtiva toda a cadeia da construção civil, desde os fornecedores até a qualificação da mão-de-obra no canteiro, visando assim gerar uma quantidade muito menor de resíduos, que pode ser empregada na própria obra quando necessário.

As empresas que possuem esse plano de gerenciamento possuem alguns benefícios como: financiamento em instituições pública e privadas, além de

serem credenciadas a participar do programa “Minha Casa Minha Vida”, Este plano se aplica aos grandes geradores, entretanto ainda existe o problema dos pequenos geradores, que são de responsabilidade municipal e geralmente são de pequenas obras e reformas.

Junto com o programa de qualidade habitacional tem as normas técnicas da associação brasileira, vigentes para gerenciamento do beneficiamento dos resíduos sólidos gerados pela construção civil.

A NBR 15112/2004 remete sobre as áreas de transbordo, triagem e pontos de entrega de pequenos volumes, que precisam estar previamente triados. A norma também trata das ATTs que são equipamentos destinados à captação de resíduos de grande geradores e fazem a triagem e a destinação correta destes materiais. Elas precisam de licenciamento com aterros ou áreas de reciclagem, podendo ser restringidas ao plano de controle de recebimento e resíduos.

A NBR 15113/2004 define a situação dos aterros, que são áreas onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil classe A e os inertes ao solo. A intenção é obter uma segregação uniforme e eficiente para a preservação do material. Essas áreas trabalham com CTR (controle de transporte de resíduos), onde são especificadas a origem, a quantidade e a qualidade do material que precisa ser previamente triado. As áreas precisam de licenciamento ambiental, no âmbito dos órgãos estaduais de meio ambiente. Os aterros de pequeno porte com alguma dificuldade específica, geralmente são dispensados de licença ambiental.

Para obter a licença é necessário ter as exigências básicas: planos de controle e monitoramento, plano de inspeção e manutenção, plano de monitoramento da área de preservação ou de encerramento do aterro e uso futuro da área.

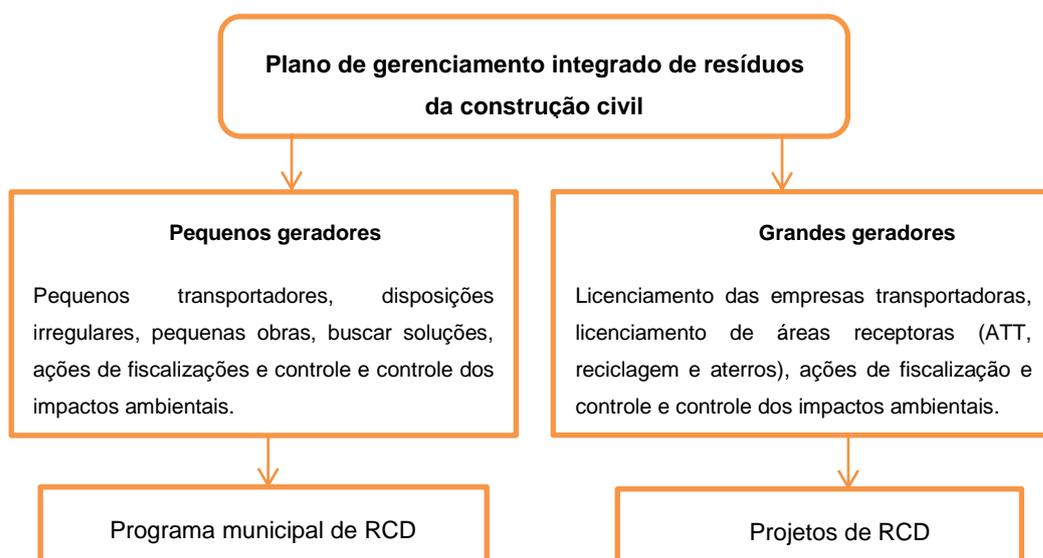
A NBR 15114/2004 discorre sobre as áreas de reciclagem. Os resíduos precisam ser triados previamente onde serão produzidos os agregados reciclados. É necessário possuir equipamentos e as instalações com sistemas de controle de vibrações, ruídos e poluentes atmosféricos, assim como os outros locais de recebimento de RCD, que trabalham com CTR. É necessário obter licenciamento ambiental e possuir os seguintes planos: de inspeção, de manutenção e de operação.

As NBRs 15115/2004 e 15116/2004 tratam especificamente do produto gerado pelas áreas de reciclagem. A primeira norma define como deve se dar o uso desse material como camadas de pavimentação e a segunda norma só discorre sobre o uso do material em pavimentação, como também determina as normas a serem seguidas para o uso do RCD em concreto sem função estrutural.

O objetivo geral dessas normas é determinar um padrão de agregados reciclados que podem ser aplicados na produção de novos produtos dentro da cadeia de construção civil.

De acordo com o que determina a resolução CONAMA 307/2002, é de responsabilidade do município a gestão e a fiscalização, enquanto que aos órgãos ambientais cabe o licenciamento dos locais de disposição de tais resíduos.

Em teoria cada departamento possui sua função, a prefeitura atuando na elaboração do plano de gerenciamento municipal para que os pequenos geradores tenham locais adequados para disposição de seus resíduos e os grandes geradores elaborando seus próprios projetos de gerenciamento dos resíduos que serão produzidos.



**Figura 4.** Organização do plano de gerenciamento integrado de RCD.  
**FONTE:** LIMA & LIMA, CREA-PR – adaptado por esta autora.

No entanto cabe ao município, no papel de responsável e dentro deste quadro de responsabilidades compartilhadas, adotar procedimentos de coleta seletiva e adotar procedimentos visando o reaproveitamento, a reciclagem e o beneficiamento desses resíduos. Além de desenvolver o planejamento para atender aos pequenos geradores e os grandes geradores, precisa elaborar seu projeto e submetê-lo à aprovação. A base para elaboração de projeto ambientalmente sustentável começa com a implementação dos 3 Rs.



**Figura 5.** Representação dos 3 Rs.

**FONTE:** LIMA & LIMA, CREA-PR.

Baseando-se nos 3 Rs é possível reduzir a quantidade de material desperdiçado durante as etapas do processo. Dentro do canteiro de obras o gerenciamento de resíduos pode ser mais eficiente, visando à redução de resíduos gerados a cada etapa do processo de construção.

LIMA & LIMA, para a publicação do CREA-PR exemplificam uma tabela com valores aproximados dos componentes, com valores máximos e mínimos que são desperdiçados em obras.

Materiais	Taxa de desperdício %		
	Média	Mínimo	Máximo
<b>Concreto usinado</b>	9	2	23
<b>Aço</b>	11	4	16
<b>Bloco e tijolos</b>	13	3	48
<b>Placas cerâmicas</b>	14	2	50
<b>Revestimento têxtil</b>	14	14	14
<b>Eletrodutos</b>	15	13	18
<b>Tubos para sistemas prediais</b>	15	8	56
<b>Tintas</b>	17	8	24
<b>Condutores</b>	27	14	35
<b>Gesso</b>	30	14	120

**Tabela 6.** Taxa de desperdício de materiais da construção civil.

**FONTE:** ESPINELLI, 2005.

Para que a redução e a conscientização aconteçam de forma eficaz, é necessário que haja o aspecto da responsabilidade compartilhada, onde se destaca a integração de fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes consumidores e titulares pelos serviços de limpeza urbana e manejo de recursos sólidos.

Além da integração entre as esferas presentes no ciclo de construção civil, são necessárias: a redução da quantidade de perdas e uma série de técnicas abordadas ao longo desse estudo.

Cada município citado como exemplo nesse texto elaborou um plano integrado de resíduos da construção civil, seguindo as diretrizes descritas na resolução do CONAMA e as normatizações específicas relacionadas à reciclagem de resíduos da construção civil, adaptando para realidade de cada região.

Tecnicamente o sistema deveria ser como a **figura 6**, para que se tenha o mínimo de resíduos gerados e o máximo de resíduos reaproveitados. Observar esse aspecto de mínimo e máximo é importante, porque reduzir perdas é reduzir custos, o que torna o orçamento da obra mais enxuto, além de contribuir para a não degradação do meio ambiente e para a poluição visual.



**Figura 6.** Como deveria ser o sistema de geração de resíduos.

## 2.2.1 Normas ABNT para uso de agregado reciclado

A ABNT 15116/2004 tem como objetivo, estabelecer os requisitos para que se possam empregar agregados reciclados de resíduos sólidos, provenientes da construção civil, novamente no ciclo de construção. Essa norma especificamente refere-se aos resíduos gerados nas obras de pavimentação e de preparo de concreto sem função estrutural, como apresenta a **tabela 7**.

Propriedades		Agregado reciclado classe A			
		ARC		ARM	
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)		≥90	-	<90	-
Absorção de água (%)		≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17
Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos	1			
	Sulfatos	1			
	Materiais não minerais <sup>1)</sup>	2			
	Torrões de argila	2			
	Teor total máximo de contaminantes	3			
Teor de um material passante na malha 75 µm (%)		≤10	≤15%	≤10%	≤20%
<sup>1)</sup> Para os efeitos desta norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.					

**Tabela 7.** Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural.

**FONTE:** ABNT NBR 15116:2004.

Entretanto a NBR 7211/2009, estabelece que quando não houver precedentes de desempenho dos agregados ou mesmo regiões em que não seja possível à obtenção de agregados, que atendam às exigências estabelecidas na norma para produção de concreto, devem ser realizados estudos experimentais para se basear, desde que comprovem a obtenção de concreto de qualidade e satisfatório, devidamente documentado em laudos técnicos por profissional qualificado.

## **2.2.2. Municípios e a gestão de RCD**

### **Campinas**

Em Campinas o gerenciamento dos agregados reciclados prevê segregação dos resíduos nas obras e destinação ao sistema de britagem. Os outros resíduos devem ter destinação adequada conforme a classificação e o plano de gerenciamento. Prevê também a aplicação de sanções aos responsáveis que não cumprirem com as determinações legais, estabelecidas através dos planos nacional e estadual de resíduos sólidos.

A cidade, através do projeto de lei complementar municipal PLC 24/2012 que trata de licenciamento ambiental, prevê incentivos no abatimento dos valores das taxas quando se adota práticas de sustentabilidade com resíduos sólidos da construção civil.

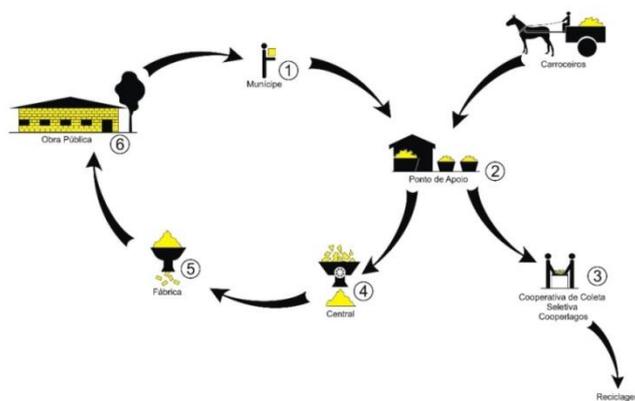
No local em questão a edificação acima de 1500 m<sup>2</sup> de área construída é licenciada e em razão disso, são exigidos os planos de controle de RCD, onde se avalia seu gerenciamento e a destinação adequada. Entretanto existem poucos sistemas adequados para o recebimento e o tratamento. A lei 14418/12 abre a possibilidade de se implantar sistemas privados de gerenciamento, que deverão ser licenciados pelo órgão ambiental competente.

### **São José do Rio Preto**

De acordo com site da prefeitura do município de São José do Rio Preto ([www.riopreto.sp.gov.br](http://www.riopreto.sp.gov.br)), desde 2004, a questão dos resíduos de construção civil é regulamentada, por meio da Lei nº 9.393, de 20 de dezembro de 2004 que trata do Sistema para a Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos, e pelo Decreto nº 12.765 de 08 de abril de 2005 que regulamenta essa Lei. Esse Decreto ainda versa sobre o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Em São José do Rio Preto o gerenciamento de resíduos da construção civil foi estabelecido em duas fases distintas. A primeira são os grandes geradores e a segunda são os pequenos geradores.

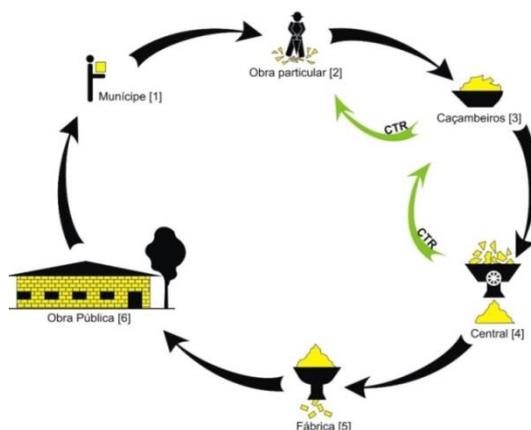
Nesses aspectos são pequenos geradores aqueles que geram até 1m<sup>3</sup> de resíduos da construção ou da demolição e que podem transportar seu próprio entulho ou contratam o serviço de carroceiros. Normalmente são as pessoas que estão fazendo pequenos reparos ou reformas em casa, podadores de árvores e pequenos prestadores de serviços de construção e manutenção.



**Figura 7.** Ciclo do pequeno gerador.

**Fonte:** www.riopreto.sp.gov.br.

Para a outra fase são os grandes geradores que podem ser basicamente os que geram mais de 1m<sup>3</sup> de resíduos da construção ou da demolição e aqueles que necessitam de caçambas para transportar seu entulho, sendo normalmente os responsáveis por construções e reformas. Como exemplos temos: os empreiteiros, construtores e responsáveis técnicos de obras.



**Figura 8.** Ciclo do grande gerador.

**FONTE:** www.riopreto.sp.gov.br

Como em outros municípios os grandes geradores são responsáveis pelos resíduos que geram, transportando e comprovando a destinação final adequada. Já os pequenos geradores são responsáveis em destinar seus resíduos em pontos de apoio existentes na cidade.

A prefeitura de São José tem como intuito além de gerar renda a muitas famílias, proporcionar a integração social, porque o sistema municipal de gestão dos resíduos da construção civil ajuda a cidade na questão da saúde pública.

Antes os resíduos de construções eram jogados em terrenos baldios ou nas margens dos córregos da cidade, causando além do prejuízo da paisagem, a geração de pontos de proliferação de escorpiões, roedores e mosquitos da dengue.

A cidade possui um projeto de gerenciamento de RCD, que também pode ser chamado de Projeto de Gerenciamento de Entulho, que consiste em um documento utilizado para diagnosticar e remediar o problema do entulho em cada obra particular realizada na cidade. Nesse documento o potencial gerador do entulho estima o que será gerado, como o tipo de entulho e a quantidade do mesmo. Estima também quais as ações de redução da geração de entulho que serão tomadas e como condição final, quais destinações ambientalmente corretas serão escolhidas para o entulho gerado. Esse documento normalmente é de responsabilidade do administrador da obra.

A destinação final desses entulhos é comprovada através de documentos de controles de transporte de resíduos (CTR). Esses documentos funcionam como uma espécie de recibo ou nota, e só têm valor quando carimbado e assinado pelo recebedor final do material. A assinatura garante que a destinação final do entulho foi realizada de forma correta. Desta maneira em São José do Rio Preto, apenas as áreas de transbordo e triagem devidamente licenciadas, podem carimbar tais documentos.

## **Curitiba**

Em Curitiba existe o plano integrado de gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e ele é composto por: Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que é elaborado pelo município e pelo Projeto de

Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que é elaborado e executado pelos geradores de obras privadas.

O Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de Curitiba através do Decreto 1.068/2004 disciplina o manuseio e a disposição dos vários tipos de resíduos produzidos nos canteiros de obras. O plano atende pequenos, médios e grandes geradores e envolve toda a cadeia, incluindo transportadores e áreas de destino final.

Baseado no programa elaborado pelo Município de Curitiba, os pequenos geradores são pessoas físicas ou jurídicas, que geram a quantidade máxima de 2.500 litros (2,5m<sup>3</sup>) de resíduos da construção civil, num intervalo não inferior a dois meses. Os pequenos geradores que produzem até 0,5 m<sup>3</sup> de resíduos num período não inferior a dois meses possuem uma pequena distinção na hora de dispor dos resíduos. O primeiro precisa separar os resíduos sólidos de acordo com suas classes já definidas pelo CONAMA 307/2002 e dispor desses resíduos de forma adequada para a coleta, que nesse caso é de responsabilidade do município. Já o segundo além de separar os resíduos de forma adequada, precisará encaminhar os resíduos separados aos locais de recebimento ou transbordo designados pelo município e observar se os resíduos Classe D serão encaminhados à coleta especial de resíduos tóxicos da localidade.

No plano integrado destacam-se as vantagens de separar os resíduos na obra, porque garante a qualidade dos mesmos e reduz os custos de beneficiamento, além de diminuir os custos com transporte. Alguns destes podem ser reutilizados na obra sem precisar ir para o sistema de coleta, além de possibilitar ao gerente observar onde acontecem maiores desperdícios de materiais.

Definiu-se então que os geradores devem elaborar e implementar projetos de gerenciamento de RCD, determinando procedimentos para o manejo e as destinações para esses resíduos. Entretanto se a obra for inferior a 600m<sup>2</sup> de área construída ou 100m<sup>2</sup> de área demolida, os geradores não precisam apresentar projetos de reaproveitamento. Mas os que excedem esses padrões devem apresentar projetos de gerenciamento, que passarão por avaliação e se obtiverem a licença ambiental então terão o alvará de construção, reforma, ampliação ou demolição.

Mas existe uma ressalva, pois segundo o plano integrado de gerenciamento de resíduos, os geradores cujas obras possuam área construída superior a 70 m<sup>2</sup> e inferior a 600 m<sup>2</sup> ou remoção de solo acima de 50 m<sup>3</sup> deverão preencher formulário específico nas Secretarias Municipais de Urbanismo ou Meio Ambiente, na ocasião da obtenção do alvará de construção, reforma, ampliação e demolição ou do licenciamento ambiental. No caso de obras menores que 70 m<sup>2</sup> que gerem acima de 501 litros equivalentes a 0, 501 m<sup>3</sup> de resíduos da construção civil, o gerador deverá assinar o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) emitido pelo transportador ou no caso de transporte próprio, os resíduos deverão ser previamente separados e encaminhados para áreas devidamente licenciadas.

## **Belo Horizonte**

De acordo com a cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil (2005), após averiguação que aproximadamente 40% dos resíduos coletados eram provenientes da construção civil, foi implementado o programa de correção das deposições clandestinas e reciclagem de entulhos com a instalação de pontos de apoios para recebimento dos resíduos e de usinas de beneficiamento. O programa foi implantado em 1993 para corrigir as disposições clandestinas e reciclar entulhos, tendo como principal objetivo corrigir os problemas ambientais gerados pela disposição inadequada desses resíduos.

O plano de gerenciamento integrado de resíduos da construção civil (PGIRCC) do estado deu início ao programa Minas sem lixões, que promove diversas ações para incentivar e orientar os municípios mineiros na elaboração e implementação do plano de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com a lei nº 18.031, de janeiro de 2003.

O estado mineiro possui legislação para resíduos sólidos baseada na Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação, além das seguintes resoluções do CONAMA.

- Resolução CONAMA 275, de 25 de Abril 2001 – que estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva.

- Resolução CONAMA 307, de 5 de Julho de 2002 – que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil.
- Resolução CONAMA 348, de 16 de Agosto de 2004 – que altera a Resolução Conama 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.

As leis regulamentadoras são:

- Lei Estadual nº 7.772, de 8 de Setembro de 1980 – que dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente no Estado de Minas Gerais.
- Lei Estadual nº 14.128, de 19 de Dezembro de 2001 – que dispõe sobre a Política Estadual de Reciclagem de Materiais.
- Lei Estadual nº 15.972, de 12 de Janeiro de 2006 – que altera a estrutura orgânica dos órgãos e entidades da área de meio ambiente que especifica e a Lei 7.772, de 8 de setembro de 1980, que dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente, e dá outras providências.
- Lei Estadual nº 18.031, de 12 de Janeiro de 2009 – dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.

O programa de reciclagem de entulho inicial contava com três unidades de beneficiamento desses resíduos. O material beneficiado é utilizado pela prefeitura em obras de manutenção de instalações de apoio à limpeza urbana, em obras de vias públicas e também em obras de infraestrutura em vilas e favelas.

O projeto começou com o recebimento de pequenos volumes, provenientes de pequenas obras e demolições, evitando assim a disposição final irregular desse material e atualmente existem unidades de pequenos volumes distribuídas pela cidade. A proposta da gestão não está baseada somente na redução de custos empresariais, mas sim em preservar o meio ambiente.

O modelo e as diretrizes tidos como objetivo são basicamente os mesmos citados ao longo do texto e são utilizadas por outras prefeituras no

desenvolvimento de projetos de beneficiamento de resíduos sólidos com destaque para o modelo de classificação e separação dos resíduos nos canteiros de obras, desenvolvidos para ajudar no reaproveitamento dos materiais.

O modelo segue oito passos:

1. Planejar as ações a serem efetivadas e onde serão implantadas, com intuito de direcionar os esforços para atingir metas.
2. Mobilizar o quadro de funcionários através de palestras e outras ações.
3. Caracterizar os RCD gerados nas principais fases da obra, levando em consideração que o material é variável durante o processo.
4. Avaliação da viabilidade do uso dos componentes do entulho. Os classes A podem ser beneficiados e utilizados na própria obra, os de classe B e D voltam ao ciclo de produção, os de classe C ainda não possuem solução economicamente viável.
5. Desenvolver o processo de beneficiamento e obter acordos, contratos, licenças, autorizações e outros documentos necessários para utilização dos agregados reciclados.
6. Desenvolver e documentar os procedimentos adotados na seleção: acondicionamento, despacho e retirada dos agregados beneficiados da obra.
7. Estabelecer o processo de logística e transporte para retirada dos resíduos selecionados.
8. Capacitação do quadro de pessoal envolvido no processo de beneficiamento dos resíduos.

Para os demais materiais é necessário promover coleta simples, sem segregação e enviar para transbordo apropriado. Considera-se que entre 20 e 35% dos agregados gerados na construção civil, presentes nas caçambas de entulho de cubagem até 6 m<sup>3</sup>, são classe B e D.

Trabalha-se com a possibilidade de implantação do modelo de produção mais limpa, que se baseia em integrar as estratégias econômica, ambiental e técnica, com objetivo de alavancar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia. O intuito seria não gerar resíduos e para os processos com resíduos gerados ter opções para uso deste material, a fim de se obter benefícios ambientais e econômicos.

A **tabela 8** representa segundo a SINDUSCON – MG, os agregados gerados durante a etapa do processo de fabricação e/ou demolição.

Resíduos Gerados							
Fases da Obra	Solo Concreto	Aço / sobra de corte	Outros materiais	Papel Plástico Papelão	Vidros	Gesso	Tintas
Demolição	MSG* <sup>2</sup>	VB* <sup>6</sup>	NE	NE	SG* <sup>15</sup>	NE/VB	NE
Escavação	MSG* <sup>3</sup>	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Fundação	NE/VB* <sup>4</sup>	VB* <sup>7</sup>	NE	VB* <sup>12</sup>	NE	NE	NE
Estrutura	NE/VB* <sup>4</sup>	VB* <sup>7</sup>	NE	VB* <sup>12</sup>	NE	NE	NE
Alvenaria	SG* <sup>5</sup>	NE	NE	MSG* <sup>12</sup>	NE	NE/VB	NE
Dry-wall* <sup>1</sup>	NE	NE	SG* <sup>8</sup>	NE/VB* <sup>13</sup>	NE	SG* <sup>17</sup>	NE
Acabamentos	SG	NE	SG* <sup>9*10*11</sup>	SG* <sup>14</sup>	NE/VB* <sup>16</sup>	MSG* <sup>18</sup>	NE
SG – Significativo				NE - Não existe			
MSG - Muito significativo				NE/VB - Não existe ou Baixo valor			
<p>01 - Processo substitutivo da alvenaria tradicional.            02 - Lajes fragmentadas, tijolos.            03 - Solos provenientes das escavações.            04 - Sobras de concreto.            05 - Quebra de tijolos.            06 - Aços agregado nas lajes demolidas.            07 - Aços (sobra no corte das barras de aço).            08 - Sucatas de perfis metálicos usados na montagem da estrutura do sistema dry-wall            09 - Sucatas provenientes do corte de tubos de cobre.            10 - Sucatas metálicas de latas de tinta ou massa de correr, metálicos de silicone para rejunte ou espuma expansiva.            11 - Sucatas de perfis de alumínio caso as esquadrias estejam sendo fabricadas no canteiro de obra.            12 - Sacaria de cimento ou argamassa pronta.            13 – Plástico.            14 - Caixas de papelão das cerâmicas e/ou azulejos.            15 - Quebra de vidros ocorridos na demolição.            16 - Podem ocorrer quebra de vidros na instalação destes.            17 - Provenientes dos recortes de gesso cartonado.            18 - Sucatas de gesso usado para proteção de piso acabados.</p> <p>Outros resíduos importantes a considerar, são: PVC e Madeira.</p>							

**Tabela 8.** Fases e a geração de resíduos na obra.  
**FONTE:** SEDUSCON – MG.

## Olímpia

Na cidade turística de Olímpia - SP, que possui segundo dados do IBGE (2016) 50.024 habitantes em uma área de 802.555 km<sup>2</sup> e que por meio da lei municipal 3.645/2012, foi implementado o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil. O plano traça o esquema de gerenciamento desses resíduos, visando atender aos pequenos e aos grandes geradores, além de determinar os órgãos municipais responsáveis em avaliar os projetos dos grandes geradores.

Em Olímpia a gestão de resíduos é compartilhada entre as gestões pública e privada, ou seja, além da prefeitura atuam na cidade seis empresas privadas. Em geral a coleta pública é destinada aos pequenos geradores, que residem nos distritos. Algumas das características negativas, conservadas pelos gestores, são a mistura de RCD com outros materiais que também estão dispostos para a coleta e a dispersão desse material no ato do transporte.

A ideia do plano de gerenciamento é gerar uma estimativa real em quantidade de resíduos gerados pela construção e pela demolição em Olímpia. Para conseguir uma representação numérica, foi preciso seguir três parâmetros de cálculo que são: calcular o volume de RCD pelas cargas realizadas pelo serviço de transportes das empresas, calcular o volume de resíduos nas áreas de descarte, além de entrevistas e controle por triagem. Levando em consideração os projetos licenciados pela secretaria de obras, os índices demonstram que em 2014 foram gerados 58,6 m<sup>3</sup>/dia, que equivale a 70,3 t/dia de resíduos sólidos da construção civil, demonstrado na **tabela 9**, que representa a quantidade de material coletado por dia na cidade de Olímpia.

EMPRESAS	ÁREAS LICENCIADAS (m <sup>3</sup> /dia)	MOVIMENTO DE CARGAS (m <sup>3</sup> /dia)	MONITORAMENTO DA ÁREA DE TRIAGEM (m <sup>3</sup> /dia)
EMPRESA 1	58,6	21	19,8
EMPRESA 2		10,5	2,3
EMPRESA 3		21	26,3
EMPRESA 4		18,1	18,1
EMPRESA 5		35,0	12,3
EMPRESA 6		21,0	11,7
PARTICULARES		-	12,7
<b>TOTAL</b>	<b>58,6</b>	<b>126,6</b>	<b>113,2</b>

**Tabela 9.** Quantidade coletada de RCD em Olímpia - SP.  
**FONTE:** Prefeitura de Olímpia.

## Rio de Janeiro

Como nos demais municípios, o Rio de Janeiro também segue as determinações da Política Nacional de Resíduos, na elaboração do PGRCC que precisa determinar os procedimentos de caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação, além da obrigatoriedade dos grandes geradores em apresentar seus PGRCC, que podem ser elaborados por terceiros desde que o gerador responsável não se exima das responsabilidades.

Devem conter também os relatórios de implantação e acompanhamento (RIA), para que seja indicado o tipo, a quantidade e o destino final dos resíduos gerados a cada etapa da obra, caso aconteça alguma alteração ela precisa estar previamente prevista no PGRCC. O RIA, deve conter dois documentos que comprovem suas informações, que são:

- Para resíduos classe A, B e C é necessário a Nota de Transporte de Resíduos, em via única assinada pelo gerador, transportador e receptor de resíduos.
- Para resíduos classe D é necessário o manifesto de resíduos do Instituto do Ambiente – INEA.

Atribuir responsabilidades aos grandes geradores para elaboração de projeto de gerenciamento dos resíduos é fundamental para que no PGRCC esteja incluso detalhes de como segregar os resíduos nos canteiros de obras, os incentivos à reutilização dos materiais reciclados no ciclo produtivo, a ilustração de ações educativas para minimizar a geração de resíduos e possibilitar sua segregação, além de determinar os locais adequados para deixar os resíduos. Nesses locais os mesmos podem ser beneficiados e destinados para reutilização, podendo ser aproveitados nos próprios aterros para recuperação ambiental de áreas, cobertura de lixo domiciliar, preparação de pistas, praças de operações do aterro, além de usados para nivelamento e para a conservação de vias de acesso, entre outras destinações. A utilização desse material gera economia no uso de agregados naturais como argila, brita e areia.

A fiscalização no Rio de Janeiro é realizada pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e pela Secretaria de Meio Ambiente (SMAC), tendo como base:

- O estatuto da cidade, pela lei 10.257 de julho de 2001, que estabelece normas que regulamentam o uso do solo urbano, evitando a poluição e a degradação ambiental em prol do bem coletivo, segurança, bem-estar e equilíbrio ambiental.
- Resolução da SMAC nº 387 de 24 de maio de 2005, que discorre no âmbito do município do Rio de Janeiro a apresentação de projeto de gerenciamento de resíduos da Construção Civil.
- Decreto nº 27.078 de 27 de setembro de 2006, que institui o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil no município do Rio de Janeiro, entre outras medidas.
- Resolução SMAC Nº 519 de 21 de agosto de 2012, discorre no âmbito do município do Rio de Janeiro a apresentação de planos de gerenciamento de resíduos da construção civil.

Na cidade do Rio de Janeiro a maior parte dos entulhos gerados é destinada para a área de transbordo e de triagem de entulho Washington Luiz. Existem registros de 07 áreas destinadas para disposição de resíduos sólidos, são elas: ETR – Caju, ETR – Jacarepaguá, ETR – Irajá, ATT – Missões, Aterro Gramacho, CTR – Seropédica, CTR – Gericinó.

Os aterros pertencentes à Associação dos Aterros de Resíduos da Construção Civil do Rio de Janeiro (ASSAERJ) movimentam em torno de 160.000 m<sup>3</sup> de RCD por mês, com possibilidade de 70% dos resíduos pertencerem à classe A, 22% à classe B e 8% à classe C, segundo a associação.

A coleta de informações, que realmente precisa ser relacionada às coletas de RCD, é difícil devido ao sistema de controle do processo desde o início, onde é adotada a Nota de Transporte de Resíduos (NTR) para controle.

O sistema de coleta de resíduos realizado pela prefeitura do Rio de Janeiro é regular e programado para entulhos e bens inservíveis com quantidade de até 2 m<sup>3</sup> para pessoas físicas. Existem bases operacionais para receber entulhos em locais estratégicos nos bairros da cidade e atualmente existem 18 empresas licenciadas pela SMAC para manejo de resíduos.

Resíduos	Total
Classe A	3
Classe B	2
Classe D	2
Classe A, B	1
Classe A, B, C	6
Classe A, B, C, D	3
Desmonte de Rocha	1

**Tabela 10.** Empresas licenciadas no município do Rio de Janeiro.

**FONTE:** SMAC.

Com a finalidade de incentivar a produção e o uso de agregados reciclados, o decreto municipal nº 33.971 de 13 de junho de 2011 determinou a obrigatoriedade da utilização de agregados reciclados de resíduos da construção civil nas obras da administração pública municipal. O intuito é fortalecer a cadeia produtiva de reciclagem. Embora exista o intuito de incentivos, a ASSAERJ esclarece que o grande entrave está na burocracia encontrada para a gestão de RCD. Baseada nestes aspectos a associação criou a ferramenta online “Siscoren” para melhorar o controle dos resíduos, objetivando exercer as funções administrativa e financeira da gestão.

### 2.3. Beneficiamento e aproveitamento dos RCD

Segundo o United States Geological Survey (USGS), os agregados naturais são os recursos minerais mais acessíveis à humanidade e compõem as frações mais importantes usadas na indústria da construção civil. Ainda segundo o instituto, o concreto é o material mais consumido em volume pelo ser humano depois da água.

Para se atingir os objetivos de beneficiar e aproveitar em sua grande maioria esse material, é necessário passar por outras etapas de composição do processo. Faz-se necessário um sistema integrado de informações com relação às obras e/ou demolições em execuções, em conjunto com o transporte desses resíduos aos locais apropriados e seu beneficiamento conforme a capacidade

de produção de cada usina instalada.

Na cidade do Rio de Janeiro, local no qual a pesquisa está sendo realizada, a Associação dos Aterros de Resíduos de Construção Civil (ASSAERJ) através do seu presidente o Sr. Hélcio Maio, informou que possui atualmente seis aterros legalizados, distribuídos entre as pedreiras e os centros de tratamento de reciclagem.

A primeira etapa do processo é a geração dos resíduos, que acontece quando são executadas obras de construção, pavimentação e demolições de modo geral. Após gerar os resíduos, tecnicamente, existe um controle com relação ao transporte e a disposição final desse material. É preciso que seja solicitada em um documento, através de controles de transporte de resíduos (CTR), a remoção desses RCD. Nesse documento é necessário que conste a origem, a quantidade e a qualidade dos resíduos. O gerador escolhe a empresa que irá transportar o material e também a unidade de beneficiamento que irá recebê-lo.

