



# **A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**AMANDA ZOTTI**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Construção no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Bragança**

**Fevereiro de 2022**



# **A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**AMANDA ZOTTI**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Construção no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientado por:

IPB Prof<sup>ª</sup>. PhD. Eduarda Cristina Pires Luso

IPB Prof<sup>ª</sup>. Especialista Sílvia Fernandes

UTFPR Prof. Dr. Jose Ilo Pereira Filho



# Agradecimentos

Aos meus pais e minha irmã que me apoiaram e me ajudaram desde sempre, para que hoje eu pudesse estar realizando a dupla diplomação.

À todos meus amigos, aos que estão no Brasil, aos que foram minha família neste ano de intercâmbio, e à todos que passaram pela minha vida e que eu levo um pouco deles comigo.

Ao meu namorado que respeitou e apoiou minha decisão de morar em outro continente, que me ouviu e me encorajou para eu concluir essa etapa.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais do IPB, João Augusto Pires e Octávio Manuel do Nascimento Pereira, à Eng.<sup>a</sup> Civil Hermínia Morais e à professora Maria João Afonso, pela disponibilidade e auxílio nos ensaios realizados.

Aos meus professores Orientadores, Eduarda Luso, Silvia Fernandes e José Ilo pela orientação para a realização desta dissertação.

À empresa Elias Santos Pinto, Filho S.A pela disponibilidade para colaborar no desenvolvimento do trabalho, fornecendo o resíduo de construção e demolição necessário à realização do estudo.

Por fim, agradeço à Deus, por ter me permitido concluir esta etapa.

# Resumo

Junto do processo de industrialização e ocupação urbana, o aumento do consumo de recursos naturais e a produção de resíduos de construção e demolição (RCD) se tornaram pontos de bastante atenção, tanto pelo descarte desses resíduos na natureza e potencial contaminante, quanto pelo caráter finito das matérias primas. Assim a gestão desses resíduos, para o prolongamento do ciclo de vida desses materiais em novas construções, é extremamente necessária. A sua incorporação como agregado reciclado para algumas aplicações já é normatizada pela Associação de Normas Técnicas Brasileiras e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal, que especificam as exigências a serem seguidas pelos materiais reciclados, assegurando a qualidade e segurança na sua utilização, evitando colocar em risco o meio ambiente e a saúde da população. A presente dissertação apresenta uma revisão da legislação brasileira e portuguesa sobre RCD. Analisa os processos de tratamento desses resíduos em ambos os países. Realiza um estado da arte sobre os potenciais usos e suas limitações como agregado reciclado. No programa experimental, é proposto um procedimento para verificações dos parâmetros e requisitos mínimos do agregado reciclado de acordo com as especificações portuguesas, com o intuito de definir suas possíveis destinações. Para a validação do modelo proposto, três amostras de materiais reciclados, provenientes de uma estação de tratamento do Distrito de Bragança, Portugal, foram caracterizadas através de ensaios químicos, físicos e mecânicos, e por fim definiu-se seus usos. Os resultados obtidos afirmam o encontrado na literatura. Materiais com altas concentrações de alvenaria permitem o uso em aterros, preenchimento de valas e algumas frações das camadas de pavimentos. Já materiais com altas porcentagens de argamassa e concreto atendem a composição, massa volúmica, absorção de água e resistência à fragmentação para produção de concretos, com comportamento químico próximo ao permitido.

*Termos Chave: Resíduos de Construção e Demolição (RCD); Agregados Reciclados; Prevenção; Reutilização; Triagem; Reciclagem.*

# Abstract

Along with the industrialization process and urban occupation, the increase in the consumption of natural resources and the production of construction and demolition waste (CDW) have become an issue that calls attention, both due the disposal of these wastes in nature and the potential contaminant, and also for the raw materials being finite. Therefore, the management of these wastes, in order to prolong their life cycle using it in new constructions, is extremely necessary. Recycled aggregate has its incorporation in some uses already regulated by the Associação de Normas Técnicas Brasileiras – ABNT, Brazil, and by the Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Portugal. They specify the requirements to be followed by recycled materials, ensuring quality and safety in their use, avoiding placing endanger the environment and the health of the population. This thesis presents a review of the Brazilian and the Portuguese laws about CDW. It analyzes the processes of these waste treatments in both countries. It carries out studies about the potential recycled aggregate uses and their limitations. It proposes, in the experimental program, a procedure to verify the parameters and minimum requirements of the recycled aggregate according to the Portuguese specifications, in order to define its possible destinations. In aim to validate the proposed model, three samples of recycled materials, from a treatment plant in the District of Bragança, Portugal, were characterized, through chemical, physical and mechanical tests, and finally their uses were defined. The results obtained are linked to those present in the literature. Materials with high amounts of masonry allow the use in earthworks, filling ditches and in pavement layers. On the other hand, materials with high percentages of mortar and concrete satisfy the composition and characteristics such as density, water absorption and Los Angeles coefficient for producing concrete, with chemical behavior close to the allowed one.

*Key Terms: Construction and Demolition Waste (CDW); Recycled Aggregates; Reuse; Recycling; Waste treatment.*

# Índice

---

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Índice .....	iv
Lista de Figuras .....	vi
Lista de Quadros.....	vii
Lista de Abreviações.....	viii
Glossário .....	ix
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto.....	1
1.2. Objetivo .....	2
1.3. Estrutura da Pesquisa .....	2
<b>2. ENQUADRAMENTO - RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>3</b>
2.1. Classificação .....	4
<b>3. REVISÃO DO ESTADO DE CONHECIMENTO E DA REGULAMENTAÇÃO SOBRE RESÍDUOS DE COSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) .....</b>	<b>7</b>
3.1. Gestão de resíduos da construção civil.....	7
3.1.1. Panorama brasileiro.....	7
3.1.2. Panorama português .....	11
3.2. Composição dos resíduos de construção e demolição .....	17
3.3. Reciclagem.....	18
3.4. Normativas sobre uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição .....	23
3.5. Utilizações do agregado reciclado de RCD.....	25
3.5.1. Utilização de RCD em obras geotécnicas e infraestruturas de transporte .....	26
3.5.2. Utilização de RCD na fabricação de concretos .....	28
3.5.3. Utilização de RCD na fabricação de argamassas .....	31
3.6. Utilização de jigues no beneficiamento de RCD.....	33
<b>4. PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>36</b>

---

<b>4.1.</b>	<b>Aplicação do Procedimento.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.</b>	<b>Normalização aplicável.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.</b>	<b>Propriedades Físicas e Constituintes.....</b>	<b>41</b>
4.3.1.	Granulometria.....	41
4.3.2.	Azul de metileno (Qualidade dos finos).....	42
4.3.3.	Constituintes dos agregados reciclados .....	43
4.3.4.	Massa volúmica e absorção de água.....	43
<b>4.4.</b>	<b>Comportamento mecânico .....</b>	<b>45</b>
4.4.1.	Resistência à fragmentação .....	45
<b>4.5.</b>	<b>Propriedades Químicas .....</b>	<b>46</b>
4.5.1.	Teor de sulfatos solúveis em água.....	46
<b>4.6.</b>	<b>Aplicabilidade do procedimento para caracterização dos agregados reciclados ....</b>	<b>47</b>
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>49</b>
5.1.	Propostas para estudos futuros .....	50
<b>Anexo A</b>	<b>.....</b>	<b>61</b>
<b>Anexo B</b>	<b>.....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo C</b>	<b>.....</b>	<b>65</b>

## Lista de Figuras

---

Figura 1 - Tipologia dos códigos LER. ....	5
Figura 2 - Classes de periculosidade dos resíduos. ....	6
Figura 3 - Resíduos classe A. ....	9
Figura 4 - (a) Descarte incorreto de entulho e lixo; (b) Descarte incorreto de entulho. ....	10
Figura 5 - (a) Vidro sem destinação em estação de reciclagem em Bragança, Portugal; (b) Resíduos de isolamento térmico já triados sem local de recebimento para o escoamento. ....	14
Figura 6 - Gesso cartonado em estação de reciclagem de RCD em Bragança, Portugal. ..	16
Figura 7 - (a) Tesoura para demolição seletiva em estação de reciclagem de RCD em Bragança, Portugal; (b) RCD composto predominantemente por concreto. ....	17
Figura 8 - Hierarquia da gestão de RSU. ....	19
Figura 9 - Fluxograma das etapas de processamento dos agregados reciclados. ....	20
Figura 10 - Processos e equipamentos para reciclagem de RCD. ....	21
Figura 11 - Processos e equipamentos de reciclagem ....	22
Figura 12 - RCD utilizado no estudo experimental. ....	27
Figura 13 - Agregado reciclado composto por concreto, argamassa e pedra natural. ....	28
Figura 14 - Distribuição por fases dentro das faixas de densidades separadas para o material da coleta de São Leopoldo/RS, Brasil. ....	29
Figura 15 - Agregado granular reciclado misto. ....	31
Figura 16 - (a) e (b): Jigues da Deisl-Beton, Salzburgo, Áustria. ....	34
Figura 17 - Fluxograma da sequência de Ensaios obrigatório segundo o LNEC. ....	37
Figura 18 - Bragança e Zona industrial de Mós. ....	38
Figura 19 - (a) Tijolo Fino (0/16mm); (b) Tijolo grosso (10/40mm); (c) <i>Tout Venant</i> (0/40mm). ....	39
Figura 20 - Curvas granulométricas das amostras de agregados reciclados. ....	42
Figura 21 - Amostras antes e depois do ensaio de Los Angeles. ....	45
Figura 22 - Ensaio do teor de sulfatos solúveis em água. ....	46

## Lista de Quadros

---

Quadro 1 - Resumo da Legislação e documentos normativos em vigor sobre Resíduos Sólidos no Brasil e em Portugal .....	3
Quadro 2 - Classificação dos Resíduos conforme Artigo 3º CONAMA nº 307/2002.....	8
Quadro 3 - Estatística do número de RCD gerados e reciclados na União Europeia.....	12
Quadro 4 - Resíduos Inertes .....	15
Quadro 5 - Composição gravimétrica do RCD de Portugal e Brasil.....	18
Quadro 6 - Resumo das Especificações e Normas técnicas em vigor utilizadas sobre o uso de RCD como agregado reciclado .....	23
Quadro 7 - Aplicações dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) conforme sua classificação .....	24
Quadro 8 - Aplicações dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) conforme sua classificação .....	25
Quadro 9 - Granulometrias dos agregados reciclados .....	41
Quadro 10 - Valores do azul de metileno (MB) das amostras submetidas a ensaio.....	43
Quadro 11 - Constituintes das amostras de agregados reciclados .....	43
Quadro 12 - Massas volúmicas e absorção de água .....	44
Quadro 13 - Coeficiente de Los Angeles.....	45
Quadro 14 - Determinação do teor de sulfatos solúveis em água do RCD Ensaio .....	46
Quadro 15 - Possíveis destinações das amostras caracterizadas .....	48

## **Lista de Abreviações**

---

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CE – Comissão Europeia.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

EU – União Europeia.

LER – Lista Europeia de Resíduos.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

NBR – Norma Brasileira.

PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

RCD – Resíduos de Construção e Demolição.

RGGR – Regime Geral da Gestão de Resíduos.

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos.

# Glossário

---

**Agregado reciclado (AR):** 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.

**Agregados de resíduos de construção mistos (ARM):** É o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas (ABNT NBR 15116:2004).

**Canaletas:** blocos de concreto, não armados, que tem como função auxiliar o escoamento de águas pluviais em áreas abertas nos mais diversos volumes.

**Calixa:** Pó ou fragmentos de argamassa de cal resultantes da demolição ou reforma de uma obra de alvenaria.

**Compensado:** Chapa de madeira em lâminas delgadas coladas com as fibras opostas; madeira compensada. (Equivalente no português de Portugal: contraplacado).

**Concreto:** Aglomerado artificial de pedras, cascalho e areia, unidos por meio de um ligante hidráulico. (Equivalente no português de Portugal: betão).

**Jigues:** equipamentos de concentração gravítica que tem como princípio de funcionamento a separação por densidades de materiais.

**Meio-fio/guia/separadores:** Elemento, geralmente longo e estreito, de pedra ou cimento, que forma o bordo de um passeio ou calçada, do lado direito da pista de rolamento. (Equivalente no português de Portugal: berma/lancil).

**Multas:** Castigo ou pena que consiste num pagamento; sanção pecuniária. (Equivalente no português de Portugal: coima).

**Periculosidade:** Qualidade ou estado de perigoso. O mesmo que perigosidade.

**Usina:** Estabelecimento industrial que emprega máquinas.

**Ímã:** Equivalente no português de Portugal: Íman.

# 1. INTRODUÇÃO

---

## 1.1. Contexto

A indústria da Construção Civil constitui-se como um dos maiores e mais ativos setores em todo o mundo. Possui importância significativa no conjunto da economia, estando diretamente relacionada com o desenvolvimento social. No entanto, o acelerado processo de industrialização e ocupação urbana resultou em um aumento significativo da geração de resíduos sólidos (RSU). Paralelo a isso, em países em desenvolvimento, o tratamento inadequado dado a esses resíduos, depositados de maneira irregular a céu aberto, tem provocado contaminações e agravado consideravelmente os problemas ambientais, sobretudo nos grandes centros urbanos (LIMA, 2013). Portanto, para que a sociedade alcance o desenvolvimento sustentável, a construção civil, que lhe dá suporte, pode constituir uma grande solução para o problema ambiental, necessitando, para tal, passar por profundas transformações (JOHN, 2001).

Em 2019, segundo o panorama da ABRELPE (2020), a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil foi de 79 milhões de toneladas, sendo registradas 44,5 milhões de toneladas só de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), número que representa mais de 56% do peso total de todos os RSUs gerados no país. Na Europa, segundo a Comissão Europeia (CE), os RCDs constituem o maior fluxo, em volume, de resíduos da União Europeia, contribuindo em 2018 com 35,9% do total, mais de um terço de todos os resíduos gerados no continente (EUROSTAT, 2018).

Ainda, no Brasil, grande parcela dos resíduos sólidos urbanos são depositados de maneira irregular no meio ambiente (SIPRES, 2019). Em vista disso, desde 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (LEI Nº 12.305) estabelece instrumentos e diretrizes para os setores públicos e as empresas lidarem com os resíduos gerados. No entanto, em razão dos custos, da falta de fiscalização e incentivos, a correta gestão caminha ainda a passos muito lentos, e assim há a urgência de criar-se meios para a incorporação de novos processos ao mercado da Construção Civil.

Relativamente a Portugal, a Comissão Europeia (CE) desenvolveu o Protocolo para Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição da UE, com o objetivo de reforçar a confiança no processo de gestão de RCD e na qualidade dos materiais de reciclados. Isto, em conjunto com outras políticas públicas, faz com que as empresas de construção civil de grandes dimensões já se encontrem sensibilizadas para a gestão dos resíduos, aplicando com normalidade algumas das boas práticas ambientais (PEREIRA, P. M.; VIEIRA, 2013).

No entanto, pequenos empreiteiros ainda encontram dificuldades para a correta gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) produzidos, e portanto, a reutilização e

reciclagem desses resíduos e a utilização de agregados reciclados em obra ainda é um desafio, pelo fato de que a indústria de reciclagem em Portugal se encontra em desenvolvimento. Assim os consumidores, devido à pouca informação, não chegam a esses produtos, além de muitos ainda não estarem de acordo com as exigências do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), e necessitarem de mais ensaios para provar a sua adequação em obra (CABAÇO, 2009).

Posto isso, nota-se a importância do estudo e validação do uso de RCD em novas aplicações, em conformidade com as normas técnicas que padronizem e assegurem a qualidade dos materiais, e assim ganhar a confiança dos consumidores, além de garantir valores competitivos no mercado, fomentando o crescimento econômico sustentável e criando empregos.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é desenvolver um procedimento de suporte, de acordo com as especificações portuguesas, para que após o recebimento de resíduos de construção e demolição, as entidades gestoras, estações de tratamento de resíduos, laboratórios de Universidades e Institutos possam de acordo com as características do material, definir os processos a serem seguidos para seu uso mais adequado.

## **1.3. Estrutura da Pesquisa**

A tese está estruturada em cinco capítulos.

O Capítulo 1, Introdução, apresenta as considerações iniciais sobre o tema da pesquisa, os objetivos e a estrutura da tese.

O Capítulo 2, Resíduos Sólidos Urbanos, faz uma breve introdução sobre as definições e as composições dos resíduos sólidos, e um resumo das normativas sobre o tema no Brasil e em Portugal.

O Capítulo 3, define Resíduos de Construção e Demolição (RCD), traz as atualizações da legislação portuguesa e brasileira sobre RCD dos últimos anos, apresenta os processos de reciclagem e beneficiamento de RCD, além de uma revisão bibliográfica sobre e as possíveis soluções para as utilizações de cada tipo de resíduo. Também se faz um resumo das normas técnicas e especificações de ambos os países a respeito do uso de agregado do RCD.

No Capítulo 4 o programa experimental é detalhado. O procedimento é definido, aplicado e os resultados apresentados.

O Capítulo 5 é composto pelas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. ENQUADRAMENTO - RESÍDUOS SÓLIDOS

---

Todos os processos econômicos, a produção industrial, de serviços e do consumo, até mesmo de preservação ambiental geram como subprodutos os resíduos (JOHN, 2001). Em 2016, o mundo produzia anualmente cerca de 2,01 bilhões toneladas de resíduos sólidos (KAZA *et al.*, 2018), que pela definição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), legislação brasileira, são:

“Todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade.”

E em razão da enorme relevância econômica-ambiental do fluxo desses resíduos, são instituídas legislações e normas para sua regulamentação, desde sua produção até sua destinação final. O Quadro 1 traz um resumo das regulamentações em vigor no Brasil e em Portugal sobre resíduos:

Quadro 1 - Resumo da Legislação e documentos normativos em vigor sobre Resíduos Sólidos no Brasil e em Portugal

<b>Legislação e Documentos Normativos</b>	<b>País</b>	<b>Descrição</b>
Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002	Brasil	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
Resolução CONAMA nº 448 de 18/01/2012	Brasil	Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10, 11 da Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002
Lei nº 12.305	Brasil	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
NBR 10004/2004	Brasil	Resíduos sólidos – Classificação
Decreto-Lei n.º 102-D/2020	Portugal	Aprova o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos
Lista Europeia de Resíduos (LER)	Portugal	Classifica os resíduos de acordo com a sua proveniência e com a atividade industrial que os origina.