É importante definir a diferença entre destinação final ambientalmente adequada e a disposição final ambientalmente correta. A primeira se trata de destinar os resíduos que podem ser reutilizados, reciclados, sofrerem compostagem, recuperação e serem aproveitados em outros fins além de outras destinações admitidas pelos órgãos competentes. A segunda se baseia na distribuição ordenada dos resíduos em aterros, observando as normas operacionais específicas de maneira a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, além dos impactos ambientais. Precisa ser levado em consideração que o RCD só deve ser disposto quando não possuir outra opção de destinação.

Após os procedimentos iniciais os RCD chegam aos aterros ou CTRs, onde são submetidos às seguintes etapas:

- *Recepção e análise visual* - nesta etapa, o material é pesado e passa por uma pré-triagem para que se defina o destino do mesmo dentro das instalações. O caminhão é pesado na entrada e na saída para saber o peso do material recebido.
- *Estocagem e triagem* – neste momento o entulho é armazenado em local próprio e ocorre a separação dos RCD e dos demais componentes do entulho, como madeira, plástico, metais, papelão, etc. Essa etapa tem função importante, pois dela depende a qualidade do entulho alimentado

e conseqüentemente a do produto que vai ser gerado. Após segregar os resíduos então se inicia a etapa seguinte do processo de beneficiamento.

- *Cominuição e classificação* – esta etapa consiste no transporte do entulho até os equipamentos responsáveis pelo processamento (britadores, moinhos, grelhas e/ou peneiras de aberturas diferenciadas), ocorrendo o beneficiamento do agregado e sua classificação.
- *Estocagem dos agregados* – após o beneficiamento do material, os agregados já classificados de acordo com sua granulometria, são armazenados em local pré-estabelecido. A estocagem pode ser em silos, pilhas ou mista.
- *Expedição do produto* – essa é a etapa final do processo que consiste na liberação do produto para o uso em obras de construções civis.

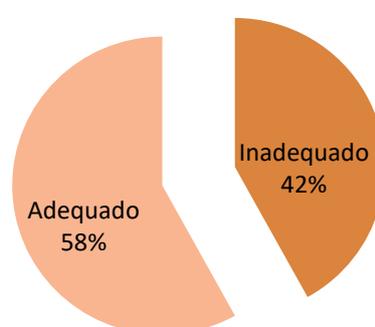
A **figura 9** abaixo representa o ciclo representativo que passa os materiais de construções civis. O conceito é que após o tempo de vida tido como útil, o material vá ser descartado de forma correta e passará por processos de beneficiamento para ajustar o que antes era resíduo em produto qualificado, que poderá ser inserido novamente em obras de construções civis.



**Figura 9.** Exemplo do ciclo de vida dos RCD.  
**FONTE:** [www.saint-gobain.com](http://www.saint-gobain.com)

A **tabela 11** demonstra que os resíduos podem ser reaproveitados no canteiro onde são gerados. O beneficiamento de RCD tem sido visto e estudado com atenção, pois o intuito principal é diminuir a extração de agregados naturais e a degradação ambiental causada pela disposição ilegal desses resíduos, que pode acontecer quando não acontece a identificação correta dos mesmos. O gráfico abaixo demonstra o percentual dos resíduos que não possuem destinação adequada, acarretando danos em diversos aspectos.

## Destinação Final dos Resíduos



**Figura 10.** Destinação final dos resíduos.  
**FONTE:** Manual da ABRELPE, 2013.

Quando este material está dentro da porcentagem que possui destinação adequada, o próximo passo é o sistema de beneficiamento do entulho que pode ser classificado de duas maneiras: a primeira leva em consideração os critérios e o rigor usados na eliminação dos contaminantes e a segunda é em função do tipo de instalação dos equipamentos utilizados no processo.

Geralmente os equipamentos que compõem a usina são: alimentadores, britadores, máquinas de impactos, peneiras e grelhas, transportadores de correia, lavadores e em algumas usinas também possuem rompedores hidráulicos, tesoura trituradora e pulverizadores, quando seu processo é realizado com britadores móveis.

<b>FASES DA OBRA</b>	<b>TIPOS DE RESÍDUOS POSSIVELMENTE GERADOS</b>	<b>POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO NO CANTEIRO</b>	<b>POSSÍVEL REUTILIZAÇÃO FORA DO CANTEIRO</b>
LIMPEZA DO TERRENO	SOLOS	REATERROS	ATERROS
	ROCHAS, VEGETAÇÃO, GALHOS	-	-
MONTAGEM DO CANTEIRO	BLOCOS CERÂMICOS, CONCRETO (AREIA; BRITA)	BASE DE PISO, ENCHIMENTOS	FABRICAÇÃO DE AGREGADOS
	MADEIRAS	FORMAS/ESCORAS/ TRAVAMENTOS (GRAVATAS)	LENHA
FUNDAÇÕES	SOLOS	REATERROS	ATERROS
	ROCHAS	JARDINAGEM, MUROS DE ARRIMO	-
SUPERESTRUTURA	CONCRETO (AREIA; BRITA)	BASE DE PISO, ENCHIMENTOS	FABRICAÇÃO DE AGREGADOS
	MADEIRA	CERCAS; PORTÕES	LENHA
	SUCATA DE FERRO, FÔRMAS PLÁSTICAS	REFORÇO PARA CONTRAPISOS	RECICLAGEM
ALVENARIA	BLOCOS CERÂMICOS, BLOCOS DE CONCRETO, ARGAMASSA	BASE DE PISO, ENCHIMENTOS, ARGAMASSA	FABRICAÇÃO DE AGREGADOS
	PAPEL, PLÁSTICO	-	RECICLAGEM
INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS	BLOCOS CERÂMICOS	BASE DE PISO, ENCHIMENTOS	FABRICAÇÃO DE AGREGADOS
	PVC; PPR	-	RECICLAGEM
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	BLOCOS CERÂMICOS	BASE DE PISO, ENCHIMENTO	FABRICAÇÃO DE AGREGADOS
	CONDUITES, MANGUEIRA, FIO DE COBRE	-	RECICLAGEM
REBOCO INTERNO/EXTERNO	ARGAMASSA	ARGAMASSA	FABRICAÇÃO DE AGREGADOS
REVESTIMENTO	PISOS E AZULEJOS CERÂMICOS	-	FABRICAÇÃO DE AGREGADOS
	PISO LAMINADO DE MADEIRA, PAPEL, PAPELÃO, PLÁSTICO	-	RECICLAGEM
FORRO DE GESSO	PLACAS DE GESSO ACARTONADO	READEQUAÇÃO EM ÁREAS COMUNS	-
PINTURAS	TINTAS, SELADORAS, VERNIZES, TEXTURA	-	RECICLAGEM
COBERTURAS	MADEIRAS	-	LENHA
	CACOS DE TELHAS DE FIBROCIMENTO	-	-

**Tabela 11.** Fases de obras, resíduos gerados e formas de reaproveitamento.

**FONTE:** VALATTO, 2007, adaptado LIMA (2009).

### 2.3.1. Equipamentos para beneficiamento de resíduos

*Alimentadores* – são equipamentos utilizados para a alimentação de britadores primários, retomada de materiais sob silos e pilhas, alimentação com dosagem de britadores e moinhos. Os alimentadores recebem o impacto inicial das rochas e trabalham de forma ininterrupta, com função de absorver o impacto e dosar a alimentação de britadores. Eles podem ser encontrados em modelos variados entre básicos e com funções específicas. Três modelos são mais usualmente utilizados: os alimentadores sapatas, alimentadores vibratórios e alimentadores de correia.

- Alimentadores sapatas: são basicamente constituídos por uma esteira metálica feita de placas fundidas ou laminadas, parafusadas em duas correntes de esteira de trator, como demonstra a **figura 11**. Esta também é suportada por roletes de trator e um chassi estrutural, com ou sem trilhos de impacto, sendo que essa estrutura pode variar de acordo com o tipo aplicação. Esses alimentadores podem atingir capacidades de 100 t/h a 10 mil t/h e são indicados para trabalhos onde haja impacto constante.



**Figura 11.** Alimentador sapata.

**FONTE:** [www.tgend.com.br](http://www.tgend.com.br)

- Alimentadores vibratórios: são os alimentadores mais utilizados em trabalhos menos desgastantes na fase primária. São compostos por uma mesa apoiada sobre molas, que recebe movimentos vibratório por meio de excitadores, como demonstrado na **figura 12**. Esses alimentadores

- Podem alimentar britadores primários, secundários e terciários. Um ponto diferencial entre os vibradores e os alimentadores sapatas é a capacidade de produção dos primeiros, que trabalham com volume menor de material e podem produzir de 24 a 1,2 mil t/h.



**Figura 12.** Alimentador vibratório.

**FONTE:** [www.pampeiro.com.py](http://www.pampeiro.com.py).

- Os alimentadores correia: são usualmente utilizados nas etapas para retomada de finos e úmidos, porque eles possuem manuseio simples, o que facilita seu emprego nas etapas secundárias e terciárias. Sua estrutura é simples, constituída de uma correia com força para retomada de material. Eles foram idealizados para operações de baixo impacto ou para trabalho com materiais com características abrasivas.



**Figura 13.** Alimentador correia.

**FONTE:** [imagemade-in-china.com](http://imagemade-in-china.com)

*Britadores* – conceitua-se a britagem como a fase grosseira da cominuição de minerais, sendo os britadores considerados os equipamentos mais importantes em uma usina de reciclagem de RCD, determinando a maior parte das propriedades dos agregados produzidos. Existem quatro estágios na britagem: o primeiro é a britagem primária, que é realizada a seco e tem uma razão de redução na proporção de 8:1. Nesse estágio são utilizados os britadores de mandíbulas, britador giratório, britador de impacto e o de rolos dentado.

- Britadores de mandíbulas podem ser de dois tipos, a base é o mecanismo de acionamento da mandíbula móvel, então tem os britadores de um eixo e o de dois eixos. A **figura 14** demonstra um modelo de britador de mandíbulas. Geralmente os britadores de dois eixos são 50% mais caros que o de um eixo e a especificação é em razão das dimensões de abertura da alimentação.



**Figura 14.** Britador de mandíbulas.

**FONTE:** EEL – USP

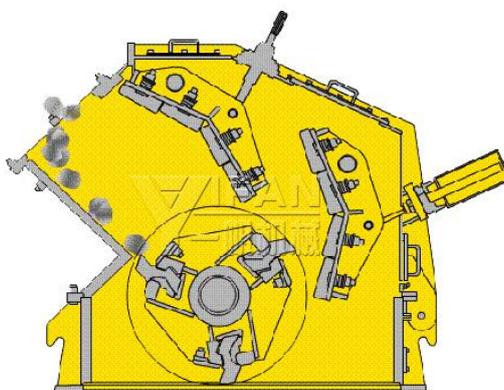
- Britador giratório geralmente é utilizado quando existe uma grande quantidade de material a ser fragmentado, é mais operacional que o de mandíbulas, possui alimentação em todos os lados e permite armazenagem, além de ter baixo custo operacional.



**Figura 15.** Britador giratório.

**FONTE:** SOUZA (2014)

- Britador de impacto trabalha com fragmentação sendo feita por impacto ao invés de compressão, basicamente a energia cinética é transferida para o material, fazendo com que se projete sobre placas fixas de impacto onde acontece a fragmentação, como apresentado na **figura 16**. O problema desse equipamento é o alto custo de manutenção em função do grande desgaste.



**Figura 16.** Britador de impacto.

**FONTE:** [www.britador-movel.com](http://www.britador-movel.com)

- Britador de rolo dentado é um rolo dentado móvel que possui uma carcaça fixa, o rolo possui movimento giratório que provoca a compressão e o cisalhamento do material entre os dentes e a placa fixada à câmara, a **figura 17** exemplifica o modelo dos rolos. No entanto

- Por ser sensível à abrasão possui emprego limitado devido aos desgastes dos dentes.



**Figura 17.** Britador de rolo dentado.

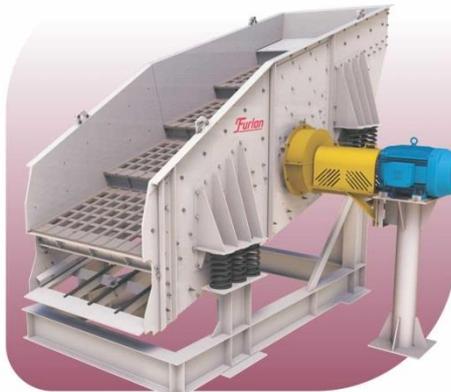
**FONTE:** [zzjmjx.en.alibaba.com](http://zzjmjx.en.alibaba.com)

A britagem secundária inclui todas as gerações de britagem subsequentes à primária e seu objetivo geralmente é a redução granulométrica do material para moagem. Normalmente os equipamentos são os britadores giratórios secundários, britador de mandíbulas secundário, britador cônico, britador de martelos e britador de rolos. Os britadores de mandíbulas, giratórios e martelos são semelhantes aos da britagem primária.

A britagem terciária em tese é o último estágio de britagem, mas existem processos em usinas que possuem mais de três estágios, geralmente em função das características de fragmentação do material, ou à granulometria do produto final. Geralmente os equipamentos são os britadores cônicos, que exigem maior controle durante a operação, trabalhando usualmente em circuito fechado.

*Peneiras e Grelhas* – durante o processo de peneiramento a camada de material tende a desenvolver um estado fluído, sendo que a classificação se dá através dos processos de estratificação e de separação nos quais são usadas as peneiras e grelhas. Grelhas são constituídas por barras metálicas dispostas paralelamente, mantendo um espaçamento regular entre si. As peneiras são constituídas por fios metálicos trançados geralmente em duas direções ortogonais, deixando aberturas de dimensões determinadas, que podem ser quadradas ou retangulares. Essas peneiras e grelhas podem ser fixas, sendo que estas também podem ser vibratórias e aquelas podem ser rotativas,

reciprocativas e vibratórias. A escolha deve ser feita de acordo com as características do material ou tipo de serviço a ser prestado. A **figura 18** apresenta um modelo vibratório.



**Figura 18.** Modelo de peneiras e grelhas vibratórias.  
**FONTE:** Furlan.com. br.

*Transportadores de correia* – são compostos por roletes, tambores, acionadores, esticadores, estrutura metálica e acessórios. O rolete é composto por um conjunto de rolos em seu suporte. Os rolos efetuam livre rotação em torno do seu eixo e são usados para suportar e/ou girar a correia transportadora. Os tambores são elementos para transmissão, que podem ser de acionamento, de retorno, de dobra, de encosto e esticado. As principais funções dos esticadores são garantir a tensão conveniente na correia para o seu acionamento e absorver as variações no comprimento da correia, causadas por mudanças de temperaturas e oscilações de cargas.



**Figura 19.** Transportadores correia.  
**FONTE:** www.tekroll.com.br

*Lavadores* – a lavagem tem por objetivo a remoção de materiais indesejáveis, como a argila e as partículas superfinais. É aplicada também na classificação de materiais finos e úmidos, cujo peneiramento é extremamente difícil sem o emprego da mesma a **figura 20** apresenta dois modelos de lavadores simples para materiais finos e grossos. São utilizados alguns tipos de lavadores nesse processo:

- Lavadores de cascalho são lavadores de areia simples ou duplos que são utilizados para a lavagem de cascalho. Geralmente o material contaminado é alimentado no fundo da calha, sendo transportado para cima por pás em formato de rosca, devido à fricção entre o material, possuindo capacidade entre 40 – 350 t/h.
- Peneiras úmidas através da pulverização de água podem ser usadas para lavar materiais em uma peneira, independentemente do tamanho do orifício da tela de peneiramento.
- Separador aquamotor foi desenvolvido para lavagem eficiente de refugo de baixa densidade como carvão, madeira e outros, mas sendo principalmente para cascalho, cavacos e detritos de demolição, possuindo capacidade típica de 10 – 180 t/h de material sólido.
- Separador hydrobelt opera de acordo com os mesmos princípios do aquamotor, entretanto foi projetado para processar areia até o tamanho de micron, possuindo capacidade típica de 8 – 225 t/h.
- Lavadores tambor são utilizados quando os sólidos de rochas, os cascalhos ou os minerais contêm um alto conteúdo de argila e sujeiras pegajosas que precisam ser removidas. O peneiramento úmido normalmente não é suficientemente efetivo, possuindo capacidade entre 8 – 120 t/h.
- Lavadores de atrição são lavadores utilizados principalmente com materiais de tamanhos abaixo de 10 mm. O consumo de energia deste equipamento é alto e é geralmente usado na preparação da matéria-prima para a fabricação de vidro.



**Figura 20.** Modelo de lavadores para materiais finos e grossos.

**FONTE:** [www.mde.ind.br](http://www.mde.ind.br)

Existem outros tipos de equipamentos dentro de uma usina de reciclagem de RCD, devido à necessidade de redução das dimensões dos resíduos, como o rompedor hidráulico. As tesouras trituradoras são geralmente usadas na demolição de concreto, cortes de vigas e demolições de pontes. Os pulverizadores são usados para reduzir o tamanho dos blocos de concreto e separar as barras de aço. Além desses, também são necessários equipamentos para o espalhamento e o carregamento do resíduo, como a pá carregadeira ou a retroescavadeira e as caçambas.

### **2.3.2. Processos de britagem de RCD**

Segundo Marcos Lopes fundador do portal técnico em mineração, a britagem é o primeiro passo relevante dentro do processo de fragmentação e é um dos principais processos dentro da cominuição de minérios, isso porque é responsável em grande parte pelo beneficiamento mineral.

Existem diversos modelos de britadores os mais comuns foram apresentados na seção 2.3.1. O processo de britagem recebe os resíduos de diversas formas e tamanhos que são encaminhados para os britadores para que o material seja reduzido a granulometrias que alimentem a próxima etapa do processo de beneficiamento ou apresentem forma e tamanho adequado para uso em etapas do processo de construção civil.

Cunha (2007) analisou os processos de britagem em 5 usinas distintas e concluiu que os processos de beneficiamento seguem basicamente os seguintes passos:

- a) A matéria-prima é transportada até o alimentador do britador;
- b) Em seguida é depositada na calha do alimentador e conduzida a câmara de britagem (nesta etapa do processo o RCD é umedecido);
- c) O material é fragmentado em tamanhos e formas diferentes, o que determina esses aspectos é o tipo e a regulagem do britador;
- d) Ao sair do britador os fragmentos são depositados em correias transportadoras passando por separadores magnéticos;
- e) Na sequência são empilhados ou peneirados;
- f) Quando passam pela etapa de peneiramento, acontece a classificação em faixas granulométricas.

O processo de britagem dos resíduos da construção civil pode ser realizado em plantas fixas, semimóveis e móveis não havendo grandes diferenças nos equipamentos básicos para beneficiamento de resíduos.

**Plantas fixas** são empregadas em empreendimentos de localização definitiva, uma vez instalada a remoção se torna economicamente inviável. Suportam equipamentos maiores e mais potentes que possibilitam melhor processo de britagem, retirada de impurezas e peneiramento consequentemente possuem um maior poder produtivo, como apresentado na **figura 21**.



**Figura 21.** Planta fixa para beneficiamento de RCD.

**FONTE:** Ruy Duarte Coelho

**Plantas semimóveis** as instalações são montadas sobre estruturas metálicas, permitindo assim eventual relocação dos equipamentos. Além do poder de relocação, o menor investimento e a rapidez na montagem viabiliza o projeto, um modelo é apresentado na **figura 22**.



**Figura 22.** Planta semimóvel para beneficiamento de RCD.

**FONTE:** Ruy Duarte Coelho

**Plantas Móveis** são instalações para empreendimentos que necessitam fazer relocação do equipamento com frequência, como as empresas de demolição. Os equipamentos responsáveis pelo processamento do entulho são montados sobre rodas havendo necessidade de obras civis. Essas plantas muitas vezes vão até o local onde se encontra o material reduzindo custos de transportes e desperdício de tempo. Além de possuir a opção de curto tempo de montagem e manutenção simples, um exemplo desse modelo é a **figura 23**.



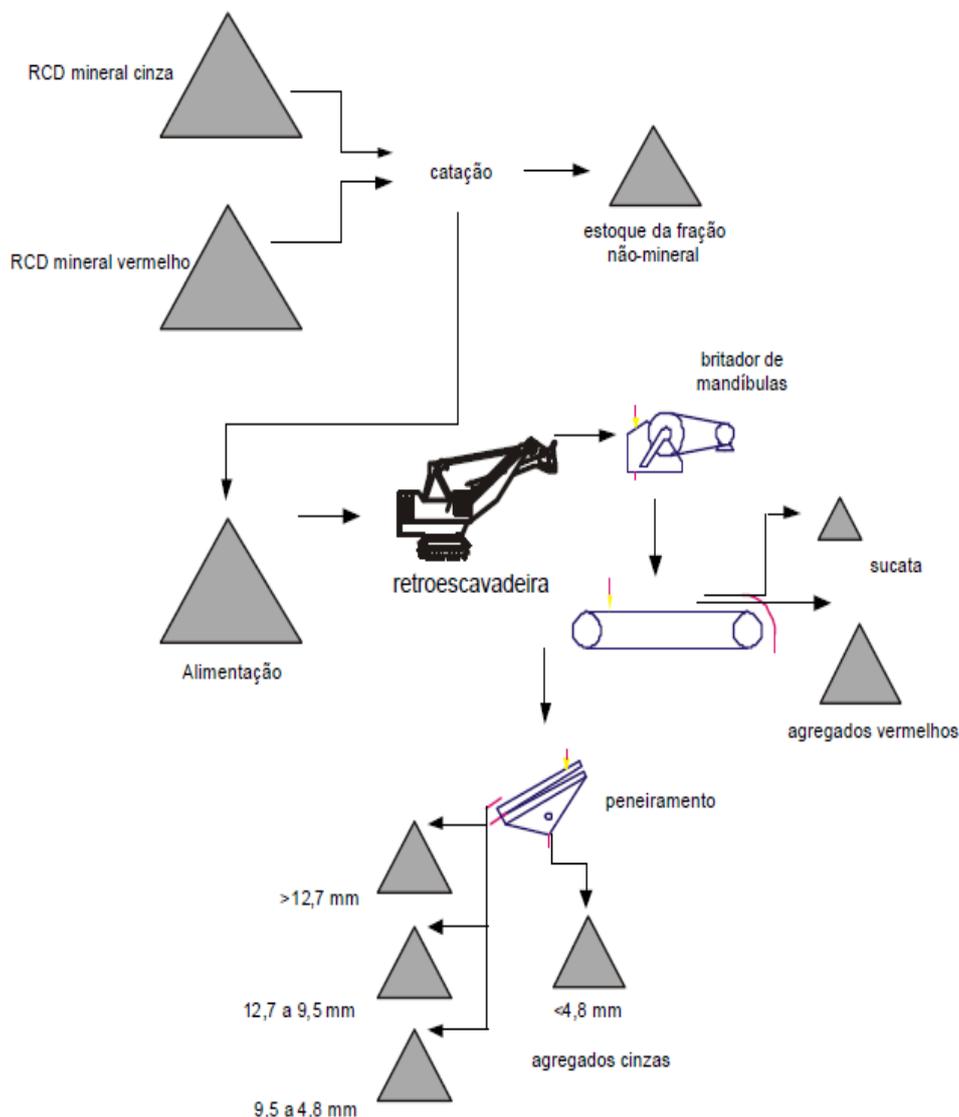
**Figura 23.** Planta móvel para beneficiamento de RCD.

**FONTE:** Ruy Duarte Coelho

Cunha (2007) definiu que o processo de reciclagem no Brasil é composto por etapas de segregação, triagem, britagem e peneiramento. Os processos de britagem em geral seguem os mesmos passos, independente do modelo de planta em que serão beneficiados os resíduos, o que vai diferir a capacidade de produção de cada planta são os equipamentos escolhidos para cada etapa do processo de beneficiamento.

#### **2.4. Modelos de Fluxograma para beneficiamento de RCD**

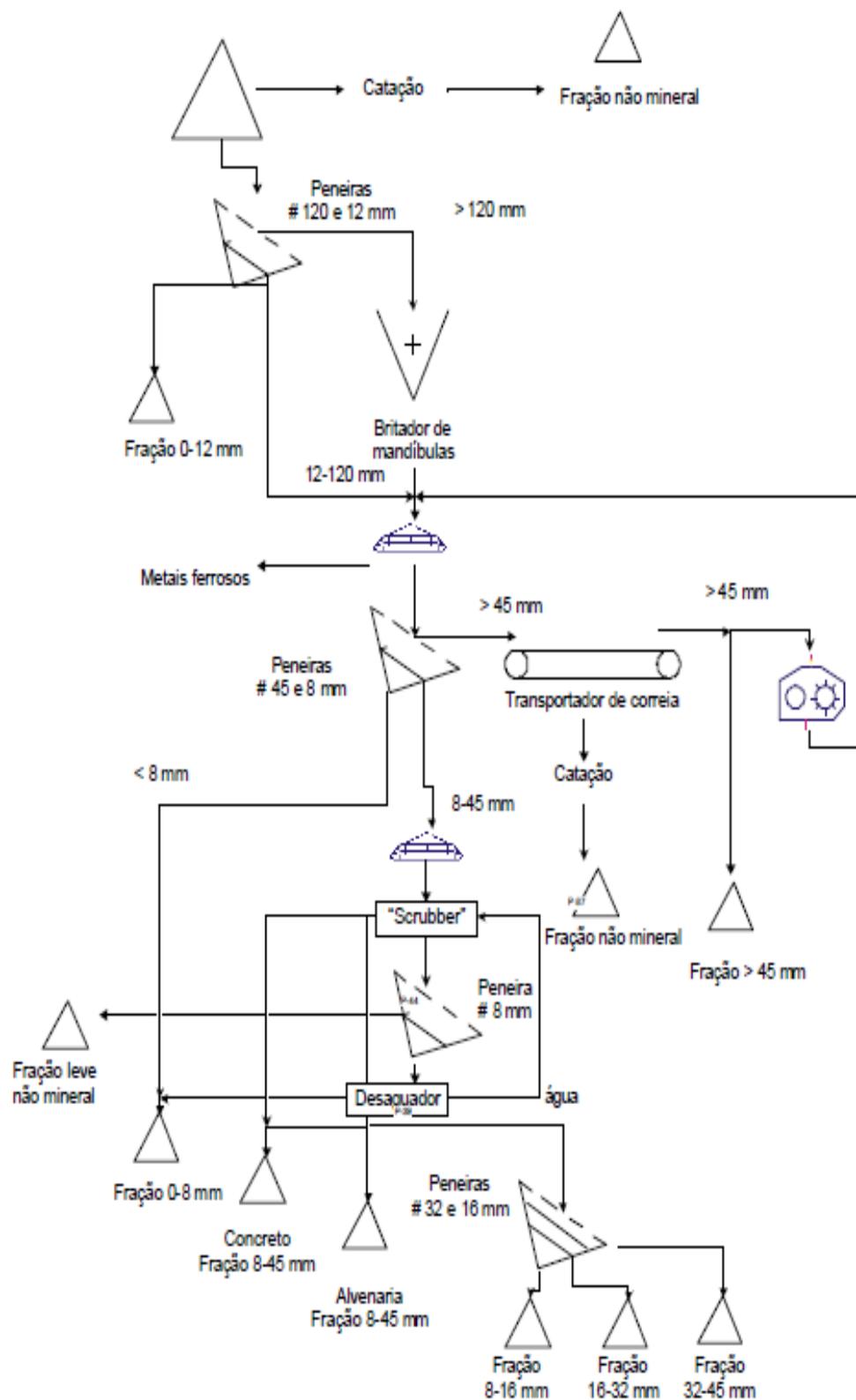
Ângulo (2005); Ângulo et al (2002b) e Ângulo et al (2003b) observaram que as usinas brasileiras possuem em sua maioria plantas fixas de beneficiamento e observaram ainda que as usinas europeias possuem o mesmo processo de beneficiamento a seco, com algumas etapas mais desenvolvidas em relação ao processamento das usinas brasileiras. As **figuras 24, 25 e 26** apresentam modelos de fluxogramas utilizados em usinas de beneficiamento de RCD.



**Figura 24.** Fluxograma da usina de reciclagem de RCD em Vinhedo, São Paulo – Brasil.

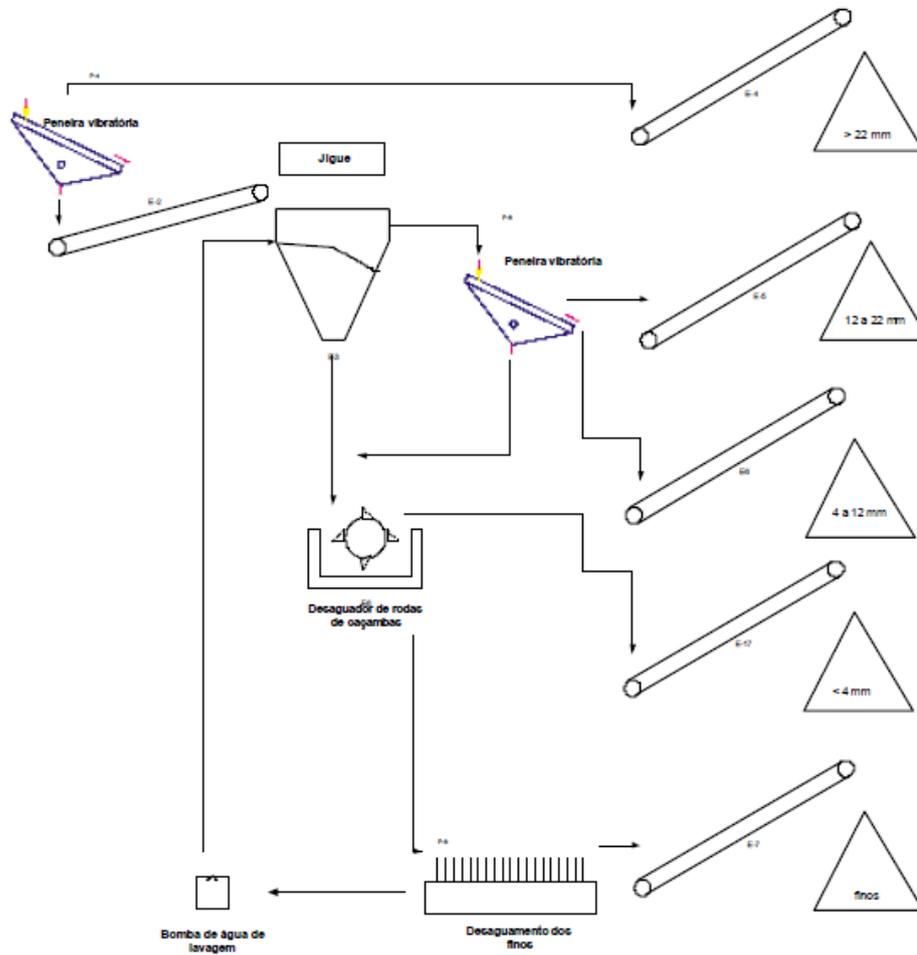
**FONTE:** Ângulo, 2005.

Cunha (2007) alerta para o fato que se o agregado reciclado possuir aparência bem graduada e limpa não significa existiu qualidade no processo de beneficiamento, fatores como implantação da usina até o processo de estocagem final podem influenciar na qualidade do agregado beneficiado. Cunha (2007) salienta ainda que as usinas de reciclagem precisam ser próximas aos geradores de RCD, para que o beneficiamento seja plenamente viável.



**Figura 25.** Fluxograma de uma usina de reciclagem de RCD na Alemanha.

**FONTE:** Ângulo, 2005, adaptado por Muller, 2003.



**Figura 26.** Fluxograma de um processo de beneficiamento a úmido empregando Jigue.

**FONTE:** Ângulo, 2005; Jungman, 1997; Quindt, 1999.

Cada modelo de planta de beneficiamento apresentado no subitem 2.3.2 esta inserida em um fluxograma que determina o passo a passo das operações realizadas, partindo do principio que determinar um padrão para beneficiamento de RCD é fundamental um dos intuitos desta pesquisa é propor um fluxograma funcional para beneficiamento dos resíduos da construção civil.

### 2.4.1. Características e composição dos RCD

De acordo com Corinaldesi et al (2002), a composição dos resíduos da construção civil exerce forte influência nos resultados dos ensaios mecânicos do concreto, principalmente nos ensaios de resistência a compressão.

Estudos anteriores utilizando agregados reciclados para substituir agregados naturais em determinados casos, revelam algumas características desses resíduos como:

1. Quando se aumenta o teor de resíduos usados na produção dos concretos, ocorre uma significativa diminuição na fluidez;
2. Além desse tipo de material possuir um teor de absorção superior ao do agregado natural, possui maior porosidade, além de uma quantidade maior de finos;
3. O grau de compactação é um fator importante nas propriedades de resistência e de absorção e em alguns casos são mais relevantes que a relação água/cimento;
4. Em casos de fabricação de novos produtos, a composição do agregado reciclado está diretamente ligada à qualidade do produto final, afetando esse material nas propriedades mecânicas dos concretos.

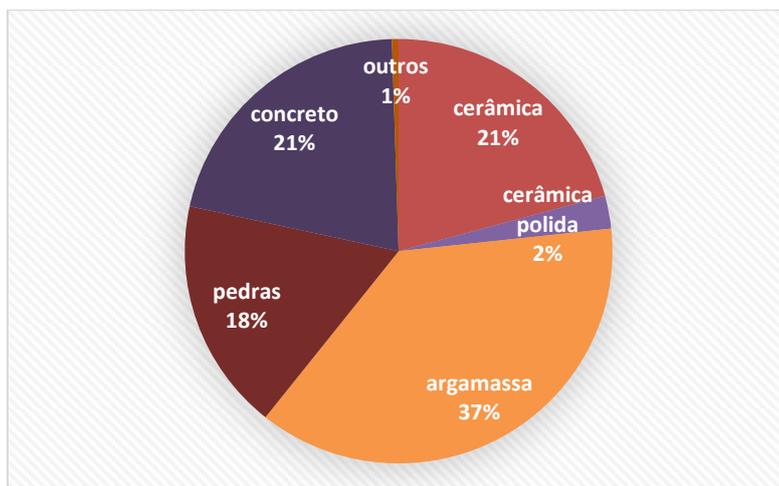
Se a base de interesse é a fabricação de novos produtos a partir dos RCD, é necessário seguir as normas técnicas, a fim de conferir confiabilidade técnica aos produtos e viabilizar o beneficiamento dos RCD.

Segundo Carneiro et al. (2000), o fato de haver uma grande variedade de matéria-prima, de técnicas e metodologias utilizadas na construção civil, as características dos entulhos gerados são afetadas em especial na composição e na quantidade, condicionando assim as características dos materiais à realidade da região. A **figura 27** demonstra a composição segundo Pinto et al (2000), podendo observar uma quantidade importante de argamassa que a composição apresenta.

Como já citado neste texto, a composição pode variar de acordo com a origem dos resíduos sólidos. Uma prova desta afirmação é a análise de composição de Lanzellotti (2005), com um estudo mais detalhado do material que foi trabalhado.

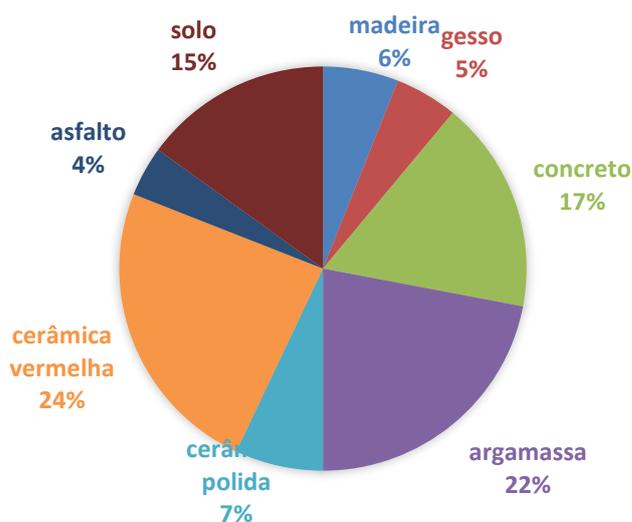
Entretanto mesmo apresentando outros compostos, a argamassa está presente em grande porcentagem nessa amostra, além da presença de gesso que é prejudicial ao produto final, como demonstrado na **figura 28**.

Estudos anteriores comprovam que a presença de argamassa, impurezas e contaminantes, possuem influência negativa nas propriedades físicas, mecânicas e químicas dos agregados.



**Figura 27.** Porcentagem média da composição de agregados reciclados.  
**FONTE:** PINTO et al (2000).

Gráficos de estudos diferentes, em locais diferentes e em tempos diferentes, ocasionam mudança em relação à quantidade e à presença de elementos.



**Figura 28.** Porcentagem média da composição de agregados reciclados.  
**FONTE:** LANZELLOTTI, 2005.

As características dos agregados reciclados além de dependerem das propriedades do concreto que foi demolido, também dependem da planta onde acontece o beneficiamento do material. Essas plantas podem ser de primeira, segunda e terceira gerações:

*Plantas de Primeira Geração* – além dos equipamentos convencionais de britagem, apresentam dispositivo tipo ímãs magnéticos, para remoção de barras de aço e outros elementos metálicos.

*Plantas de Segunda Geração* – são similares às de primeira geração, porém apresentam sistemas preliminares de eliminação de contaminantes. As impurezas de maior dimensão são retiradas manualmente ou mecanicamente antes da britagem.

*Plantas de Terceira Geração* – visam à remoção integral de todos os materiais secundários, considerados como contaminantes dos agregados reciclados. Além dos processos e equipamentos utilizados, encontram-se também tanques de depuração por flutuação para separar por densidade madeiras e plásticos, processos úmido e classificador por ar, para separar partículas leves e de densidades diferentes pelo escoamento de ar horizontal e vertical.

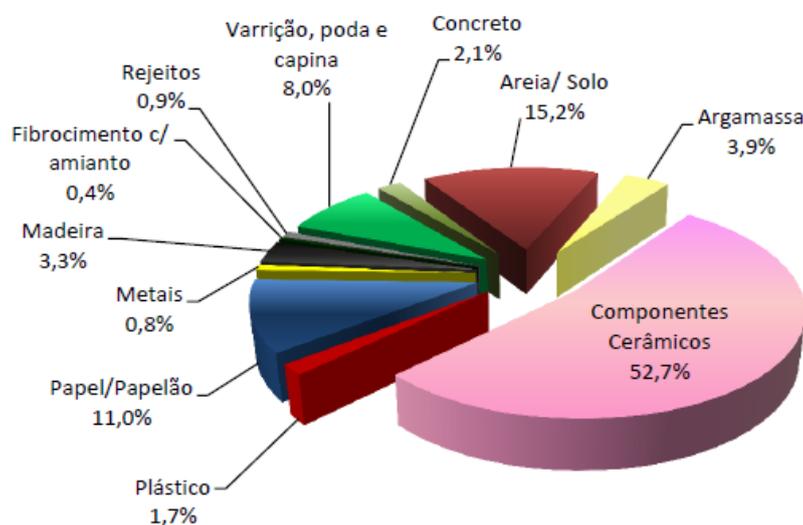
Em função destes fatos, existem diferenças importantes entre as características dos agregados reciclados produzidos em diferentes plantas. Entretanto os materiais beneficiados na mesma planta podem possuir composição diferenciada devido à natureza do concreto.

Para Morales et al. (2010), conseguir um agregado reciclado de alta qualidade é caro e muitas vezes economicamente inviável em países onde agregados naturais possuem baixos custos. Este fator é um limitador de pesquisas e utilização desse material em determinadas regiões do Brasil, principalmente nos grandes centros.

Para determinar a composição dos resíduos sólidos em Olímpia - SP, foi preciso fazer estimativas baseadas no plano de gerenciamento de RCD que a cidade possui. A composição foi justificada através de visitas *in loco* nas obras e observação, que nem as tecnologias nem os materiais utilizados ao longo dos anos mudaram, como apresentado na **figura 29**.

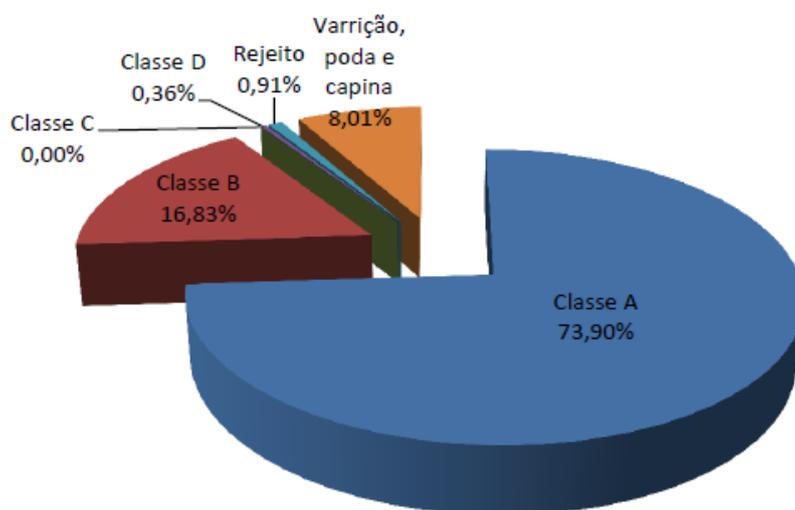
Segundo o plano integrado de Olímpia - SP a caracterização dos principais componentes agrega valor aos resíduos de construção civil e

geralmente os resíduos classe A correspondem a maior parcela dentre os resíduos considerando o todo, como representa a **figura 30**.



**Figura 29.** Estimativa percentual da composição volumétrica dos RCD e volumosos de Olímpia - SP.

**FONTE:** MARQUES NETO e CORDOBA (2010).



**Figura 30.** Estimativa percentual por classes de RCD de Olímpia - SP.

**FONTE:** MARQUES NETO e CORDOBA (2010).

Levando em consideração todas as informações a respeito das diferenças entre composições e agregados, é preciso avaliar que em sua grande

maioria as composições de materiais se repetem principalmente nas frações de materiais cerâmicos, que dependendo do resíduo sofrem variações em relação à quantidade presente na amostra analisada.

#### **2.4.2. Caracterização química dos RCD**

Para Jiménez (2016) a análise de caracterização química deve revelar em nível microscópico a composição do RCD e conhecer a composição dos RCD é fundamental para destinar suas aplicações.

Para Branco (2009) as propriedades químicas dos agregados reciclados é o fator condicionante da afinidade entre o agregado e o ligante o que pode provocar o envelhecimento/degradação precoce das estruturas em que são aplicados.

Ensaio de análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de Raios -X (DRX) permitem identificar os minerais presentes nos resíduos a serem estudados e a análise prévia da qualidade do material baseado na sua composição.

#### **2.4.3. Caracterização física e mecânica dos RCD**

Jiménez (2016) cita que as pesquisas de Motta (2005); Gomez (2011) e Delongue (2012) exemplificaram que resíduos gerados em diferentes cidades do Brasil têm características físicas e mecânicas comparáveis aos materiais normalmente empregados na construção civil. Cita ainda que é preciso conhecer de forma ampla as propriedades físicas e mecânicas dos RCD, que os agregados se diferem de acordo com a região de origem, podendo apresentar comportamento mecânico diferenciado.

Branco (2009) cita que as propriedades mecânicas visam avaliar não só o desempenho a resistência mecânica, como analisar o desempenho do concreto com frações de RCD.

Branco (2009), ainda observa que as propriedades físicas e mecânicas devem ser avaliadas de forma distinta uma da outra, levando em consideração

que as propriedades físicas como as massas volumétricas e o teor de absorção de água, servem para identificar os agregados e as propriedades mecânicas permitem qualificar o agregado em termo de desempenho.

Gomes (2011) caracterizou o agregado reciclado que estava analisando de apresentou conforme demonstrado na **tabela 12**.

Propriedades	ASTM D2940- 09	NBR 15115/03- EB2103/91	DNER ES 303/97 ES 141/10	PMSP/SP	RCD desta pesquisa
Coefficiente de uniformidade ( $C_u$ )	-	$\geq 10$	-	$\geq 10$	61
% que passa a peneira N°40	-	10-40%	-	10-30 %	15%
Teor de material passante a malha (0.075mm)	7-15%	10% <sup>gráudo</sup> 15% <sup>miúdo</sup>	-	-	3% <sup>gráudo</sup> 12% <sup>miúdo</sup>
Absorção	-	7,0%*			7,7%
Expansão	$\leq 0,5\%$	$\leq 0,5\%$	$\leq 0,5\%$	$\leq 0,5\%$	0,0%
Materiais indesejáveis	-	3%	-	3%	0,56%
Limite de liquidez (LL)	$\leq 25$	$\leq 25$	$\leq 25$	$\leq 25$	32%
Índice de plasticidade (IP)	$\leq 4$	$\leq 6$	$\leq 6$	$\leq 6$	NP
Equivalente de areia (EA)	$\geq 35\%$	$\geq 30\%$	$\geq 30\%$	$\geq 30\%$	$\geq 70\%$
Índice de forma	-	-	-	-	0,9
Densidade das partículas sólidas Gs	-	-	-	-	2,72
Durabilidade em sulfato de Mg	-	30%	-	30%	6,4% <sup>gráudo</sup> 11,2% <sup>miúdo</sup>
Abrusão Los Angeles	-	$\leq 55\%$	$\leq 55\%$	$\leq 55\%$	35% <sup>gráudo</sup> 38% <sup>miúdo</sup>

\*Valor referido à preparação de concreto sem função estrutural; gráudo tamanhos maiores que 4,75 mm; miúdo tamanhos entre 0,075 mm e 4,75 mm.

**Tabela 12:** Caracterização física do RCD.

**FONTE:** Gomes (2011)

#### 2.4.4. Comportamento mecânico de concretos com RCD

Avaliar o comportamento mecânico do concreto com frações de RCD é fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Partindo deste principio posso observar que Cabral et al (2009) realizou ensaio de substituições de frações de agregados naturais por frações de agregados reciclados na produção de concreto e concluiu que os concretos com a presença de RCD apresentaram maior absorção de água, massas específicas e massas unitárias menores se comparados aos concretos com agregados naturais, resultado esse que também foi observado por Leite (2001) e Nunes (2007).

Os estudos de Levy (1997); Zordon (1997); Buttler (2003); Carrijo (2005) e Angelo (2005) apresentaram resultados muito similares e constataram que existe a perda da trabalhabilidade e o aumento da relação a/c em concretos com frações de RCD e a razão para esse comportamento pode estar relacionada com o teor de absorção, a forma e a textura dos grãos reciclados.

Carrijo (2005); Fonseca (2006); Lovato (2007) observaram que de fato o teor de absorção é maior em concretos com RCD, assim como o índice de vazios e isso acontece em função da relação a/c, massa específica, permeabilidade e composição do RCD.

Avaliando a literatura utilizada como referência pode-se observar que os fatores que afetam a trabalhabilidade e aumentam o teor de absorção são quase os mesmos que influenciam na resistência a compressão que são a relação a/c, a idade, forma e granulometria dos grãos e o tipo de cimento, segundo Petrucci (2005).

Para Leite (2001) o índice baixo de resistência à compressão apresentado pelos concretos com RCD se deve a alta porosidade dos materiais que compõem o concreto.

Para Mehta e Monteiro (2008) a porosidade não influencia somente a resistência à compressão como é realmente uma das propriedades que mais influenciam o módulo de elasticidade do concreto, isto porque a porosidade do agregado pode determinar sua rigidez e controlar a capacidade de resistência à deformação. Para Leite (2001) e Carrijo (2005) a relação a/c e massa específica são as variáveis que mais influenciam o módulo de elasticidade.

## **2.5. Produtos gerados dos RCD aplicados na construção civil**

Os agregados reciclados provenientes do processamento do entulho apresentam várias utilidades como a areia, que pode ser utilizada na confecção de argamassas, de assentamento, de alvenaria, de vedação, contra piso, solo-cimento e blocos e tijolos de vedação.

O pedrisco pode ser utilizado na fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos entre travados, manilhas de esgoto, entre outros. A brita muitas vezes é utilizada na fabricação de concreto não estrutural e obras de

drenagem. A bica corrida é aproveitada em obras de base e sub-base de pavimentos, reforços e subleito de pavimentos, além da regularização de vias não pavimentadas, aterros e acertos topográficos de terrenos. O rachão normalmente é aplicado em obras de drenagem e terraplanagem.



**Figura 31.** Granulometrias beneficiadas de RCD.

**FONTE:** demolidoraja.com.br

*Pavimentação* - A pavimentação é a forma mais simples de reciclagem do entulho, é aquela utilizada em base ou sub-base. A pedra 1 é o elemento mais utilizado. A maior vantagem da utilização deste elemento é que ele pode ser aplicado mesmo se apresentar contaminação prévia por solo, desde que em proporção não superior a 50% em peso. As etapas são as seguintes: abertura e preparação da caixa (ou regularização mecânica da rua, para uso como revestimento primário), corte e/ou escarificação e destorroamento do solo local, umedecimento ou secagem da camada, homogeneização e compactação.

*Agregado para concreto* - O entulho processado pode ser utilizado também como agregado para concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais. Geralmente são empregados areia e brita como agregados reciclados. A vantagem de se utilizar a areia e a brita reciclada, diz respeito à redução de custos, uma vez que tais agregados são mais baratos que a brita e a areia tradicional. Porém segundo estudos, os concretos formados pelos agregados reciclados, água e cimento, apresentam menor resistência à compressão, devido à grande absorção de água e possíveis superfícies polidas dos agregados.

*Agregado para confecção de argamassa* - A areia reciclada é utilizada como agregado para argamassa de assentamento e revestimento, ocasionando uma redução no consumo do cimento e da cal e um ganho na resistência à compressão das argamassas (uma mistura de cimento, água e areia). Todavia o

preparo de argamassas de revestimento e o controle de partículas finas na mistura são essenciais para que não apresente problemas de fissuração.

*Obras de drenagem e terraplanagem* - A bica corrida e principalmente o rachão são aplicados em obras de terraplanagem e drenagem. Estes agregados são despejados compactados para nivelar pavimentos, preenchendo valas e buracos. A pedra rachão por apresentar grande tamanho é usualmente utilizada em obras de drenagem, como em campos de futebol. Ao serem despejados eles permitem a passagem de água entre si, não deixando que o local fique com acúmulo de água.

*Fabricação de elementos de alvenaria* - Os agregados reciclados podem ser utilizados também na produção de elementos de alvenaria, tais como, blocos de concreto e tijolos. Apesar de apresentar resultado satisfatório, devem ser tomadas precauções quanto ao uso destes blocos em paredes externas ou subsolos, devido à maior absorção de água.

Os resíduos podem ser usados no preparo de terrenos, calçadas, sub-bases para pisos, além das aplicações já citadas. Em São Paulo este material foi utilizado experimentalmente como parte do projeto de pavimentação ecológica, que foi pensada para utilizar esses resíduos em ruas não pavimentadas de pequenas cidades.

Com o avanço em pesquisas nesta área o leque de aplicações se amplia e com os incentivos corretos, os projetos como a pavimentação ecológica e a construção de casas populares com os resíduos tendem a avançar, gerando lucro e reduzindo o impacto negativo desses resíduos ao meio ambiente.

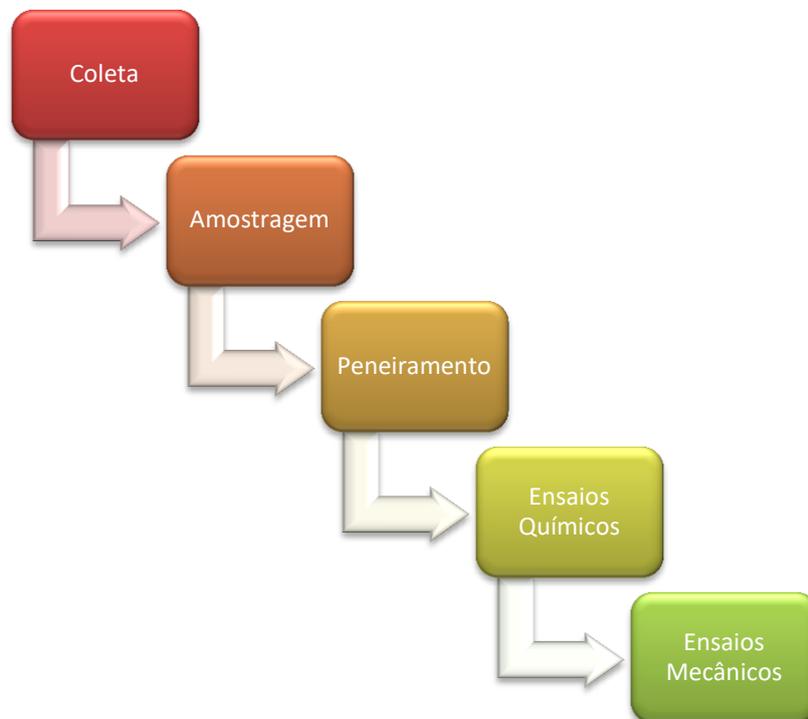
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Estudo do comportamento do agregado reciclado fino em substituição ao agregado natural

Para desenvolver a pesquisa foram utilizados os laboratórios de tecnologia mineral e laboratórios de estruturas da PUC – Pontifícia Universidade Católica, como os laboratórios do CETEM – Centro de Tecnologia Mineral.

A pesquisa possui duas fases, visando conhecer o material e obter resultados satisfatórios, tendo como parâmetros outros trabalhos desenvolvidos com a mesma classe de resíduos.

- A primeira etapa baseou-se na coleta do material já reciclado e na caracterização tecnológica desses resíduos.
- A segunda etapa baseou-se na moldagem de corpos de provas com frações diferenciadas de resíduos no traço do concreto, para ensaios mecânicos.



### 3.2. Coleta do Material

O RCD utilizado nessa pesquisa foi coletado na empresa privada Help Rio Entulho e Reciclagem de Materiais LTDA, localizada na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. O material coletado é britado diariamente pela empresa, sendo proveniente de toda a área urbana da cidade.

Os resíduos chegam ao pátio da empresa e então se inicia o processo de triagem, com a retirada de resíduos pertencentes a outras classes, como papelão, fios, plásticos, metais, madeiras, entre outros.



**Figura 32.** RCD sem beneficiamento e triagem superficial.

Na **figura 32** os resíduos já foram previamente triados, entretanto ainda apresentam componentes de classes diferentes da classe A, como metais e plásticos.

### 3.3. Segregação dos Resíduos

O material foi previamente separado pelos operadores da unidade no ato da chegada ao pátio. Essa operação acontece de forma manual e primária. A triagem pouco seletiva é o reflexo da falta de estrutura física e do fluxograma de desenvolvimento do processo. O reflexo desta etapa é observado no material após sofrer a britagem e algumas partes apresentam resíduos de outras classes, que na maior parte das vezes são resíduos classes B e C.

### 3.4. Quarteamento e homogeneização dos resíduos

O local utilizado para triagem não tem um padrão, então após a retirada de resíduos de outras classes, não acontece o quarteamento e homogeneização do material antes da cominuição. O material segue direto para a britagem após essa triagem primária.

Os resíduos pertencentes a outras classes são realocados e os resíduos aprovados seguem para o processo de britagem. Este acontece em um britador móvel apresentado na **figura 33**, que ao final oferece amostras com frações diferenciadas.



**Figura 33.** Britador móvel utilizado no beneficiamento do material.

O britador fica localizado no meio do pátio onde recebe os resíduos a serem processados através de uma retroscavadeira. Pode-se observar que existem frações de resíduos classe B, que são retiradas durante o processo de britagem, acontecendo em um britador móvel QJ 240, modelo da marca Sandvik.

### 3.5. Caracterização dos resíduos sólidos na construção civil

Foi separada uma amostra de 250 kg, cedida pela empresa Help Rio Entulhos, coletada e ensacada da forma como saiu do britador móvel e levada para procedimentos antes da realização de ensaios.

No pátio do laboratório as amostras foram depositadas e então foi realizado um quarteamento do material para homogeneizar as amostras. Após o quarteamento, houve um peneiramento manual e então foram separadas as frações para as análises laboratoriais e os ensaios mecânicos. A **figura 34** é a homogeneização da amostra e a **figura 35** é o peneiramento manual da amostra para retirar frações acima de 4,8 mm.



**Figura 34.** Homogeneização da amostra beneficiada.



**Figura 35.** Peneiramento para retirada de frações acima de 4,8 mm.

Neste estudo a fração desejada é a  $< 4,8$  mm, mas frações superiores são possíveis de se obter durante o processo de beneficiamento, a **figura 35** mostra a separação manual das frações grossas das finas.

### 3.6. Ensaio de Caracterização

Os ensaios foram realizados de forma experimental, baseando-se em pesquisas anteriores, com material de granulometria passante na peneira de abertura  $\varnothing \leq 4,8\text{mm}$  e que ficaram retidos na peneira de abertura  $150\mu\text{m}$ .

Para os ensaios mecânicos, primeiramente foram utilizados 3 frações: 100% de agregado natural, para ter um ensaio referência; 50% de agregado natural e 50% de agregado reciclado na fração fina; e 100% de agregado reciclado. Na segunda fase de ensaios mecânicos foram usadas frações de 10%, 20% e 30% de agregado reciclado.

Antes o material passou por ensaios de caracterização por análise MEV, DRX, seguidos de ensaios de composição granulométrica, ensaios de massa específica unitária e teor de materiais pulverulentos, de acordo com as normas da ABNT apresentadas na **tabela 13**.

Propriedades		Método de ensaio	Frequência de ensaios
			<i>Concreto sem função estrutural</i>
Composição granulométrica		ABNT NBR 7181	Não se aplica
		ABNT NBR NM 248	A cada lote
Teor de material passante na peneira 75 $\mu\text{m}$		ABNT NBR NM 46	A cada lote
Absorção de água	<i>Agregado graúdo</i>	ABNT NBR NM 53	A cada lote
	<i>Agregado miúdo</i>	ABNT NBR NM 30	
Torrões de argila e materiais friáveis		ABNT NBR 7218	A cada lote
Composição do agregado graúdo		ABNT NBR 15116	A cada lote
Percentual de materiais não minerais no agregado miúdo		ABNT NBR 15116	A cada lote
Teor de cloretos		ABNT NBR 9917	Uma vez por mês ou 6 000 $\text{m}^3$ <sup>1)</sup>
Teor de sulfatos		ABNT NBR 9917	Uma vez por mês ou 6 000 $\text{m}^3$ <sup>1)</sup>

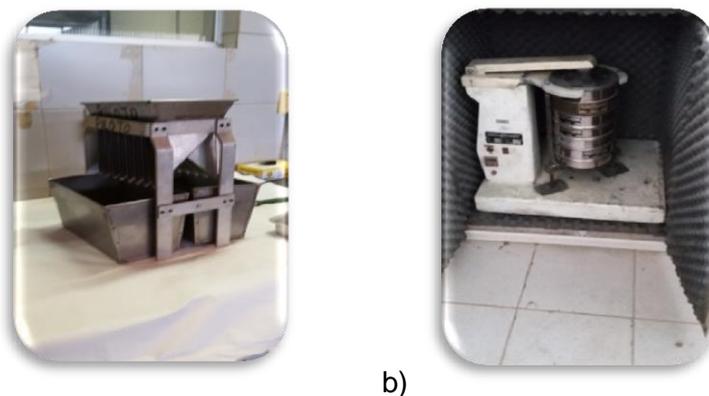
<sup>1)</sup> O que primeiro ocorrer.

**Tabela 13.** Determinação do tipo e frequência de execução de ensaios.

**FONTE:** ABNT NBR 15116:2

### 3.7. Ensaios de composição granulométrica

Para realização do ensaio de composição granulométrica do material, primeiro foram separadas duas frações de 500g do material a ser analisado, após separa e pesar o material ele foi submetido a um quarteamento, como demonstra a **figura 36 a**, para garantir que a amostra fosse a mais homogenia possível. Após o quarteamento foram separadas as peneiras de 4,8 mm até 150  $\mu\text{m}$  com tampa e fundo para os grãos mais finos que a ultima peneira, como demonstrado na **figura 36 b**, de acordo com as normas regulamentadas.



**Figura 36.** Quarteamento na figura (a) e ensaio de granulometria na figura (b).

O primeiro ensaio foi realizado com o primeiro lote de amostra que foi colocado nas peneiras e ensaiado por 20 minutos, após esse tempo o material foi retirado das peneiras, e foram separados e pesados para saber as frações retidas em cada peneira, o mesmo processo foi repetido para o segundo lote do material ensaiado. A **figura 37** apresenta as frações retidas em cada peneira da serie ABNT no primeiro ensaio.



**Figura 37.** Frações retidas nas peneira

### 3.7.1. Ensaios de Difração de Raios-X

Esta técnica permite como principal aplicação à identificação de compostos cristalinos, que podem ser orgânicos ou inorgânicos. De acordo com a literatura estudada, os planos de difração e as respectivas distâncias interplanares, assim como o plano cristalino, são características específicas e únicas de cada substância cristalina. Isto acontece também para a forma do padrão difratométrico gerado.

O ICDD possui um banco de dados contendo informações cristalográficas e propriedades físicas de compostos cristalinos, que é continuamente atualizado.

Existem várias estratégias para a identificação do número de fases presentes na amostra. Os mais utilizados são a identificação manual, onde geralmente o técnico tem base de quais compostos devem estar presentes na amostra e o método de Hanawalt, que serve basicamente para quando não se tem os parâmetros básicos de composição da amostra.

O esquema de identificação, para identificar por composto primeiro verifica se o padrão do composto confere, então se subtrai o padrão e se não conferir volta-se ao início. Após subtrair o padrão, analisam-se os picos restantes, obtém-se o resultado final e volta-se para a nova verificação do padrão. Para o método de Hanawalt é necessário ordenar os picos por intensidade e fazer uma seleção primária. Depois da verificação da intensidade dos demais picos, subtrai-se o padrão e se esses picos conferem, voltam a ser selecionados. Se não conferem, se seleciona outra linha dentre as mais intensas e volta-se ao processo até o resultado final de composição da amostra.

### 3.7.2. Ensaio de microscopia eletrônica de varredura - MEV

A microscopia eletrônica de varredura – MEV é uma técnica que possibilita analisar e caracterizar diversos tipos de materiais, partindo dos princípios de emissão e interação de feixes de elétrons emitidos sobre a amostra, possibilitando a caracterização de propriedades da amostra como composição, superfície topográfica, cristalografia, entre outros aspectos.

A caracterização das microestruturas e a identificação dos seus mecanismos de formação são primordiais para que se possa conhecer o composto que se está trabalhando. A partir destas etapas é possível prever o comportamento do material durante seu beneficiamento. Além de identificar e caracterizar, é importante dentro da caracterização de minérios, determinar a composição química e a técnica de microanálise por EDS inserida ao MEV, atribuindo uma avaliação de como os elementos químicos estão distribuídos na superfície do material, podendo ser avaliadas as alterações superficiais, como corrosão superficial, forma e tamanho dos grãos, entre outros aspectos.

### **3.7.3. Ensaio de material pulverulento**

O objetivo deste ensaio é determinar a quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 0,075 mm, que está presente nos agregados graúdos e miúdos. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR NM 46/2003, que enfatiza que o excesso de finos prejudica a aderência entre a pasta de cimento e a argamassa, além de aumentar o consumo de água, que gera a retração e a diminuição da resistência do concreto e das argamassas.

A norma da ABNT 7211/2005 determina os limites máximos de substâncias nocivas no agregado fino com relação à massa do material. Baseado neste material foi realizado ensaios de materiais pulverulentos para os agregados reciclados, a fim de saber se este material possui teores altos e uma vez possuindo se serão muito mais elevados que os teores dos agregados naturais na fração fina.

Os equipamentos usados foram: balança com resolução de 0,1 g da massa da amostra, peneiras de 0,075mm e 1,18 mm, recipientes para agitação do material, estufa para manter a temperatura em torno de 100 e 110° C, béqueres e haste para agitação, a mesma operação foi realizado quando o ensaio foi repetido.

Precisa ser levado em consideração que essa normatização foi elaborada para agregados naturais e esta pesquisa está analisando o comportamento dos agregados finos reciclados provindos de resíduos de concretos e das demolições, todavia é preciso ter a real noção do que será necessário para a utilização desse material em concreto, com ou sem função estrutural.

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ANBT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos <sup>1)</sup>	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido ao desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas <sup>2)</sup>	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10

<sup>1)</sup> Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123)

<sup>2)</sup> Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.

**Tabela 14.** Normas para ensaios.

**FONTE:** ANBT 7211/2005.

A NBR 15116/2004 determina os limites máximos permitidos de substâncias nocivas no agregado reciclado fino, entretanto determina que este tipo de padrão é somente para os concretos não estruturais, como apresenta a tabela abaixo.

Propriedades	Agregado reciclado classe A			
	ARC		ARM	
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)	≥90	-	<90	-
Absorção de água (%)	≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17
Contaminantes – Teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos	1		
	Sulfatos	1		
	Materiais não minerais <sup>1)</sup>	2		
	Torrões de argila	2		
	Teor total máximo de contaminantes	3		
Teor de um material passante na malha 75 µm (%)	≤10	≤15%	≤10%	≤ 20 %

<sup>1)</sup> Para os efeitos desta norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

**Tabela 15.** Normas para ensaios.

**FONTE:** ABNT 15116/2004.

### 3.7.4. Ensaio de massa unitária no estado solto do RCD

Este ensaio é importante porque além de determinar a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, sem levar em consideração os poros permeáveis à água é utilizado para conversão de traços de concreto. É determinado preenchendo um recipiente de dimensões conhecidas com agregado deixando-o cair de uma altura de 10 a 15 cm. O ensaio foi realizado como demonstrado na **figura 38**.



**Figura 38.** Ensaio de massa unitária no estado solto.

Para o cálculo da massa unitária são utilizadas as expressões relacionadas abaixo.

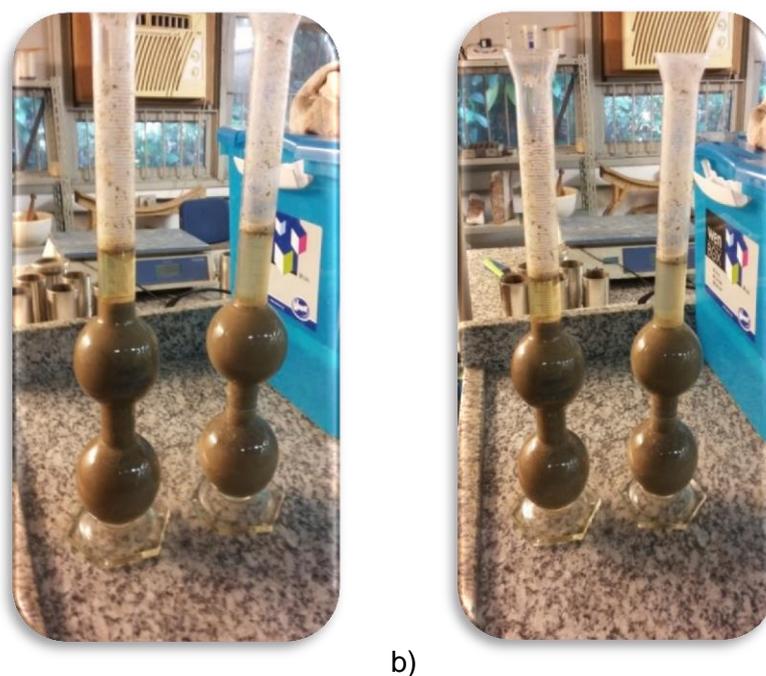
$$\gamma = \frac{M}{V_{AP}}; \quad \gamma = \frac{M_{RA} - M_R}{V_R};$$

**Equação 1.** Calcular massa unitária.

### 3.7.5. Ensaio de massa específica do RCD

O ensaio de massa específica foi realizado de acordo com a NBR 9776 – Agregados, que foi substituída pela NBR NM 52. A determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman.