## **2.1. Classificação**

Em Portugal, bem como em todos os países membros da União Europeia, os resíduos sólidos são classificados através da Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada na Decisão da Comissão 2014/955/UE de 18 de dezembro de 2014. A LER é constituída por 20 capítulos, que se encontram numerados de 01 a 20, os quais agrupam resíduos de acordo com a área da atividade geradora, sendo elas:

- I. Industrial;
- II. Urbana;
- III. Agrícola;
- IV. Hospitalar;
- V. Processos.

Assim cada resíduo é identificado por um código de 6 dígitos, chamados de entrada, sendo os dois primeiros referentes ao capítulo, depois ao subcapítulo e os últimos dois dígitos especificam a proveniência do próprio resíduo. A título de exemplo, o código 170103:

17: Resíduos de construção e de demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados).

1701: Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos.

170103: Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos.

Ademais, os resíduos sólidos podem ser divididos em categorias conforme a sua periculosidade para a saúde pública ou para o meio ambiente, ou seja, pela definição é aquilo que é perigoso ou arriscado para a vida.

A LER possui três tipologias de entradas diferentes, Figura 1, sendo:

- I. Entradas absolutas de resíduos perigosos – dizem respeito a resíduos que são sempre classificados como perigosos;
- II. Entradas absolutas de resíduos não perigosos – dizem respeito a resíduos que são sempre classificados como não perigosos;
- III. Entradas espelho – dizem respeito a resíduos que poderão ser classificados como resíduos perigosos ou não perigosos dependendo da periculosidade que apresentam.

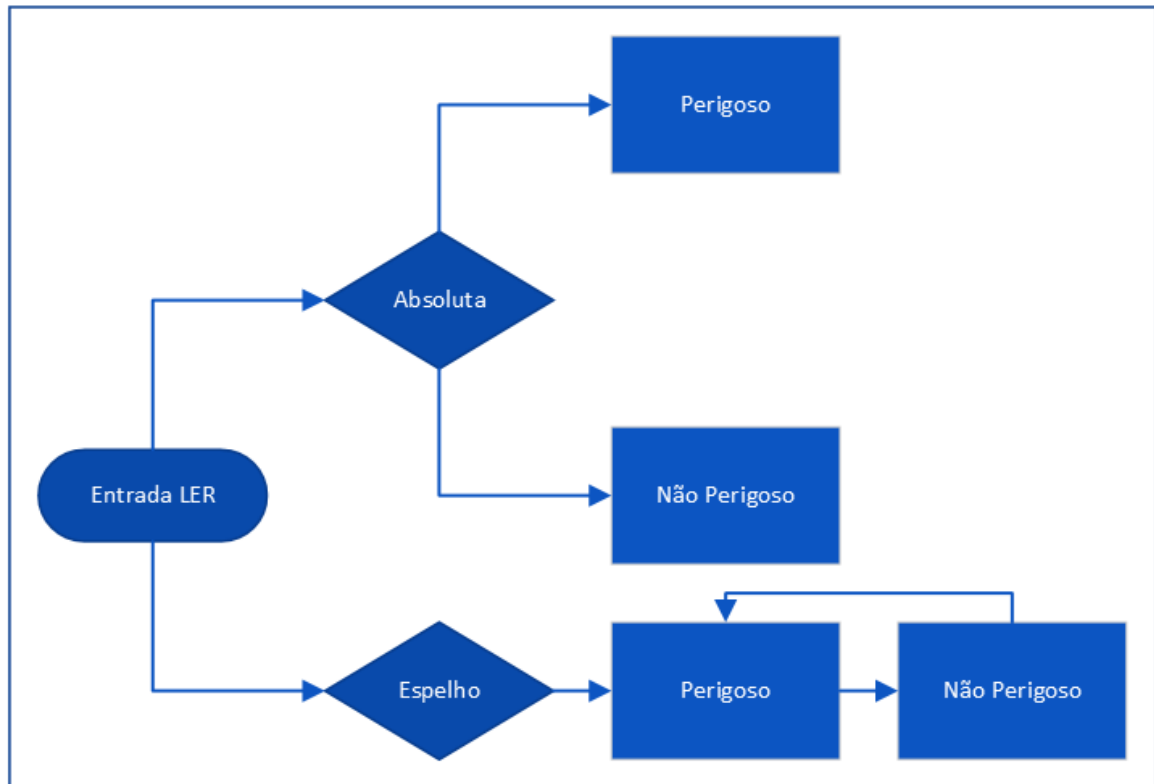


Figura 1 - Tipologia dos códigos LER.

Fonte: adaptado de APA - AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2017).

Da mesma forma, no Brasil, a PNRS e a NBR 10004/2004 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), classificam os resíduos quanto à sua periculosidade. A NBR apresenta duas classes, Figura 2.

Apesar de alguns resíduos serem classificados como não perigosos, estes podem ser não inertes e assim oferecer alguma possibilidade de contaminação por possuírem elementos em sua constituição que se solubilizam na água e podem prejudicar a sua qualidade, e, portanto, requerem cuidados no manejo. Dessa forma, para reutilização e substituição de agregados naturais, como rochas e areia, é essencial que esses resíduos sejam em sua totalidade inertes, no Brasil classe II B. Em Portugal, a legislação responsável por essa determinação é o Decreto-Lei n.º 102-D/2020, 2020 que define resíduos inertes como:

“Resíduos que não sofram transformações físicas, químicas ou biológicas importantes, que não sejam solúveis nem inflamáveis, nem tenham qualquer outro tipo de reação física ou química e não sejam biodegradáveis, nem afetem negativamente outras substâncias com as quais entrem em contato, de forma suscetível a aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana, devendo a lixiviabilidade total e o conteúdo poluente dos resíduos e a ecotoxicidade

do lixiviado ser insignificantes e, em especial, não pôr em perigo a qualidade das águas, quer superficiais, quer subterrâneas.”

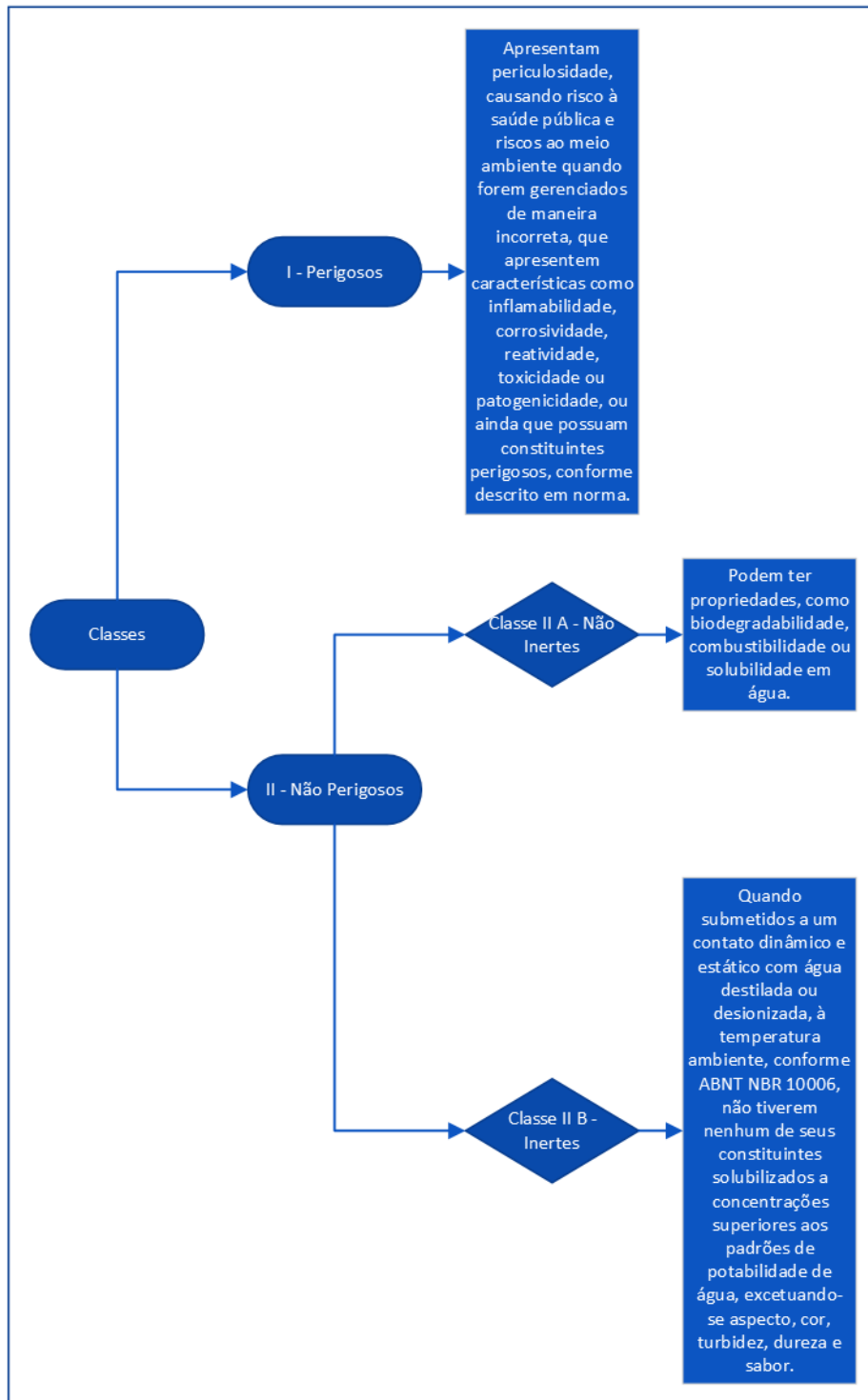


Figura 2 - Classes de periculosidade dos resíduos.

Fonte: adaptado de NBR 10004/2004 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

### **3. REVISÃO DO ESTADO DE CONHECIMENTO E DA REGULAMENTAÇÃO SOBRE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)**

---

Uma das atividades geradoras de resíduos classificada pela LER (Portugal) e pela PNRS (Brasil) é a indústria da construção civil. É inquestionável que, como John (2001) cita, qualquer atividade humana necessita de um ambiente construído adequado para sua operação, portanto com o desenvolvimento econômico social sempre haverá a demanda de enormes quantidades de materiais para atender o contínuo crescimento das cidades. Desse modo, a produção de resíduos pela indústria da construção civil é encarada tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Atualmente, o planejamento de obras nos grandes centros urbanos é muito dependente das longas distâncias das reservas de matéria prima para construção civil, as quais além de finitas, em alguns lugares já se encontram bastante limitadas (QUEIROZ *et al.*, 2020), além do impacto ambiental que o descarte e as atividades de extração e mineração possuem, criam a necessidade da adoção de medidas que regulamentem o descarte, a gestão, e formas para reutilização e reciclagem dos resíduos da indústria da construção civil.

No entanto, pode-se afirmar que não há soluções isentas de impacto, e mesmo sendo positivas em termos ambientais, muitas vezes já não são tanto em termos econômicos. Procurar o equilíbrio entre o custo ambiental e o custo econômico, sem prejudicar o desenvolvimento, é o grande objetivo dos sistemas integrados de gestão de resíduos (PEREIRA, P. M.; VIEIRA, 2013).

#### **3.1. Gestão de resíduos da construção civil**

##### **3.1.1. Panorama brasileiro**

No dia 5 de julho de 2002, no Brasil foi homologada a resolução CONAMA nº 307/2002, que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para o gerenciamento dos Resíduos de construção e demolição (RCD) no país, que segundo a definição dada pela normativa são:

“Resíduos 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.”

Pela definição nota-se a grande variabilidade na composição desses resíduos. Portanto, o RCD não é em sua totalidade inerte, podendo possuir altos teores de impurezas, como a presença de materiais perigosos, dado que sua composição é influenciada diretamente pela sua origem, data de construção, as técnicas construtivas aplicadas, a fase, as características da obra, região onde está localizada e outros fatores.

As várias composições dos resíduos, apontam diretivas para as possíveis reutilizações, bem como os processos necessários para o beneficiamento, reciclagem ou descarte. Dessa forma, além da verificação do padrão e a classe de periculosidade, classe I, II A e II B, dos resíduos a serem utilizados, para efeito da Resolução CONAMA n.º 307/2002 deve ser feita a verificação pelas seguintes classes de Resíduos da Construção Civil, Quadro 2:

Quadro 2 - Classificação dos Resíduos conforme Artigo 3º CONAMA nº 307/2002

<b>Classes</b>	<b>Integrantes predominantes considerados na composição gravimétrica</b>
<b>A</b>	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados provenientes de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, peças pré-moldadas em concreto, etc.), argamassa e concreto, reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem
<b>B</b>	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso
<b>C</b>	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).
<b>D</b>	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 de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04).

Neste trabalho o foco é o uso dos resíduos de construção e demolição classe A, Figura 3, como agregados reciclados. Para isso, estes deverão possuir características próximas de agregados naturais, materiais considerados inertes, para que se permita a sua valorização.

Oito anos depois, juntos dos critérios e procedimentos estabelecidos pela resolução CONAMA 307/2002, em 2 de agosto de 2010 foi promulgada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por intermédio da Lei n.º 12.305/2010, que pela primeira vez estabeleceu no país um marco regulatório completo sobre o assunto, definindo as formas como o país deve dispor os seus resíduos, incentivando a reciclagem, sustentabilidade e priorizando a coleta e demolição seletiva.



Figura 3 - Resíduos classe A.

A demolição seletiva consiste em que a construção seja cuidadosamente desmontada de modo a possibilitar a recuperação de materiais e componentes, promovendo assim a reutilização de diversos constituintes da obra a demolir (portas, janelas, cerâmicos, entre outros) em novas obras ou remodelações e também, ajudando no processo de reciclagem (estando já o resíduo devidamente separado, evita misturas e/ou contaminações que possam invalidar a sua reciclagem e consequente deposição em aterro de resíduos) (CARNEIRO 2019).

Em 2012, uma nova redação, CONAMA n.º 448/2012, trouxe atualizações sobre o tema, propondo a gestão integrada de resíduos sólidos: um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. Também foi instituído o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, com objetivo de servir como instrumento para a implementação da gestão de RCD no Brasil. A elaboração do plano é de responsabilidade de cada município e do Distrito Federal, o qual deve ser feito em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. No entanto, grande parte dos municípios não possuem planos eficientes, e não estabelecem diretrizes que auxiliem o setor público e privado em formas de valorização e/ou descarte correto, e assim, empresas que realizam demolição seletiva possuem custos bem superiores às de demolição convencional, realizada sem preocupações com o eventual reaproveitamento de materiais ou componentes (LIMA, 2013). Além disso, a falta de multas quanto o descumprimento, falta de políticas para conscientização dos produtores de resíduos e de incentivos que tragam uma maior atratividade ao setor, resultam em que passados 19 anos da aprovação da resolução, ainda não há resultados satisfatórios nesse âmbito. Segundo a Abrelpe, a realidade da disposição inadequada, Figura 4, ainda está presente em todas as regiões do país, tendo aumentado 16% em relação a 2010 (ABRELPE, 2020).



(a)

(b)

Figura 4 - (a) Descarte incorreto de entulho e lixo; (b) Descarte incorreto de entulho.

Fonte: (a) SILVA (2021); (b) PREFEITURA DE APARECIDA (2021).

Hoje, são poucos os dados sobre a atual produção e coleta de RCD no país. No Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2020, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) buscou dados em pesquisas diretas realizadas junto aos municípios. Em 2019, segundo os dados apresentados, coletou-se no Brasil quase 45 milhões de toneladas de RCD, sendo a região Sudeste responsável pela maior parte desse total, cerca de 23 milhões de toneladas, e a região norte com o menor valor, de 1,7 milhões de toneladas.

Apesar da pouca adesão, o marco regulatório prevê processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e de reserva de resíduos e de disposição final de rejeitos, também proíbe a disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas e propõe incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo, além de ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos.

O plano também contempla o Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil que deverá ser seguido pelo gerador de resíduos. O plano deve conter as seguintes etapas:

- I. Caracterização (identificação e quantificação dos resíduos);
- II. Triagem (deve ser realizada na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade);
- III. Acondicionamento (confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem);
- IV. Transporte (de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos);
- V. Destinação (de acordo com o estabelecido na Resolução).

### **3.1.2. Panorama português**

A gestão de resíduos em Portugal foi regulamentada pela primeira vez pelo Decreto-Lei n.º 488/85, de 25 de novembro, que precedeu outros decretos e diretivas. No entanto, apenas em 5 de setembro de 2006, o Decreto-Lei de 178/2006 que aprovou o regime geral da gestão dos resíduos (RGGR), apresentou a definição de resíduo de construção e demolição no direito português, abrangendo as áreas geradoras de resíduos também presentes na LER: industrial; urbana; agrícola, hospitalar e processos.

Junto do regime geral, foi aprovado o Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER), que disponibiliza por via eletrônica um mecanismo uniforme de registo e acesso a dados sobre todos os tipos de resíduos. A responsabilidade pela efetuação do registo cabe aos produtores, operadores de gestão de resíduos e entidades responsáveis, havendo interação entre a Autoridade Nacional dos Resíduos e as entidades registradas. A SIRER tem como objetivo facilitar o tratamento dos dados e otimizar dos procedimentos de carregamento e validação da informação, bem como a disponibilização ao público de informação atualizada sobre o setor.

Contudo, em razão das dificuldades de aplicação das disposições do regime geral ao fluxo específico da indústria da construção civil, e às questões muito específicas que lhe estavam associadas, um novo regime jurídico foi estabelecido à gestão de RCD, bem como a prevenção de sua produção, pelo Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de março de 2008.

Assim, o Decreto-Lei n.º 46/2008, aprovou o Plano de Prevenção e Gestão de RCD, as suas obrigatoriedades e responsabilidades para a execução, para assegurar a promoção da reutilização de materiais e a incorporação de reciclados de RCD na obra, seu correto acondicionamento para gestão seletiva, metodologias de triagem de RCD ou encaminhamento para operador de gestão licenciado.

No entanto, apenas no dia 18 de novembro de 2008, através da Diretiva 2008/98/CE, foi estabelecido o regime para além das operações anteriores a recolha, transporte, tratamento, valorização e eliminação. Anteriormente à essa diretiva, o conceito da utilização dos resíduos após a sua reciclagem não estava devidamente clarificado, assim ela veio definir com clareza as condições para que um resíduo deixe de o ser, o que permite combater a opinião pouco fundamentada de que a reciclagem dos resíduos de construção e demolição origina materiais de pouca qualidade (PEREIRA, P. M.; VIEIRA, 2013).

Mais tarde, em 2011, o Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho, procedeu à terceira alteração do regime geral da gestão de resíduos, introduzindo pela primeira vez em matéria de transporte de resíduos, a guia de acompanhamento de resíduos eletrónica (e-GAR). A introdução desta guia teve como objetivo tornar mais fiável o sistema de acompanhamento de transporte de resíduos, desmaterializando e simplificando de forma significativa o procedimento de registo e controlo da informação relativa a esta atividade. A guia de

acompanhamento de resíduos electrónicos, se mantém até o decreto atual, estando prevista no regime Geral de Gestão de Resíduos (RGGR), que estabelece os critérios a serem seguidos para o transporte do entulho.