É importante porque determina a massa da unidade de volume excluindo os vazios entre os grãos e os permeáveis, ou seja, determina a massa de uma unidade de volume dos grãos de agregado. Neste ensaio foram utilizados dois frascos compostos de dois bulbos e de um gargalo graduado, com traço que corresponde a 200 cm<sup>3</sup> entre os dois bulbos e acima dos bulbos tem o tubo graduado de 375 cm<sup>3</sup> a 450 cm<sup>3</sup>, como demonstrado nas **figuras 39 a e b**.



a)

b)

**Figura 39.** Ensaio de massa específica nas amostras a e b.

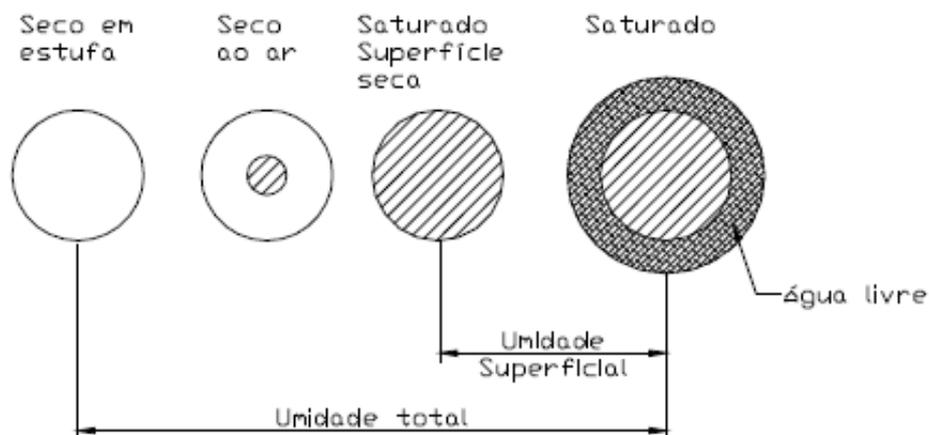
Além dos frascos também foram utilizados: uma balança com capacidade de 1kg e resolução de 1g e 500g do material a ser analisado seco em estufa a temperatura constante de 110° C. A água foi colocada até a marca de 200 cm<sup>3</sup>, depois foi introduzido o agregado seco, o frasco foi agitado até a ausência de bolhas de ar, logo após foi realizada a leitura do nível de água atingido pela água, e a massa específica foi calculada.

### 3.7.6. Ensaio de absorção do agregado

A literatura define como capacidade de absorção, o volume total de água que o agregado necessita para sair da condição de seco em estufa para saturado superfície seca.

As partículas podem apresentar estados distintos em relação à umidade. Para ser considerado um agregado em **SSS** é necessário que os poros permeáveis estejam preenchidos e não pode haver presença de água na superfície. O agregado pode ser considerado nas condições úmida ou na saturada, dependendo do teor de umidade apresentado na superfície livre, quando estiver saturado.

A figura abaixo demonstra de forma clara os estados presentes nas partículas em diferentes fases de umidade.



**Figura 40.** Representação dos estados de umidade das partículas.  
**FONTE:** UDESC Joinville.

O teor de absorção é caracterizado pelo aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água, expressa em porcentagem a massa seca.

$$h(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

**Equação 2.** Calcular o teor de umidade.

Todas as propriedades são importantes na dosagem de concreto e o coeficiente de humidade pode ser determinado pela equação 2. O teor de humidade é fundamental para que se possam realizar correções na quantidade de água no concreto. Também serve para realizar correções de massa dos agregados colocados na mistura e é ainda mais imprescindível quando se trabalha com dosagem em volume, em função do inchamento.

### **3.8. Ensaio de teor de argila, torrões e materiais friáveis**

Os resíduos provenientes das demolições e das sobras de concretos geralmente fornecem alguns fragmentos contaminados, com várias substâncias que não são adequadas para a produção de concreto estrutural, até que se comprove o contrário.

Este ensaio é uma avaliação da qualidade do agregado no que diz respeito à contaminação com grãos pouco resistentes, o que acarretaria prejuízo: à resistência, à abrasão do concreto produzido, à trabalhabilidade, assim como alteração da aparência.

A literatura apresenta aspectos dependentes de certas características importantes encontradas nos agregados, baseando-se na microestrutura e nos condicionantes de fabricação.

1. Características dependentes da porosidade: massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulos de elasticidade.
2. Características dependentes das condições prévias de exposição e condicionantes de fabricação: tamanho, forma e textura das partículas.
3. Características dependentes da composição química e mineralógica: resistência, dureza, módulos de elasticidade e substâncias deletérias presentes.

### **3.9. Materiais usados na fabricação dos corpos de prova**

Utilizou-se o mesmo traço para a produção de todos os corpos de provas utilizados neste estudo, sofrendo alterações somente na porcentagem de agregado fino, que foi substituída por frações de agregado fino reciclado. Essa

quantidade diz respeito à produção de 12L de concreto, para cada lote de corpos de provas produzidos, como apresentado na **tabela 16**.

Material	%	Referência	10%	20%	30%	50%	100%
Agregado Graúdo	Kg/m <sup>3</sup>	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90
AREIA	Kg/m <sup>3</sup>	15,06	14,75	12,05	10,54	7,53	0,00
RCD	Kg/m <sup>3</sup>	0,00	1,51	3,01	4,52	7,53	15,06
Cimento	Kg/m <sup>3</sup>	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
Água	Kg/m <sup>3</sup>	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
Superplastificante	g	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2	43,2

**Tabela 16.** Materiais e quantidades utilizados na moldagem dos corpos de prova.

Para o agregado graúdo foi utilizado a brita 0, areia natural, os resíduos reciclados foram provenientes da empresa Help Engenharia, o cimento utilizado foi o Portland de alta resistência inicial (CP V - ARI), o fator a/c foi de a cada 0.5 kg de água para 1kg de cimento com 1% de superplastificante MGlenium 51 (MS).

Para a produção foram seguidos os seguintes passos, primeiro a pesagem de todos os materiais que seriam usados, em seguida a areia natural foi inserida no misturador, seguida pela fração de areia reciclada quando o traço pedia, seguida pela brita 0, seguido pelo cimento de alta resistência inicial e após colocar esse material o misturar era ligado para homogeneizar os materiais dentro do recipiente, após essa homogeneização primaria eram acrescentadas a água e o superplastificante e o material foi deixado no misturar em ação por 20 minutos cada vez que o concreto era produzido. Para cada traço de concreto foram produzidos 6 corpos de prova.

### **3.9.1. Característica do cimento utilizado na produção dos corpos de prova com RCD**

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizado cimento de alta resistência inicial e a ABNT NBR 5733 estabelece as condições para que o cimento Portland seja de alta resistência inicial. O cimento de alta resistência inicial, segundo a norma, é obtido pela moagem de clínquer Portland, que em sua maior parcela é composto de silicatos de cálcio hidráulicos e durante a

preparação é adicionado sulfato de cálcio, podendo ser adicionado materiais carbonáticos. Sua composição final em massa é de 100 - 95 de clínquer, mais sulfatos de cálcio e 0 – 5 de material carbonático.

Determinações químicas	Limites (% da massa)
Resíduo insolúvel (RI)	- 1,0
Perda ao fogo (PF)	- 4,5
Óxido de magnésio (MgO)	- 6,5
Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	
Quando C3A do clínquer <8%	- 3,5
Quando C3A do clínquer >8%	- 4,5
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	- 3,0

**Tabela 17.** Determinação da composição química do cimento CPV-ARI.

O cimento de alta resistência é designado pela sigla CPV-ARI, a sigla ARI demonstra que aos 7 dias de idade a resistência mínima é de 34 Mpa. A **tabela 17** estabelece a composição química por massa.

A porcentagem de aluminato tricálcio contida no clínquer é determinada através de fórmula e o material carbonático conterá no mínimo 85% de CaCO<sub>3</sub>.

### 3.9.2. Característica do superplastificante utilizado na produção dos corpos de prova com RCD

De acordo com a ficha técnica do produto fornecida pela fabricante BASF o Glenium 51 é um aditivo líquido para concreto pronto para uso e livre de cloretos, ajuda na obtenção de maior durabilidade e eleva o desempenho, auxiliando na redução do fator a/c, facilita a trabalhabilidade sem alterar o tempo de pega e pode ser utilizado para fabricação de qualquer tipo de concreto e é compatível com todos os tipos de cimento Portland, a **figura 41** apresenta um resumo das propriedades e benefícios de Glenium 51.

Estado Fresco	Estado Endurecido
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta taxa de redução de água (40% aproximadamente);</li> <li>- Aumenta a coesão e redução da segregação;</li> <li>- Aumenta a trabalhabilidade do concreto;</li> <li>- Não altera o tempo de pega do cimento portland;</li> <li>- Facilita o adensamento e o lançamento;</li> <li>- Facilita o bombeamento;</li> <li>- Reduz o fator A/C*;</li> <li>- Reduz os tempos de cura ambiente ou a vapor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta a resistência à compressão;</li> <li>- Aumenta a resistência à flexão;</li> <li>- Aumenta o módulo de elasticidade;</li> <li>- Aumento da durabilidade do concreto;</li> <li>- Melhor acabamento do concreto endurecido;</li> <li>- Possível redução do consumo de cimento portland para uma dada resistência;</li> <li>- Redução de permeabilidade;</li> <li>- Redução de fissuras.</li> </ul>

**Figura 41.** Propriedades e benefícios de Glenim 51.

**FONTE:** BASF

### 3.9.3. Processo de fabricação dos corpos de prova para ensaios de compressão

Primeiro foi definido qual porcentagem de agregado reciclado seria inserida ao traço do concreto para produção do mesmo. Em seguida foi separado e pesado todo material de acordo com valores do traço pré-determinados e expostos na **tabela 16**, e então os materiais foram colocados em um misturador de concreto, apresentado na **figura 42**. Como já descrito no item 3.8 a mistura foi realizada primeiro com a adição da areia, depois de RCD quando fazia parte do traço, seguido pela brita 0 e depois pelo cimento, o misturar foi ligado para fazer a homogeneização primaria do material seco e em seguida eram adicionados a água e o superplastificante.



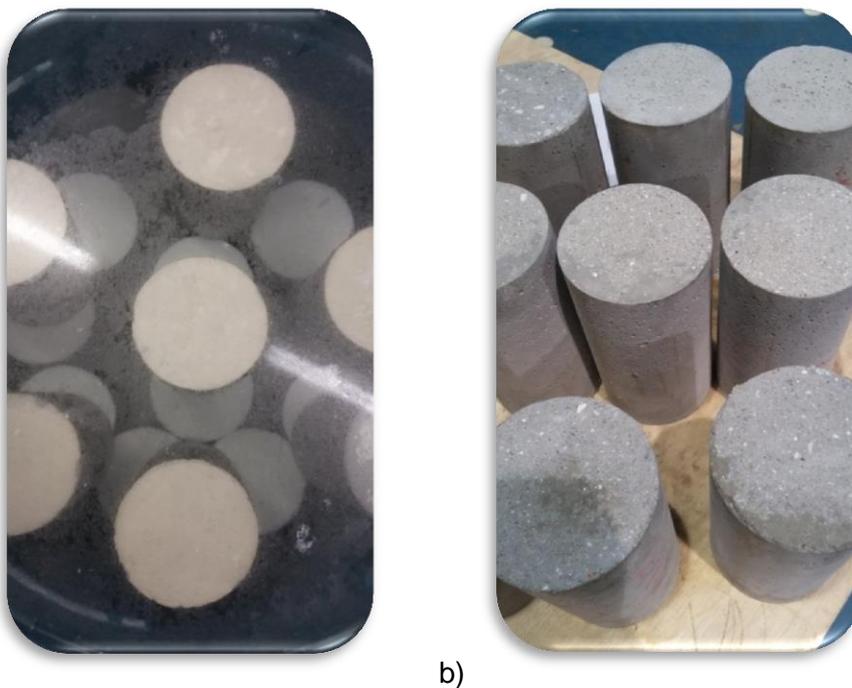
**Figura 42.** Misturador de concreto.

Após ficar no misturador por 20 minutos a massa de concreto era retirada, foram realizados ensaios de tronco cone e após este ensaio o concreto seguiu diretamente para moldagem em formas cilíndricas, como demonstrado na **figura 43**.



**Figura 43.** Moldagem dos corpos de prova.

O concreto permaneceu no molde cilíndrico por 48h, após esse período ele foi retirado do molde e colocado para curar em água saturada em cal, como apresenta a **figura 44 a**, os procedimentos de moldagem e cura dos corpos-de-prova foram realizados de acordo com NBR 5738/2003, que determina os procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.



**Figura 44.** Cura dos corpos de prova (a) e corpos de prova aptos para ensaios mecânicos (b).

A **figura 44 b** apresenta os copos de prova aptos para realização dos ensaios mecânicos, após facimento.

#### **3.9.4. Ensaio mecânicos**

Ensaio mecânicos são procedimentos padronizados que são chamados de testes. Segundo a literatura o ensaio de compressão é semelhante ao de tração e indicado para observar o comportamento de materiais frágeis. Neste ensaio o material ou corpo de provas é submetido a um amassamento crescente, que causa o aumento da secção transversal até acontecer à ruptura, que ocorrerá nos materiais mais frágeis devido aos efeitos de cisalhamento provocados pela tensão de compressão.

Muitos materiais utilizados na indústria estão sujeitos ao esforço de compressão e existe grande aplicação na construção civil para ensaios de concretos, materiais cerâmicos e outros. Nesta etapa do estudo os corpos de prova serão sujeitos ao ensaio de compressão e módulos de elasticidade para a avaliação do comportamento do concreto com resíduos reciclados.

#### **3.9.5. Ensaio de resistência à compressão axial**

A resistência à compressão é a propriedade mais avaliada para verificar a qualidade do concreto, devido a esforços que resultam em tensões de compressão que o concreto está exposto.

Para Silva (2014) é importante realizar ensaios mecânicos porque os valores obtidos nos ensaios de ruptura dos corpos-de-prova valiam seu desempenho não somente em termos mecânicos, avaliam também a durabilidade do concreto.

Souza (2013) observou que Cabral (2007) concluiu que concretos com agregados naturais superam concretos em até 45% os concretos com agregados reciclados em resistência a compressão.

Para Carrijo (2005) a análise de resistência a compressão em concretos com frações de RCD pode ser definida levando em consideração a aplicação e medição de forças, avaliando o comportamento do concreto durante o processo.

Os ensaios realizados nesse trabalho primeiro testaram três frações diferentes de RCD presentes nos corpos de prova: 50% de RCD, 100% RCD e os Corpos de Prova de referência, com idade de 28 dias. Posteriormente foram testadas mais três frações diferentes de RCD presentes nos corpos de prova: 10%, 20% e 30% com idade de 28 dias.

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNR NBR 5739/2003, que estabelece os procedimentos para realização de ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Para realização do ensaio foi utilizado a máquina de ensaio universal, modelo MTS-810 Material test system, com capacidade de 500 KN, o ensaio foi realizado via controle por deslocamento, a velocidade de deslocamento foi de 0.5 mm por minuto.

A aquisição de dados e controle foi realizado através do software MTS test swite mp elite. **A figura 45** apresenta o equipamento para ensaio universal modelo MTS -810.



**Figura 45.** Máquina de ensaio Universal.

### 3.9.6. Ensaio do módulo de elasticidade

O módulo determina a relação entre a tensão aplicada e deformação elástica corrida, que deixa de existir se a tensão no concreto for eliminada.

Para o módulo de elasticidade é preciso saber, segundo Chiaverini (1986), que depende das forças interatômicas e embora possa variar com o tipo de ligação atômica, não é sensível a modificações estruturais. O módulo de elasticidade pode ser definido pelo máximo de carga que pode suportar sem apresentar deformação elástica, levando em consideração que a temperatura pode influenciar na determinação dele. A lei de Hooke determina a relação entre tensão e deformação e é utilizada somente na fase linear.

Pra Tanaka et al (2010) os módulos de elasticidade é uma expressão que determina a rigidez e quanto maior o módulo de elasticidade mais rígido o material.

De acordo com a NBR 8522/2008, o resultado é utilizado: para caracterizar a deformabilidade do concreto no cálculo de pavimento e de estruturas, na determinação da idade de retirada de escoamento e pode até ser indicado na especificação do material.

Para determinar o módulo de elasticidade foi utilizado como equipamento o conjunto de LVDT HBM 1- WI/5mm – T, para determinar a deformação do concreto.



**Figura 46.** Equipamento utilizado para ensaio de módulos de elasticidade.

O conjunto de LVDT foi colocado na lateral do corpo-de-prova como apresentado na figura 30, onde foi possível determinar a deformação apresentada no concreto ensaiado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo baseia-se na discussão e apresentação de resultados obtidos nos ensaios realizados de acordo como demonstrado no capítulo anterior, como análise de raios-x, análise MEV, a composição gravimétrica dos agregados utilizados na moldagem dos corpos de prova cilíndricos, massa específica e massa unitária, teor de absorção, porcentagem de materiais pulverulentos, ensaios de resistência à compressão e módulos de elasticidade, respeitando o tempo de cura predeterminado.

### 4.1. Composição do agregado reciclado

Na composição das amostras analisadas neste trabalho, observou-se que a fração de rochas, concreto e materiais cerâmicos tiveram valores significativos em relação aos demais componentes, obtendo o percentual de 71,13% da amostra total.

Composição da amostra do RCD			
	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>	<i>Média</i>
<b>Rochas</b>	28,43	26,89	27,66
<b>Concreto</b>	22,24	21,47	21,855
<b>Argamassa</b>	12,8	16,6	14,7
<b>Material cerâmico</b>	20,66	22,57	21,615
<b>Gesso</b>	4,3	3,2	3,75
<b>Solo</b>	7,9	5,02	6,46
<b>Outros</b>	3,67	4,25	3,96

**Tabela 18.** Composição do RCD na amostra analisada.

A **tabela 18** baseia-se nas amostras de composição do material analisado, compondo a composição gravimétrica do material durante todas as análises e testes mecânicos realizados neste trabalho. Em trabalhos tidos como base também houve predominância de rochas, concreto e material cerâmico, além da fração de gesso que prejudica o produto gerado com esses resíduos.

## Composição Gravimétrica do RCD

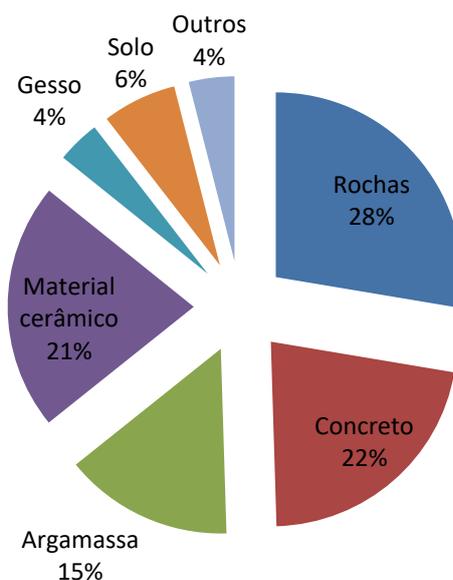


Figura 47. Composição gravimétrica dos resíduos analisados.

### 4.2. Ensaio de composição granulométrica na fração fina reciclada

A composição granulométrica baseia-se na distribuição das partículas dos materiais granulares em várias dimensões e importante ser determinada para escolha de um agregado viável porque exerce influência sobre características importantes, como retração, aumento da resistência ao desgaste, além de alterar a trabalhabilidade, os custos e a resistência mecânica.

De acordo com Carneiro et al (1997) se areia possui granulometria muito uniforme, o formato dos grãos não influencia e ainda assim a trabalhabilidade vai ser comprometida.

Para Cabral (2007) o objetivo de determinar a granulometria é estabelecer a composição ideal que ofereça maior compactação possível, Cabral ainda define que a granulometria e o teor de finos influenciam na trabalhabilidade de acordo com a dosagem de cimento.

Em números a granulometria é definida pela proporção relativa, que é expressa em porcentagem para os diferentes tamanhos de grãos presentes na amostra a ser estudada, sendo expressa pelo material retido por peneira ou acumulado.

A **tabela 19** demonstra os resultados do ensaio de composição granulométrica da fração reciclada fina, coletada da empresa privada Help Engenharia. Material esse que foi utilizado para todo o processo de análises e pesquisa deste estudo.

Nº Tyler	Peneira (mm)	Massa Retida (g)		Amostra 1		Amostra 2		Média		Média
		Amostra 1	Amostra 2	% Retida	% Acumulada	% Retida	% Acumulada	% Retida	% Acumulada	% Passante
4	4,75	0,46	0	0,09%	0,09%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%	99,95%
8	2,38	1,09	2,12	0,22%	0,31%	0,42%	0,42%	0,32%	0,37%	99,63%
16	1,2	87,75	91,19	17,48%	17,79%	18,17%	18,60%	17,83%	18,19%	81,80%
30	0,60	143,23	143,85	28,53%	46,31%	28,67%	47,27%	28,60%	46,79%	53,20%
50	0,30	140,74	138,78	28,03%	74,35%	27,66%	74,92%	27,85%	74,64%	25,35%
100	0,15	78,16	75,77	15,57%	89,91%	15,10%	90,03%	15,33%	89,97%	10,02%
<b>FUNDO</b>		50,64	50,05	10,09%	100,00%	9,97%	100,00%	10,03%	100,00%	0,00%
<b>TOTAL</b>		<b>502,07</b>	<b>501,76</b>	<b>100,00%</b>	<b>2,29%</b>	<b>100,00%</b>	<b>2,31%</b>	<b>100,00%</b>	<b>2,30%</b>	

**Tabela 19.** Análise granulométrica.

A **tabela 20** ainda apresenta as zonas de variação entre as granulometrias para o agregado miúdo e o cálculo do módulo de finura da média obtida dos ensaios referência 1 e 2.

Peneira ABNT	Porcentagem em peso, retida acumulada na peneira ABNT				Cálculo MF
	ZONA 1 (Muito fina)	ZONA 2 (Fina)	ZONA 3 (Média)	ZONA 4 (Grossa)	
9,5 mm	0	0	0	0	0,0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7	0,0
4,8 mm	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12	0,05%
2,4 mm	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40	0,37%
1,2 mm	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70	18,19%
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85	46,79%
0,3 mm	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95	74,64%
0,15 mm	85b a 100	90b a 100	90b a 100	90b a 100	89,97%
<b>Fundo</b>					<b>100,00%</b>
<b>Total</b>					<b>230,01</b>
<b>MF</b>					<b>2,30</b>

**Tabela 20.** Determinações de variações granulométricas.

De acordo com a norma NBR 7211/2009 a distribuição granulométrica precisa estar dentro dos limites estabelecidos como viáveis, que podem ser

observados nos quadros representativos acima. Uma distribuição diferenciada pode ser aceita, desde que comprovada sua aplicabilidade através de estudos.

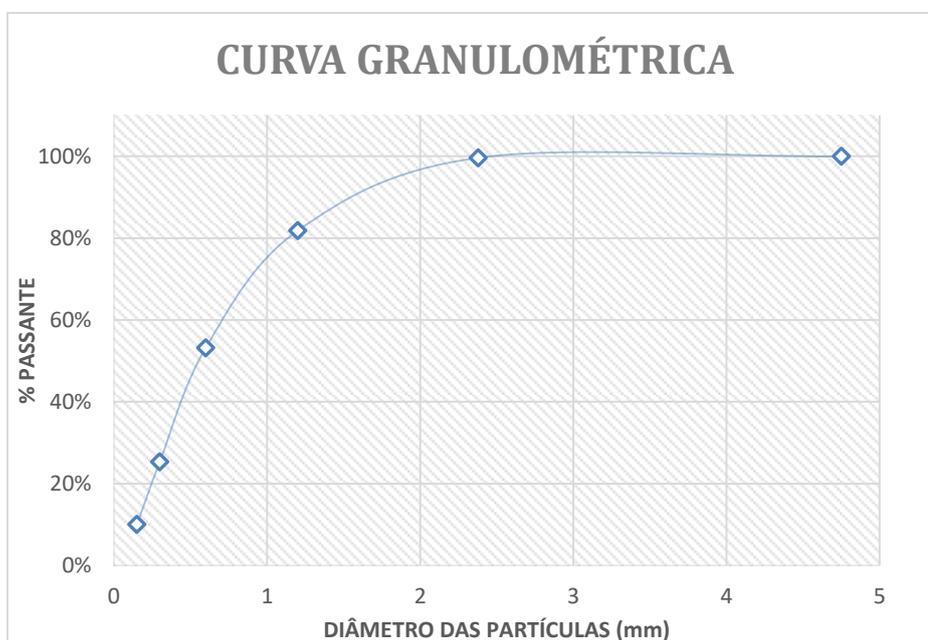
Com base no módulo de finura pode-se afirmar que a areia reciclada é média. Abaixo na **tabela 21**, como já citado anteriormente estão os limites determinantes entre grossa, média e fina. A dimensão máxima dos grãos foi de **2.38 mm**.

2,90 < MF < 3,50	Grossa
2,20 < MF < 2,90	Média
1,55 < MF < 2,20	Fina

**Tabela 21.** Limites determinantes entre grossa, média e fina.

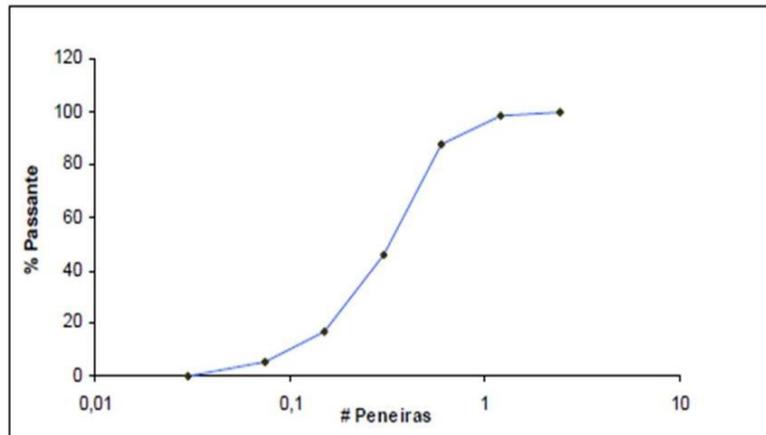
Após classificar, determinar o módulo de finura e dimensão máxima dos grãos da areia reciclada foi traçada a curva granulométrica.

Para Teodoro (2013) a influência da granulometria diminui com o aumento da dosagem de cimento, já o teor de finos pode afetar a coesão da mistura podendo haver segregação.



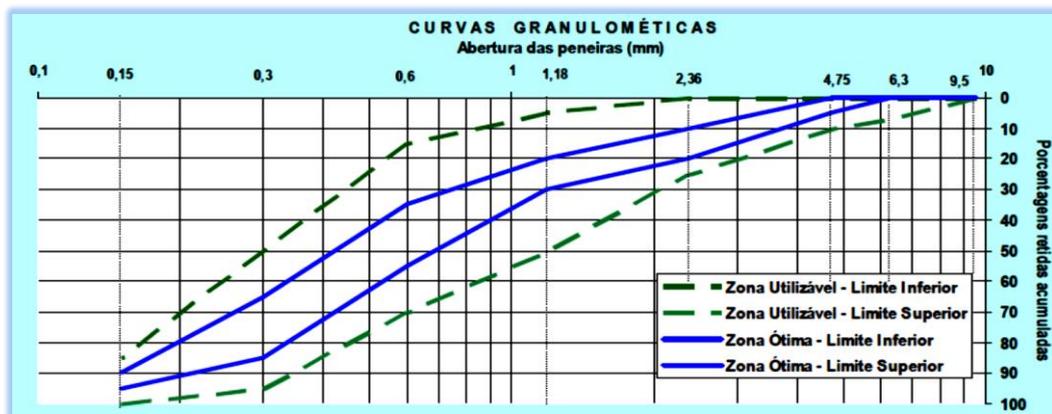
**Figura 48.** Representação da curva granulométrica do RCD analisado.

A fração analisada neste estudo está dentro dos padrões exigidos nas normas técnicas, podendo então substituir a fração fina natural em níveis de granulometria. A **figura 48** representa a curva granulométrica do RCD na fração fina e a **figura 49** apresenta a curva de granulometria do agregado natural fino em duas classificações: areia fina e areia grossa.



**Figura 49.** Representação da curva granulométrica da areia natural fina e grossa.

Os estudos anteriores determinam que a composição dos resíduos é diferenciada em cada lugar, fato este que muito tem haver com a diversidade de materiais utilizados, além das técnicas adotadas e o tipo de exposição do concreto, podendo influenciar em suas as características físicas. Entretanto analisando o gráfico de curvas granulométricas na **figura 50**, verificamos que a curva apresentada pelo agregado reciclado está dentro dos limites utilizáveis para a produção de concreto.



**Figura 50.** Zonas de curvas de granulometrias.

Fonte: Formulário para projeto – Universidade Católica de Santa Catarina.

### 4.3. Análise de difração de Raios-X

A análise da amostra de difração de Raio-X do agregado reciclado na fração fina é complicada devido ao grau de heterogeneidade. Apesar de o material ser previamente selecionado, é retirada somente a parte que compõe outras classes. Então de acordo com a análise, podemos observar a diversidade de substâncias presentes na amostra.

Analisando a imagem acima podemos verificar a presença de gipsita que é composta por sulfato de cálcio hidratado, 46,6%  $\text{SO}_3$ , 32,5%  $\text{CaO}$  e 20,9%  $\text{H}_2\text{O}$ . As principais variedades são: *espato acetinado*, fibroso com brilho sedoso; *alabastro*, variedade maciça e transparente, usada em esculturas; e *selenita*, cristais com clivagens largas, incolores e transparentes, que geralmente pode ser utilizada na confecção de placas de gesso com uso em revestimentos para tetos e paredes, assim como em fertilizantes. Ela também é componente do cimento Portland.

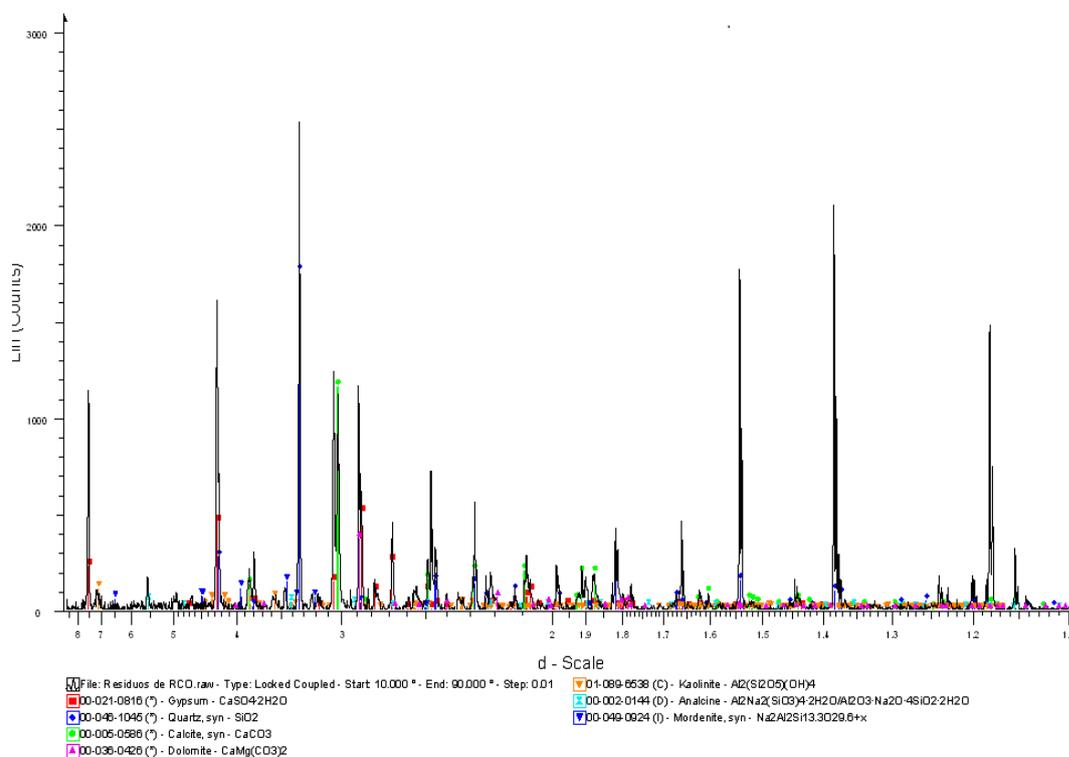


Figura 51. Análise de difração de raios – x da amostra de RCD.

Pode-se afirmar que o sulfato de cálcio é um sal comum e abundante na formação de minerais como a gipsita e a anidrita. É utilizado entre outras coisas na fabricação de gesso e bastante utilizado na construção civil e naturalmente está presente nos resíduos obtidos.

Cabral et al (2009) observou que a amostra de RCD em seu estudo era composta basicamente por quartzo, muscovita e manganita.