Apesar da existência desde 2006 da integração das informações relativas a RCD, pela SIRER e posteriormente pela e-GAR, em uma busca sobre o panorama da gestão de RCD no país, encontrou-se dificuldade na obtenção de dados fiáveis sobre as taxas de reciclagem e recuperação desses resíduos, já que se percebe grande discrepância de valores entre estudos.

Segundo o índice da Eurostat, dados de 2018, o país reutiliza, recicla ou descarta corretamente 93% dos resíduos de construção e demolição, superando a média europeia de 88% (ENV WASTRT, 2018). Já em um relatório da comissão Europeia de 2009 que apresenta os índices de produção de resíduos e de reciclagem mais recentes encontrados da data da pesquisa, Portugal aparece com apenas 5% de reuso e reciclagem, Quadro 3, portanto, possivelmente o alto valor encontrado pelo Eurostat considera em sua maior parte o descarte correto desses resíduos, não o aproveitamento de todo o ciclo de vida desses materiais.

Quadro 3 - Estatística do número de RCD gerados e reciclados na União Europeia

<b>Estatística do número de RCD gerados e reciclados na União Europeia</b>		
<b>País</b>	<b>Produção (milhões de toneladas)</b>	<b>% Reutilizada ou Reciclada</b>
Alemanha	72,4	86
Áustria	6,6	60
Bélgica	11,02	68
Bulgária	7,8	sem dados
Chipre	0,73	1
Dinamarca	5,27	94
Eslováquia	5,38	sem dados
Eslovênia	2	53
Espanha	31,34	14
Estônia	1,51	92
Finlândia	5,21	26
França	85,65	45
Grécia	11,04	5
Holanda	23,9	98
Hungria	10,12	16
Irlanda	2,54	80
Itália	46,31	sem dados
Letônia	2,32	46
Lituânia	3,45	60
Luxemburgo	0,67	46
Malta	0,8	sem dados
Polónia	38,19	28
Portugal	11,42	5
Reino Unido	99,1	75
Romênia	21,71	sem dados
República Tcheca	14,7	23
Suécia	10,23	sem dados
Total EU e média %	531,38	46

Fonte: EUROPEAN COMMISSION (2011).

Atualmente a gestão de RCD, obedece ao disposto pelo Decreto-Lei n.º 102-D/2020, aprovado em 10 de dezembro de 2020, revogando o decreto Decreto-Lei n.º 178/2006 e suas alterações. O novo decreto trouxe atualizações, as políticas relativas à gestão de resíduos no sentido da gestão sustentável dos materiais, a fim de proteger, preservar e melhorar a qualidade do ambiente, proteger a saúde humana, assegurar uma utilização prudente, eficiente e racional dos recursos naturais, reduzir a pressão sobre a capacidade regenerativa dos ecossistemas (...), proporcionar novas oportunidades econômicas e contribuir para a competitividade a longo prazo (Decreto-Lei n.º 102-D/2020, 2020).

Algumas das alterações que o novo decreto trouxe foi o aumento da percentagem obrigatória de materiais reciclados utilizados ou que incorporem materiais reciclados relativamente à quantidade total de matérias primas usadas em obra de no mínimo 5% para pelo menos 10%, devendo esses materiais estarem certificados pelas entidades competentes, nacionais ou europeias, de acordo com a legislação aplicável.

Foram também estabelecidas metas para a redução da eliminação de resíduos por deposição em aterro, com enfoque na proibição, a partir de 2030, do envio para aterro de quaisquer resíduos suscetíveis de reciclagem ou valorização. Para alcançar esse objetivo o Artigo 51.º do Capítulo IV, proíbe a deposição de RCD em aterro sem que antes ocorra a submissão a triagem dos materiais que não sejam passíveis de reutilização. Eles devem obrigatoriamente passar por triagem na obra com vista ao seu encaminhamento, por fluxos e fileiras de materiais, para reciclagem ou outras formas de valorização, devendo ser assegurada a triagem dos RCD pelo menos para madeira, frações minerais, incluindo concreto, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos e pedra, metal, vidro, plástico e gesso.

A responsabilidade pela gestão de RCD, é definida pelo Artigo 49.º do capítulo IV do novo Decreto, sendo ela do produtor do resíduo. Assim os produtores desses resíduos são obrigados a tomar as medidas necessárias para garantir a recolha seletiva dos resíduos na origem de forma a promover a sua reciclagem e outras formas de valorização. Nos casos em que não possa ser efetuada a triagem dos RCD na obra ou em local afeto à mesma, o respectivo produtor é responsável pelo seu encaminhamento para operador de tratamento de resíduos. No entanto, o dono de obra pode transmitir a sua responsabilidade de gestão para o empreiteiro por via contratual, devendo este evidenciar que os RCD tiveram destino adequado.

Ademais os mecanismos de controle de conclusão de obra e o plano de demolição seletiva nas obras sujeitas a controlo prévio, devem ser previstos nos regulamentos municipais de urbanização e edificação. No entanto a responsabilidade das entidades referidas se extingue pela entrega dos resíduos a operador de tratamento de resíduos.

Assim, grande parte da responsabilidade da gestão de resíduos é passada para os operadores e estações de tratamento de resíduos, que ao receberem os resíduos não triados em obra, devem garantir o escoamento de todos os tipos de RCD.

Relativamente a um caso particular, em uma estação de tratamento de resíduos de construção e demolição em Bragança, foi notada que já há grande dificuldade no escoamento de materiais não inertes, como vidro proveniente de demolições e isolantes térmicos e acústicos, Figura 5, materiais que possuem potencial de valorização, porém na região, segundo proprietário, não há empresas que realizem esse serviço e assim pelo material não ser aceito em aterros, corre-se o risco de ser descartado de forma irregular.



(a)

(b)

Figura 5 - (a) Vidro sem destinação em estação de reciclagem em Bragança, Portugal; (b) Resíduos de isolamento térmico já triados sem local de recebimento para o escoamento.

E, apesar de grande parte dos Resíduos de Construção e Demolição serem classificados como inertes, Quadro 4, e assim possuírem grande potencial de reciclagem e reutilização, é fundamental o estudo de metodologias eficientes de separação desses componentes de modo a facilitar um eficaz controle de qualidade do produto (SANTOS, 2020).

O Decreto-Lei n.º 102-D/2020, 2020, define como inertes os resíduos presentes no Quadro 4.

Quadro 4 - Resíduos Inertes

<b>Código LER</b>	<b>Descrição</b>	<b>Restrições</b>
<b>17 01 01</b>	Concreto	Só Resíduos de Construção e Demolição (RCD) selecionados (*).
<b>17 01 02</b>	Tijolos	
<b>17 01 03</b>	Ladrilhos, tijolos, telhas e materiais cerâmicos	
<b>17 01 07</b>	Mistura de concreto, ladrilhos, tijolos, telhas e materiais cerâmico	
<b>17 02 02</b>	Vidro	
<b>17 05 04</b>	Solos e rochas	Excluindo solo superficial e turfa; excluindo solos e rochas de locais contaminados.
<b>19 12 05</b>	Vidro	
<b>20 01 02</b>	Vidro	Só vidro de recolha seletiva.
<b>20 02 02</b>	Terras e Pedras	Só de resíduos de jardins e parques; excluindo solo superficial e turfa
<b>10 11 03</b>	Resíduos de materiais fibrosos à base de vidro	Só sem aglutinantes orgânicos.
<b>15 01 07</b>	Embalagem de vidro.	

Fonte: Decreto-Lei n.º 102-D/2020, 2020.

(\*) São RCD selecionados:

- i) Os que tenham baixo teor de outros tipos de materiais (como metais, plástico, solo, matérias orgânicas, madeira, borracha, etc.);
- ii) Cujas origens sejam conhecidas;
- iii) Que não provenham de construções poluídas com substâncias inorgânicas ou orgânicas perigosas, por exemplo, devido a processos de transformação na construção, poluição do solo, armazenamento ou utilização de pesticidas ou de outras substâncias perigosas etc., excepto se for tornado claro que a construção demolida não estava significativamente poluída;
- iv) Que não provenham de construções tratadas, cobertas ou pintadas com materiais que contenham substâncias perigosas em quantidades significativas.

Segundo o LNEC, um dos principais obstáculos técnicos à reciclagem de matérias inertes é a contaminação. Desse modo o nível de triagem e as técnicas aplicadas desde a fase de produção de RCD, até as instalações de reciclagem podem minimizar o teor de contaminantes presentes e prevenir o impacto negativo de alguns materiais, como o gesso e o amianto. Segundo Vanderley e Agopyan (2000) produtos solúveis em água, apresentam reações expansivas com o cimento Portland. Portanto, não deve haver o contato desses resíduos com os resíduos inertes. Os autores citam na pesquisa que a introdução de painéis de gesso cartonado na construção de divisórias no mercado significaria a curto prazo, um

sério limitador às atividades de reciclagem. Na estação de tratamento visitada no Distrito de Bragança, Portugal, esse fato já é um obstáculo na reciclagem de RCD, Figura 6, pelo seu potencial contaminante, e por não possuir canais de escoamento para seu reuso e reciclagem, além de que há dificuldade de encontrar áreas licenciadas para seu descarte.



Figura 6 - Gesso cartonado em estação de reciclagem de RCD em Bragança, Portugal.

Hoje, a nível Europeu ainda não há uma metodologia para avaliação se há a existência da liberação de substâncias perigosas dos produtos de construção, como ensaios de lixiviação, estabelecendo valores-limites aceitáveis, mas, em sua ausência, cada Estado-Membro define os seus próprios critérios. De forma similar a outros países, Portugal implementou nas suas especificações técnicas para o uso de materiais obtidos a partir de RCD de acordo com o procedimento da Norma Técnica EN 12457-4 (2002). Em geral, a caracterização ambiental dos materiais provenientes de RCD tem evidenciado a possibilidade da sua utilização sem trazer riscos ambientais acrescidos (MARTINS; ROQUE; FREIRE, 2017).

Para tanto, técnicas de demolição seletiva e controle da produção e separação dos resíduos em obra é a melhor aposta para a não contaminação desses resíduos e a produção de agregados reciclados de maior qualidade. No caso da estação de reciclagem no distrito de Bragança, Portugal, já referida anteriormente, a produção de agregados reciclados predominantemente compostos por concreto só é possível por técnicas de demolição seletiva, que utiliza uma tesoura, Figura 7 (a), para o desmonte de vigas, lajes e pilares e separação da armadura, resultando em um resíduo mais homogêneo, Figura 7 (b).



(a)

(b)

Figura 7 - (a) Tesoura para demolição seletiva em estação de reciclagem de RCD em Bragança, Portugal; (b) RCD composto predominantemente por concreto.

### **3.2. Composição dos resíduos de construção e demolição**

Segundo Santos, J. (2007 apud VIEGAS, 2012 p. 4) quando se conhecem as características de um resíduo é possível avaliar o seu potencial de aproveitamento (subproduto) e as consequências derivadas do seu desaproveitamento. Também é possível avaliar quantitativamente e qualitativamente as consequências (positivas ou negativas) para o planeta, a partir da análise do ciclo de vida dele.

Do ponto de vista técnico as possibilidades de reciclagem dos resíduos variam de acordo com a sua composição. As frações compostas predominantemente de rochas naturais e concretos estruturais podem ser recicladas como agregados para a produção de concretos de alta resistência. Já argamassas, produtos de cerâmica vermelha e de revestimento, considerados agregados mistos, por serem mais porosos e de menor resistência mecânica tem sua aplicação limitada a concretos de baixa resistência, também sendo utilizados em obras de pavimentação, como base e sub-base de estradas e em outras aplicações como camadas drenantes, preenchimento de gabiões caixa etc. (VANDERLEY; AGOPYAN, 2000).

O Quadro 5 apresenta a composição do RCD no norte de Portugal e em 3 cidades brasileiras, região nordeste, sul e sudeste respectivamente.

Quadro 5 - Composição gravimétrica do RCD de Portugal e Brasil

<b>Composição gravimétrica do RCD de Portugal e Brasil</b>				
<b>% em massa</b>	<b>Costa Norte</b>	<b>Fortaleza/CE</b>	<b>Porto Alegre/RS</b>	<b>Ribeirão Preto/SP</b>
	<b>Portugal (1)</b>	<b>Brasil (2)</b>	<b>Brasil (3)</b>	<b>Brasil (4)</b>
<b>Concreto</b>	35	15	25,49	21,1
<b>Cerâmica Vermelha</b>		13	21,66	20,8
<b>Argamassa</b>		38	32,59	37,4
<b>Sola e areia</b>	40	17		
<b>Rocha</b>		5	13,54	17,7
<b>Cerâmica Branca</b>		7	0,19	2,5
<b>Madeira</b>	5			
<b>Metal</b>	5			
<b>Asfalto</b>	6			
<b>Outros</b>	9	8	6,53	0,5
outros: plástico, papel, asfalto, folhas, gesso, cimento-amianto e vidro				

Fonte: Adaptado de (1) Pereira, L.; Aguiar (2004); (2) de Oliveira *et al.*, (2011); (3) Lovato (2007); (4) Zordan (1997).

A composição gravimétrica do RCD gerado em Portugal e nas cidades brasileiras mostra que a Classe A representa mais de 80% do total de resíduos gerados e o restante é composto principalmente de resíduos Classe B (papel, plástico, vidro e metal). Isso revela a parcela significativa de resíduos que pode ser reutilizado ou reciclado na forma de agregado.

### 3.3. Reciclagem

O princípio da hierarquia da gestão de resíduos, presente no Decreto-Lei n.º 178/2006 e que se mantém no Decreto-Lei n.º 102-D/2020, tem em vista a transição para uma economia circular, que pode ser traduzida como um modelo de crescimento econômico que visa a proteção ambiental, a prevenção da poluição e o desenvolvimento sustentável. Neste modelo os recursos são utilizados com maior eficiência e, quando possível, reutilizados e reciclados, de modo a minimizar a contaminação da água, solos e atmosfera, e reduzir a quantidade de resíduos produzidos (LEAL, 2015, apud SALVI, 2020).

Para garantir um elevado nível de eficiência na utilização dos recursos, a política e a legislação em matéria de resíduos devem respeitar, no que se refere às opções de prevenção e gestão de resíduos, a seguinte ordem de prioridades, Figura 8.

A gestão integrada foca primeiramente na não produção, redução e reutilização dos resíduos. No entanto, caso isso não sendo viável, busca-se sua reciclagem ou ainda a outras formas de valorização, tendo como objetivo principal o aumento do ciclo de vida dos materiais (GODINHO, 2011).



Figura 8 - Hierarquia da gestão de RSU.

Dessa forma, o RCD produzido que não é reaproveitado em obra deve ser alvo de reciclagem, através de processos mecânicos para obtenção de matérias-primas secundárias, os agregados reciclados. A qualidade dos agregados depende grandemente do número de operações e etapas, do tipo de equipamento utilizado para reduzir o tamanho do material e dos métodos de separação do material obtido (ALGARVIO, 2009).

Há, portanto, a necessidade de avaliar cada caso, para a escolha da melhor opção dentro dos sistemas de gestão e tecnologias disponíveis (SYNAPSE, 2020). Para isto é importante ter em mente as etapas, os processos e os equipamentos utilizados atualmente, bem como estudos que trazem técnicas inovadoras para o beneficiamento desses materiais.

Em Portugal, o LNEC, em suas especificações, dispõe os processos e técnicas de armazenamento dos resíduos de construção e demolição, com objetivo de obter materiais que satisfaçam tanto as exigências técnicas como as ambientais para a aplicação prevista. As especificações também dispõem que os materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição deverão ser armazenados separadamente em função da sua origem e dos seus constituintes principais, que seu processamento pode ter lugar em centrais fixas ou em centrais móveis e inclui habitualmente 4 operações principais, Figura 9.

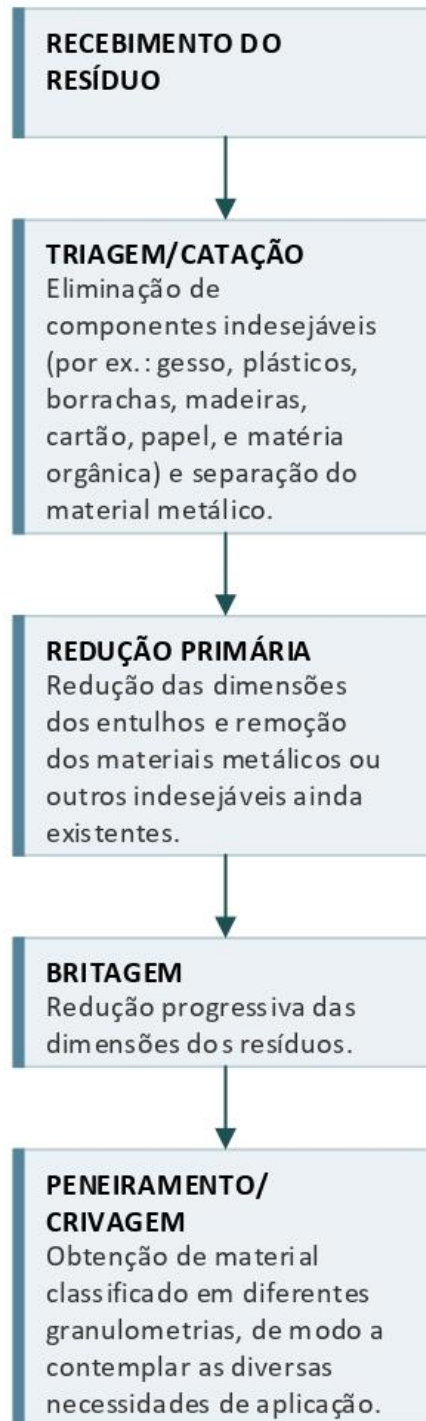


Figura 9 - Fluxograma das etapas de processamento dos agregados reciclados.

Fonte: Adaptado de LNEC (2009).

De acordo com estudos em estações de reciclagem no Brasil e em Portugal, além da visita à estação de tratamento no distrito de Bragança, Portugal, os países utilizam equipamentos e processos semelhantes. No Brasil, a maioria das usinas não apresentam uma rotina de controle de qualidade dos agregados produzidos. Na estação visitada, tampouco são feitos ensaios para a caracterização e verificação da qualidade dos materiais produzidos,

considerando que os agregados reciclados não são comercializados e sim usados para consumo próprio da empresa responsável. Através das pesquisas de Miranda, Ângulo e Careli (2009) e dos processos vistos em campo, são normalmente utilizados os seguintes equipamentos: pá carregadeira ou retroescavadeira, alimentador vibratório, transportadores de correia, britador de mandíbula ou impacto, separador magnético permanente ou eletroímã, e peneira vibratória ou crivos.