O quartzo presente na análise é utilizado na forma de quartzito e arenito, usado como pedra de construção e áreas de pavimentação. Geralmente na forma de areia, utilizado principalmente em argamassa e no concreto. Às vezes é usado na fabricação de aços especiais, ligas especiais, entre outros. Nesta análise se apresenta na fase estável da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), também conhecida como o quartzo- $\alpha$ .

Segundo Sinisterra (2014) a presença de quartzo e calcita confirma que são minerais característicos da composição dos agregados calcários. A caulinita também encontra nas amostras deste estudo é caracterizada por Sinisterra como argila que pode estar relacionada com impurezas durante o processo de produção dos agregados, mas também podem ser constituintes do próprio agregado de calcário.

Silva (2014) também observou que a composição mineralógica do RCD estudado confirmou a presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), albita com teor de cálcio (Na, Ca)  $(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$  e magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

A calcita pode ser denominada como calcita ou calcário e sua composição química é  $\text{CaCO}_3$ . Também pode ser utilizada nas indústrias de cimentos (dependendo do tipo de cimento a ser produzido) e na construção civil. De forma geral é utilizada como matéria-prima de rochas e agregados tipo britas, podendo representar a grande parte das rochas usadas na construção civil. A calcita é o principal constituinte mineralógico dos calcários e dos mármore com elevada pureza.

Para Jiménez (2016) a presença de carbonatos como calcita se deve a grande quantidade de materiais cimentícios (concreto e argamassa) presentes no RCD.

A dolomita também está presente na análise da amostra porque é um mineral basicamente composto de carbonato de cálcio e magnésio. Existe em

grande escala na natureza, sendo utilizada na fabricação de mármore sintético, revestimentos de parede, cerâmicas, vidros, tintas, rejuntas, piso de mármore tijolos, entre outros.

A caulinita é uma matéria-prima base para as indústrias de cerâmica, fabricação de porcelana, entre outros. Junto com outros minerais, serve também para gesso, além de constituir o cimento Portland, tintas e outros, geralmente na forma de feldspatoídes e outros silicatos.

Todas as substâncias encontradas na análise de difração de raio-X têm relação direta com os materiais que fazem parte da construção civil, desde os agregados até a etapa de acabamento do processo de construção. Outros materiais também estão presentes nesta análise, entretanto podem ter sofrido modificações com o processo de britagem ou não estão em quantidades suficientes para obterem representação significativa nas amostras analisadas.

Para Ângelo (2005) a técnica de DRX identifica de forma precisa às fases cristalinas com concentração acima de 5% e conclui que mesmo não detectados nos difratogramas algumas fases cristalinas estão presentes. Ângelo observou ainda que as fases cristalinas pertencem a três grupos de materiais:

- a) Tectosilicatos provenientes de rochas naturais;
- b) Carbonato e fases de aglomerantes hidratados e
- c) Filossilicatos (muscovita, merlonito e caulinita) provenientes de argilominerais.

O processo de difração de raios-x permitiu comprovar a heterogeneidade das fases presentes nos resíduos provenientes da construção civil, embora possua visualmente características homogêneas, os RCD são compostos de vários minerais. A presença desses compostos aproxima os agregados reciclados aos naturais, pois possuem a maioria dos seus componentes, mesmo estes tendo passado por modificações e estarem distribuídos em conjuntos com outros elementos, que podem influenciar no comportamento dos resíduos quando estes forem empregados ao concreto, como é o caso dos componentes do gesso que estão presentes na amostra.

Este estudo teve com um dos objetivos testar o comportamento dos resíduos empregados no concreto quando forem expostos aos ensaios mecânicos para avaliação de desempenho. As análises a seguir demonstram a quantidade de elementos químicos presentes nas amostras estudadas.

#### 4.4. Análise de microscopia eletrônica de varredura – MEV

Araújo et al (2016) observa em seu estudo que Lima (1999) concluiu que existem características físicas e químicas comuns aos diferentes tipos de agregados reciclados aplicáveis em argamassas e concretos e identificando algumas dessas características é provável fixar valores e limites para cada uma delas e então estabelecer um padrão de qualidade na aplicação desses resíduos.

Para conhecer a composição química das amostras analisadas neste estudo, elas foram submetidas não somente a DRX, mas análise MEV, que permite não só conhecer a composição química, mas também é possível observar a forma, angularidade e a textura dos grãos.

Silva (2014) concluiu que a amostra de RCD analisada em sua pesquisa apresentou grande diferença nas dimensões das partículas, que apresentaram grãos de diferentes formatos: Acutângulos, redondos, ortogonais, esféricos, agulhados, etc. Podemos observar que este modelo se repete nas formas do material analisado nesta pesquisa, as **figuras 53 e 54** demonstram essas características.

Os espectros analisados nesta pesquisa apresentam a forma do agregado reciclado, apesar de visualmente parecer homogêneo o RCD em análise é extremamente heterogêneo. Ainda segundo Silva (2014) as partículas observadas em seu estudo apresentaram desordem completa, outro fato que pode ser observado nas imagens apresentadas das amostras de RCD em análise neste estudo.

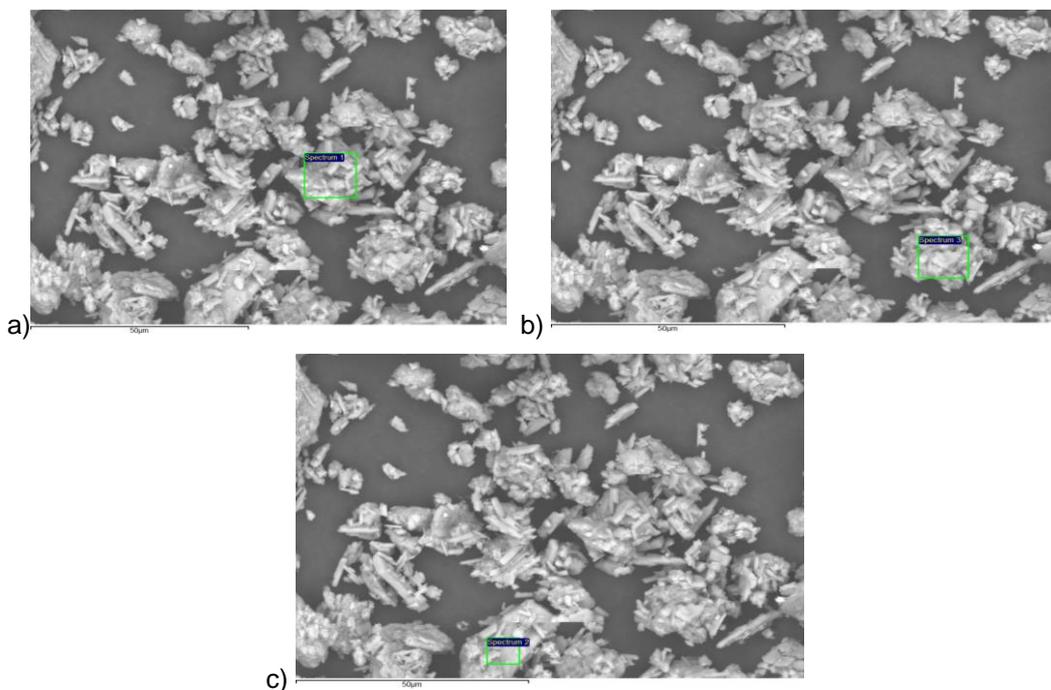
De acordo com Jiménez (2016) a geometria da partícula pode ser expressa em três propriedades independentes: forma, angularidade e textura superficial, mas segundo a literatura a forma e a textura influenciam mais nas propriedades dos concretos no estado fresco do que no estado endurecido.

A forma das partículas esta relacionada às proporções das partículas, a angulosidade é baseada nas variações das arestas que as partículas apresentam e a textura superficial é utilizada para descrever a irregularidade da superfície a qual se encontra em uma escala tão pequena que não afeta a forma global. (Jiménez, 2016).

As imagens apresentadas nas **figuras 52 e 53** certificam a diversidade nas formas dos grãos, mas de acordo com a literatura a forma dos grãos e rugosidade da superfície não exerce grande influência na deformação permanente dos materiais granulares.

Leite (2001) observa que as características podem sofrer variabilidade, pois este fator está condicionado à composição da rocha original e do equipamento utilizado para cominuição das partículas.

Agregados com grãos mais angulares e mais lamelares tendem a prejudicar a consistência do concreto, exigindo uma relação *a/c* maior para que concreto com RCD alcance a consistência adequada. (Tenório, 2007; Leite, 2001; Lima 1999; Tam; Tam, 2007).



**Figura 52.** Análise MEV na amostra A.

Para Tenório (2007) a textura mais rugosa dos agregados também afeta a consistência do concreto, entretanto permite uma melhor aderência com a pasta de cimento o que pode melhorar a resistência mecânica do compósito, fato este que pode ser comprovado através dos ensaios mecânicos.

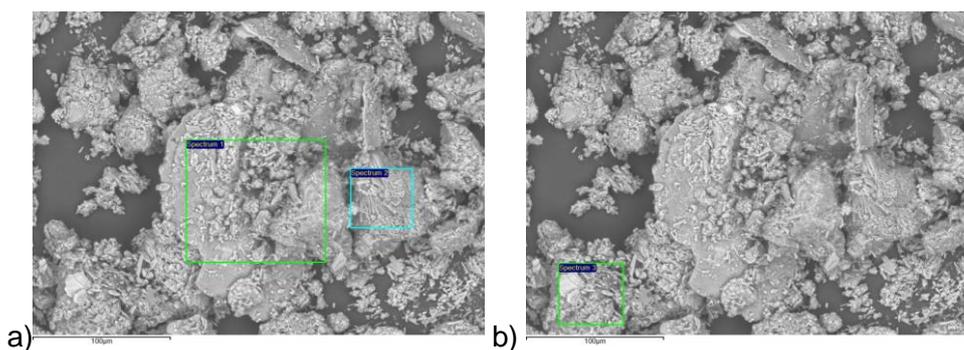
A composição química da amostra A do agregado reciclado fino analisado neste estudo não teve grandes variações entre uma área de análise e

outra. O que se nota são pequenas variações de composição entre as áreas, como demonstra a **tabela 22**.

Amostra A	C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Mn	Fe	Br
Spectrum 1	10.037	46.903	0,325	2.420	3.591	8.808		24.916		3.000	
Spectrum 2	9.780	30.542			2.697	7.363	0,592	43.770	1.260	1.332	2.663
Spectrum 3	7.554	54.193	0,470	2.623	4.888	8.399	0.400	20.179		1.294	

**Tabela 22.** Composição química da amostra A.

A amostra B, possui características morfológicas semelhantes as da amostra A. Isto acontece devido à variedade de materiais cominuidos para a formação deste agregado reciclado, que acaba se integrando mesmo possuindo forma e formato diferentes.



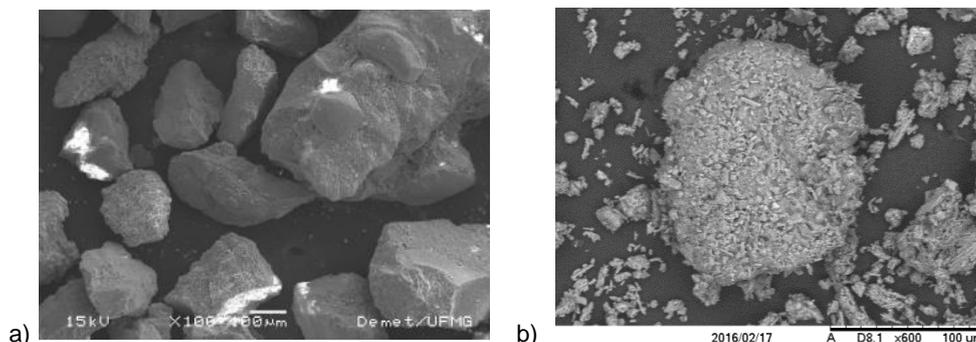
**Figura 53.** Análise MEV na amostra B.

Como aconteceu na primeira análise, foram escolhidos três pontos diferentes para a análise da composição deste material e apesar da heterogeneidade da amostra, os componentes são basicamente os mesmos como é apresentado na **tabela 23**.

Amostra B	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
Spectrum 1	10.411	52.033		0,368	4.524	5.689	7.215	0,365	13.736	5.659
Spectrum 2	7.647	61.229			1.602	2.219	11.520		15.072	0,711
Spectrum 3	9.809	54.405	0,357	0,912	4.209	6.280	6.280	0,921	14.020	2.206

**Tabela 23.** Composição química da amostra B.

Entretanto após analisar a composição química, as formas e texturas da areia reciclada é importante comparar com o formato e textura e composição química de uma amostra de areia natural. Ao visualizar a imagem da areia natural já percebemos que existem grandes diferenças na forma e textura dos grãos.



**Figura 54.** Análise MEV da areia natural (a) e análise MEV da areia reciclada (b).

**FONTE:** Imagem MEV areia natural – Reis, 2004.

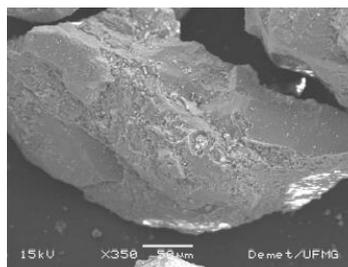
Além da diferença na forma e textura as amostras apresentam características diferentes também na composição química, a **tabela 24** apresenta a composição química da areia natural.

Elemento	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Fe
Fórmula		Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ox%	0.00	0.16	0.31	6.99	87.32	0.34	0.39	1.61	0.72	0.12	2.04

**Tabela 24.** Composição química da areia natural.

**FONTE:** Reis, 2004.

A **figura 55** apresenta a análise do grão de areia natural, Reis (2004) define que a areia natural analisada possui formato equidimensional e que os minerais encontrados de acordo com a análise MEV foram quartzo e feldspato, com maior presença de quartzo (SiO<sub>2</sub>) com teor de 89,64% de acordo com a **tabela 25** que apresenta a composição química do grão de areia natural.



**Figura 55.** Análise MEV da areia natural.

**FONTE:** Reis, 2004.

Elemento	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Fe
Fórmula		Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ox%	0.00	0.61	0.64	4.43	89.64	0.62	0.71	0.63	0.84	0.26	1.61

**Tabela 25.** Análise MEV da areia natural.

**FONTE:** Reis, 2004.

#### 4.5. Ensaios de massa unitária no estado solto da fração reciclada fina

A massa unitária é a razão entre a massa das partículas do agregado por unidade de volume, incluindo os poros e os vazios existentes entre os grãos. É uma informação importante para a conversão do traço do concreto, da massa para o volume.

O ensaio foi realizado utilizando um recipiente de forma conhecida, deixando os resíduos cair à altura de 10 cm, para que não houvesse compactação do material.

As pesquisas anteriores fornecem embasamento teórico para o resultado obtido nesta pesquisa, que obteve massa unitária de 1,27 kg/dm<sup>3</sup>.

Obtendo a média dos ensaios analisados anteriormente, obtemos o valor médio de 1,22 kg/dm<sup>3</sup>, que não está longe do valor da massa unitária deste agregado utilizado para estudo neste trabalho. A **tabela 26** demonstra ensaios anteriores.

Agregado	Massa	LEITE	BRUN et. Al.	SILVA	LANZELLOTTI	FREIRE
		2001	2001	2004	2005	2010
Miúdo	Específica unitária	1,21 Kg/dm <sup>3</sup>	1,30 Kg/dm <sup>3</sup>	1,15 Kg/dm <sup>3</sup>	1,09 Kg/dm <sup>3</sup>	1,34 Kg/dm <sup>3</sup>

**Tabela 26.** Relação de massas unitárias de RCD.

#### 4.6. Ensaio de massa específica da fração reciclada fina

A literatura define como massa específica aparente ou massa específica unitária, como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. De acordo com a massa específica os agregados podem ser leves, normais e pesados e podem ser classificados pela densidade: os leves são argilas expandidas e vermiculita; os normais são areias naturais, areias de britagem, pedra britada e cascalho; os pesados são magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), barita ( $\text{BaSO}_4$ ) e escórias.

Para Souza et al (2013) e Tenório (2007) a massa específica de um agregado esta ligada e certamente é resultado dependente da porosidade, citam também que a massa específica com valores menores podem ser utilizadas de forma satisfatória na confecção de artefatos de concreto.

Podem ser definidos como leves também agregados com massa unitária menor que  $1120 \text{ kg/m}^3$  e podem ser aplicados na produção de concretos leves. São considerados concretos normais aqueles com massa específica de  $2400 \text{ kg/m}^3$  e os pesados são aqueles que variam entre  $2880$  a  $6100 \text{ kg/m}^3$ .

O objetivo do ensaio foi determinar a massa específica, através de ensaios realizados utilizando o frasco de Chapman. O procedimento foi de acordo com as normas regulamentadoras e dois frascos foram utilizados, assim como duas amostras do material reciclado.

O frasco de Chapman foi preenchido com volume de água até a marca de  $200 \text{ cm}^3$ , que foi marcada no mesmo. A amostra de areia reciclada foi inserida ao frasco, sempre tomando cuidado em fazer movimentos vai e vem para eliminar as bolhas de ar presentes no frasco. Obteve-se como resultado a diferença entre o volume inicial e final, sendo a massa específica determinada através da relação entre massa e diferença de volume.

A massa específica obtida neste ensaio foi de  $2,57 \text{ g/cm}^3$ . É importante determinar essa massa porque o agregado representa uma porcentagem significativa dentro do processo de produção do concreto. Saber a massa específica do agregado auxilia na escolha do mesmo.

#### 4.7. Ensaio de material pulverulento da fração fina reciclado

De acordo com a ABNT NBR 046/2003, materiais pulverulentos são as partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 m, incluindo os materiais solúveis em água presentes no agregado. Se o agregado reciclado possuir um alto teor de material pulverulentos prejudicará na constituição do concreto, diretamente no que tange à resistência e à instabilidade dimensional.

Os ensaios realizados, nas amostras em análise neste estudo, mostraram uma porcentagem média de 18% de material pulverulento presente no agregado reciclado fino. Esta porcentagem está dentro dos limites estabelecidos pela norma para concretos sem função estrutural, entretanto esse material não poderia ser usado em concretos estruturais de acordo com as porcentagens apresentadas, mas ao longo deste estudo serão analisados outras características e outros comportamentos desses resíduos.

#### **4.8. Teor de humidade e absorção de água da fração fina**

Neste trabalho a temperatura padrão usada para este procedimento foi de 105° C. Após esse processo o agregado é considerado na condição de seco em estufa.

As amostras analisadas nesta pesquisa tiveram média de umidade em torno de 17%, apresentando a condição superfície saturada seca e sendo submetidas ao aquecimento em estufa para a obtenção dos dados.

#### **4.9. Teor de argila, torrões e materiais friáveis**

Nos ensaios realizados com as amostras deste estudo pode se observar que os teores foram superiores aos predeterminados pela NBR 7218/2010, que determina uma fração de até 3,0% para agregados miúdos.

Esse resultado pressupõe que o concreto produzido com esse material vá sofrer alteração na sua resistência, forma e textura, módulos de elasticidade, absorção de água e trabalhabilidade, características que vão ser avaliadas nos ensaios mecânicos do material.

#### **4.10. Elaboração de fluxograma de beneficiamento de RCD**

Desenvolver um fluxograma de beneficiamento para resíduos da construção civil é umas das principais vertentes desta pesquisa, na revisão da literatura foram apresentados alguns modelos de fluxogramas utilizados para beneficiamento de RCD. Para criar um fluxograma de beneficiamento é necessário conhecer as características do agregado que irá ser beneficiado.

Para desenvolvimento de um fluxograma funcional é necessário não somente conhecer o insumo a ser tratado mas é preciso ter objetivos claros em relação aos produtos finais. Em relação aos resíduos da construção civil e da demolição, é fundamental como já citado antes neste texto conhecer as características desse material, pois auxilia na escolha dos equipamentos que irão compor a usina de beneficiamento, equipamentos como o modelo de britador a ser utilizado durante o processo, entre outros.

Os modelos de fluxograma desenvolvidos são funcionais e pensados para as empresas de pequeno e médio porte, com processo de segregação manual e eletroímãs nas etapas de transporte dos materiais britados para a retirada de metais.

O início do processo é básico e leva em consideração o transporte e a triagem do material. A partir do material triado, inicia-se o beneficiamento desses resíduos, cujo enfoque foi dividir os resíduos classe A em dois grupos distintos de materiais: o primeiro seria de resíduos de concreto e o segundo seria de resíduos cerâmicos, já que a fração desses resíduos possui percentual expressivo nas análises de composição. Esses resíduos podem ser processados em conjunto ou separadamente para usos distintos dentro da cadeia de construção.

Usualmente as empresas não utilizam essa série de equipamentos, geralmente usam os conjuntos móveis de britadores ou britadores móveis acumuladores de funções. O uso desses equipamentos economiza espaço, além de excluir o gasto com compra ou locação de espaço físico para a instalação de equipamentos, já que esses podem ser alocados no canteiro de obras, precisando em alguns casos de pequenos ajustes, como é o caso da empresa Help Engenharia. O fluxograma desenvolvido, que inclui o britador móvel, foi pensado para elevar a qualidade do material resultante do beneficiamento.

O ideal para esses conjuntos de britadores móveis é estarem apoiados sobre bases de concreto para evitar desnivelamentos e aumento de vibrações,

que poderiam ocasionar trincas na estrutura, além de quebrar componentes do maquinário e causar danos elétricos. Entre os benefícios destes equipamentos está a redução de custos com transporte e suporte de montagem e desmontagem dos mesmos.

A composição desses sistemas compactos de britagem depende do número de chassis a serem usados. Se forem compostos por dois chassis, usualmente os equipamentos no primeiro chassi serão alimentadores e britadores primários e quase sempre o britador será o de mandíbulas, e no segundo chassi vem o rebitador que poder ser o cone em circuito fechado com peneiras.

A quantidade de granulometrias a serem produzidas vai depender dos estágios de peneiramento. Conjuntos de britadores possuem circuito fechado e peneiramento em dois estágios, podendo produzir até quatro granulometrias, mais os finos naturais.

Os conjuntos em um único chassi geralmente possuem alguns modelos e são constituídos de britadores e rebitadores de mandíbulas e peneiras vibratórias horizontais com dois ou três decks, podendo classificar até cinco granulometrias diferentes de produtos. Os fluxogramas a seguir foram elaborados levando em consideração os britadores fixos numa planta de usina fixa e os britadores móveis que compõem as plantas semimóveis e móveis.

É preciso salientar que os modelos de fluxogramas são propostos de forma empírica, que as frações de RCD analisadas neste estudo foram obtidas de acordo com o processo de beneficiamento da empresa responsável pelo beneficiamento.

O intuito de desenvolver o fluxograma de beneficiamento é para que exista padronização das ações durante o processo de reciclagem e que a qualidade do agregado seja elevada, visto que o RCD é um meio para redução do uso contínuo de recursos naturais, partindo deste princípio é essencial que haja padronização na reciclagem de resíduos da construção civil.

#### **4.10.1. Fluxograma para usinas fixas**

A primeira etapa é o transporte desses resíduos que seria mais eficiente se fosse utilizado sistemas computacionais em rede para controlar os resíduos desde o momento da saída da obra a passando pelo transporte e chegando ao local que foi escolhido para a destinação final pelo gerador.

Após o transporte é importante ter o local onde esses resíduos possam ser alocados e possam passar por segregação. Geralmente os resíduos devem ser classificados e separados no local onde são gerados, mas como em todo processo existem falhas, é necessária a triagem prévia desse material no ato da chegada ao pátio de armazenamento. Neste caso havendo resíduos de outras classes, eles serão destinados para o seu processo de reciclagem adequado ou para a disposição final ambientalmente correta.

Após a etapa de triagem, temos os resíduos classe A que de acordo com o fluxograma desenvolvido poderá ou não passar por nova triagem para separar as frações cerâmicas. Este processo vai depender do beneficiador do material.

Seguindo o fluxo, o material vai para um alimentador vibratório, cuja função é receber o primeiro impacto dos resíduos e dosar a alimentação do britador. Os resíduos seguem por esteiras com eletroímãs instalados na parte superior da planta para a retirada de metais presentes dos resíduos, então a esteira transportará o material para o britador primário, que neste caso pode ser um britador de mandíbulas, que é usualmente utilizado na fase de britagem primária, pois pode reduzir blocos de elevadas dimensões e dureza e possuem grandes variações de tamanho na alimentação.

Após passar pela britagem primária, é levado novamente por esteiras com eletroímãs posicionados na parte superior para retirar quaisquer resíduos de metais adjacentes, seguindo para britagem secundária, que pode ser realizada por um britador do modelo cônico, pois esse modelo oferece maior redução do material britado, facilitando o encaminhamento para a fase de britagem terciária.

Para a britagem secundária pode ser utilizado o britador de impacto de eixo horizontal, que segundo Sales que é consultor de vendas da Wirtgen Brasil, esse modelo possui alta capacidade de processamento de finos e materiais de melhor cubicidade e de baixo teor pulverento.

Para a britagem terciária geralmente são usados os britadores cônicos que exigem maior controle durante a operação, trabalhando em circuito fechado.

Após as etapas de britagem os resíduos passam pelo processo de peneiramento para obtenção das granulometrias diferenciadas, como demonstrado no fluxograma 1. Algumas plantas possuem uma quarta etapa de britagem, o que não seria necessário para os resíduos provenientes da construção civil, devido às suas características e às suas aplicações futuras.

#### **4.10.2. Fluxograma com britadores móveis**

O princípio é o mesmo do fluxograma padrão apresentado no texto supracitado, com destaque para a substituição da linha de processamento a partir da triagem secundária, que poderá ou não separar os resíduos de concreto das frações cerâmicas.

Passando a partir desse ponto a desenvolver o processo de beneficiamento com um conjunto móvel de britagem, o mercado oferece modelos variados de acordo com o material a ser britado e com o valor do equipamento utilizado.

Este equipamento é usualmente composto de alimentadores, britadores primários e quase sempre são de mandíbulas, além de rebitadores, que podem ser de cone operando em circuito fechado com peneiras e que podem produzir até quatro granulometrias diferentes e mais os finos naturais.

Ao pensar em um sistema de processamento com britadores móveis, é importante ressaltar que os equipamentos apesar de móveis, precisam estar muito bem calçados para que não haja nenhum dano interno durante o processo de beneficiamento.

As vantagens estão no fato de não ser necessário alugar espaço físico para usar esse equipamento, que pode ser alocado no canteiro de obras ou no pátio de reciclagem, como no caso da empresa Help Engenharia. Neste caso é preciso somente de um arranjo físico adequado para o melhor desempenho do equipamento e elevar a qualidade do material produzido.

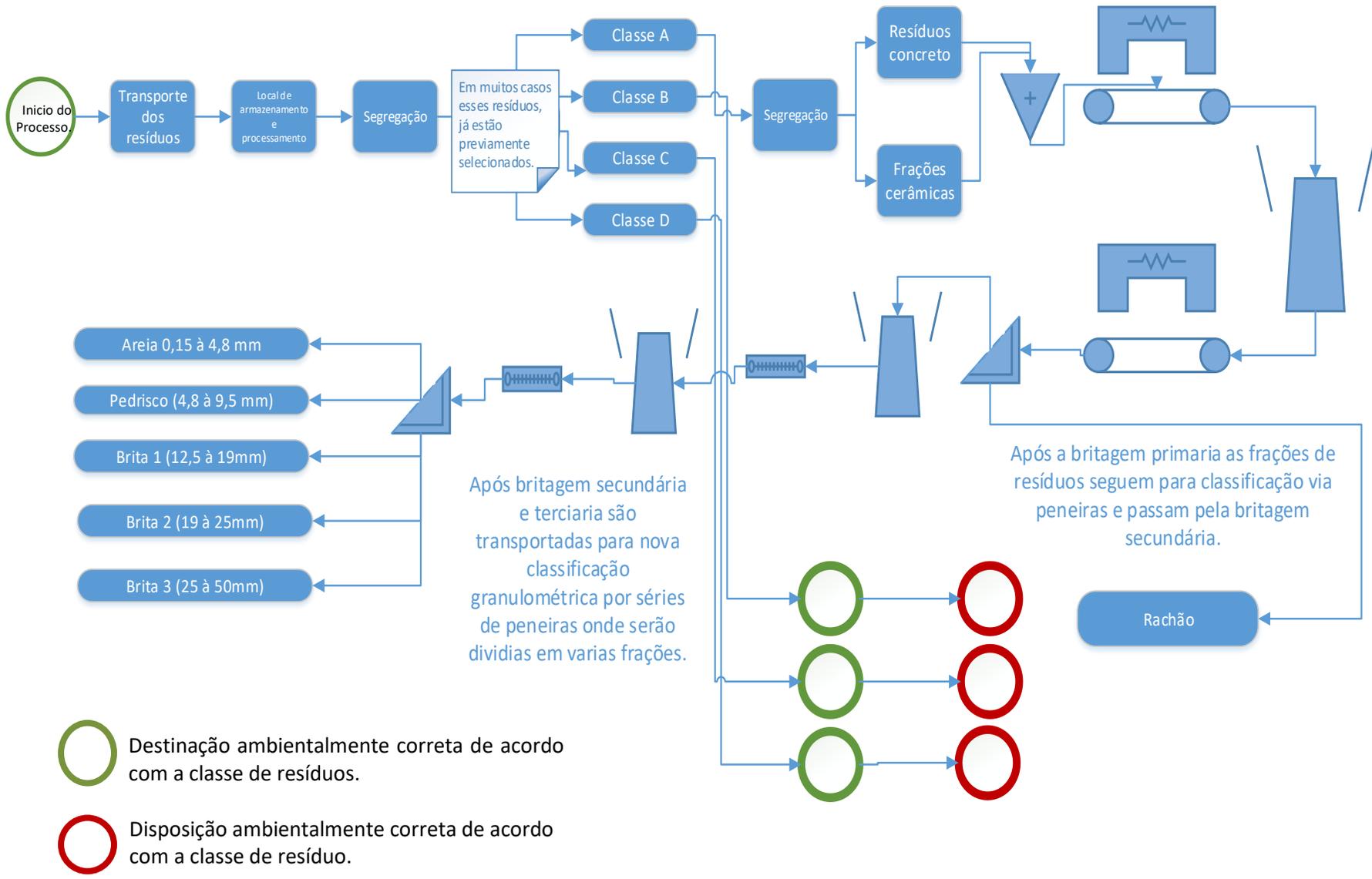
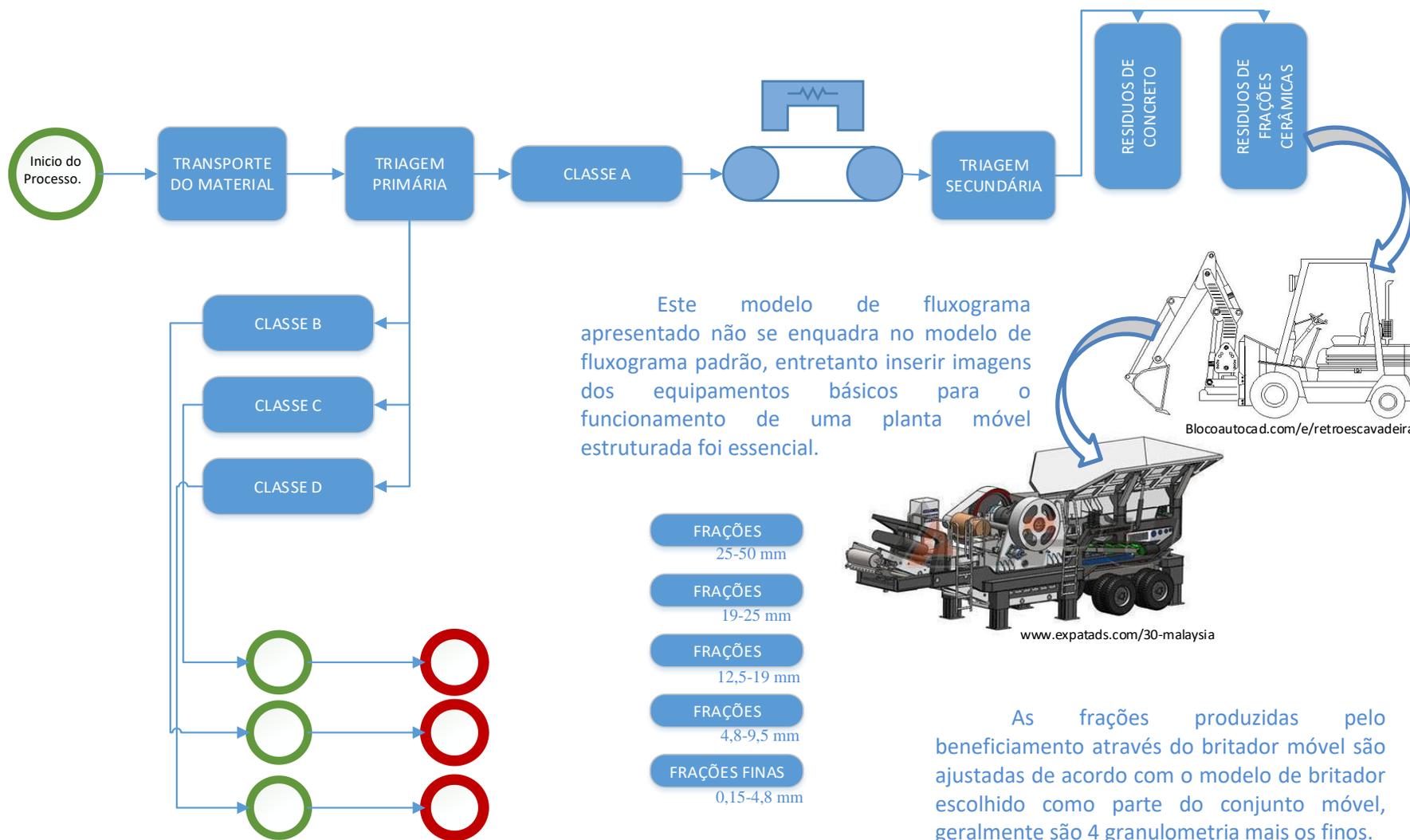


Figura 56. Fluxograma para beneficiamento de RCD em planta fixa.