A localização da central de reciclagem é um aspecto muito importante para o seu sucesso, devendo estar o mais próximo possível dos locais de produção e uso dos RCD. Abaixo a sequência de tratamento dos resíduos, Figuras 10 e 11:



- Descarga do material na planta de reciclagem



- Redução primária



- Triagem/Catação

Figura 10 - Processos e equipamentos para reciclagem de RCD.



- Separação magnética e britagem.

- Peneiramento/Crivagem.

Figura 11 - Processos e equipamentos de reciclagem

O fluxograma apresentado, Figura 9, integra processos simples e de fácil aplicação. A primeira operação consiste na triagem do RCD recebido e estocado no pátio. Nessa operação os materiais não utilizáveis como agregados na indústria da construção civil são separados, normalmente de forma manual e com ajuda dos transportadores de correia, com o objetivo de se retirar a fração não-mineral grosseira remanescente no RCD mineral (ANGULO, 2005).

Em seguida é feita a redução primária do material. Nesta fase é realizada a separação dos resíduos não inertes ainda presentes e de materiais metálicos (armadura) através do uso de separadores magnéticos de baixa intensidade, ímãs, antes e/ou após a britagem (WILSON, 1996; HANISCH, 1998 apud ANGULO, 2005; ALGARVIO, 2009). Na britagem, operações de redução de tamanho, são utilizadas diversas maquinarias, tal como britadores de mandíbula, giratórios e ou de impacto. Essa etapa consome grande quantidade de energia e peças de desgaste, e seu custo depende da capacidade de produção e da quantidade de material produzido (KELLY; SPOTTISWOOD, 1982 apud ANGULO, 2005).

Após a britagem o material é peneirado. Essa operação separa as partículas em função de sua granulometria através de peneiras, crivos ou classificadores pneumáticos ou hidráulicos. Pode ser realizado peneiramento a seco ou úmido. O primeiro resulta sempre em uma pequena fração fina aderida à fração graúda. O segundo é empregado para se obter uma separação mais eficiente dessas frações (KELLY; SPOTTISWOOD, 1982 apud ANGULO, 2005).

Por fim, os materiais reciclados resultantes devem ser armazenados separadamente em função da sua origem e dos seus constituintes principais.

### **3.4. Normativas sobre uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**

A área de interesse da pesquisa abrange Brasil e Portugal. Ambos os países possuem normas, Quadro 6, para a definição das exigências para o uso de reciclado de RCD como agregado em diversas aplicações.

Quadro 6 - Resumo das Especificações e Normas técnicas em vigor utilizadas sobre o uso de RCD como agregado reciclado

<b>Especificações e normas técnicas</b>	<b>País</b>	<b>Descrição</b>
ABNT NBR 15112/2004	Brasil	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
ABNT NBR 15113/2004	Brasil	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação
ABNT NBR 15114/2004	Brasil	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR ABNT 15115/2004	Brasil	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação
NBR ABNT 15116/2021	Brasil	Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios
LNEC E 471 – 2009	Portugal	Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em concretos de ligantes hidráulicos
LNEC E 472 – 2009	Portugal	Guia para a Reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central
LNEC E 473 – 2009	Portugal	Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos
LNEC E 484 – 2016	Portugal	Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em caminhos rurais e florestais
LNEC E 474 – 2016	Portugal	Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de
LNEC E 485 – 2016	Portugal	Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em preenchimento de valas
LNEC E 483 – 2016	Portugal	Guia para a utilização de agregados reciclados provenientes de misturas betuminosas recuperadas para camadas não ligadas de pavimentos
NP EN 933-11 – 2011	Portugal	Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate

Em Portugal, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) através de especificações fornece recomendações, estabelece requisitos mínimos para a utilização de agregados reciclados, classificações, as regras de aplicação, os aspectos ambientais, bem como o processamento, armazenamento dos resíduos de construção e demolição, controle da qualidade e condições de aplicação.

A NP 933-11 (2011) é específica para classificação dos materiais de acordo com a percentagem de cada um dos seus constituintes. Cada material possui valores limites, os quais podem ser encontrados no Quadro A.1 do Anexo A.

Assim, cada composição de materiais recebe uma designação. Esses devem passar por ensaios para verificação de parâmetros geométricos, mecânicos e químicos, e cumprindo os requisitos tem a determinação de suas destinações, Quadro A.2 do Anexo A.

A aplicação dos agregados reciclados pode exigir a sua mistura com agregados naturais tendo em vista a sua correção granulométrica, ou a obtenção de misturas obedecendo aos restantes requisitos mínimos exigidos.

O uso para concretos exige menor variabilidade de constituintes e parâmetros mais rígidos a serem seguidos. Além disso as percentagens de substituição de agregado natural ao reciclado estão previstas na especificação LNEC E 471 (2009), sendo elas de até 25% para concretos com função estrutural, Quadro 7.

Quadro 7 - Aplicações dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) conforme sua classificação

<b>Concretos de ligantes hidráulicos - LNEC E 471 – 2009</b>				
<b>Aplicações</b>		<b>ArB1</b>	<b>ArB2</b>	<b>ARC</b>
<b>Produtos com funções Estruturais</b>	Concreto armado	1	2	
<b>Produtos sem funções Estruturais em ambientes não agressivos</b>	Concreto de enchimento	3		
	Concreto de regularização			
<b>Concreto destinados a contactar com água para consumo humano</b>		Não é permitido o uso		
(1): proporção máxima de substituição no conjunto dos agregados: 25%				
(2): proporção máxima de substituição no conjunto dos agregados: 20%				
(3): Não há limite				

Fonte: Adaptado de LNEC E 471/2009.

No Brasil, a ABNT NBR 15115/2004 e ABNT NBR 15116/2021 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS) estabelecem os critérios para o uso de agregados reciclados. A primeira define os requisitos para seu uso na execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário. Enquanto a segunda especifica os requisitos para produção e recepção dos agregados reciclados classe A, incluindo misturas de agregados naturais e reciclados, para argamassa e concretos de

cimento Portland, estabelecendo os métodos de ensaios para verificação dos requisitos, bem como as diretrizes para o uso desse material.

Os materiais utilizados na fabricação dos agregados reciclados devem se enquadrar na Classe A e seu uso se restringe a três subclasses. As argamassas, artefatos pré-fabricado e concreto de cimento Portland devem atender os requisitos estabelecidos pelas normas especificadas desses produtos, independentemente dos teores de substituição de agregado natural por reciclado.

Quadro 8 - Aplicações dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) conforme sua classificação

<b>Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - NBR ABNT 15116/2021</b>						
<b>Aplicações</b>		<b>ARCO</b>	<b>ARCI</b>	<b>ARM</b>	<b>Teores de substituição ao agregado natural</b>	<b>Classe de Agressividade (NBR 6118/2014)</b>
<b>Produtos com funções Estruturais</b>	Concretos com Cimento Portland				20%	I e II
	Artefatos pré-fabricados					
	Argamassas e Grout					
<b>Produtos sem funções Estruturais</b>	Contrapiso				Até 100%	Não especificado
	Argamassas de revestimento					
	Argamassas de assentamento					
	Pré Fabricados					
ARCO: agregado reciclado de concreto ARCI: agregado reciclado cimentício ARM: agregado reciclado misto						

Fonte: Adaptado de NBR 15116/2021 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS, 2021).

Para a utilização na execução de camadas de pavimentação, a NBR 15115/2004 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS, 2004) estabelece que os agregados devem atender os requisitos do Quadro A.3 do Anexo A.

### 3.5. Utilizações do agregado reciclado de RCD

As possibilidades de redução dos resíduos gerados nos diferentes processos produtivos apresentam limites técnicos objetivos, assim é inevitável que RCD sempre irá existir (JOHN, 2001). Segundo a ABRECON, Associação brasileira para reciclagem de resíduos de

construção e demolição, o desenvolvimento e aplicação de técnicas de reciclagem de entulho da construção civil, para utilização como agregado, teve início após a Segunda Guerra Mundial, por volta de 1946, pela necessidade de reconstrução das cidades europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos (LEVY, 1998). No Brasil, teve início mais tarde, o primeiro estudo sobre a reciclagem de RCD data 1986, sobre a utilização de reciclado para produção de argamassa, pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto (PINTO, 1986 apud LEITE, M. B., 2001).

Além disso, a implantação das técnicas de reciclagem seguiu a passos lentos, até 2009 havia apenas 36 usinas de triagem e valorização de RCD em operação no país, e considerando que todas estivessem reciclando em sua capacidade nominal, somente 3,6% de todo o RCD produzido no país estaria sendo reciclado (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009). Em Portugal, apesar de se verificarem índices de triagem e valorização baixos comparado com outros países europeus, como Alemanha e Holanda, processos para correta execução já são aplicados, permitindo então às entidades gestoras, uma prévia determinação da quantidade de resíduos produzidos, e é neste sentido, que vários autores concentram as suas investigações, tomando como objeto de estudo as mais diversas obras de construção, reconstrução e demolição (FERREIRA, C. I. S., 2013).

As políticas nacionais e comunitárias em ambos os países consideram prioritário reforçar a valorização de resíduos com vista a prolongar o seu uso na economia e em vista dos fatores anteriormente mencionados. Hoje, é vasta quantidade de pesquisas na área. No presente capítulo será feito um estado da arte sobre os estudos relacionados a reciclagem de RCD como agregado em diversas aplicações.

### **3.5.1. Utilização de RCD em obras geotécnicas e infraestruturas de transporte**

A reciclagem de materiais para o uso em pavimentação e obras geotécnicas acontece desde muito antes da sua abordagem formal. Hoje, do ponto de vista técnico, inúmeros trabalhos têm comprovado que o agregado reciclado possui desempenho adequado para a utilização em camadas de pavimentos. Em um estudo experimental (SALVI, 2020), sobre a aplicação de agregados de resíduos de construção mistos (ARM), Figura 12, na construção de aterro e da camada de sub-base de estradas rurais e florestais, foi observado um comportamento similar em termos de resistência do agregado reciclado em relação ao natural, brita, e características adequadas para o uso conforme as recomendações da especificação LNEC E 484/2016.



Figura 12 - RCD utilizado no estudo experimental.

Fonte: SALVI (2020).

Régis Queiroz (2020) através de sua pesquisa buscou avaliar a utilização de RCD em diferentes porcentagens de substituição ao pó de brita, para utilização como camadas granulares na composição da base e sub-base de pavimentos. Os teores avaliados foram de 20% e 30% de RCD e preencheram satisfatoriamente os requisitos estabelecidos pelo Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para pavimentos no Brasil. Os resultados indicam que a utilização de resíduos da construção em conjunto com o pó de brita constituem uma excelente alternativa ao emprego somente de materiais naturais nas camadas de base e sub-base dos pavimentos. LEITE *et al.*, (2011) também obteve resultados satisfatórios com o uso de agregados de RCD para a mesma aplicação. Da mesma forma que, Souza e Balduino (2019) comprovaram que misturas de solo e RCD podem ser utilizadas na pavimentação em camadas de reforço de subleito e sub-base atendendo os mesmos parâmetros estabelecidos pelo DNIT.

O pó de brita, também chamado de filler, conjuntamente com o betume asfáltico, produz o mástico, o qual misturado com agregado forma-se a mistura asfáltica.

Wahlström *et al.* (1997) observou que resíduos de concreto triturados podem ser usados na pavimentação, no entanto, em locais onde há a presença de água subterrânea, ele salienta a importância de serem tomadas considerações especiais sobre seu efeito, desencorajando o uso de RCDs nestes casos. Recomenda também que os agregados reciclados sejam isolados com uma camada de impermeabilizante, por exemplo asfalto ou geotêxtil, para evitar algum risco na presença de contaminantes. Ossa, García, Botero (2016) através de ensaios concluíram que a substituição de até 20% de agregados de RCD podem ser usados para camadas de asfalto em ruas urbanas.

No cenário internacional, países como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça, entre outros, reutilizam e reciclam entre 50% e 90% do RCD gerado (ANGULO, 2005), e apesar do alto índice de reciclagem, na média, menos de 20% do agregado natural acaba realmente sendo substituído pelo agregado reciclado, indicando que grande parte da utilização está focada em regularização/nivelamento de terrenos ou aterramento (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009). Um exemplo é a Holanda, onde 85% dos RCDs são processados e adequados para o uso em concretos e estradas. Os agregados reciclados de concreto, argamassa e mistos são utilizados em sub-base e construção de pavimentos (HENDRIKS; JANSSEN, 2001). Na Bélgica a larga maioria dos agregados reciclados é utilizada em obras de pavimentação, para onde são escoados o concreto britado e o asfalto reutilizado (CHARLES F. HENDRIKS, H. S. PIETERSEN apud ALGARVIO, 2009).

### **3.5.2. Utilização de RCD na fabricação de concretos**

A inserção de RCD como agregados em concreto requer um bom conhecimento das propriedades dos materiais envolvidos (FROTTÉ *et al.*, 2017). Por isso, têm sido realizados numerosos trabalhos de investigação para avaliar diferentes propriedades do concreto produzido a partir de agregados reciclados. Estes estudos indicam que os agregados reciclados podem ser usados como substituto de agregados naturais para produzir concreto, com êxito, atendendo ao desempenho exigido para ambas as aplicações estruturais e não estruturais.

Como estabelecido pelo LNEC, para a fabricação de concretos estruturais, apenas resíduos com altas porcentagens de concreto, argamassas e pedra natural podem ser utilizados, como na Figura 13. Por isso, diversos trabalhos focam na criação de formas de beneficiamento e processamento dos RCDs para garantir a qualidade necessária para sua reciclagem neste fim e avaliar diferentes propriedades do concreto produzido a partir de agregados reciclado.



Figura 13 - Agregado reciclado composto por concreto, argamassa e pedra natural.

Fonte: SANTOS (2020).

Ângulo (2005) em seu estudo sobre a caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos, realizou ensaios para a determinação da densidade de amostras de duas estações de coleta em São Paulo, Brasil.

Os agregados foram divididos em 5 intervalos de densidade diferentes, valores compreendidos entre  $1,7 \text{ g/cm}^3 > d > 2,5 \text{ g/cm}^3$ . Com os resultados, concluiu-se que as amostras com densidades menores apresentaram valores mais altos de teores de materiais não minerais (madeira, betume etc.), também os agregados reciclados predominantemente compostos por resíduos de cerâmica vermelha ultrapassaram 90% da massa em algumas faixas de densidade “ $d < 1,9 \text{ g/cm}^3$ ,” e ainda apresentaram teores de cimento amianto e betume que impediriam sua utilização.

No estudo, o intervalo de densidade “ $d > 2,2$ ” apresentou melhores resultados, sendo constituído de teores de cerâmica vermelha, ainda que significativa, abaixo de 30%. O intervalo também era composto por altos valores de fase cimentícia e ausência da fase de cimento amianto, que resultaram em uma menor absorção. Carrijo (2005) também observou uma absorção de água semelhante dos concretos com agregados naturais e dos concretos com agregados reciclados nas faixas de densidade  $2,2/2,5 \text{ g/cm}^3$  para a mesma resistência.

Lovato (2007) utilizando materiais coletados em três cidades da região sul do Brasil, observou comportamentos semelhantes aos demais estudos. Em seus ensaios, as fases concreto e rocha se concentraram na faixa de densidade  $d > 2,4$ , e apenas em uma coleta foi encontrado concreto na faixa de densidade  $2,2 < d < 2,4$ , Figura 14. A autora também constatou que ensaios com líquidos densos, “afunda-flutua”, não funcionam para a separação de agregados miúdos reciclados, e que na análise granulométrica houve grande percentual finos, matéria passante na peneira de malha #0,15 mm, o qual é muito superior à quantidade passante pelo agregado natural.

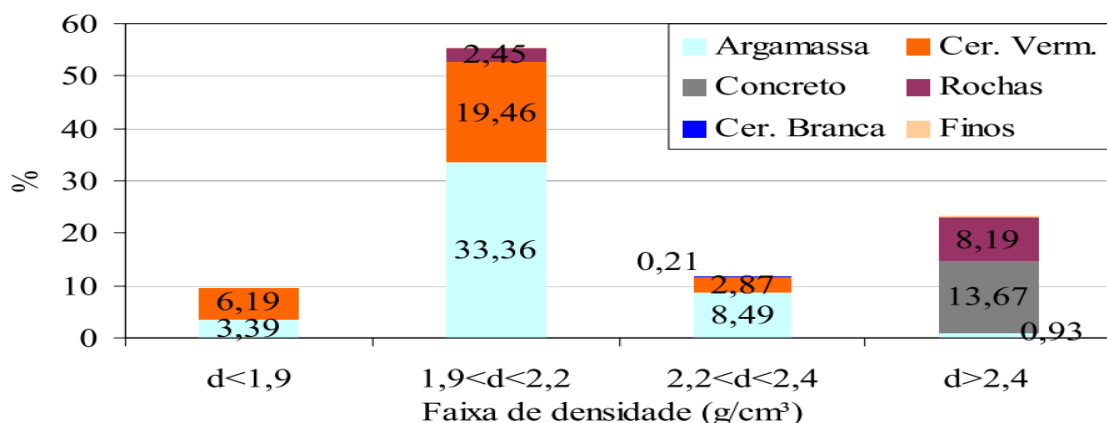


Figura 14 - Distribuição por fases dentro das faixas de densidades separadas para o material da coleta de São Leopoldo/RS, Brasil.

Fonte: Lovato (2007).

Dessa forma, o material poderia ser utilizado como agregado em concretos estruturais, seguindo a norma alemã DIN/2002 (ANGULO, 2005). Outro fato relevante é que considerando as amostras coletadas, 40% a 70% da massa dos agregados graúdos de RCD reciclados estavam contidas nesse intervalo. Assim para fabricação de concreto sem função estrutural, como blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjetas e canaletas, a faixa de densidade “ $1,9 < d < 2,2$ ” também atenderiam a norma, já que poderiam ser utilizados como agregados em concretos com resistência mecânica de até 20 MPa.

Em outro estudo, Zordan (1997) utilizou entulho como agregado na confecção do concreto. Os corpos de prova apresentaram uma absorção de água bem superior a concretos produzidos com agregado natural, devido à alta porosidade do agregado como também a maior quantidade de finos. O concreto apresentou em média uma resistência à compressão de 18,6 MPa, 62% da resistência do concreto de referência (brita e areia), traço 1:5, não sendo possível a utilização para fins estruturais. No entanto, nos ensaios a resistência ao desgaste a abrasão, o concreto apresentou valores em média 26,5% maiores que a obtida pelo concreto de referência.