**Figura 57.** Fluxograma para beneficiamento de RCD com conjunto de britador móvel substituindo os britadores, peneiras e transportadores da planta fixa.

#### 4.11. Ensaios de resistência à compressão

Ensaios de compressão e módulos de elasticidade de um agregado não são fáceis de serem mensurados em razão da dificuldade em ensaiar as partículas isoladamente. (Tenório, 2007; Neville, 1997; Metha; Monteiro, 1994).

Nematzadeh et al (2012) avaliou que o ensaio de compressão é uma das propriedades mecânicas mais importantes na caracterização da qualidade do concreto, ainda segundo ele propriedades como a impermeabilidade, módulos de elasticidade e resistência a agentes atmosféricos estão direta e indiretamente relacionadas a resistência a compressão.

Neste estudo os ensaios de compressão e módulos de elasticidade foram realizados em corpos de provas com porcentagens diferentes de resíduos da construção civil. No primeiro ensaio realizado foram utilizados corpos de prova com 100% de agregado reciclado, 50% de agregado reciclado e 50% de agregado natural e 100% de agregado natural, que seria o corpo de prova de referência.

Na segunda sequência de ensaios de compressão e módulos de elasticidade foram ensaiados corpos de provas com frações de 10%, 20% e 30% de agregados reciclados, sendo repetidos os ensaios para fim de estabelecer os resultados finais.

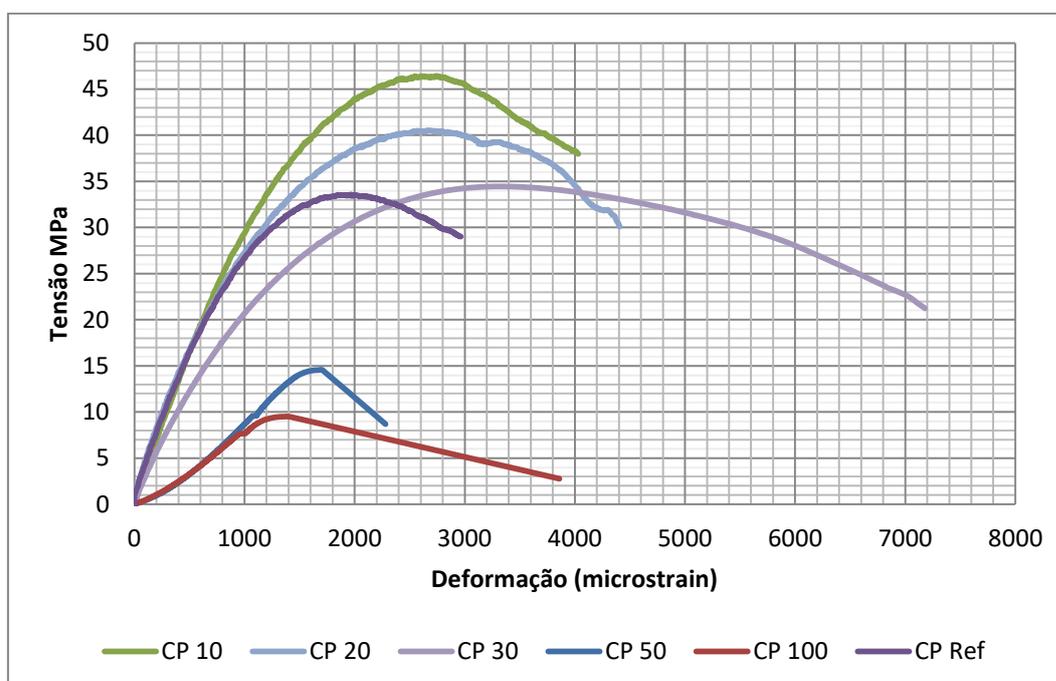
Observando a **tabela 27** podemos avaliar o comportamento dos corpos de provas com agregados reciclados. Os corpos com porcentagem de 10%, 20% e 30% apresentaram comportamento satisfatório, com elevado índice de resistência à compressão levando em consideração o material de referência. Entretanto os corpos de prova com 100% e 50% de agregados reciclados apresentaram baixo valor de resistência à compressão.

Amostras	Força (KN)	Tensão (MPa)	Deformação Máxima ( $\mu\epsilon$ )	Módulos de Elasticidade (GPa)
CP 10%	363,03	46,22 $\pm$ 0,53	2699,60	31,54
CP 20%	328,94	41,88 $\pm$ 1,9	1996,86	29,31
CP 30%	262,86	33,47 $\pm$ 0,85	3290,64	24,96
CP 50%	123,12	15,69 $\pm$ 2,7	2144,43	14,45
CP 100%	84,8	10,8 $\pm$ 0,82	4173,78	11,82
Referência	276,21	37,46 $\pm$ 4,5	3265,1	29,64

**Tabela 27.** Resultados dos ensaios mecânicos.

Cabral (2010) conclui que as propriedades mecânicas do concreto são mais afetadas pela presença de frações de agregado reciclado graúdo do que pelas frações de agregado reciclado miúdo, conclusão esta que pode justificar o desempenho satisfatório dos concretos com até 30% de RCD ensaiados nesta pesquisa, ao contrário do que concluiu Behnood et al (2015) que avaliou que concretos com agregados reciclados deveriam ter resistência a compressão até 25% menor quando comparado ao concreto com agregados naturais. Este desempenho inferior foi observado somente nos traços com frações a partir de 50% de RCD.

Em contra partida Pepe et al (2016) avalia que o uso limitado do agregado reciclado no concreto estrutural tem consequências insignificantes em aspectos tecnológicos, esta observação da credibilidade aos resultados de resistência a compressão superiores ao do concreto com agregado natural que foram apresentados pelo concreto com traço de 10% de RCD e de acordo com os resultados obtidos em sua pesquisa Cabral et al (2009) que determinou que a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado resulta em um acréscimo da resistência a compressão dos concretos produzidos, o mesmo resultado não foi observado com a substituição da fração natural grossa pela fração reciclada grossa. As curvas relacionadas aos ensaios de compressão podem ser observadas na **figura 58**.



**Figura 58.** Resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova.

A **figura 58** relaciona os ensaios dos corpos de provas com agregados reciclados apresentando o comportamento dos mesmos levando em consideração o corpo de prova de referência. Os concretos com pequenas frações apresentam resultado significativo. Comparando os resultados e levando em consideração a referência, os corpos-de-prova com até 10% de resíduos reciclados possuem um ótimo índice de resistência à compressão apresentando melhor comportamento em relação resistência a compressão do que os corpos-de-prova com 100% de agregado natural. Os CP-10 se romperam com deformidade padrão e não demonstraram ruptura brusca após atingirem o ponto máximo, continuando o processo de compressão se distenderam sem rompimento, ou seja, após a fissura a ruptura não foi brusca, apresentando características de material dúctil, como pode ser observado na **figura 58**.

Araújo (2016) avalia que de forma geral é possível substituir de 50% a 100% dos agregados naturais pelos agregados reciclados, sem prejuízo das propriedades mecânicas do concreto, entretanto os concretos com frações de 50% e 100% de agregado reciclado no seu traço, neste estudo não apresentaram resultados satisfatórios quando comparados ao concreto de referência, ao contrario do que avaliou Araújo (2016) os corpos de prova demonstraram baixa resistência à compressão simples e alta índice de deformação.

Pepe et al (2016), observa que a presença de um componente com porosidade elevada tem dupla influência na resistência do concreto com RCD, o que também poderia ter influenciado os resultados inferiores dos traços com 50% e 100% de RCD.

#### **4.11.1. Ensaios de módulos de elasticidade**

Como já citado anteriormente neste texto os módulos de elasticidade é uma expressão que determina a rigidez e quanto maior o modulo de elasticidade mais rígido o material (Tanaka et al, 2010).

Carrijo (2005) observa que o módulo de elasticidade dos concretos diminui à medida que a massa específica dos agregados reciclados diminui, comprovando que os agregados menos densos possuem menores módulos de elasticidade.

Para Neville (1997) agregados com resistência a compressão e módulos de elasticidade moderados ou baixos podem ser bons para preservação da integridade do concreto, quando este é submetido a tensões devido às variações de volume de origem hidráulica ou térmica. Entretanto Nematzadeh et al (2012) define os módulos de elasticidade como uma das propriedades elásticas mais importantes do concreto do ponto de vista da concepção e do comportamento de estruturas e esta frequentemente expressa em termos da resistência a compressão.

Para Liu et al (2014) além de ser importante do ponto de vista da concepção e comportamento de estruturas, o módulo de elasticidade é o parâmetro determinado pela avaliação estrutural e adaptação de estruturas, utilizado também para estimar desvios de estruturas e para calcular deformação e tração em análises sísmicas.

Behnood et al (2015) cita que concretos com frações de RCD devem ter módulos de elasticidade reduzido em até 45% se comparado com concreto com agregados naturais, o autor acredita que essas consequências se devem ao fato do agregado reciclado possuir um teor alto de absorção de água, menor densidade além de possuir a presença de argamassa residual nas superfícies das partículas.

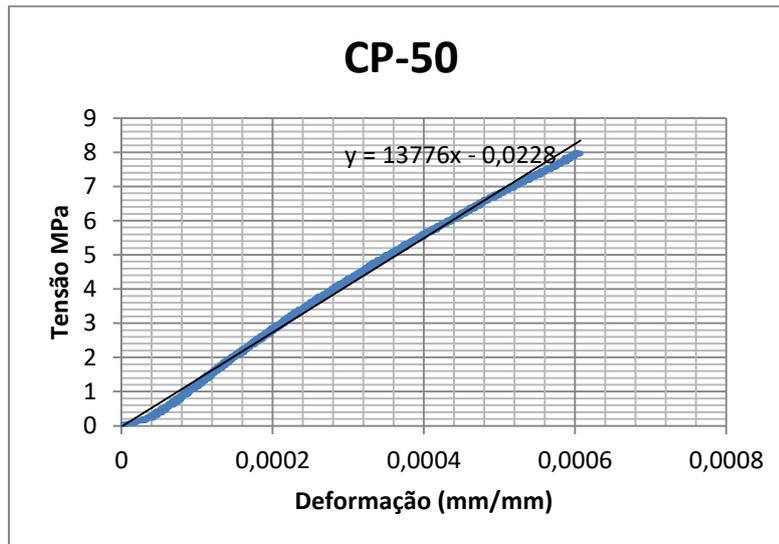
A **figura 59** apresenta o gráfico mais próximo à média dos módulos de elasticidade para o concreto com 50% de agregado reciclado presente no traço, a **figura 60** apresenta o gráfico mais próximo da média dos módulos de elasticidade para o concreto com 100% de agregado reciclado no traço e a **figura 61** apresenta o gráfico com os módulos de elasticidade mais próximo da média para o concreto com 100% de agregados naturais no traço.

Observando os gráficos podemos concluir que Behnood et al (2015) está certo quando diz que os módulos de elasticidade do concreto com RCD se reduzem bruscamente se comparado com o concreto com agregados naturais.

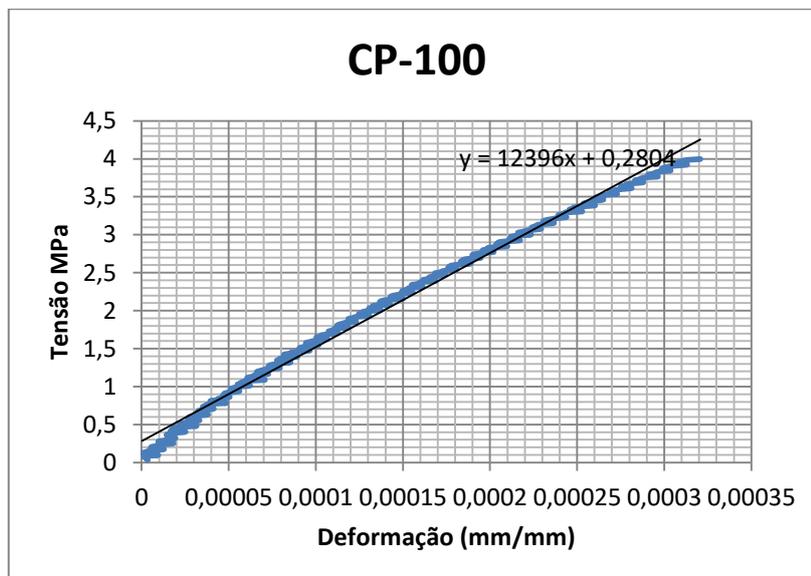
Entretanto os corpos-de-prova com até 10% de RCD apresentaram módulos de elasticidade superiores aos apresentados pelos corpos-de-prova de referência e os corpos-de-prova com 20% de RCD apresentaram módulos de elasticidade muito próximos aos dos corpos-de-prova de referência o que nos faz concluir que a presença de até 20% de RCD não altera de forma significativa

propriedades mecânicas importantes com o módulo de elasticidade e resistência a compressão.

Embora os corpos-de-prova com 30% de RCD tenham apresentado um módulo de elasticidade menor em relação aos corpos-de-prova de referência a diferença entre as médias não foi discrepante, o que nos leva a concluir que a presença de até 30% de RCD influencia, mas não reduz drasticamente nem os módulos de elasticidade nem a resistência a compressão do concreto.



**Figura 59.** Gráfico mais próximo da média do módulo de elasticidade para CP-50.



**Figura 60.** Gráfico mais próximo da média do módulo de elasticidade para CP-100.

Araújo et al (2016) comprovava em seu estudo que o módulo de elasticidade foi influenciado pela substituição do agregado natural pelo agregado reciclado bruto, apresentando redução média de 6% a 12% em relação ao traço de referência. A média de redução do módulo de elasticidade apresentado neste trabalho foi superior as 12% em relação aos CP-50 e CP-100.

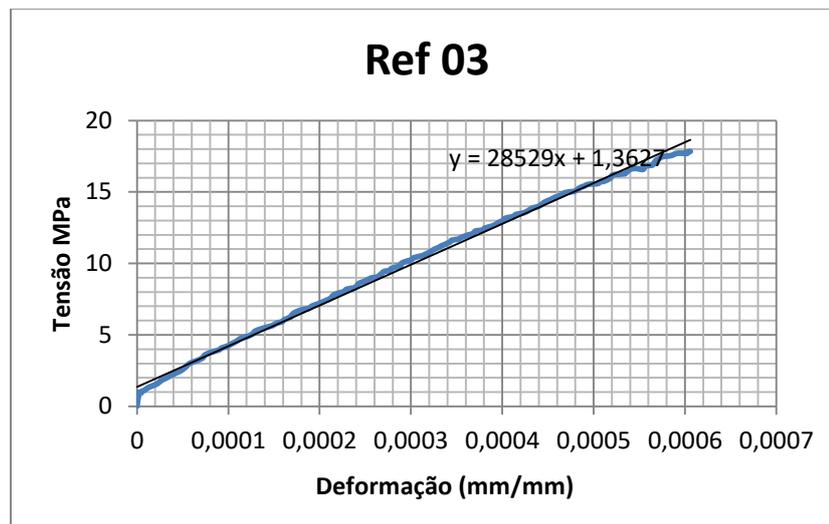


Figura 61. Gráfico mais próximo da média do módulo de elasticidade para CP-Ref.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1. Conclusões

Reciclar resíduos da construção civil é essencial, seja pelo ajuste nos custos da obra geral para as grandes empresas, ou seja, para a preservação do meio ambiente. O fato é que não é mais possível coexistir com esses resíduos e não tomar providências reais para minimizar os seus impactos.

Os RCD são resíduos provenientes da construção civil, resíduos classe A, que possuem 90% de chance de reaproveitamento. Esses resíduos possuem composição diversificada, que varia de acordo com o material utilizado na sua fabricação, do local onde estão expostos, além da planta onde acontece o seu beneficiamento.

Através da caracterização tecnológica dos RCD observamos características químicas e físicas das amostras, concluindo que estavam aptas para seguir as etapas seguintes do estudo.

Além da caracterização dos RCD, foi necessário desenvolvimento de fluxogramas de beneficiamento destes resíduos com objeto de estabelecer um padrão de reciclagem.

Este trabalho analisou o comportamento do concreto com frações de 10%, 20%, 30%, 50% e 100% de agregados reciclados finos. As frações de 10%, 20% e 30% apresentaram comportamento satisfatório, levando em consideração o concreto de referência, essas frações de agregados reciclados apresentaram alta resistência à compressão, rompendo-se com deformidade padrão e não demonstraram ruptura brusca, após atingirem o ponto máximo, continuou-se o processo de compressão e eles se distenderam sem se romper, ou seja, após a fissura a ruptura não foi brusca, apresentando características de material dúctil.

Para os concretos que continham frações de 50% e 100% de resíduos reciclados, o comportamento foi distante das outras frações e do concreto de referência, significando que o alto teor de argila e materiais friáveis alterou o comportamento do concreto quando este possuía altas frações de RCD.

Os resultados levam à conclusão que os concretos com frações baixas de RCD podem ser utilizados com função estrutural levando em consideração que a resistência a compressão é uma das características mais importantes no concreto e que normalmente o concreto costuma ter resistência a partir de 15 MPa para fundações e 20 MPa, 30 MPa, 35 MPa, 40 MPa, 50 MPa para concreto estruturais.

E necessário salientar que o cimento utilizado foi de alta resistência inicial, e que esse concreto apesar de apresentar índices bons de desempenho a compressão pode absorver água dependendo de onde estiver exposto podendo comprometer a estrutura.

## 5.2. Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliar o comportamento do agregado reciclado com outras frações em substituição ao agregado natural.
- Substituir a fração natural grossa pela fração reciclado grossa em conjunto com a fração reciclada fina, para ensaios mecânicos.
- Avaliar a durabilidade do concreto com agregados reciclados nas frações finas e grossas.
- Avaliar a viabilidade econômica de uso do agregado reciclado.
- Avaliar o comportamento do concreto com frações de agregados reciclados quando exposto a ataques químicos.

## 6. Referências Bibliográficas

ABNT NBR 9935. **Agregados – Terminologia**. 2011.

\_\_\_\_\_8953. **Concretos para Afins Estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. 2010.

\_\_\_\_\_7211. **Agregados para concreto – Especificação**. 2009.

\_\_\_\_\_15113. **Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação**. 2004.

\_\_\_\_\_15114. **Resíduos Sólidos da Construção Civil – Áreas de Reciclagem – Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação**. 2004.

\_\_\_\_\_15115. **Agregados Reciclados de Resíduos da Construção Civil – Execução de Camadas de Pavimentação – Procedimento**. 2004.

\_\_\_\_\_15116. **Agregados Reciclados de Resíduos sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. 2004.

\_\_\_\_\_NM 248. **Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. 2003.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil**. 186p. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil**. 114p. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil**. 120p. Rio de Janeiro, 2014.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de Entulho**. Disponível na internet via [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_entulho.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_entulho.html). Acesso dia 18 de Janeiro de 2016.

ARAÚJO, D.L., FELIX, L.P., SILVA, L.C., SANTOS, T.M. **Influência de Agregados Reciclados de Resíduos de Concreto nas Propriedades Mecânicas do Concreto**. REEC, 2016.

ANGULO, S.C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção de Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento e Concretos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

\_\_\_\_\_, S.C., ULSEN, C., JOHN, V.M., KAHN, H. **Desenvolvimento de novos mercados para reciclagem massiva de RCD**. In: V Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, p. 293-307. São Paulo, 2002.

BASF. **Ficha Técnica de Produto – Glenium 51**. 4p. São Paulo, 2016.

BRANCO, F.C. **Levantamento das Características dos Agregados Produzidos em Portugal**. Relatório provisório – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2009.

BELTRAN, M.G., BARBADO, A., AGRELA, F., GALVIN, A.P., JIMÉNEZ, J.R. **Effect of Cement Additcon on the Proprieties of Recycled Concretes to Reach Control Concretes Strenghts**. Journal of Cleaner Production 79 (2014) 124-133. 2014.

BONDUKI, N.G., GONÇALVES, S.A., COSTA, S.S. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**, 2011.

BUTTLER, A.M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. Dissertação (mestrado). USP, 2003.

CABRAL, A.E.B. **Modelagem de Propriedades Mecânicas e de Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados, Considerando-se a Variabilidade da Composição do RCD**. Tese de Doutorado, USP-SP, 2007.

\_\_\_\_\_, A.E.B., MOREIRA, K.M.V. **Manual sobre Resíduos sólidos da Construção Civil**. Sinduscon – CE, 2011.

\_\_\_\_\_, A.E.B., SCHALCH, V., DAL MOLIN, D.C.C., RIBEIRO, J.L.D., RAVINDRARAJAH, R.S. **Desempenho de Concretos com Agregados Reciclados de Cerâmica Vermelha**. Universidade Federal do Ceara – UFC, 2009.

CARDOZO, J.R.A. **Uso do Agregado de Entulho da Construção Civil de Manaus – AM para Obtenção de Blocos de Argamassa Celular**. Dissertação (mestrado). 103p. Manaus, 2010.

CARNEIRO, A.P. et al. **Caracterização do Entulho de Salvador Visando a Produção de Agregado Reciclado**. IN. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Entoc 2000. Mordenidade e Sustentabilidade, 7º ed. Salvador, 2000.

CARRIJO, P.M. **Análise de Influência da Massa Especifica de Agregados Graúdos provenientes de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto**. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

COELHO, R.D. **Estudo do processo de reciclagem de resíduos sólidos provenientes da construção civil com avaliação quantitativa do produto resultante**. Lorena, 2014.

**CONAMA Resolução nº 307. Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Governo Federal. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2002.

CORINALDESI, V., GIUGGIOLLINI, M., MORICONI, G. **Use of rubble from building demolition in mortars** – Ancona University – Italy, 2002.

CORINALDESI, V., MORICONI, G. **Recycling of rubble**[50] CUNHA, N.A. **Resíduos da Construção Civil, Análise de Usinas de Reciclagem.** Dissertação (mestrado). 176p. Campinas, 2001.

CUNHA, N.A. **Resíduos da Construção Civil Análise de Usinas de Reciclagem.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

EVANGELISTA, L., BRITO, J. **Mechanical Behaviour of Concrete Made With Fine Recycled Concrete Aggregates.** Cement e Concrete Composites 29 (2007) 397 -401. 2007.

EVANGELISTA, L., GUEDES, M., BRITO, J., FERRO, A.C., PEREIRA, M.F. **Physical and Mineralogical Properties of Fine Recycled Aggregated Made From Concrete Waste.** Construction and Building Materials 86 (2015) 178 – 188. 2015.

FAELLA, C., LIMA, C., MARTINELLI, E., PEPE, M., REALFONZO, R. **Mechanical and durability performance of sustainable structural concretes: Na experimental study.** Cement and concrete composites. 71 (2016) 85-96, 2016.

FERNANDEZ, J.A.B., ROMA, J.C., MOURA, A.M.M. **Caderno de Diagnóstico – Resíduos da Construção Civil.** 2011. IPEA.

FERREIRA, G.E., PEREIRA, L.S. **Mercados de Agregados no Brasil.** CETEM, 2008.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** 219p. Rio de Janeiro, 2008.

ITAMBÉ. **Apostila de Ensaios de Concretos e Agregados.** 3º ed. 199p. Assessoria Técnica Itambé. Curitiba – PR, 2011.

JIMÉNEZ, A.M.G. **Comportamento mecânico de um agregado reciclado a partir de resíduos de construção e demolição submetido a carregamentos cíclicos.** Tese de Doutorado (203p). Universidade de Brasília, 2016.

JORNAL NACIONAL. **Entulho é Reciclado em uma a Cada Cinco Obras no Brasil.** Disponível na internet via <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/09/material-e-reciclado-em-uma-cada-cinco-obras-no-brasil.htm>]. Acesso dia 18 de Janeiro de 2016.

JUNIOR, N.B.C. **Cartilha de Gerenciamento de Resíduos sólidos para a Construção Civil.** 38p. Sinduscon – MG, 2005.

JUNIOR, J.A.F. **Materiais de Construção – Agregados.** Universidade Federal do Paraná, 2013.

LANZELLOTTI, R.F.A. **Desenvolvimento de Fluxograma para Beneficiamento de Resíduos da Construção Civil.** Dissertação (mestrado). 114p. PUC-RJ, 2005.

LEITE, M.A. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição.** UFRGS. Tese de Doutorado. Porto Alegre – RS, 2001.

LEVY, S.M. **Reciclagem do Entulho de Construção Civil de Construção.** Dissertação (mestrado). Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1997.

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LIMA, R.S., LIMA, R.R.R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.** CREA – PR, 2012.

M&T. **Vida Útil Plena e Produtiva.** Disponível na internet via [http://www.revistamt.com.br/index.php?option=com\\_contenido&task=printMateria&id=2007](http://www.revistamt.com.br/index.php?option=com_contenido&task=printMateria&id=2007). Acesso de 18 de Junho de 2016.

MELO, A.V.S. **Diretrizes para a Produção de Agregado Reciclado em usinas de Reciclagem Resíduos da Construção Civil.** 232p. Dissertação (mestrado). UFBA, 2011.

METHA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ª edição. São Paulo: Ibracon, 674p, 2008.

MINCATO, R. **Mineralógica – Material de Apoio.** 29p. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2012.

MINERAÇÃO SÃO JUDAS. **Produtos Mineraiis.** Disponível na internet via <http://www.saojudas.com.br/asp/interna.asp?lng=br&iditem=2&idsub=49>. Acesso dia\_20 de maio de 2016.

NEMATZADEH, M., NAGHIPOUR, M. **Compressive strength and modulus of elasticity of freshly compressed concrete.** Construction and Bulding Materials. 34 (2012) 476-485, 2012.

NETO, F.A.V., CAMPOS, A.A., SARRAUF, L. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil – A experiência do Sinduscon – SP.** São Paulo, 2005.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** Tradução Salvador E. Giamusso. 2ª. Edição. São Paulo: PINI, 1997.

NM 26:2009. **Agregados – Amostragem.** 2009.

\_\_\_ 53: 2009. **Agregado Graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água,** 2009.

\_\_\_ 52:2002. **Agregados Miúdos – Determinação de Massa específica e Massa específica aparente.** 2002.

NOVAES, M.V., MOURÃO, C.A.M.A.M. **Manual de Gestão Ambiental de Resíduos sólidos na Construção Civil.** 100p. COOPERCAN. Fortaleza, 2008.

NUNES, K.R.A., MAHLER, C.F. **Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, A.S.L., SANTOS, R.E., ALCÂNTARA, C.M. **Indicadores IBGE – Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**, 2015.

ORTIZ, F. **O Caminho Desconhecido do Entulho**. Disponível na internet via <http://www.oeco.org.br/reportagens/28111-o-caminho-desconhecido-do-entulho/> acesso dia 18 de Janeiro de 2016.

PAULA, P.R.F. **Utilização dos Resíduos da Construção Civil na Produção de Blocos de Argamassa sem Função Estrutural**. 132p. Dissertação (mestrado). Universidade Católica de Pernambuco, 2010.

PDWORLD. Disponível em: [http://www.pdworld.com/default\\_article.asp?categoryID=22&pageID=1726](http://www.pdworld.com/default_article.asp?categoryID=22&pageID=1726). Acesso em 14 de junho, 2015.

PEPE, M., FILHO, R.D.T., KOENDERS, E.A.B., MARTINELLI, E. **A novel mix design methodology for recycled aggregate concrete**. Construction and Building Materials. 122 (2016) 362-372, 2016.

PINTO, T. **Metodologia para Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese (doutorado). São Paulo, 1999.

PORTAL RIO PRETO. **Exemplo de Gerenciamento de Entulho**. Disponível na internet via [http://www.riopreto.sp.gov.br/PortalGOV/do/subportais\\_Show?c=31251](http://www.riopreto.sp.gov.br/PortalGOV/do/subportais_Show?c=31251). Acesso dia 27 de março de 2016.

REDE GLOBO. **Coleta e Reciclagem de Entulhos um Investimento para Construção Civil**. Disponível na internet via <http://redeglobo.globo.com/globo/ecologia/noticia/2012/08/coleta-e-reciclagem-de-entulhos-um-investimento-para-construcao-civil.html>. Acesso dia 18 de Janeiro de 2016.

REIS, R.J.P. **Influência de Areias Artificiais de Rochas Britadas na Estrutura e nas Propriedades de Concretos de Cimento Portland**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia da UFMG, 2004.

SALES, C.G. **Caracterização Mineralógica e Tecnológica de Minérios**. 25p. Faculdade de Engenharia – UEMG, 2009.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS E AMBIENTE URBANO. **Manual para implantação de Sistema de Gestão de Resíduos de Construção Civil em Consórcios Públicos**. Ministério do Meio Ambiente, 2010.

SEMA, H.A., REZENDE, M.M. **Agregados para Construção Civil**. DNPM, 2009.

SILVA, L.R.A. **Utilização do Entulho como Agregado para a Produção de Concreto Reciclado**. 113p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

SILVA, M.A., SANTOS, V.A.A. **Reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil em São Luiz – MA: um processo sustentável.** Revista do CEDS – 2014.

SILVA, M.B.L. **Novos Materiais à Base de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Resíduos de Produção de Cal (RPC) para Uso na Construção Civil.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SILVA, R.V.D. **Usina de reciclagem de entulhos: uma alternativa para os resíduos de construção e demolição.** Florianópolis - SC, 2014.

SILVA, R.V.D. **Usina de Reciclagem: Uma Alternativa para os Resíduos de Construção e Demolição.** 31p. Instituto de Pós- Graduação. Florianópolis, 2014.

SINDUSCONPR. **Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.** Disponível na internet via <http://sindusconpr.com.br/gerenciamento-de-residuos-da-construcao-civil-1960-p>. Acesso dia 29 de março de 2016.

SINISTERRA, F.Q. **Aplicabilidade de Resíduos Reciclados da Construção e Demolição como Agregados em Misturas Asfálticas.** Tese de Doutorado (193p).Universidade de Brasília, 2014.

SOUZA, L.L.E. **Análise Granulométrica, Textural e Mineralógica de Sedimentos da região Sul de Itaboraí.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011.

SOUZA, L.M., ASSIS, C.D., SOUTO, S.B.G. **Agregado Reciclado: um novo material da construção civil.** REGET/UFSM, 2013.

TAM, V.W.Y., TAM, C.M. **Crushed aggregate production from centralized combined and individual waste sources in Hong Kong.** Construction and Building Materials. 879-886p, 2007.

TANAKA, G.M., COSTA, M.R.M.M., SILVA, N.G., DYMINSKI, A.S. **Efeitos do Tipo de Areia de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) nas Propriedades de Argamassa de Cimento e Areia.** ENTAC, 2010.

TENÓRIO, J.J.L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

TEODORO, S.B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural.** TCC – Faculdade de Engenharia da UFJF, 2013.

TRIGUEIRO. A. **Empresas Públicas e Privadas Faturam com Reciclagem de Entulho.** Disponível na internet via <http://www.mundosustentavel.com.br/2012/10/empresas-publicas-e-privadas-faturam-com-a-reciclagem-de-entulho/>. Acesso dia 20 de Janeiro de 2016.