Em outro estudo, Cabral et al. (2007) realizou modelagens para avaliar o comportamento de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD a resistência a compressão. O projeto foi realizado variando os teores dos três tipos de agregados reciclados (concreto, argamassa e cerâmica vermelha), uma vez que esses três constituintes representam mais de 70% de todo o RCD na maioria das cidades brasileiras. Além do tipo de agregado, também se variou a relação água/cimento de 0,4 a 0,8. Fixou-se também o teor de água na pré-umidificação dos agregados reciclados, para que eles não absorvessem a água de amassamento, considerando a recomendação da norma brasileira e de vários estudos, que mostram que concretos com agregados reciclados de RCD apresentam valores de absorção de água mais elevados que concretos convencionais, modificando assim a relação água/cimento.

De acordo com o modelo apresentado, a substituição do agregado natural pelo reciclado resultou em redução da resistência. O agregado graúdo de reciclado de concreto obteve melhor desempenho quanto à resistência à compressão, muito embora este ainda tenha apresentado redução da resistência à compressão de 14%, para 50% de substituição, e de 28%, para 100% de substituição pelo agregado graúdo natural (CABRAL *et al.*, 2007)

Portanto, como nos outros estudos, a variação dos teores dos constituintes que não possuem um bom comportamento como agregado para o concreto (por exemplo, os materiais cerâmicos polidos e a própria terra) é uma barreira para utilização em concretos de alta resistência. Assim, a utilização de agregados de resíduos mistos (ARM), Figura 15, se restringe a fabricação de concreto de baixa resistência.

Dessa forma, apenas com o controle do entulho durante a fase de produção em obra, bem como na demolição, utilizando técnicas que tem por objetivo reduzir a quantidade de contaminantes (amianto, gesso, fração não mineral entre outros), como a demolição seletiva, ou um maior controle nas usinas de reciclagem, com a utilização de tecnologias não convencionais para o beneficiamento do material, seria possível a obtenção de um agregado com características semelhantes às de um agregado natural.

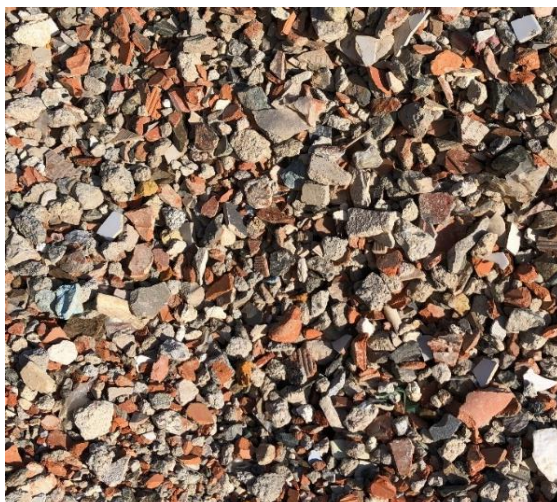


Figura 15 - Agregado granular reciclado misto.

### **3.5.3. Utilização de RCD na fabricação de argamassas**

A Norma técnica brasileira, ABNT NBR 13281/2005, especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos. Ela define argamassa como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerantes inorgânicos e água, contendo aditivos ou não, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou de forma industrial. Em Portugal, a NP EN 998-1 classifica as argamassas para construção em duas categorias principais, para reboco e para assentamento, e devem ser produzidas utilizando agregados em conformidade com os requisitos da EN 13139 (SILVA; DE BRITO; DHIR, 2016).

As argamassas não desempenham função estrutural, em razão disso seus requisitos mecânicos são menos rigorosos, uma vez que seu comportamento depende muito mais da aderência de ligação entre o tijolo e argamassa, do que das suas propriedades mecânicas intrínsecas (MORICONI; CORINALDESI; ANTONUCCI, 2003). Segundo Silva, de Brito e Dhir (2016) a qualidade e durabilidade das argamassas estão diretamente relacionadas com a habilidade de absorver as deformações estruturais e ocasionadas por variações de temperatura, sem que ocorram fissuras ou desprendimento, sendo essas características medidas pelo seu módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade da argamassa deve ser próximo e no máximo igual ao da parede, no entanto não tão baixo que possa causar danos a própria argamassa.

Tanaka *et al.*, (2010) produziram argamassas de cimento Portland e areia utilizando agregados reciclados da Região Metropolitana de Curitiba/PR, Brasil, provenientes de material cimentício, cerâmico e uma mistura de ambos em uma proporção de 50% cada. Após realizarem ensaios no estado fresco e endurecido, verificaram a influência da fração fina, também chamada de areia reciclada, em uma proporção de até 50% de substituição da areia natural. Os resultados demonstraram que o aumento da concentração de materiais cimentícios diminui a permeabilidade e melhora as propriedades mecânicas das argamassas. O mesmo aumento foi também observado por Ferreira, R. L. da S. (2017) que conclui que o maior teor de finos da areia reciclada (grãos menores do que 0,15 mm) proveniente de resíduo cimentício, resultou numa maior resistência à compressão para a argamassa confeccionada com este agregado.

No entanto, ao contrário de concretos, a resistência à compressão não é uma propriedade apreciável para argamassas de revestimento, tendo em vista que argamassas com elevada resistência à compressão apresentam elevada rigidez e, com isso, o desempenho dos revestimentos resultantes será inferior, sobretudo quanto ao surgimento de fissuras (FERREIRA, R. L. da S., 2017). Desta maneira, em termos de resistência mecânica, a resistência à tração na flexão possui maior influência sobre o desempenho e durabilidade dos revestimentos, devendo as tensões internas da alvenaria e do revestimento não ultrapassar a resistência à tração da argamassa.

À vista disso, é necessário limitar o teor de finos dos agregados reciclados (AR), que por possuírem maior área superficial, proporcionam um efeito de micro enchimento, tornando as argamassas mais compactas e, por consequência, mais resistentes. Assim, notou-se que a lavagem do agregado reciclado favorece o aumento das massas específicas destes agregados, sendo benéfico para um melhor desempenho da argamassa. Logo, esses revestimentos apresentam menor fissuração (FERREIRA, R. L. da S., 2017).

Uma alternativa é a utilização de superplastificante para que o material produzido atinja a resistências à compressão e flexão de argamassas convencionais. Em estudos experimentais, Restuccia *et al.*, (2016) produziram argamassa com agregado reciclados lavado e superplastificantes, que se mostrou eficiente com 50% de substituição da areia natural e 1% de superplastificante, cumprindo os requisitos estabelecidos em norma.

Em outro estudo, Moriconi, Corinaldesi e Antonucci (2003) fabricaram argamassas substituindo parcialmente areia natural por finos reciclados mistos de mesma dimensão ( $\geq 6\text{mm}$ ), provenientes de uma estação de britagem industrial de Villa Musone, Itália, em que o entulho de RCD foi selecionado, moído, limpo e peneirado. Os experimentos mostraram que apesar da presença de resíduos de alvenaria ser prejudicial para o desempenho da argamassa, o uso do agregado reciclado é viável em substituição parcial da areia natural ou também, o pó obtido por moagem de tijolos em substituição parcial do cimento. E nesse sentido o uso das frações finas indesejáveis do agregado reciclado para produção de

argamassa seria benéfico para a utilização da fração graúda do agregado no uso em concretos, já que segundo Restuccia *et al.*, (2016) durante a produção de agregado graúdo, a fração fina é involuntariamente produzida e representa uma grande parcela do peso do RCD triturado. Ferreira (2017) também conclui a viabilidade do uso, considerando que os resultados estão acima do mínimo estabelecido por norma ( $>0,20$  MPa), apesar das argamassas com agregado reciclado (AR) apresentarem menor potencial de aderência ao substrato.

Em análises sobre a utilização de AR em argamassas de encunhamento, método usado para fechar as frestas entre a última fiada de alvenaria e a estrutura, os autores verificaram que seu uso em substituição de 25% da areia natural é possível, já que, esse tipo de argamassa tem por característica ser menos rígida, inclusive conhecida como “argamassa podre”. A argamassa produzida apresentou características mecânicas parecidas com argamassa convencional, além de um custo 15% inferior (OLIVEIRA, A. B.; DE ALMEIDA, 2017).

Também foram feitos estudos sobre a utilização de agregados miúdos de concreto na produção de argamassas. Fernández *et al.* (2016) através de seus resultados e considerando os requisitos para argamassas de alvenaria para lugares internos, recomenda que a taxa máxima de substituição da areia natural por reciclados de concreto seja de 50% do volume total de agregados miúdos.

Silva, de Brito e Dhir (2016) ao final de seu estudo, apontam que apesar de terem encontrado alguns aspectos prejudiciais, esses poderiam ser facilmente superados e de modo geral, pode-se dizer que a utilização da fração mais fina do AR na produção de argamassas é viável para fins construtivos. Os autores utilizaram agregado reciclado de argamassa em novas argamassas, que demonstrou ser possível produzir paredes de alvenaria com desempenho mecânico equivalente ou até melhor do que as paredes de alvenaria com argamassas convencionais. Dessa forma, além de sua contribuição para o aumento da sustentabilidade na construção e melhoria técnica em alguns casos, esses materiais também podem atuar como uma alternativa econômica à areia natural, em situações em que ela não está facilmente disponível.

### **3.6. Utilização de jiges no beneficiamento de RCD**

Através da revisão bibliográfica apresentada anteriormente, observa-se que os diferentes materiais que compõe os agregados reciclados mistos são um fator limitante para seu uso. Em decorrência disso, estudos efetuados recentemente analisam formas de beneficiamento que resultem em agregados mais homogêneos. A Synapse Editora (2020) analisou uma listagem dos processos de separação nas plantas de processamento de RCD dos Estados Unidos e Europa, e identificou, além das etapas comumente existentes, a ocorrência de outro nível técnico, a separação final densimétrica com jiges a ar e espirais, Figura 16.



Figura 16 - (a) e (b): Jigues da Deisl-Beton, Salzburgo, Áustria.

Fonte: LIMA (2013).

O processo de jigagem consiste em repetidas pulsações verticais de um leito de partículas através de um meio fluido a ar ou água, denominados jigagem pneumática ou jigagem hidráulica, respectivamente (SANTOS, 2020). O resultado, ao final do processo, são sucessivas camadas de agregados separados por diferença de densidade, onde os agregados mais densos encontram-se na camada inferior, e os menos densos na camada superior (WASKOW, 2019). Assim se torna possível a separação das diferentes composições mineralógicas dos agregados reciclados mistos.

Hoffmann, Sampaio et al. (2020) estima que 20% dos reciclados inertes podem ser usados para produção de concreto estrutural. Esses 20% seriam a fração mais densa do material, com densidades próximas as de agregados naturais ( $\pm 2,7 \text{ g/cm}^3$ ). Esse fato foi observado também por Waskow (2019) na produção de concretos com agregados beneficiados com jigues a ar e Santos (2020) em jigue hidráulico.

Em sua pesquisa, Santos (2020) aplicou dois estágios de separação (duas jiguagens sucessivas), por meio do reprocessamento do produto denso concentrado no primeiro estágio, e obteve uma melhora na qualidade do agregado, estes mais concentrados e puros, tendo em algumas fases propriedades físicas próximas à da brita basáltica, e concretos com resistências à compressão entre 19,25 a 34,45 MPa. No primeiro estágio, consequentemente, houve uma grande quantidade de material com menores densidades que tiveram seu uso para concretos descartado, sendo necessário o encaminhamento desse material com maiores fases cimentícia e cerâmica para outras utilizações, como base e sub-base de estradas.

No Brasil, Angulo (2005), em um dos primeiros estudos sobre a relação da densidade nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclados, dividiu seu trabalho em duas fases. Na primeira fase foram executadas técnicas de separação densimétrica, onde se observou que faixas de menores densidades apresentaram teores mais altos de materiais não minerais contaminantes, como madeira, betume etc., se comparado com as faixas de densidade maiores. Além disso, os agregados reciclados cerâmicos representaram grande

parte da massa em faixas “ $d < 1,9 \text{ g/cm}^3$ ”, enquanto no intervalo “ $d > 2,5 \text{ g/cm}^3$ ”, os conteúdos da fase “rocha”, em massa, foram superiores a 80% e os da fase “cimentícia” no máximo 16%, reduzindo a heterogeneidade da composição de fases desses agregados.

Na segunda fase, foram produzidos concretos utilizando os agregados separados pelas faixas de densidade. Angulo (2005) verificou uma correlação linear entre a porosidade (ou massa específica aparente) dos concretos produzidos com agregados graúdos reciclados e a dos produzidos com brita natural, que para as mesmas densidades apresentaram valores de porosidade similares.

A porosidade dos agregados de RCD reciclados separados por densidade controla o comportamento mecânico dos concretos. Essa propriedade interfere na absorção de água e no módulo de elasticidade dos concretos, bem como na massa específica do concreto no estado fresco que influi nos valores de abatimento e consumo de aditivo.

Portanto, a utilização de Jigues traz a visão geral da reciclagem de resíduos para um novo patamar. Porém na indústria emergente, a barreira de entrada de equipamentos com custo operacional mais elevado reside antes do portão de entrada das recicladoras, isto é, na alimentação de resíduos mistos, considerando o baixo valor da tonelada da brita reciclada em comparação com o custo dessas operações (LIMA, 2013).

## **4. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

---

Diante do exposto na revisão bibliográfica, agregados reciclados possuem alto potencial de reciclagem. No entanto, é necessária a aplicação de medidas, como a recolha seletiva, para que em todos os tipos de obras, das mais diversas dimensões, haja contentores para o descarte seletivo dos entulhos gerados pela sua composição principal, como já é feito no sistema de lixo doméstico reciclável. Sistema que já possui grande adesão das pessoas, o que tornaria a reciclagem e reutilização de RCD mais viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

Sabe-se que o ponto principal para que isso seja possível é a educação da população e a interação em termos de economia circular, portanto que a correta gestão dos materiais beneficie também os produtores de resíduos. Contudo, considerando a atual gestão e a viabilidade econômica, visando atingir o objetivo deste trabalho, foi desenvolvido um procedimento de suporte, seguindo as especificações portuguesas, para que de acordo com as características do material, definir os processos a serem seguidos para seu uso mais adequado.

É importante ressaltar que a segurança e os riscos envolvidos resultantes de seu uso sempre devem ser tidos em consideração, não permitindo que haja materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

O procedimento desenvolvido consiste em um fluxograma com os ensaios obrigatório para caracterização de amostras de qualquer RCD, baseando-se nas especificações português do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para agregados reciclados em Portugal, para que se possa definir quais as utilizações desse material.

Após a realização dos processos a serem realizados, Figura 17, finalizado o fluxograma, segue-se para um quadro, Quadro B.1 do Anexo B, onde pode-se verificar quais os parâmetros cumpridos e definir a destinação do material.

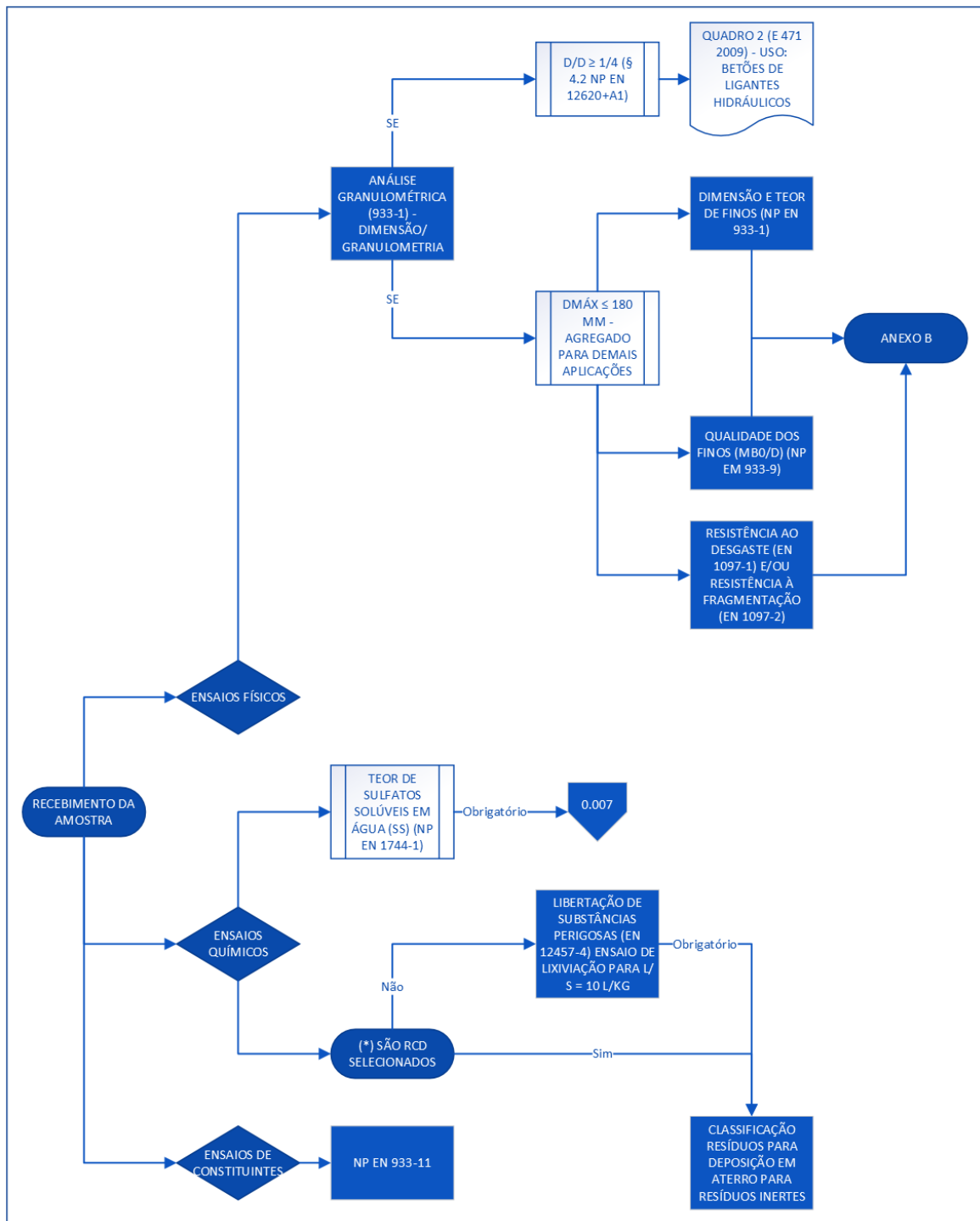


Figura 17 - Fluxograma da sequência de Ensaios obrigatório segundo o LNEC

(\*) São RCD selecionados:

- i) Os que tenham baixo teor de outros tipos de materiais (como metais, plástico, solo, matérias orgânicas, madeira, borracha, etc.);
- ii) Cujas origens sejam conhecidas;

- iii) Que não provenham de construções poluídas com substâncias inorgânicas ou orgânicas perigosas, por exemplo, devido a processos de transformação na construção, poluição do solo, armazenamento ou utilização de pesticidas ou de outras substâncias perigosas etc., exceto se for tornado claro que a construção demolida não estava significativamente poluída;
- iv) Que não provenham de construções tratados, cobertos ou pintados com materiais que contenham substâncias perigosas em quantidades significativas.

## **4.1. Aplicação do Procedimento**

Para a verificação da coerência do modelo criado, fez-se a caracterização laboratorial de agregados reciclados coletados em uma estação de tratamento de resíduos de construção e demolição no distrito de Bragança, Portugal.

A empresa se localiza na zona industrial de Mós, Figura 18.

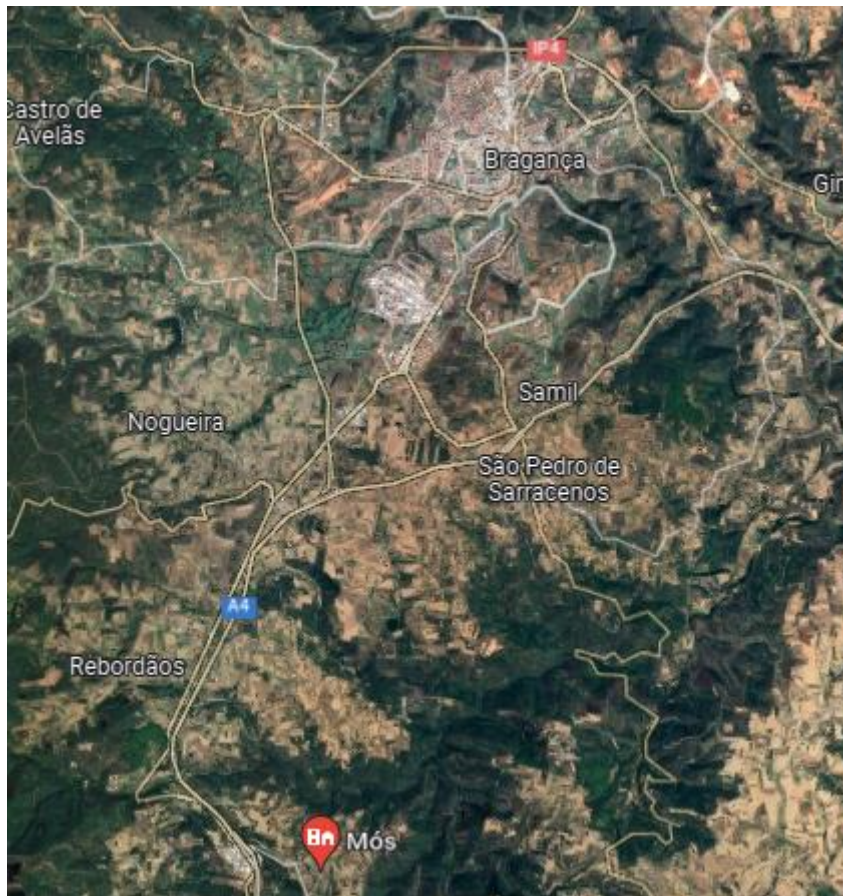


Figura 18 - Bragança e Zona industrial de Mós.

Fonte: GOOGLE EARTH (2022).

Foram coletadas amostras de 3 tipos de agregados reciclado, Figura 19. Dois dos materiais são RCD mistos com altas porcentagens de alvenaria que passaram por diferentes processos

na fase da crivagem, estes foram nomeados como Tijolo fino (*Material 1*) e Tijolo grosso (*Material 2*) respectivamente. O terceiro material é composto predominantemente de RCD resultante de demolição de estruturas de concreto e por argamassa, nomeado como *Tout Venant* (*Material 3*).



(a)

(b)

(c)

Figura 19 - (a) Tijolo Fino (0/16mm); (b) Tijolo grosso (10/40mm); (c) *Tout Venant* (0/40mm).

Seguindo o fluxograma as amostras foram submetidas aos ensaios físicos, de constituintes e ao ensaio químico presentes na Figura 17.

Físicos e de constituintes:

1. Granulometria;
2. Classificação dos agregados reciclados;
3. Azul de metileno (qualidade dos finos).
4. Massa volúmica e absorção de água;
5. Resistência à fragmentação ou ao desgaste;

Propriedades químicas:

1. Teor de sulfatos solúveis em água.

As amostras coletas atendem os requisitos para RCD selecionados, assim não se faz necessária a realização do ensaio de lixiviação, NP EN 12457-4.

Após a sequência de ensaios, os resultados foram analisados e foi feita a verificação dos parâmetros atendidos através quando B.1 do Anexo B, pág. 38.

As especificações do LNEC não determinam parâmetros para massa volúmica e absorção de água, exceto para o uso em concretos de ligantes hidráulicos. No entanto, foi realizada a determinação dessas propriedades, já que como é visto na literatura na maioria dos casos, a densidade dos agregados reciclados apresenta valores menores se comparado aos agregados naturais.

Para a verificação dos requisitos mínimos da resistência a fragmentação e ao desgaste dos agregados, alguns dos usos especificados pelo LNEC permitem a verificação por apenas um dos coeficientes, coeficiente micro-deval (MD) ou coeficiente Los Angeles (LA). O Laboratório onde os ensaios foram realizados não possuía o aparato para a verificação do coeficiente micro-deval (MD). Os agregados foram submetidos somente a avaliação da resistência à fragmentação, ensaio de Los Angeles, conforme preconizado na Norma Portuguesa NP EN 1097-2:2002.

## **4.2. Normalização aplicável**

Para a determinação das propriedades dos agregados descritas no item 4.1 foram utilizadas as seguintes normas:

**NP EN 933-11:2011** “Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate”.

**NP 1744-1:2009+A1:2014** “Ensaio para determinação das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química”.

**NP EN 933-1:2014** “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração”.

**NP EN 933-9:2009+A1:2017** “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Avaliação de finos– Ensaio do azul de metileno”.

**NP EN 1097-6:2003** “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água”.

**NP EN 1097-2:2002** “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação”.

### 4.3. Propriedades Físicas e Constituintes

#### 4.3.1. Granulometria

A composição granulométrica e teor de finos foram realizados de acordo com as especificações da NP EN 933-1:2014, Quadro 9. Na Figura 20 apresentam-se as curvas granulométricas obtidas para as amostras estudadas.

Quadro 9 - Granulometrias dos agregados reciclados

Dimensão das aberturas do peneiro (mm)	Percentagem cumulativa do material passado (%)		
	<i>Material 1</i>	<i>Material 2</i>	<i>Material 3</i>
63,0	-	100	100
40,0	-	97	94
31,5	-	68	83
20,0	100	23	66
16,0	94	14	62
14,0	87	8	58
12,5	83	5	54
10,0	71	2	49
8,0	57	1,2	44,6
6,3	47	1,1	41,2
4,0	33,9	1	34,1
2,0	23,8	1	25,6
1,0	17,6	1	18
0,500	13,2	0,8	11,7
0,250	9,3	0,7	6,4
0,125	7,3	0,6	4
0,063	5,8	0,5	2,3
<b>Percentagem de finos (f) que passa o peneiro de 63mm (%):</b>	<b>5,8</b>	<b>0,5</b>	<b>2,3</b>

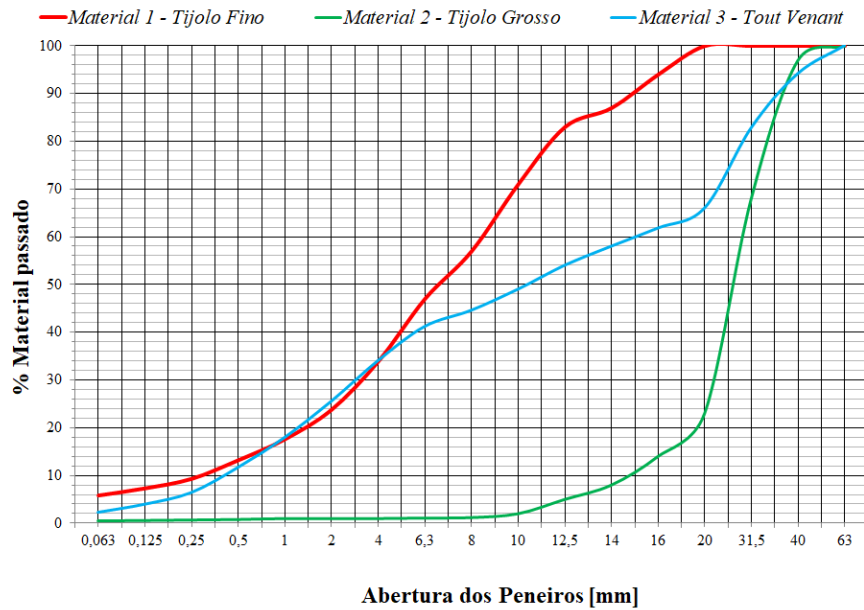


Figura 20 - Curvas granulométricas das amostras de agregados reciclados

O *Material 1* apresentou a dimensão máxima de 16mm, com o maior teor de finos, 5,8%, percentagem cumulativa passada no peneiro de 0,063 mm. Já o *Material 2* corresponde a maior dimensão máxima característica e teor de finos de apenas 0,5%. O *Material 3, Tout Venant*, é composto por uma granulometria extensa, com teor de finos de 2,3%.

Os três materiais estudados não atenderam o requisito  $D/d \geq 1/4$  (§ 4.2 NP EN 12620+A1) exigido pela LNEC E 471 – 2009, uso em concretos de ligantes hidráulicos, e assim descartou-se essa utilização.

Como todos as amostras apresentaram dimensão máxima de 150mm, parâmetro presente no Quadro B.1 do Anexo B, procedeu-se para os ensaios obrigatórios para as demais aplicações, seguindo o fluxograma, Figura 17.

#### 4.3.2. Azul de metileno (Qualidade dos finos)

O ensaio foi realizado para o *Material 1* e 3. O *Material 2* não apresentou finos suficientes.

Segundo o LNEC os resultados obtidos devem ser avaliados em função da representatividade do material com dimensão inferior a 2 mm presente na amostra, através do parâmetro MB0/D, sendo MB0/D o valor de azul de metileno (MB) expresso em g/kg segundo a norma de ensaio: **2009+A1:2017** multiplicado pela percentagem da fracção passada no peneiro 2mm.

Para cada material foi preparado um provete com agregados de dimensões 0/2mm e teor de água inicial inferior ou igual a 0,1%, os quais foram submetidos ao ensaio de acordo com o

Anexo A da NP 933-9 (2002) para a determinação do valor de Azul de Metileno da fracção granulométrica 0/2mm.

No Quadro 10 apresentam-se os resultados obtidos:

Quadro 10 - Valores do azul de metileno (MB) das amostras submetidas a ensaio

Agregado Reciclado	Azul de metileno (MB) (g/1000g)	MB0/D
<i>Material 1</i>	1,67	0,40
<i>Material 3</i>	1,33	0,34
MB0/D é o valor de azul de metileno (MB) expresso em g/kg segundo a norma de ensaio EN 933-9, multiplicado pela percentagem da fracção passada no peneiro 2 mm		

#### 4.3.3. Constituintes dos agregados reciclados

A NP EN 933-11 estabelece o ensaio de classificação dos constituintes de agregados reciclado, que consiste classificação manual de partículas de uma amostra de agregado reciclado graúdo (dimensão superior a 4 mm) em uma lista de constituintes. A proporção de cada constituinte da amostra é determinada e expressa em percentagem de massa, exceto para a proporção de partículas flutuantes que é expressa por volume de massa. Os resultados obtidos através dos ensaios estão presentes no Quadro 11.

Quadro 11 - Constituintes das amostras de agregados reciclados

Constituintes	Proporções (%)			Legenda:
	<i>Material 1 - Tijolo Fino</i>	<i>Material 2 - Tijolo Grosso</i>	<i>Material 3 - Tout Venant</i>	
<b>x</b>	0,02	0,09	0,00	<b>Rc:</b> Concreto, produtos de concreto e argamassas.
<b>Rc</b>	66,69	50,80	84,31	<b>Rb:</b> Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e concreto celular não flutuante.
<b>Ru</b>	11,99	6,59	15,41	
<b>Rb</b>	20,91	41,30	0,19	<b>Ru:</b> Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos.
<b>Ra</b>	0,00	0,00	0,00	
<b>Rg</b>	0,39	0,24	0,08	<b>Rg:</b> Vidro.
<b>Rs</b>	0,00	0,00	0,00	<b>Ra:</b> Materiais betuminosos.
<b>Rc +Ru</b>	78,68	57,39	99,71	<b>Rs:</b> Solos.
<b>Rc +Ru+Rg</b>	79,07	57,62	99,79	<b>FL:</b> Material flutuante.
<b>Rb +Rs</b>	20,91	41,30	0,19	<b>X (outros):</b> plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.
<b>FL (cm<sup>3</sup>)</b>	0	0	0	

Os 3 materiais não possuíram quantidade relevante de materiais flutuantes para a consideração no ensaio.

#### 4.3.4. Massa volúmica e absorção de água

A massa volúmica das partículas é calculada a partir da razão entre a massa e o volume. A sua determinação e a determinação da absorção de água foi feita pela NP EN 1097-6:2003.

A massa volúmica/densidade e absorção de água é exigida por norma apenas para o uso em concretos de ligantes hidráulicos LNEC E 471 – 2009, em razão de que como Carrijo (2005) aponta em seu estudo, concretos fabricados com agregados de massa específica menor geram concretos com resistências à compressão menores. Além disso, em agregados convencionais, a taxa de absorção de água não exerce quase nenhum tipo de influência nas misturas de concreto, pois os agregados apresentam pouca, ou nenhuma, porosidade. No entanto, a maior absorção dos agregados reciclados na mistura do concreto, gera a necessidade de uma maior quantidade de água para alcançar o abatimento necessário o que diminui a resistência mecânica e assim há a necessidade do aumento do consumo de cimento, o que aumenta o custo do concreto produzido (LEITE, 2001).

Os valores de massa volúmica e absorção de água das amostras ensaiadas estão presente no Quadro 12.

Quadro 12 - Massas volúmicas e absorção de água

Agregado Reciclado	Fração Ensaída (mm)	Massa Volúmica (Mg/m <sup>3</sup> )			Absorção de água (%)
		Material impermeável das partículas	Material das partículas secas em estufa	Material das partículas saturadas com a superfície seca	
<i>Material 1 - Tijolo Fino</i>	(0/4)	2,57	2,35	2,43	3,8
	(4/16)	2,56	2,35	2,43	3,5
<i>Material 2 - Tijolo Grosso</i>	(10/40)	2,46	2,11	2,25	6,7
<i>Material 3 - Tout Venant</i>	(0/4)	2,5	2,25	2,35	4,5
	(4/40)	2,54	2,24	2,36	5,2

O *Material 3* obteve o valor de massa volúmica de 2,24 Mg/m<sup>3</sup> para as partículas secas em estufa. Como visto na literatura, fases com altas porcentagens de concreto e rochas apresentam densidade acima de 2,4 Mg/m<sup>3</sup> e 2,65 Mg/m<sup>3</sup> respectivamente, conforme o esperado para os altos teores de argamassa em sua composição.

O *Material 2*, Tijolo grosso, resultou na menor densidade, como era esperado pela sua alta porcentagem de cerâmica vermelha.

O *Material 1*, Tijolo fino, apesar de também possuir altas porcentagens de cerâmica vermelha, pelo processo de crivagem, continha grãos mais cúbicos e menos angulares, que o *Material 2*, compostos por rochas e concreto. Dessa forma sua composição mais heterogênea resultou em valores mais altos de densidade, 2,35 Mg/m<sup>3</sup>, ainda que baixo em comparação com agregados naturais, acima de 2,65 Mg/m<sup>3</sup>.

Todos os materiais atenderam ao limite de absorção para materiais AR1 e AR2 prescrito pela E 471 – 2009 para o uso em concretos.

Quanto a massa volúmica, o *Material 1* e *3* atenderam ao limite mínimo para o AR1, AR2 e ARC. O *Material 2* atendeu apenas para o ARC.

## 4.4. Comportamento mecânico

### 4.4.1. Resistência à fragmentação

A avaliação da resistência à fragmentação das partículas de agregado grosso foi efetuada através do coeficiente de Los Angeles conforme preconizado na Norma Portuguesa NP EN 1097-2:2002 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Método para a determinação da resistência à fragmentação”.

Em razão da menor granulometria do *Material 1* foi encontrada dificuldade para obtenção da massa exigida pela norma, não sendo exequível. Os valores do coeficiente Los Angeles estão presentes no Quadro 13.

Quadro 13 - Coeficiente de Los Angeles

Agregado reciclado RCD	Coeficiente de Los Angeles (%)
<i>Material 1 - Tijolo Fino</i>	Não exequível
<i>Material 2 - Tijolo Grosso</i>	47,56
<i>Material 3 - Tout Venant</i>	43,71

Os valores máximos para uso em base de pavimentos é 40% e para sub-bases é 45%.

As amostras dos *Materiais 2 e 3* antes e após o ensaio estão apresentadas na Figura 21.



Figura 21 - Amostras antes e depois do ensaio de Los Angeles.

## 4.5. Propriedades Químicas

### 4.5.1. Teor de sulfatos solúveis em água

Para a aplicação destes materiais se faz necessário a verificação do cumprimento dos requisitos mínimos dos parâmetros químicos, considerando a particular importância uma vez que estes materiais, quando aplicados na construção rodoviária, podem estar sujeitos quer à ação da água proveniente da precipitação, quer à variação dos níveis freáticos (FREIRE; ANTUNES, 2009).

Para o ensaio foi seguido o preconizado na norma **NP 1744-1:2009+A1:2014** para agregados reciclados, Figura 22.



Figura 22 - Ensaio do teor de sulfatos solúveis em água.

O ensaio consiste em misturar um provete de  $25\text{g} \pm 0,1$  do agregado reciclado passante no peneiro de 4mm, em água a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para extrair os íons de sulfato solúveis em água. Foi adicionado uma solução de 10% de cloreto de bário para que os íons de sulfato precipitassem e o teor de sulfatos solúveis em água fosse possível de ser estimado por espectrofotometria, com o comprimento de onda de 420 nanômetros.

Os resultados do teor de Sulfatos Solúveis em percentagem para cada material estão presentes no Quadro 14.