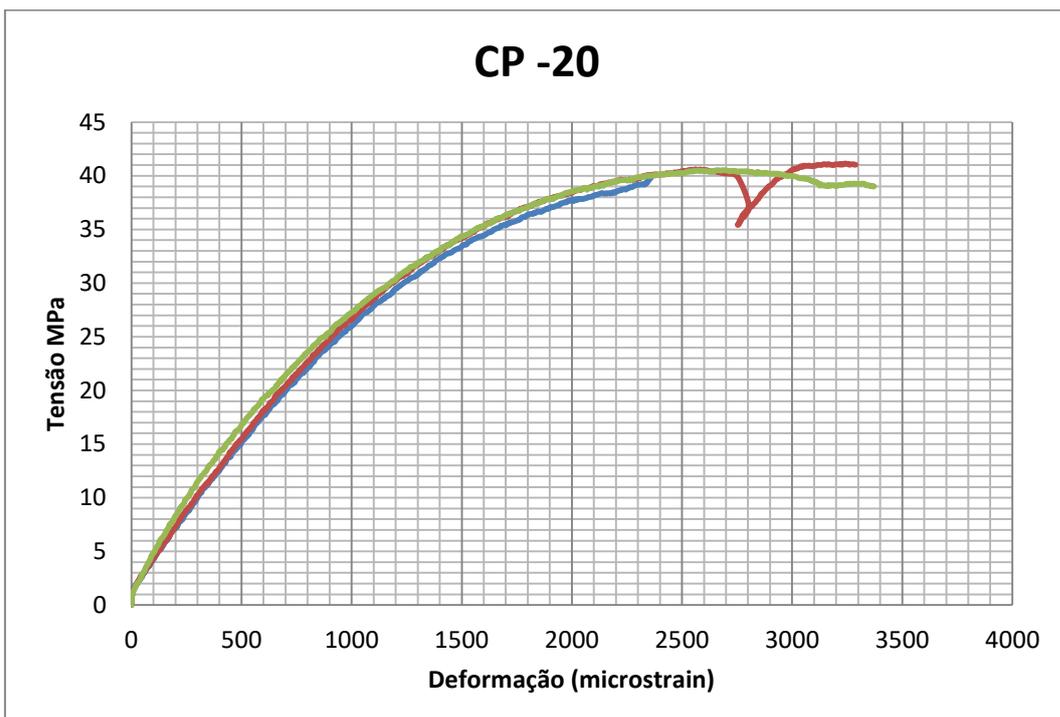
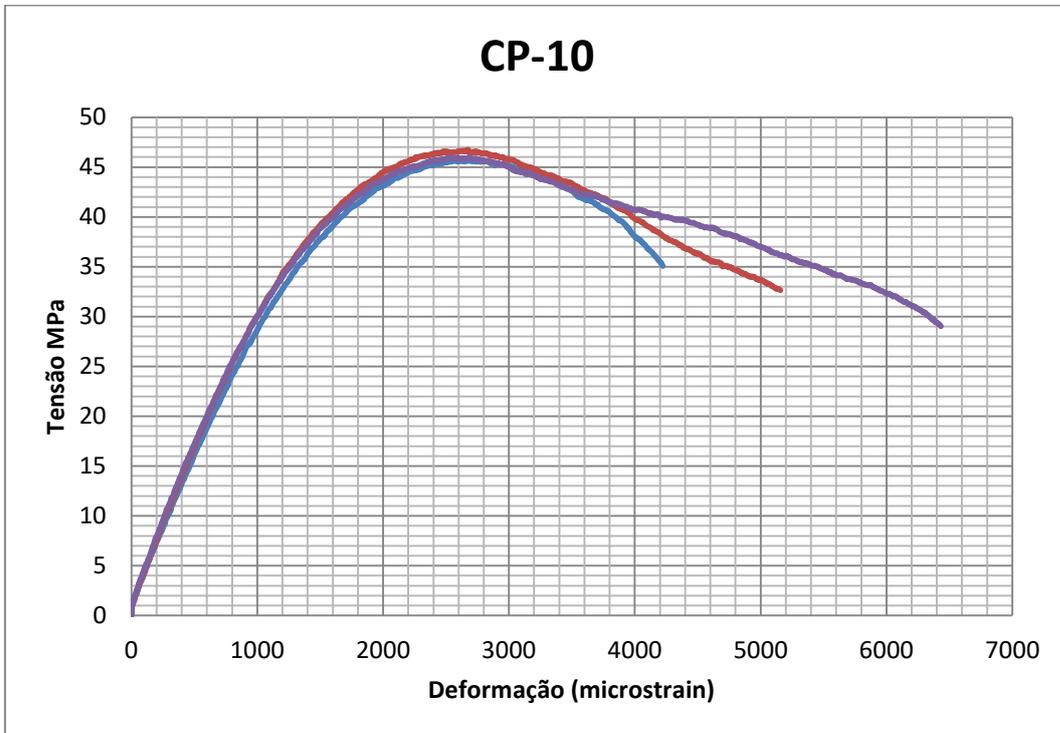
UNESP. **Caulinita.** Disponível na internet via <http://www.rcUnesp.br/museu-dpm/banco/silicatos/filossilicatos/caulinita.html>. Acesso dia 20 de maio de 2016.

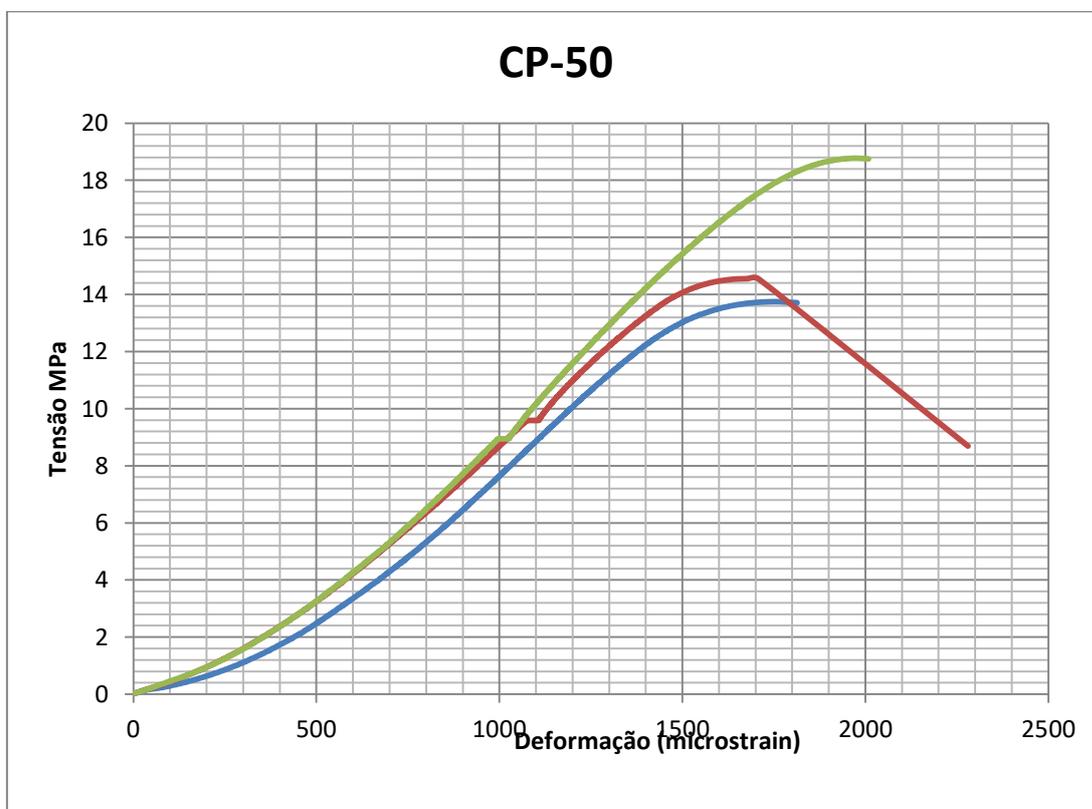
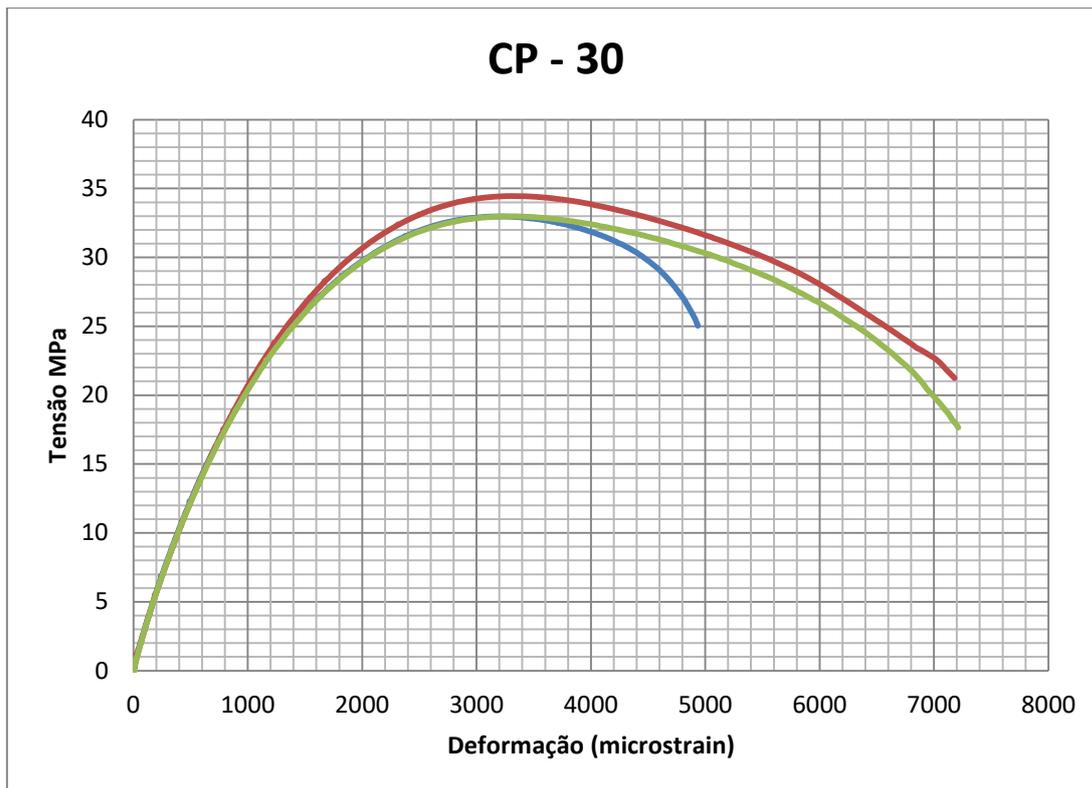
WEBER, M.S.C., ALMEIDA, B.C., DUARTE, F.R.P., OLIVEIRA, J.S.P. **Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SIAC. Secretaria Nacional de Habitação.** Brasília, 2012.

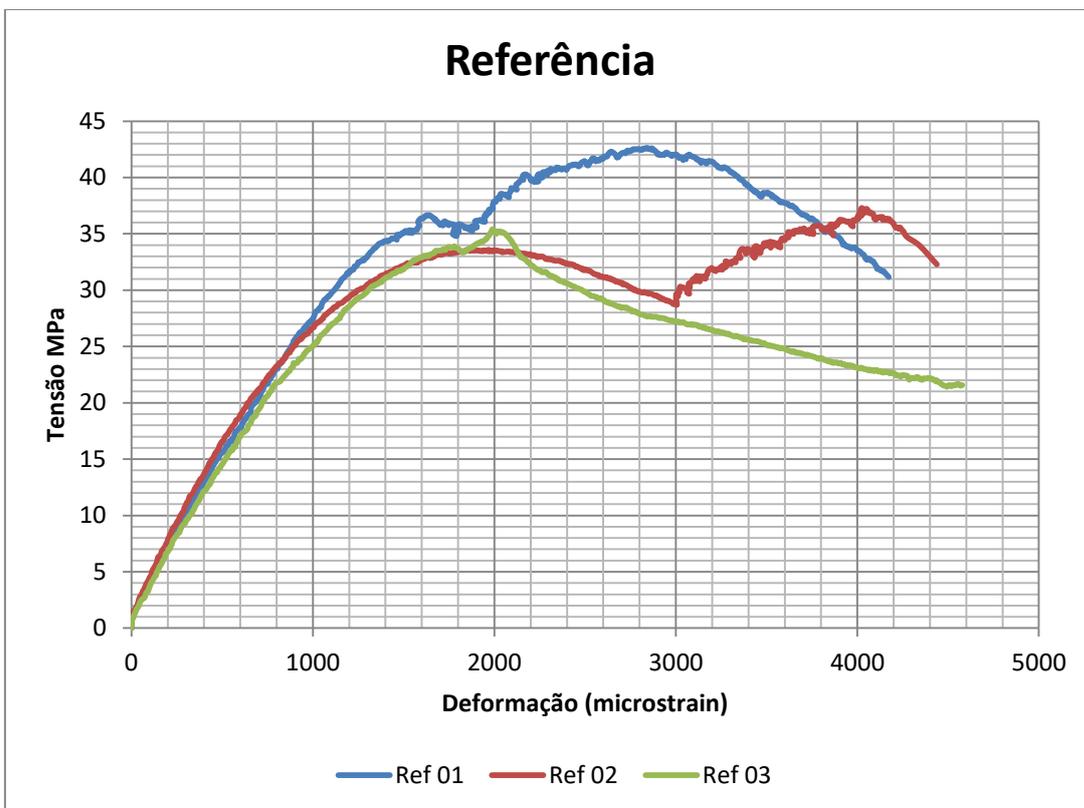
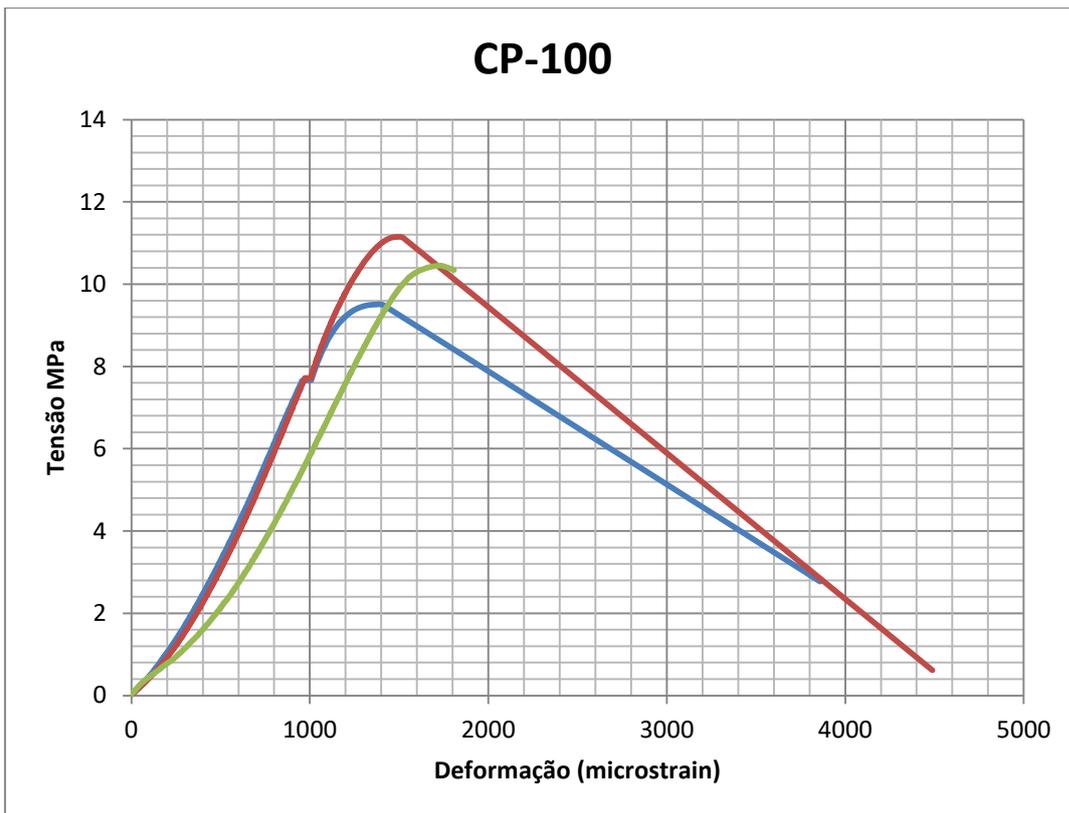
WILSON & WALKER. **Principles and Techniques of Biochemistry and Molecular Biology.** 7<sup>o</sup> ed. 399p, 2010.

## **ANEXOS**

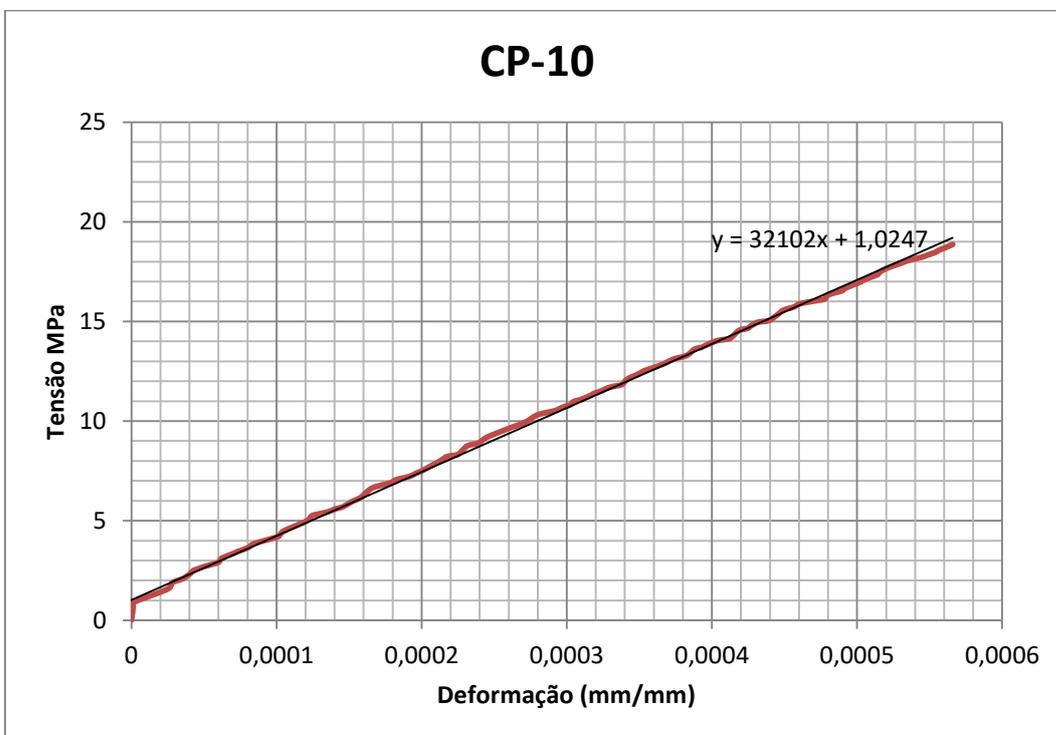
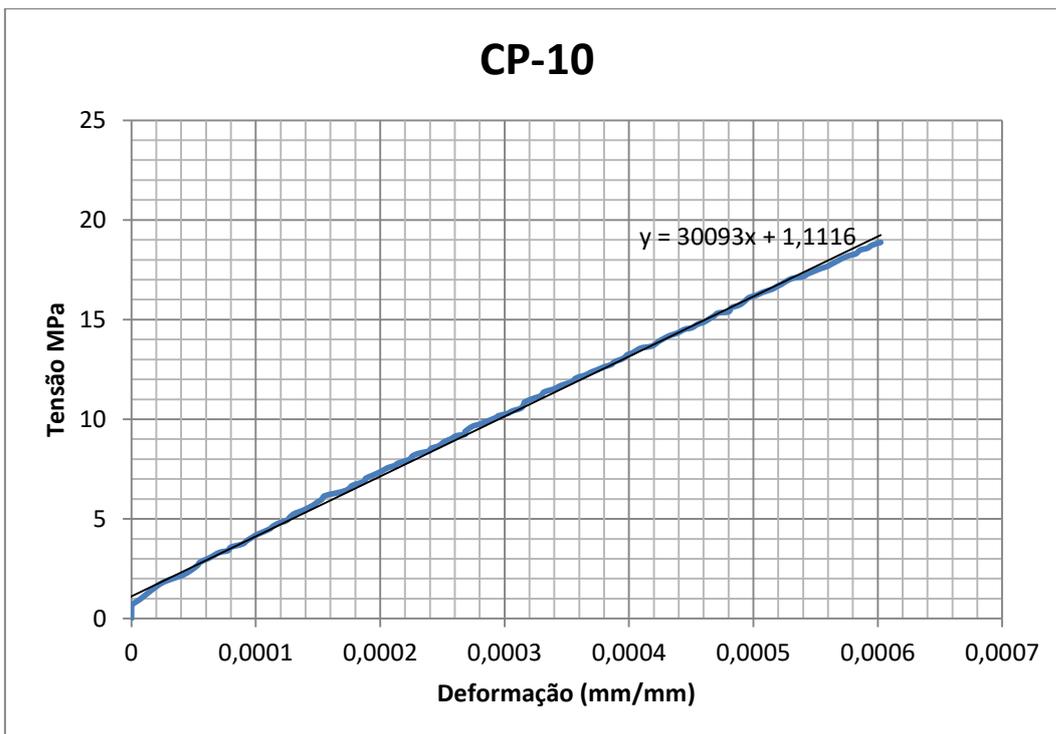
## Gráficos

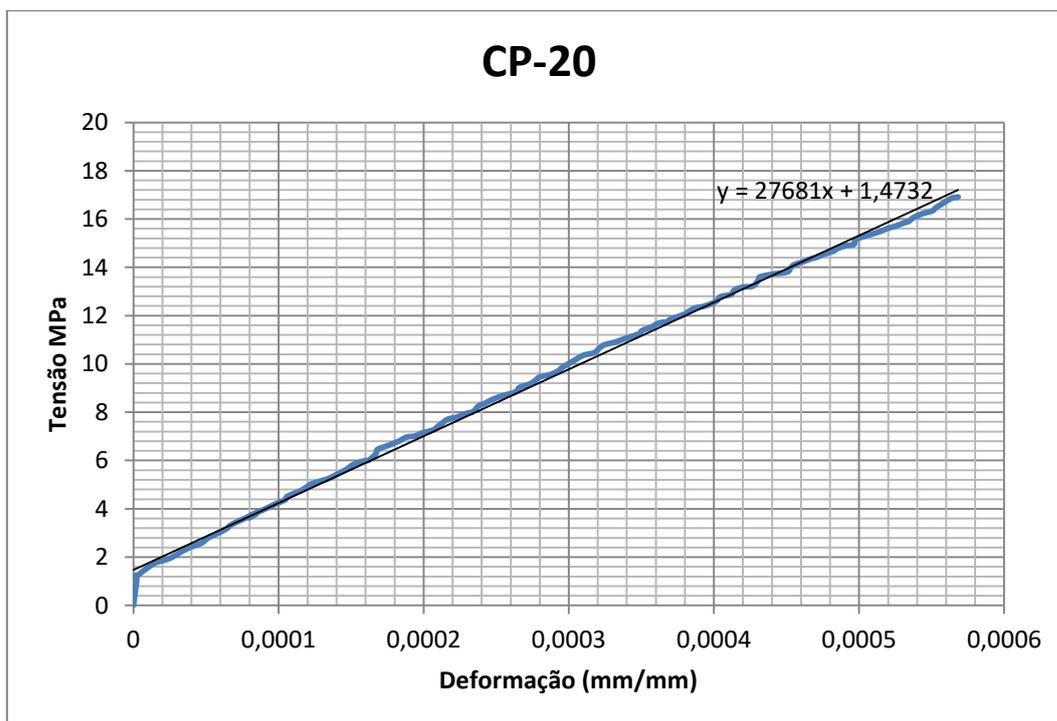
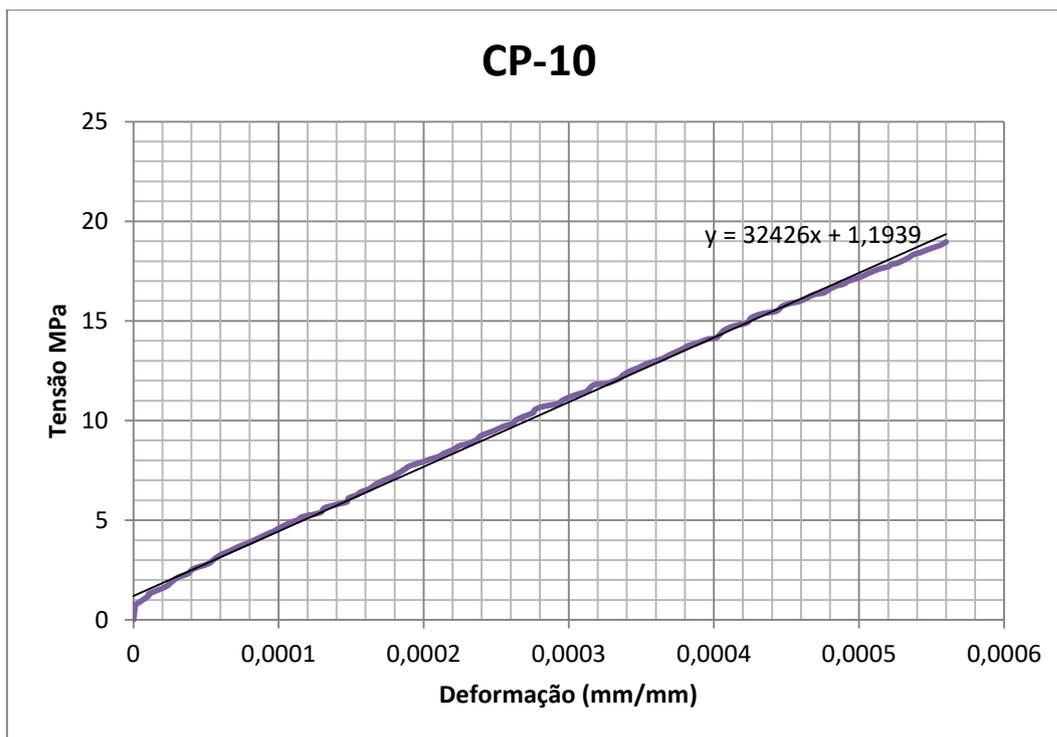


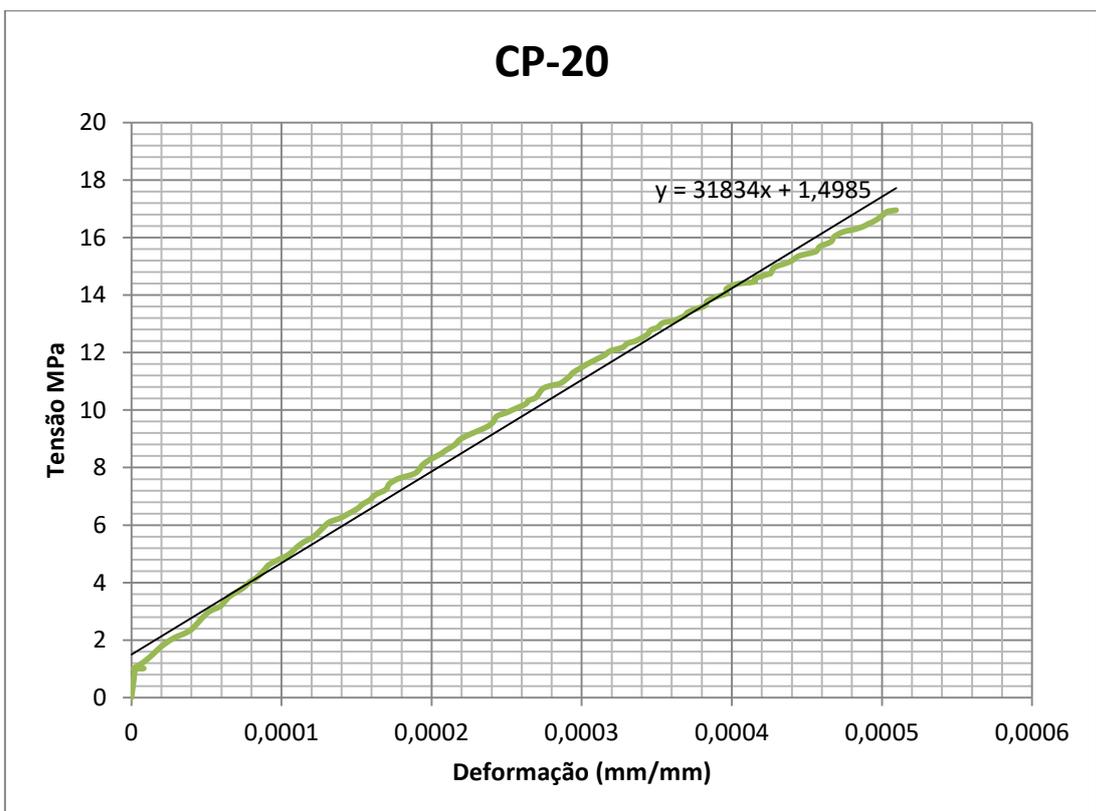
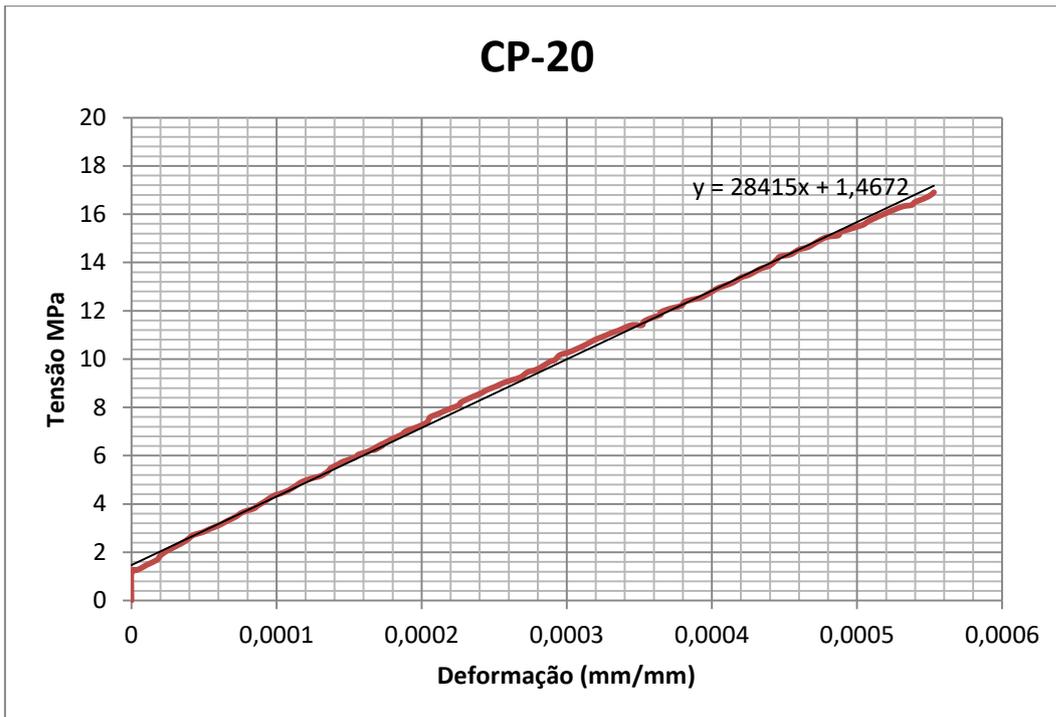


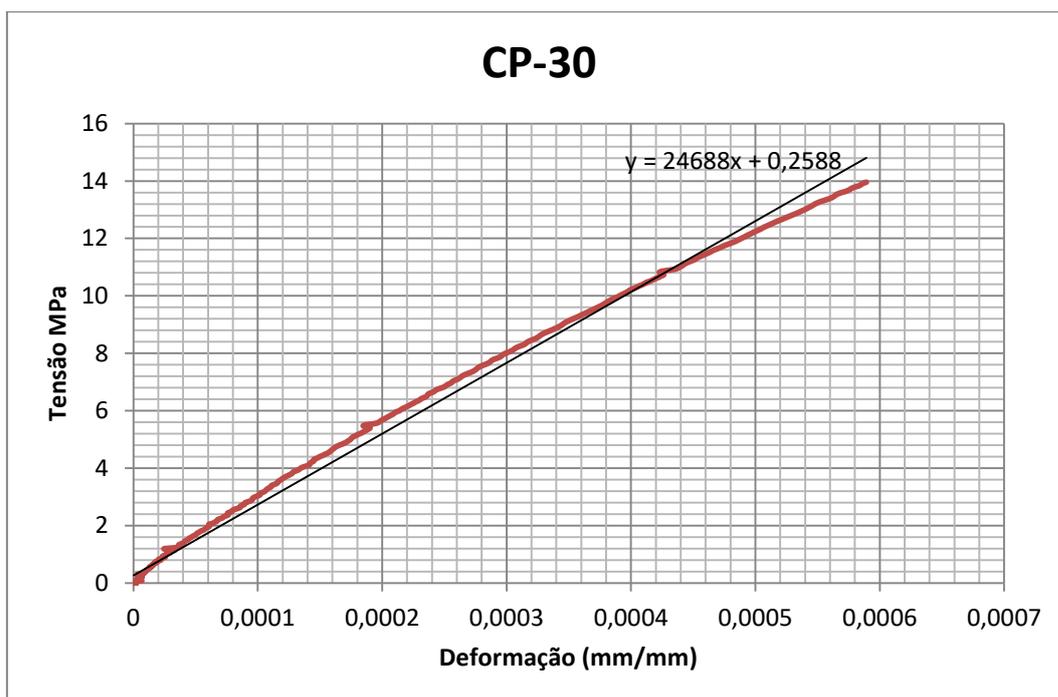
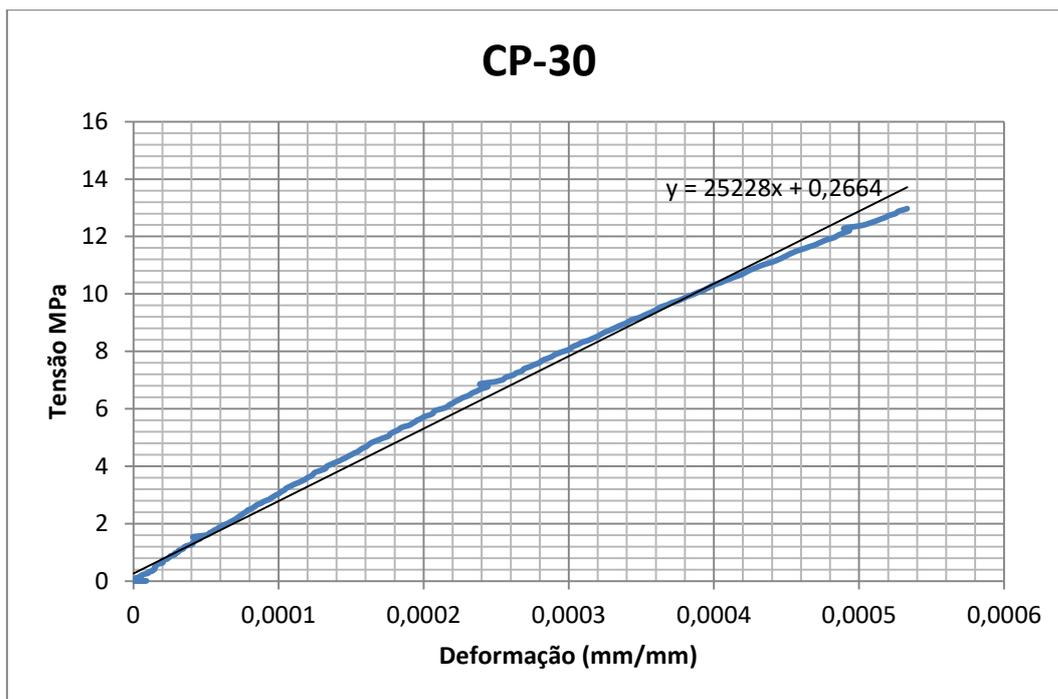