Quadro 14 - Determinação do teor de sulfatos solúveis em água do RCD Ensaio

<b>Teor de sulfato solúveis em água - NP 1744-1+A1:2012</b>	
<b>Agregado reciclado RCD</b>	<b>Teor de Sulfatos Solúveis em água (%)</b>
<i>Material 1 - Tijolo Fino</i>	0,15
<i>Material 2 - Tijolo Grosso</i>	0,09
<i>Material 3 - Tout Venant</i>	0,21

O ataque por sulfatos é mais relevante em concretos, podendo ser de forma extrínseca e/ou intrínseca. Na primeira o concreto pode apresentar perda de massa e de resistência. Já no

ataque intrínseco, os resultados da reação dos sulfatos com a alumina ( $Al_2O_3$ ) do agregado ou do cimento, podem causar uma reação expansiva. Esta reação poderá provocar deterioração do concreto se a quantidade de sulfatos presente estiver acima de certo limite. Assim, para teores de sulfatos superiores a 0,2% estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de concreto, e estes materiais não devem ser usados conjuntamente com tubos em concreto.

Para as demais aplicações as especificações da LNEC limitam o teor máximo de 0,7%.

#### **4.6. Aplicabilidade do procedimento para caracterização dos agregados reciclados**

Após a realização dos ensaios, foi feita a verificação dos requisitos exigidos pelo LNEC, presentes no Quadro B.1, Anexo B, buscando efetuar o enquadramento dos materiais nos usos especificados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil. No entanto, o uso em camadas não ligadas de pavimentos, LNEC E 473 - 2009, além dos ensaios realizados, requer o cumprimento de requisitos ensaiados de acordo com normas específicas para pavimentos, Quadro B.1, não sendo realizadas neste estudo. Apesar disso para ter o uso verificado em pavimentos os materiais deverão ser submetidos a ensaios específicos, como a determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR).

Outro fator limitante encontrado é para o uso em camada envolvente (CE) e leito de assentamento (LA) no preenchimento de valas (E 485 - 2016), que se faz necessário a verificação da dimensão do agregado em razão do diâmetro nominal do tubo usado no projeto.

Assim, por meio do Quadro A.1, Anexo A, cada material em razão de seus constituintes recebeu a nomenclatura conforme as classificações especificadas pelo LNEC, Quadro C.1, C.2 e C.3, Anexo C. Após isso, utilizando o Quadro B.1, anexo B, foi feito o preenchimento de quais requisitos mínimos, geométricos, mecânicos e químicos, cada material atendeu.

Os resultados estão apresentados no Quadro C.4, Anexo C, para o *Material 1*, Quadro C.5, Anexo C, para o *Material 2* e Quadro C.6, Anexo C, para o *Material 3*. Os usos de cada material são apresentados no Quadro 15.

O *Material 3* atendeu as proporções de constituintes para todas as aplicações, exceto misturas betuminosas, verificando também a composição mineralógica, absorção de água, massa volúmica e resistência a fragmentação para uso em concretos. Apresentou também comportamento químico próximo ao permitido. No entanto, a geometria e granulometria não atendem os requisitos prescritos na LNEC E 471 (2009).

Quanto ao comportamento químico, sulfatos solúveis em água, apenas o *Material 3* apresentou valor acima do permitido em aplicações com distância inferior a 50 cm de componentes em concreto. Os *Materiais 1 e 2* possuíram valores abaixo do máximo permitido para as todas as aplicações.

Quadro 15 - Possíveis destinações das amostras caracterizadas

<b><i>Material 1 - Tijolo Fino</i></b>	
<b>Classes</b>	<b>Especificações LNEC</b>
<b>MB e C</b>	Em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte (E 474 - 2009)
<b>CRA</b>	Caminhos rurais e florestais (E 484 - 2016)
<b>MR1, MR2 E MR3</b>	Preenchimento de valas (E 485 - 2016)
<b><i>Material 2 - Tijolo Grosso</i></b>	
<b>C</b>	Em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte (E 474 - 2009)
<b>CRA</b>	Caminhos rurais e florestais (E 484 - 2016)
<b>MR2 E MR3</b>	Preenchimento de valas (E 485 - 2016)
<b><i>Material 3 - Tout Venant</i></b>	
<b>B, MB e C</b>	Em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte (E 474 - 2009)
<b>CRA, CRB e CRC</b>	Caminhos rurais e florestais (E 484 - 2016)
<b>MR1, MR2 e MR3</b>	Preenchimento de valas (E 485 - 2016)

No entanto apesar da verificação para obras de pavimentação segundos os requisitos prescritos pelo LNEC, ensaios para verificação do índice de forma, de achatamento e avaliação de Proctor, deverão ser realizadas de acordo com as características da obra.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

---

O presente trabalho teve como objetivo a criação de um procedimento para verificação do cumprimento ou não dos parâmetros mínimos de agregados reciclados de RCD de acordo com as aplicações especificadas pelo LNEC, para assegurar a segurança do uso de novos materiais.

A revisão da legislação, das políticas públicas e da literatura sobre resíduos de construção e demolição, presente nos Capítulos 2 e 3, evidenciou a importância do princípio da hierarquia da gestão de resíduos, da demolição seletiva, e da necessidade de fomentar os canais de escoamento para RCD contaminante.

Na revisão das normas técnicas a respeito do emprego de materiais reciclados, ambos os países possuem regulamentação do uso do agregado reciclado em obras geotécnicas, em bases e sub-bases de pavimentos e produção de concretos. O uso em argamassas como visto na literatura é aplicável, e já normatizado no Brasil em argamassas de cimento Portland, no entanto, em Portugal ainda não há normas para esse uso.

No capítulo 3, levando em consideração o custo ambiental, a produção de concretos estruturais utilizando os agregados de RCD é tecnicamente executável com a implantação de separadores de agregados por densidade (jigues) nas usinas de processamento. No entanto o equipamento não é comumente encontrado nas estações de reciclagem do Brasil e Portugal e representaria um alto custo de investimento.

O procedimento apresentado, exposto no capítulo 4, consistiu no agrupamento dos ensaios exigidos pelas especificações do LNEC em um fluxograma para que após a execução de suas etapas seja feita a verificação dos parâmetros mínimos para cada uso de acordo com o Quadro B.1 Anexo B. Seguindo o fluxograma foi feita a caracterização das 3 amostras, e por fim foram definidos os usos dos agregados reciclados.

Dentre os ensaios necessários, não foi possível realizar a verificação do coeficiente de resistência ao desgaste (micro-devall), pela falta do equipamento necessário no laboratório. Em razão disso, julgou-se que os ensaios exigidos pelo LNEC não são facilmente aplicáveis, e dificilmente seriam realizados em estações de tratamento. Apesar disso, a verificação dos parâmetros preconizados pelas especificações é imprescindível, já que caracterização ambiental dos materiais provenientes de RCD garante que sua utilização não traga riscos ambientais e que atende as propriedades mínimas físicas e mecânicas mínimas para cada uso.

A realização dos ensaios de azul de metileno e desgaste de Los Angeles não foi exequível para todas as amostras pela dificuldade de obter quantidade de material suficiente nas frações de ensaio. No entanto, os agregados reciclados compostos predominantemente por

concreto, alvenaria e rochas, podem facilmente ser submetidos aos métodos de ensaio das normas europeias.

As destinações em conformidade com o LNEC para os 3 materiais permitem o uso em aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte, caminhos rurais e florestais e para o preenchimento de valas. Comprovando que a comum heterogeneidade dos agregados reciclados é um fator limitante para a aplicação corrente em concretos.

Os resultados também reforçaram o encontrado na literatura. O *Material 3*, agregado reciclado com altas percentagens de argamassa e concreto, atende a composição, valores de massa volúmica e absorção de água para a produção de concretos. Assim, o material se submetido a novos processos de britagem e peneiramento pode ter seu uso verificado para produção de concretos.

## **5.1. Propostas para estudos futuros**

Como sugestões para estudos futuros propõem-se:

- a) Estudo sobre os índices de produção de resíduos per capita no Brasil e em Portugal;
- b) Verificação da atual gestão de RCD no Brasil, por meio de pesquisa direta com pequenos e grandes produtores;
- c) Análise comparativa entre a produção de agregado reciclado e agregado convencional, tendo em conta o custo financeiro e ambiental;
- d) Estudo sobre a utilização de RCD não mineral em novas aplicações;
- e) Estudo sobre a aplicação de técnicas no canteiro de obras para a obtenção de resíduos separados por seus constituintes e recolha seletiva;
- f) Utilização de agregado reciclado de concreto e argamassa na produção de concreto;
- g) Caracterização das amostras de agregado reciclado pelos requisitos exigidos pelas normas portuguesas específicas para agregados utilizados em base e sub-base de estradas.

## **REFERÊNCIAS**

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE**, [s. l.], p. 51, 2020.

ALGARVIO, Dora Alexandra Neto. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição: contribuição para controlo do processo**. Dissertação (Mestre em Gestão Integrada e Valorização de Resíduos) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Portugal, p. 92, 2009.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, p. 236, 2005.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente. Guia de Classificação de Resíduos. **Agência Portuguesa do Ambiente**, v. 1, [s. l.], p. 121, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114: Resíduos sólidos – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro. 2004. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos**. Rio de Janeiro. 2004. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: NBR 15116: Agregados reciclados para o uso em argamassas e concreto de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916: Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro. 2004. Rio de Janeiro. 2021.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 21 de set. 2021.

CABAÇO, Luísa Maria Ferreirinho. **Resíduos de Construção Civil Caso de Estudo : Construção de uma Via Ferroviária.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, p. 96, 2009.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra et al. Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD. *Minerva*, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 75–84, 2007.

CARRIJO, P M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, p. 129, 2005.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 933-9:2009+A1:2017: Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Avaliação de finos – Ensaio do azul de metileno.** Bélgica. 2017.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP 1744-1+A1-2014: Ensaios para determinação das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química.** Bélgica. 2012.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 1097-2-2002: Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação.** Bélgica. 2003.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 1097-6-2003: Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.** Bélgica. 2003.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 933-1-2014: Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração.** Bélgica. 2000.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 933-11-2011: Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.** Bélgica. 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a resolução CONAMA no 307 de 5 de julho de 2002, incluindo amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução nº 431, de 25 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n.º 307, de 5 de julho de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Brasília, 05 jul. 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n.º 448, de 19 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução n.º 307, de 5 de jul. 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

DOS SANTOS, Viviane Lopes Gschwenter. **Beneficiamento em jigue hidráulico para melhoria da qualidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição (rkd) utilizados em concretos.** Tese (Doutado em engenharia na modalidade acadêmica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola. Porto Alegre, p. 207, 2020.

DE OLIVEIRA, Alyne Brasil; DE ALMEIDA, Ingrid Michelly Lima. **Utilização de resíduos sólidos na composição de argamassa de encunhamento**. 19º Semana de Pesquisa da Universidade Tiradentes. Aracaju/SE, Brasil, p. 2, Anais 2017.

DE OLIVEIRA, Maria Elane Dias *et al.* **Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE**. Engenharia Sanitaria e Ambiental. Fortaleza/CE, Brasil, v. 16, n. 3, p. 219–224, 2011.

Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas.

EuroStat. Waste statistics. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics). Acesso em: 27 de julho de 2021.

EUROPEAN COMMISSION. **Framework Contract on the Sustainable Management of ResourcesNature**. [S. l.: s. n.], 2011.

FERNÁNDEZ-LEDESMA *et al.* **A proposal for the maximum use of recycled concrete sand in masonry mortar design**. Mater. Construcc, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2016.08414>. Acesso em: 27 de dez. de 2021.

FERREIRA, Cristina Isabel Sousa. **Resíduos de Construção e Demolição – Índices de Produção**. Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente – Especialização em Tecnologias de Remediação Ambiental - Faculdade de ciências da Universidade do Porto. Portugal, p. 1–75, 2013.

FERREIRA, Ruan Landolfo da Silva. **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN, Brasil, p. 150, 2017.

FREIRE, Ana Cristina; ANTUNES, Maria de Lurdes. **Caracterização de agregados reciclados produzidos em Portugal de acordo com o acervo normativo europeu**. Valorização de resíduos em obras geotécnicas – Caracterização e medidas para o

desenvolvimento do sector. Portugal, p. 17, 2009.

FROTTE, Camila *et al.* **Study of physical and mechanical concrete properties with partial replacement of natural aggregate by recycled aggregate from CDW.** *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, 2017.

GODINHO, Cláudia. **Gestão Integrada de Resíduos de Construção e Demolição – Análise de Casos de Estudo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Área de Especialização em Edificações) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa Área Departamental de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal, p. 1–96, 2011.

HENDRIKS, Ch F.; JANSSEN, G. M.T. **Reuse of construction and demolition waste in the Netherlands for road constructions.** *Heron*, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 109-117, 2001.

HOFFMANN SAMPAIO, Carlos *et al.* **Demolished concretes recycling by the use of pneumatic jigs.** *Waste Management and Research*, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 392–399, 2020.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção.** *Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção.* Salvador, Brasil, p. 27–45, 2001.

LEITE, Fabiana da Conceição *et al.* **Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements.** *Construction and Building Materials*. São Paulo, Brasil, v. 25, n. 6, p. 2972–2979, 2011.

LER - Lista Europeia de Resíduos, União Europeia (18 de dezembro 2014). Decisão 2014/955/UE e o Regulamento UE n.º 1357/2014.

LEVY, M.Sc. Salomon M. **Problemas geradores pelo entulho.** *A CONSTRUÇÃO*, [s. l.], v. 2653, n. 9, p. 119, 1998.

LIMA, Francisco. **A formação da mineração urbana no Brasil, reciclagem de RCD e a produção de agregados.** Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 178, 2013.

LNEC E 471 (2009) – Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos. Especificação LNEC.

LNEC E 472 (2009) – Guia para a reciclagem de misturas betuminosas a quente em central. Especificação LNEC.

LNEC E 473 (2009) – Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos. Especificação LNEC.

LNEC E 474 (2009) – Guia para a utilização de materiais reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte. Especificação LNEC.

LNEC E 483 (2016) – Guia para a utilização de agregados reciclados provenientes de misturas betuminosas recuperadas para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários. Especificação LNEC.

LNEC E 484 (2016) – Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em caminhos rurais e florestais. Especificação LNEC.

LNEC E 485 (2016) – Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em preenchimento de valas. Especificação LNEC.

JOHN, Vanderley Moacyr; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. Anais. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente / Cetesb, 2000.

MARTINS, Isabel M; ROQUE, António J; FREIRE, Ana C. **Caracterização ambiental de RCD – A experiência do LNEC**. Lisboa, Portugal, p. 1–4, 2017.

MIRANDA, Leonardo; ANGULO, Sérgio; CARELI, Élcio. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008 Recycling of construction and demolition waste in Brazil: 1986-2008**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57–71, 2009.

SILVA, Mônica. Fiscalização de Postura de Macapá monitora descarte irregular de lixo e entulhos em vias públicas. **Prefeitura de Macapá - Secretaria Municipal de Zeladoria**

**Urbana.** Publicado em 21 de novembro de 2021. Disponível em: <<https://macapa.ap.gov.br/fiscalizacao-de-postura-de-macapa-monitora-descarte-irregular-de-lixo-e-entulhos-em-vias-publicas/>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2022.

MORICONI, G.; CORINALDESI, V.; ANTONUCCI, R. Environmentally-friendly mortars: A way to improve bond between mortar and brick. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, Itália, v. 36, n. 264, p. 702–708, 2003.

OSSA, A.; GARCÍA, J. L.; BOTERO, E. **Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry.** *Journal of Cleaner Production*, Mexico, v. 135, p. 379–386, 2016.

PEREIRA, L.; AGUIAR, S. Jalali B. **Gestão dos Resíduos da Construção e Demolição.** Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. Guimarães, Portugal, p. 1–13, 2004.

PEREIRA, Paulo Miguel; VIEIRA, Castorine Silva. **Resíduos de Construção e Demolição. Um estado de arte visando a sua valorização em Trabalhos Geotécnicos.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2013.

PINTO, Carlos Henrique Catunda; DOS SANTOS, Alcimar Laurentino; CATUNDA, Ana Clea Marinho Miranda. **Percepção da legislação ambiental, gestão e destinação final dos RCD – Resíduos da Construção e Demolição: um estudo de caso em Parnamirim/RN/Brasil.** *Holos*, [s. l.], v. 2, p. 49, 2015.

PORTUGAL. Decreto-Lei n.º 102-D, de 10 de dezembro de 2020. Aprova o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos, transpondo as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852. *Diário da República* n.º 239/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-10. Portugal, 2020.

PORTUGAL. Presidência do Conselho de Ministros. Decreto-Lei n.º 488/85, de 25 de novembro de 1985. Estabelece normas sobre os resíduos sólidos. *Diário da República* n.º 271/1985, Série I de 1985-11-25. Portugal, 1985.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Decreto-lei 178/2006, de 5 de setembro. Aprova o regime geral da gestão de resíduos, transpondo as Diretivas n.º 2006/12/CE (EUR-Lex) e n.º 91/689/CEE (EUR-Lex). Cria o Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER). Altera os Decretos-Lei n.º 194/2000, n.º 3/2004 e n.º 85/2005. Diário da República n.º 171/2006, Série I de 2006-09-05. Portugal, 2006.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Decreto-lei 46/2008, de 12 de março. Aprova o regime da gestão de resíduos de construção e demolição. Diário da República n.º 51/2008, Série I de 2008-03-12. Portugal, 2008.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho de 2006. Altera o Decreto-Lei n.º 178/2006, transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE e procede à alteração de diversos regimes jurídicos na área dos resíduos. Diário da República n.º 116/2011, Série I de 2011-06-17, páginas 3251 - 3300. Portugal, 2006.

PORTUGAL. Decreto-Lei n.º 102-D, de 10 de dezembro de 2020. Aprova o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos, transpondo as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852. Diário da República n.º 239/2020, 1.º Suplemento, Série I de 2020-12-10. Portugal, 2020.

DESCARTE IRREGULAR DE ENTULHO É CRIME E POPULAÇÃO PODE DENUNCIAR. **Prefeitura de Aparecida**. Publicado dia 15 de abril de 2021. Disponível em: < <https://www.aparecida.go.gov.br/descarte-irregular-de-entulho-e-crime-e-populacao-pode-denunciar/>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2022.

QUEIROZ, Rita Flávia Régis *et al.* **Análise da capacidade de suporte em camadas granulares de pavimentos com adição de rcd**. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências., Brasil, 2020.

RESTUCCIA, Luciana *et al.* **Recycled Mortars with C&D Waste**. Science Direct, Catania, Itália, p. 9, 2016.