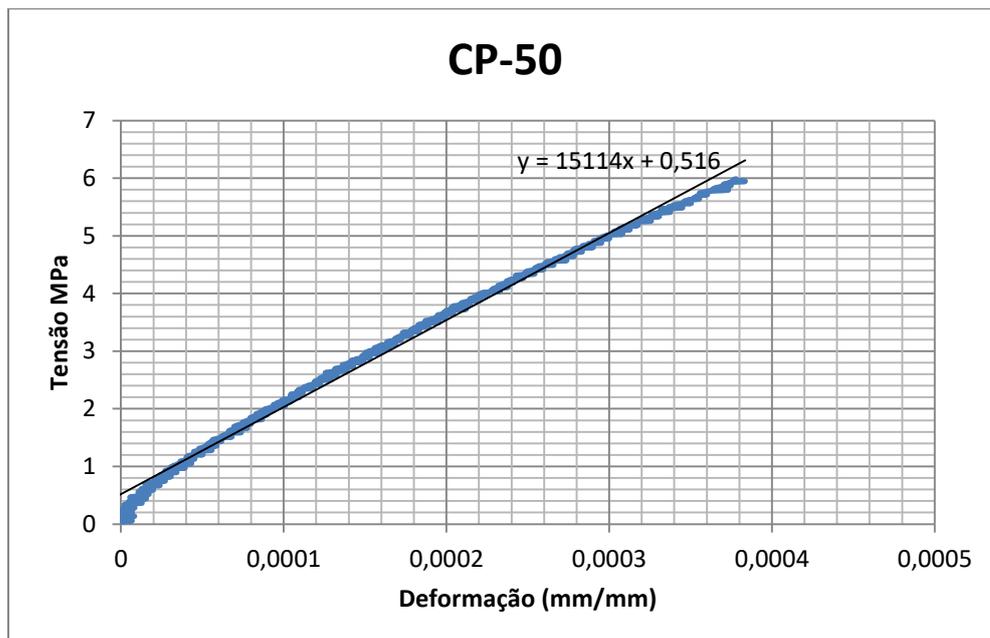
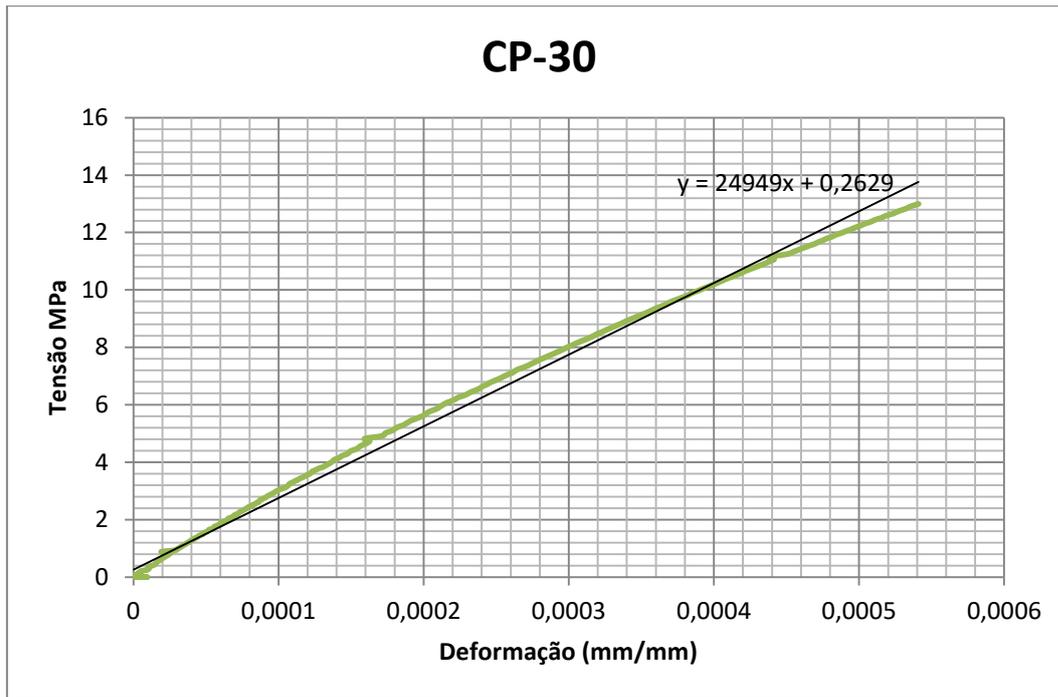
## Módulo de Elasticidade

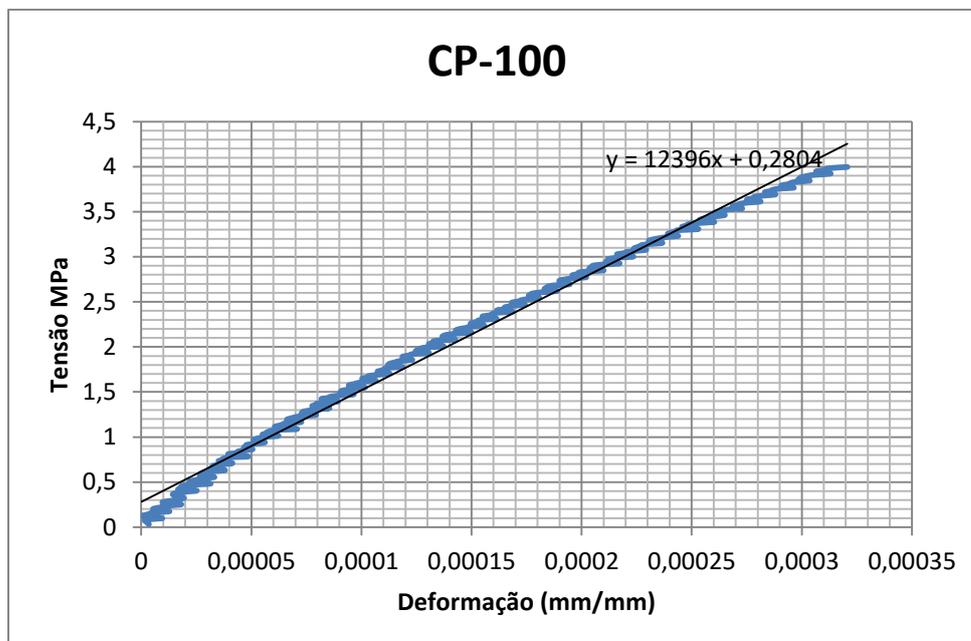
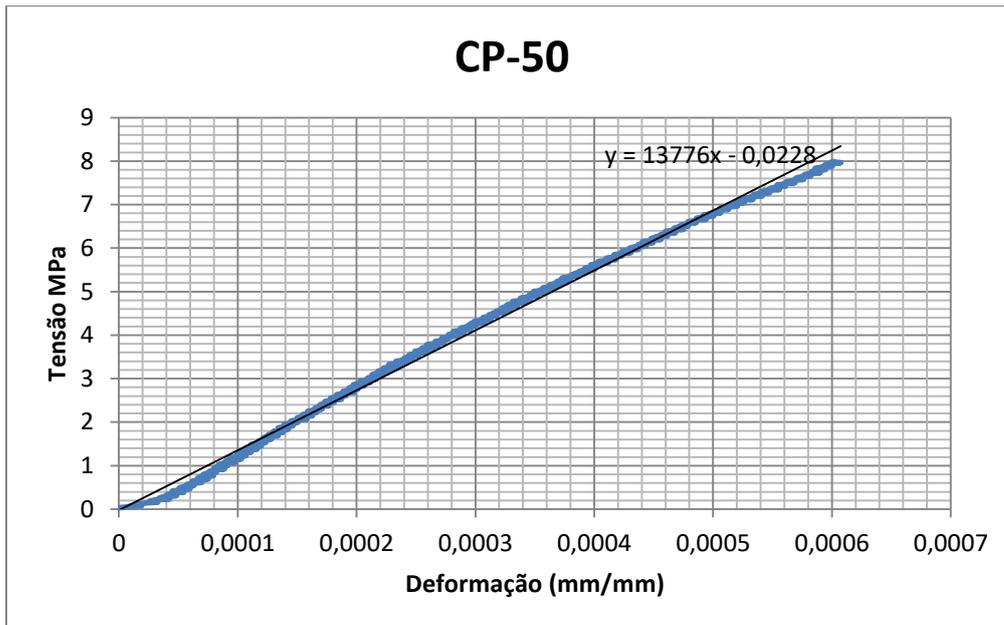


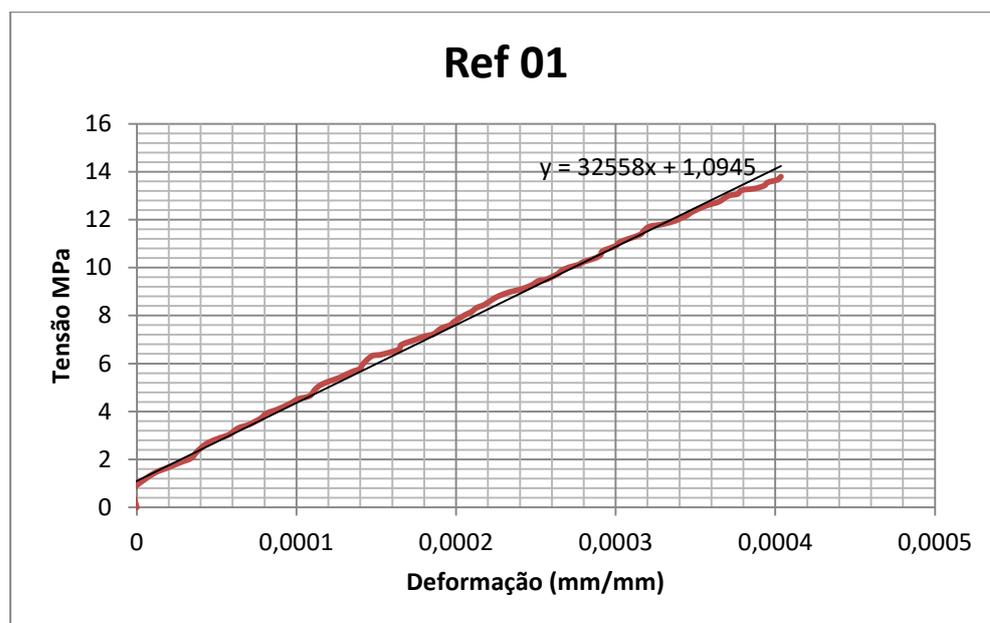
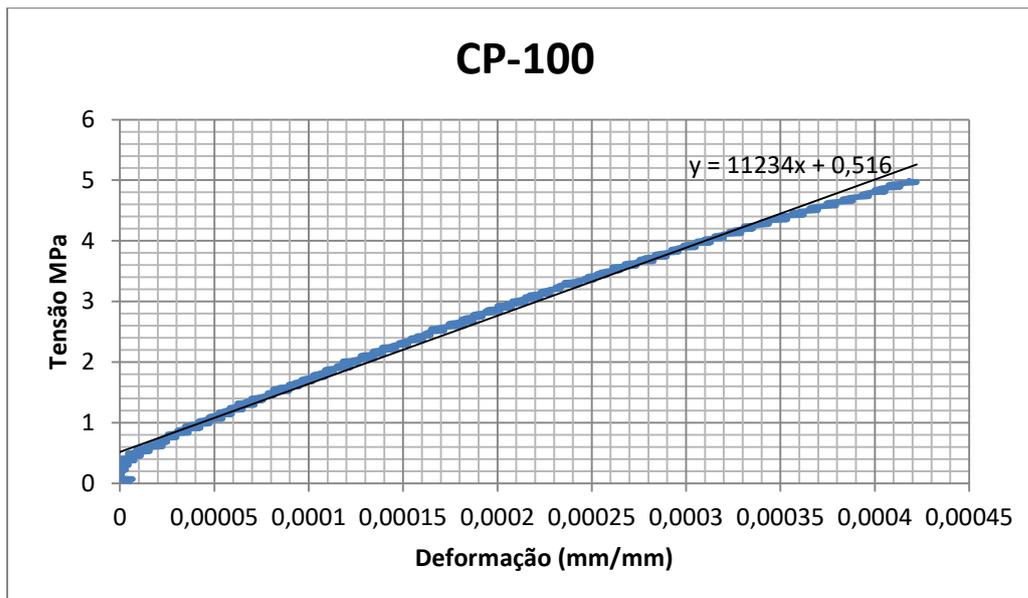


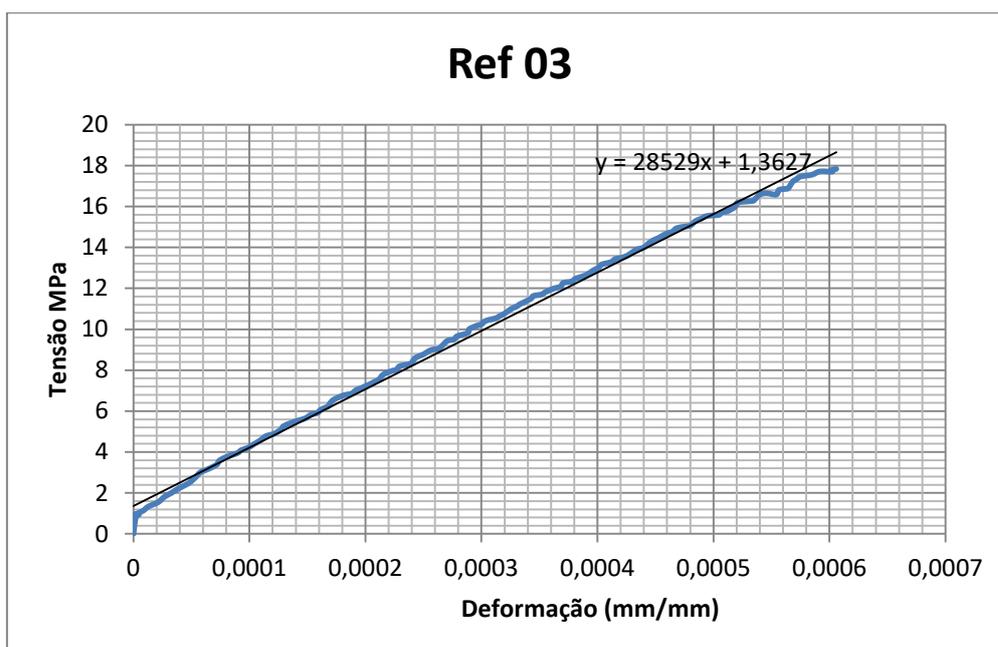
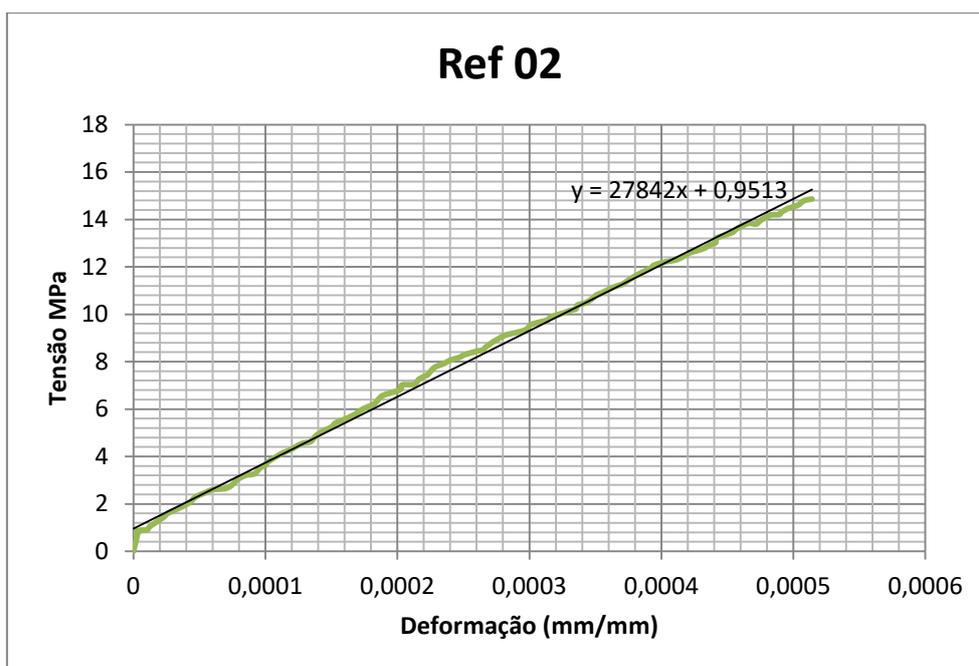














**MODELO PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - PGRCC**

**1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

Endereço:

Bairro:

Classificação Fiscal:

**2. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - PGRCC**

Nome:

R.G.:

Profissão:

Registro no Conselho:

**3. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

3.1 Área a construir: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

3.2 Haverá demolição de edificação existente?

Não

Sim 2.2.1 Estimar o volume de resíduos gerado na demolição: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

2.2.2 Estimar o peso dos resíduos de demolição gerados: \_\_\_\_\_ kg

3.3 Haverá movimento de terra com necessidade de empréstimo ou bota-fora?

Não

Sim 3.3.1 Bota-fora : Volume: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

Peso: \_\_\_\_\_ kg

3.3.2 Empréstimo: Volume : \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

Peso: \_\_\_\_\_ kg

Informar o local de empréstimo/jazida e documento que comprove que o material não está contaminado

**4. APRESENTAR CROQUIS DO CANTEIRO DE OBRAS, INDICANDO LOCAIS PREVISTOS PARA A TRIAGEM E PARA O ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DOS RESÍDUOS SEGREGADOS (OS LOCAIS DE ARMAZENAMENTO DEVEM SER COBERTOS E IMPERMEABILIZADOS)**



5. INFORMAR SE SERÁ REALIZADA RECICLAGEM E/OU REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRÓPRIA OBRA

- Não  
 Sim

Exemplo de quadro com as informações que devem ser apresentados, no caso de estar previsto a reutilização e/ou reciclagem dos resíduos da construção civil

Quadro 5.1 Reutilização ou Reciclagem dos resíduos de construção civil na obra

	TIPO DE RESÍDUO	REUTILIZAÇÃO	RECICLAGEM		QUANTIDADE (m³)
			PROCESSO	APLICAÇÃO	
Classe A					
Classe B					

6. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Segue exemplo de quadro para apresentar a caracterização dos resíduos de construção civil

Quadro 6.1 - Caracterização dos resíduos

Classe	MATERIAL	QUANTIDADE (m³)			DESTINO FINAL
		ETAPA DA OBRA		TOTAL	
		CONSTRUÇÃO	DEMOLIÇÃO		
Classe A	Argamassa, concreto, cerâmica, tijolos, blocos de concreto, entre outros				
	Solo (bota-fora)				
	TOTAL Classe A				
Classe B	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, entre outros				
	Madeira				
	TOTAL Classe B				



Classe C	Gesso, entre outros (especificar)				
	TOTAL Classe C				
Classe D	Tintas, óleos, solventes, materiais contaminados (embalagens com restos destes produtos), materiais que contenham amianto, entre outros				
	TOTAL Classe D				

Fonte:  
TMK Comunicação e Marketing

7.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do responsável pela elaboração  
do PGRCC

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Interessado

		<b>NTR – NOTA DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS</b>			
<b>GERADOR</b>	Nome ou Razão Social:			Nº NTR:	
	Nome da Obra:				
	Cnpj:	LMI:	Validade:	Data de Emissão:	
	Endereço da Retirada:				
<b>TRANSPORTADOR</b>	Nome ou Razão Social: HELP RIO ENTULHOS RECICLAGEM DE MATERIAIS LTDA				
	Cnpj: 08.003.385/0001-52	Inscrição Estadual:	Credenciamento: 225	Validade: 16/01/2015	
	Tipo do Veículo: POLIGUINDASTE	Placa:	Nome do Motorista:		
<b>RECEPTOR</b>	Nome ou Razão Social:				
	Cnpj:	Inscrição Estadual:	Credenciamento:	Validade:	
	Endereço de Descarte:				
<b>DESCRIÇÃO DO MATERIAL PREDOMINANTE</b>					
<input type="checkbox"/> Solo	<input type="checkbox"/> Papel/Papelão	<input type="checkbox"/> Sucata			
<input type="checkbox"/> Concreto/Argamassa/Alvenaria	<input type="checkbox"/> Plástico/PVC	<input type="checkbox"/> Volumosos (incluindo podas)			
<input type="checkbox"/> Gesso	<input type="checkbox"/> Madeira				
<b>QUANTIDADE TRANSPORTADA</b>					
m³	<input type="text"/>	Tonelada	<input type="text"/>		
CLASSE DO RESÍDUO (de acordo com a Resolução CONAMA 348) <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C					
ETAPA DA OBRA EM QUE FOI GERADO					
<input type="checkbox"/> Demolição	<input type="checkbox"/> Preparo do Terreno	<input type="checkbox"/> Fundação			
<input type="checkbox"/> Estrutura	<input type="checkbox"/> Acabamento				
Assinatura do Gerador (Almojarife / Auxiliar)		Assinatura do Transportador (Motorista)		Assinatura do Destinatário	
<small>Nota: 1- As NTRs deverão ser mantidas obrigatoriamente no local da obra, à disposição da fiscalização, com as respectivas assinaturas do gerador, transportador e receptor. 2- Este documento (emitido via digital) só pode ser utilizado para transporte de resíduos classe A, B e C. Para resíduos de classe D, entrar no site do INEA e preencher o manifestos de resíduos.</small>					

## RELATÓRIO DE IMPLANTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

<b>ETAPA: DEMOLIÇÃO</b>				
CLASSE	QUANTIDADE (M <sup>3</sup> )	DESTINO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

<b>ETAPA: PREPARO DO TERRENO</b>				
CLASSE	QUANTIDADE (M <sup>3</sup> )	DESTINO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

<b>ETAPA: FUNDAÇÃO</b>				
CLASSE	QUANTIDADE (M <sup>3</sup> )	DESTINO	DOCUMENTOS COMPROBATORIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

**ETAPA: ESTRUTURA**

CLASSE	QUANTIDADE (M <sup>3</sup> )	DESTINO	DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

**ETAPA: ACABAMENTO**

CLASSE	QUANTIDADE (M <sup>3</sup> )	DESTINO	DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS APRESENTADOS (*)	OBSERVAÇÕES (**)
A				
B				
C				
D				

(\*) Nº NTR, DECLARAÇÃO DO PROPRIETÁRIO DO LOTE OU MANIFESTO DE RESÍDUOS

(\*\*) JUSTIFICAR INCOMPATIBILIDADES ENTRE OS VOLUMES INFORMADOS NO PGRCC E NO PRESENTE RELATÓRIO

## MANIFESTO DE RESÍDUOS

Nº \_\_\_\_\_

① RESÍDUO		N. RESÍDUO	② QUANTIDADE	
			Toneladas / m <sup>3</sup>	
③ ESTADO FÍSICO		④ ORIGEM		
<input type="checkbox"/> Sólido <input type="checkbox"/> Semi-sólido <input type="checkbox"/> Líquido				
⑤ ACONDICIONAMENTO		⑥ PROCEDÊNCIA		⑦ TRATAMENTO / DISPOSIÇÃO
<input type="checkbox"/> Tambor de 200 lts. <input type="checkbox"/> Sacos plásticos <input type="checkbox"/> Bombona ____ (lts) <input type="checkbox"/> Fardos <input type="checkbox"/> Caçamba <input type="checkbox"/> Granel <input type="checkbox"/> Tanque ____ (m <sup>3</sup> ) <input type="checkbox"/> Big-bags <input type="checkbox"/> Outros, especifícar _____		<input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Restaurante <input type="checkbox"/> Shopping/Mercados <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Clubes/Hotéis <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Outros, especifícar _____		<input checked="" type="checkbox"/> Processo Gordura <input type="checkbox"/> ETDI <input type="checkbox"/> ETE <input type="checkbox"/> ETA <input type="checkbox"/> Cx. <input type="checkbox"/> Fora do Processo <input type="checkbox"/> Separador de Água-Óleo <input type="checkbox"/> Outros, especifícar _____
<input type="checkbox"/> Aterro Sanitário <input type="checkbox"/> Reutilização <input type="checkbox"/> Aterro Industrial <input type="checkbox"/> Incorporação <input type="checkbox"/> Tratamento Biol./Fis.-Quí. <input type="checkbox"/> Inalação <input type="checkbox"/> Co-processamento <input type="checkbox"/> Estocagem <input type="checkbox"/> Outros, especifícar _____				

⑧ Gerador	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		CNPJ		⑪  ____/____/____ DATA DA ENTREGA
	ENDEREÇO				
	MUNICÍPIO	UF	TELEFONE ( )	N. LICENÇA	
	RESPONSÁVEL PELA EXPEDIÇÃO DO RESÍDUO		CARGO		

⑨ Transportador	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		CNPJ		⑫  ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO
	ENDEREÇO				
	MUNICÍPIO	UF	TELEFONE	CNPJ	
	RESPONSÁVEL PELA EMPRESA DE TRANSPORTE		PLACA COMPLETA		
NOME DO MOTORISTA		MANTURA CERTIFICADO DO INMETRO			

⑩ Receptor	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL CTR CANDEIAS		CNPJ		⑬  ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO
	ENDEREÇO Estrada Velha da Muribeca 1000, Muribeca				
	MUNICÍPIO Jaboatão dos Guararapes	UF PE	TELEFONE (81) 3476-3634	N. LICENÇA CPRH 02044/2007	
	RESPONSÁVEL PELO RECEBIMENTO DO RESÍDUO		CARGO		

1ª Via - Conservar com o Gerador

1107 - A

## MANIFESTO DE RESÍDUOS

Nº \_\_\_\_\_

← RESÍDUO	N RESÍDUO	↑ QUANTIDADE <small>Toneladas / m<sup>3</sup></small>
→ ESTADO FÍSICO  ( ) Sólido    ( ) Semi-sólido    ( ) Líquido	↓ ORIGEM  ( ) Processo    ( ) ETDI    ( ) ETE    ( ) ETA    ( ) Cx. Gordura ( ) Fora do Processo    ( ) Separador de Água-Óleo ( ) Outros, especificar _____	
° ACONDICIONAMENTO  ( ) Tambor de 200 lts.    ( ) Sacos plásticos ( ) Bombona ____ (lts)    ( ) Fardos ( ) Caçamba    ( ) Granel ( ) Tanque ____ (m <sup>3</sup> )    ( ) Big-bags ( ) Outros, especificar _____	± PROCEDÊNCIA  ( ) Industrial    ( ) Residencial ( ) Restaurante    ( ) Shopping/Mercados ( ) Comercial    ( ) Clubes/Hotéis ( ) Hospital ( ) Outros, especificar _____	° TRATAMENTO / DISPOSIÇÃO  ( ) Aterro Sanitário    ( ) Reciclagem ( ) Aterro Industrial    ( ) Incorporação ( ) Tratamento Biol./Fis.-Quí.    ( ) Incineração ( ) Co-processamento    ( ) Estocagem ( ) Outros, especificar _____

<b>Gerador</b>	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		CNPJ		① ____/____/____ DATA DA ENTREGA  _____ CARIMBO E ASSINATURA DO RESPONSÁVEL	
	ENDEREÇO					
	UF	TELÉFONE ( )	N. LICENÇA			
	RESPONSÁVEL PELA EXPEDIÇÃO DO RESÍDUO		CARGO			

<b>Transportador</b>	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		② ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO  _____ ASSINATURA DO MOTORISTA		
	ENDEREÇO				
	MUNICÍPIO	UF	TELÉFONE	CNPJ	
	RESPONSÁVEL PELA EMPRESA DE TRANSPORTE		PLACA COMPLETA		
	NOME DO MOTORISTA		CERTIFICADO DO INMETRO		

<b>Receptor</b>	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL <b>CTR CANDEIAS</b>		③ ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO  _____ CARIMBO E ASSINATURA DO RESPONSÁVEL		
	ENDEREÇO <b>Estrada Velha da Muribeca 1000, Muribeca</b>				
	MUNICÍPIO <b>Jaboatão dos Guararapes</b>	UF <b>PE</b>	TELÉFONE <b>(81) 3476-3634</b>	N. LICENÇA CPRH <b>02044/2007</b>	
	RESPONSÁVEL PELO RECEBIMENTO DO RESÍDUO		CARGO		

2ª Via - Conservar com o Transportador

## MANIFESTO DE RESÍDUOS

Nº \_\_\_\_\_

← RESÍDUO		N RESÍDUO	↑ QUANTIDADE
			Toneladas / m <sup>3</sup>
→ ESTADO FÍSICO		↓ ORIGEM	( ) Processo ( ) ETDI ( ) ETE ( ) ETA ( ) Cx. Gordura
( ) Sólido ( ) Semi-sólido ( ) Líquido			( ) Fora do Processo ( ) Separador de Água-Óleo
° ACONDICIONAMENTO		↑ PROCEDÊNCIA	
( ) Tambor de 200 lts. ( ) Sacos plásticos		( ) Industrial ( ) Residencial	
( ) Bombona ____ (lts) ( ) Fardos		( ) Restaurante ( ) Shopping/Mercados	
( ) Caçamba ( ) Granel		( ) Comercial ( ) Clubes/Hotéis	
( ) Tanque ____ (m <sup>3</sup> ) ( ) Big-bags		( ) Hospital	
( ) Outros, especificar _____		( ) Outros, especificar _____	
		° TRATAMENTO / DISPOSIÇÃO	
		( ) Aterro Sanitário ( ) Reciclagem	
		( ) Aterro Industrial ( ) Incorporação	
		( ) Tratamento Biol./Fis-Quím. ( ) Incineração	
		( ) Co-processamento ( ) Estocagem	
		( ) Outros, especificar _____	

<b>Gerador</b>	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL			CNPJ	① ____/____/____ DATA DA ENTREGA
	ENDEREÇO				
	MUNICÍPIO	UF	TELEFONE ( )	N. LICENÇA	CARIMBO E ASSINATURA DO RESPONSÁVEL
	RESPONSÁVEL PELA EXPEDIÇÃO DO RESÍDUO		CARGO		

<b>Transportador</b>	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL			② ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO
	ENDEREÇO			
	MUNICÍPIO	UF	TELEFONE	CNPJ
	RESPONSÁVEL PELA EMPRESA DE TRANSPORTE		PLACA COMPLETA	
	NOME DO MOTORISTA	VANTURA	CERTIFICADO DO INMETRO	
				ASSINATURA DO MOTORISTA

<b>Receptor</b>	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL <b>CTR CANDEIAS</b>			③ ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO
	ENDEREÇO <b>Estrada Velha da Muribeca 1000, Muribeca</b>			
	MUNICÍPIO <b>Jaboatão dos Guararapes</b>	UF <b>PE</b>	TELEFONE <b>(81) 3476-3634</b>	N. LICENÇA OPRH <b>02044/2007</b>
	RESPONSÁVEL PELO RECEBIMENTO DO RESÍDUO		CARGO	
				CARIMBO E ASSINATURA DO RESPONSÁVEL

3ª Via - Conservar com o Receptor

## MANIFESTO DE RESÍDUOS

Nº \_\_\_\_\_

← RESÍDUO		N RESÍDUO	↑ QUANTIDADE Toneladas / m <sup>3</sup>
→ ESTADO FÍSICO ( ) Sólido ( ) Semi-sólido ( ) Líquido		↓ ORIGEM (X) Processo ( ) ETDI ( ) ETE ( ) ETA ( ) Cx. Gordura ( ) Fora do Processo ( ) Separador de Água-Óleo ( ) Outros, especificar _____	
ACONDICIONAMENTO ( ) Tambor de 200 lts. ( ) Sacos plásticos ( ) Bombona ____ (lts) ( ) Fardos ( ) Caçamba ( ) Granel ( ) Tanque ____ (m <sup>3</sup> ) ( ) Big-bags ( ) Outros, especificar _____			PROCEDÊNCIA ( ) Industrial ( ) Residencial ( ) Restaurante ( ) Shopping/Mercados ( ) Comercial ( ) Clubes/Hotéis ( ) Hospital ( ) Outros, especificar _____

Gerador	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		CNPJ		① ____/____/____ DATA DA ENTREGA
	ENDEREÇO				
	MUNICÍPIO	UF	TELEFONE ( )	LICENÇA	
	RESPONSÁVEL PELA EXPEDIÇÃO DO RESÍDUO		CARGO		

Transportador	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL		CNPJ			② ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO
	ENDEREÇO					
	MUNICÍPIO	UF	TELEFONE	CNPJ		
	RESPONSÁVEL PELA EMPRESA DE TRANSPORTE		PLACA COMPLETA			_____ ASSINATURA DO MOTORISTA
	NOME DO MOTORISTA		CERTIFICADO DO INMETRO			

Receptor	EMPRESA / RAZÃO SOCIAL <b>CTR CANDEIAS</b>		CNPJ			③ ____/____/____ DATA DO RECEBIMENTO
	ENDEREÇO <b>Estrada Velha da Muribeca 1000, Muribeca</b>					
	MUNICÍPIO <b>Jaboatão dos Guararapes</b>	UF <b>PE</b>	TELEFONE <b>(81) 3476-3634</b>	N. LICENÇA CPRH <b>02044/2007</b>		
	RESPONSÁVEL PELO RECEBIMENTO DO RESÍDUO		CARGO			_____ CARIMBO E ASSINATURA DO RESPONSÁVEL

4ª Via – Conservar com o Receptor