SALVI, Chanalisa Ruggini S. **Estudo da viabilidade da utilização de agregados reciclados provenientes de rcd em estradas rurais e florestais**. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal p. 129, 2020.

SOUSA, M. K. O.; BALDUINO, A. R. **Aproveitamento do RCD como base e sub-base em pavimentações com baixo volume de tráfego no município de porto nacional**. *Inventionis*, v.1, n.2, p.19-29, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6395.2019.002.0003>.

**Resíduos Sólidos: Desafios e perspectivas**. SYNAPSE EDITORA, Belo Horizonte, MG, p. 147, mês, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.36599/editpa-2020\\_res](https://doi.org/10.36599/editpa-2020_res). Acesso em: 10 de outubro de 2021.

TANAKA, Graciele M *et al.* **Efeitos do tipo de Areia de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) nas propriedades de argamassa de cimento e areia**. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, n. 1, 2010.

VANDERLEY; AGOPYAN. **Reciclagem de resíduos da construção**. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP (PCC USP), São Paulo, p. 14, 2000.

WAHLSTRÖM, M. *et al.* **Environmental quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in earth constructions**. *Studies in Environmental Science*, [s. l.], v. 71, n. C, p. 725–734, 1997.

WASKOW, Régis Pereira. **Avaliação técnica, ambiental e econômica do uso do jigue a ar na reciclagem do resíduo da construção e demolição (RCD) brasileiro**. Tese (Doutado em engenharia na modalidade acadêmica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 147. 2019.

KAZA, Silpa et al. **What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington, DC: World Bank, Outubro de 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 24 de janeiro de 2021.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A utilização do entulho como agregado, na confecção o do concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil - FEC, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas, São Paulo, p. 140. 1997.

ANEXO A

Quadro A.1 – Classificação dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD)

Classificação dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD)												Constituintes (NP EN 933-11):															
Usos	Classes	Proporção dos constituintes										<b>Rc:</b> Concreto, produtos de concreto e argamassas. <b>Rb:</b> Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e concreto celular não flutuante. <b>Ru:</b> Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos. <b>Rg:</b> Vidro. <b>Ra:</b> Materiais betuminosos. <b>Rs:</b> Solos. <b>FL:</b> Material flutuante. <b>X (outros):</b> Plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.															
		Ra (%)	Rb (%)	Rc (%)	Rc+Ru (%)	Rg (%)	Rc+Ru+Rg (%)	Rb+Rs (%)	X (%)	X+Rg (%)	FL (cm <sup>3</sup> /kg)			FL (%)													
1	ARB1	≤ 5	≤ 10	≥ 90						≤ 0,5		≤ 2	<b>Rg:</b> Vidro.														
	ARB2	≤ 5	≤ 30	≥ 70						≤ 1		≤ 2		<b>Ra:</b> Materiais betuminosos. <b>Rs:</b> Solos.													
	ARC	≤ 10	≥ 90							≤ 2		≤ 2															
2	MAT B	≤ 5				≤ 10	≥ 90	≤ 10	≤ 1			≤ 5	<b>FL:</b> Material flutuante.														
	MAT MB	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 70	≤ 1			≤ 5															
	MAT C	≤ 30				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1			≤ 5															
3	AGER B	≤ 5	≤ 10			≤ 5	≥ 90		≤ 1			≤ 5	<b>X (outros):</b> Plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.														
	AGER C	≤ 30	≤ 10			≤ 5	≥ 50		≤ 1			≤ 5															
4	CRA	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1		≤ 5		<table border="1"> <tr> <th>Constituintes</th> <th>Amostra:</th> </tr> <tr> <td></td> <td>Proporções (%)</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rc</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ru</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rb</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ra</td> <td></td> </tr> </table>	Constituintes	Amostra:		Proporções (%)	x		Rc		Ru		Rb		Ra	
	Constituintes	Amostra:																									
		Proporções (%)																									
x																											
Rc																											
Ru																											
Rb																											
Ra																											
CRB	≤ 80				≤ 5	≥ 20	≤ 10	≤ 1		≤ 5																	
CRC	≤ 30				≤ 5	≥ 50	≤ 10	≤ 1		≤ 5																	
5	MR1	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 30	≤ 1	≤ 5			<b>Rc+Ru+Rg</b>														
	MR2	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																	
	MR3	≤ 10				≤ 5	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																	
6	RAP	> 30 e ≤ 100				≤ 5	≤ 40		≤ 1			≤ 5	<b>Rb+Rs</b>														
1	Concretos de ligantes hidráulicos - LNEC E 471 – 2009					4	Caminhos rurais e florestais - LNEC - E 484 - 2016					<b>Rg</b>															
2	Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte - LNEC E 474 - 2009					5	Preenchimento de valas - LNECE 485 - 2016					<b>Rs</b>															
3	Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)					6	Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários - LNEC E 483 - 2016					<b>Rc+Ru</b>															
(a) A massa M1, usada na determinação das proporções relativas dos constituintes, corresponde a todo o material com partículas de dimensão superior a 4 mm e inferior as dimensões máximas de cada material, Quadro B.1, Anexo B.												<b>Rc+Ru+Rg</b>															
(b) A massa mínima M1 a tomar para ensaio é de 80 kg se 63 mm < Dmax ≤ 80 mm ou de 120 kg se 80 mm < Dmax ≤ 180 mm.												<b>Rb+Rs</b>															
(c) A massa do constituinte solo (“argila e solo”), separada do resto da amostra durante o procedimento de ensaio estabelecido na NP EN 933-11, será determinada e designar-se-á por MS. Esta massa não será adicionada à dos restantes materiais incluídos na massa MX referida na NP EN 933-11.												<b>FL (cm<sup>3</sup>)</b>															
A proporção do solo na amostra é calculada a partir da equação: $RS (\%) = 100 \times (MS / M1)$												<b>Rc+Rb+Ru</b>															

ANEXO A

Quadro A.2 – Aplicações dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) conforme sua classificação

Aplicações		Classificações													
		CR1	CR2	CR3	CR4	AGEr1	AGEr2	AGEr3	MR1	MR2	MR3	B	C	MB	RAP
<b>Caminhos rurais e florestais</b>	Aterros														
	Leito do pavimento														
	Sub-base de caminhos														
	Base do pavimento														
	Camada de desgaste não revestida														
<b>Pavimentos rodoviários <sup>1</sup></b>	Sub-base														
	Base														
<b>Preenchimento de valas</b>	Parte superior do aterro (PSA2)														
	Parte inferior do aterro (PIA)														
	Leito de assentamento (LA)														
	Camada envolvente (CE)														
<b>Infraestruturas de transporte</b>	Aterro														
	Camada de leito														

<sup>1</sup> Deve ser verificado o TMDp (Tráfego médio diário de pesados por via) máximo de cada material (LNEC E 473/2009 e LNEC E 483/2016).

## ANEXO A

Quadro A.3 – Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados - ABNT NBR 15115/2004

<b>Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos agregados reciclados - ABNT NBR 15115/2004</b>				
<b>Norma de ensaio</b>	<b>Aplicações</b>			
	<b>Reforço de subleito</b>	<b>Sub-base</b>	<b>Base de pavimento</b>	<b>Revestimento Primário Casalhamento</b>
<b>Composição</b>	Agregados Classe A			
<b>ABNT NBR 7809</b>	Grãos de forma lamelar máximo admissível de 30%, em massa			
<b>Dimensão característica máxima dos grãos</b>	63,5 mm (tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa, na peneira de 63,5 mm), limitada a 2/3 da espessura da camada compactada			
<b>Não específica</b>	Materiais indesejáveis de grupos distintos: máximo de 3% em massa			
	Materiais indesejáveis de mesmo grupo: máximo de 2% em massa			
<b>ABNT NBR 7181</b>	Contínua e bem graduada, não uniforme, com coeficiente de uniformidade $C_u \geq 10$ ( $C_u = D_{60} / D_{10}$ )			
<b>Curva Granulométrica</b>	10% e 40% passante 0,42 mm (nº 40)			
<b>Índice de Suporte Califórnia (CBR) ABNT NBR 9895 <sup>2</sup></b>	CBR $\geq 12\%$ , expansão 1,0%	CBR $\geq 20\%$ , expansão $\leq 1,0\%$	CBR $\geq 60\%$ , expansão $\leq 0,5\%$ <sup>1</sup>	$\geq 20\%$ e expansão $\leq 1,0\%$
	Energia de compactação normal - ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457	Energia de compactação intermediária - ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457		Energia de compactação normal
<sup>1</sup> : é permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 106$ repetições do eixo-padrão de 80 kN no período de projeto				
<sup>2</sup> : No caso de materiais que não atendam às exigências, estes podem ser estabilizados granulometricamente, conforme a ABNT NBR 11804, ou com adição de Cimento e/ou cal hidratada, e neste caso ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, após 7 dias de cura, devendo apresentar resistência de no mínimo 2,1 MPa, em corpos-de-prova moldados na energia de compactação especificada;				

ANEXO B

Quadro B.1 – Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos materiais reciclados

Amostra:	
Origem:	
Data da Colheita:	
Local da Colheita:	

Requisitos de conformidade			Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos materiais reciclados															
			Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte (E 474 - 2009)			Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)			Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários (E 483 - 2016)	Caminhos rurais e florestais (E 484 - 2016)				Preenchimento de valas (E 485 - 2016)				
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	MAT1	MAT2	AGER1	AGER2	AGER3	RAP	CR1	CR2	CR3	CR4	CE/LA	PSA2/PIA	PSA1			
			B, MB e C	B e C	MB	B ou C	B ou C	B		CRA, CRB, CRC	CRA, CRB, CRC	CRB, CRC	CRC	MR3	MR1, MR2 e MR3	MR1		
Geométricos e de natureza	Dimensão (EN 933-1+A1)	–	D <sub>max</sub> ≤ 150			D <sub>max</sub> < D <sub>max</sub> <												
		EN 13285				0/31,5	0/31,5	0/31,5	0/31,5									
	Qualidade dos finos (NP EM 933-9) (2)	NP EN 933-1 (1)									D <sub>max</sub> ≤ 180 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm	D <sub>max</sub> ≤ 20 mm, se DN (9) ≤ 200 ≤ 40 mm, se 200 ≤ DN ≤ 600 ≤ 63 mm, se DN > 600 (10)		D <sub>max</sub> ≤ 180 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80 mm
		EN 933-9	MB0/D < 2	MB0/D < 1	MB0/D < 1													
		EN 13242+A1	MB0/D ≤ 1,0			MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8										
		EN 933-9 (3)								–	MB0/D ≤ 2,0	MB0/D ≤ 2,0	MB0/D ≤ 1,0	–	–	< 2,0		
	Teor de finos (EN 933-1+A1)	LNEC E 196 (passado no peneiro 80 µm)	≤ 10%	≤ 10%	≤ 10%													
		EN 13285				UF9	UF9	UF9	UF9									
	Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (EN 933-5)	NP EN 933-1 (≤ 0,063 mm)				LF2	LF2	LF2	UF9	–	≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%	–	≤ 12%		
		EN 13242+A1				C50/30	C50/10	C90/3	C90/3									
–																		
EN 13285					GB	GB	GA	GP										
Sobretamanhos (EN 933-1+A1)	–																	
	EN 13285				OC75	OC80	OC85	OC75										
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação (EN 1097-2) e Resistência ao desgaste (EN 1097-1)	NP EN 1097-2 e EN 1097-1+A1	–	LA ≤ 45	MDE ≤ 45													
		EN 13242+A1				LA45 e MDE45 ou LA+MDE ≤ 85	LA40 e MDE40 ou LA+MDE ≤ 75	LA40 e MDE35 ou LA+MDE ≤ 70	LA40									
		NP EN 1097-2 e EN 1097-1+A1								–	LA ≤ 50	LA ≤ 45 ou MDE ≤ 45	LA ≤ 40 ou MDE ≤ 40	–	–	LA ≤ 45 e MDE ≤ 45		
Químico	Teor de sulfatos solúveis em água (SS) (NP EN 1744-1) (4)	EN 1744-1	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%													
		EN 13242+A1				SS0,7	SS0,7	SS0,7	SS0,7									
	Libertação de substâncias perigosas (5)	NP EN 1744-1																
		EN 12457.4				Classificação como resíduos para deposição em aterro para resíduos inertes												
	Teor em betume	EN 12457-4																
		EN 12697-1				≤ 8%												

- 1 Para D<sub>max</sub> nominal > 90 mm, a sua dimensão máxima deve ser determinada de acordo com o estabelecido na norma EN 13383-2,
- 2 MB0/D é o valor de azul de metileno (MB) expresso em g/kg segundo a norma de ensaio EN 933-9, multiplicado pela percentagem da fracção passada no peneiro 2 mm
- 3 Esta avaliação apenas deve ser realizada se o teor em finos for superior a 3%
- 4 Para teores de sulfatos superiores a 0,2% ou SS > 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de concreto. Estes materiais não devem ser usados conjuntamente com tubos em concreto
- 5 A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – Tabela N.º 2 da Parte B do Anexo IV do Decreto-Lei 183/2009 (Secção 2.1.2.1, da Decisão do Conselho 2003/33/CE). De
- 9 DN = Diâmetro Nominal do tubo
- 10 Os valores de D e de DN foram adaptados de FprEN 1610

ANEXO C

Quadro C.1 – Classificação do *Material 1 - Tijolo Fino*

Classificação dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD)												Constituintes (NP EN 933-11):																																										
Usos	Classes	Proporção dos constituintes										Rc: Concreto, produtos de concreto e argamassas.																																										
		Ra (%)	Rb (%)	Rc (%)	Rc+Ru (%)	Rg (%)	Rc+Ru+Rg (%)	Rb+Rs (%)	X (%)	X+Rg (%)	FL (cm <sup>3</sup> /kg)	FL (%)	Rb: Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e concreto celular não flutuante.																																									
1	ARB1	≤ 5	≤ 10	≥ 90						≤ 0,5		≤ 2	Ru: Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos.																																									
	ARB2	≤ 5	≤ 30	≥ 70						≤ 1		≤ 2	Rg: Vidro.																																									
	ARC	≤ 10	≥ 90							≤ 2		≤ 2	Ra: Materiais betuminosos.																																									
2	MAT B	≤ 5				≤ 10	≥ 90	≤ 10	≤ 1			≤ 5	Rs: Solos.																																									
	MAT MB	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 70	≤ 1			≤ 5	FL: Material flutuante.																																									
	MAT C	≤ 30				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1			≤ 5	X (outros): Plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.																																									
3	AGER B	≤ 5	≤ 10			≤ 5	≥ 90		≤ 1			≤ 5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Constituintes</th> <th>Amostra:</th> <th>Materia 1 0/16</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>x</td> <td></td> <td>Proporções (%)</td> </tr> <tr> <td>Rc</td> <td></td> <td>0,02</td> </tr> <tr> <td>Ru</td> <td></td> <td>66,69</td> </tr> <tr> <td>Rb</td> <td></td> <td>11,99</td> </tr> <tr> <td>Ra</td> <td></td> <td>20,91</td> </tr> <tr> <td>Rg</td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Rs</td> <td></td> <td>0,39</td> </tr> <tr> <td>Rc+Ru</td> <td></td> <td>78,68</td> </tr> <tr> <td>Rc+Ru+Rg</td> <td></td> <td>79,07</td> </tr> <tr> <td>Rb+Rs</td> <td></td> <td>20,91</td> </tr> <tr> <td>FL (cm<sup>3</sup>)</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Rc+Rb+Ru</td> <td></td> <td>99,59</td> </tr> </tbody> </table>			Constituintes	Amostra:	Materia 1 0/16	x		Proporções (%)	Rc		0,02	Ru		66,69	Rb		11,99	Ra		20,91	Rg		0,00	Rs		0,39	Rc+Ru		78,68	Rc+Ru+Rg		79,07	Rb+Rs		20,91	FL (cm <sup>3</sup> )		0	Rc+Rb+Ru		99,59
	Constituintes	Amostra:	Materia 1 0/16																																																			
x		Proporções (%)																																																				
Rc		0,02																																																				
Ru		66,69																																																				
Rb		11,99																																																				
Ra		20,91																																																				
Rg		0,00																																																				
Rs		0,39																																																				
Rc+Ru		78,68																																																				
Rc+Ru+Rg		79,07																																																				
Rb+Rs		20,91																																																				
FL (cm <sup>3</sup> )		0																																																				
Rc+Rb+Ru		99,59																																																				
AGER C	≤ 30	≤ 10			≤ 5	≥ 50		≤ 1				≤ 5																																										
4	CRA	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1		≤ 5																																											
	CRB	≤ 80				≤ 5	≥ 20	≤ 10	≤ 1		≤ 5																																											
	CRC	≤ 30				≤ 5	≥ 50	≤ 10	≤ 1		≤ 5																																											
5	MR1	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 30	≤ 1	≤ 5																																												
	MR2	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																																												
	MR3	≤ 10				≤ 5	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																																												
6	RAP	> 30 e ≤ 100				≤ 5	≤ 40		≤ 1			≤ 5																																										
1	Concretos de ligantes hidráulicos - LNEC E 471 - 2009					4	Caminhos rurais e florestais - LNEC - E 484 - 2016																																															
2	Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte - LNEC E 474 - 2009					5	Preenchimento de valas - LNECE 485 - 2016																																															
3	Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)					6	Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários - LNEC E 483 - 2016																																															
(a)A massa M1, usada na determinação das proporções relativas dos constituintes, corresponde a todo o material com partículas de dimensão superior a 4 mm e inferior as dimensões máximas de cada material, Quadro B.1, Anexo B.																																																						
(b)A massa mínima M1 a tomar para ensaio é de 80 kg se 63 mm < Dmax ≤ 80 mm ou de 120 kg se 80 mm < Dmax ≤ 180 mm.																																																						
(c)A massa do constituinte solo (“argila e solo”), separada do resto da amostra durante o procedimento de ensaio estabelecido na NP EN 933-11, será determinada e designar-se-á por MS. Esta massa não será adicionada à dos restantes materiais incluídos na massa MX referida na NP EN 933-11.																																																						
A proporção do solo na amostra é calculada a partir da equação: RS (%) = 100 × (MS / M1 )																																																						

ANEXO C

Quadro C.2 – Classificação do *Material 2 - Tijolo Grosso*

Classificação dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD)												Constituintes (NP EN 933-11):																																												
Usos	Classes	Proporção dos constituintes										Rc: Concreto, produtos de concreto e argamassas.																																												
		Ra (%)	Rb (%)	Rc (%)	Rc+Ru (%)	Rg (%)	Rc+Ru+Rg (%)	Rb+Rs (%)	X (%)	X+Rg (%)	FL (cm <sup>3</sup> /kg)	FL (%)	Rb: Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e concreto celular não flutuante.																																											
1	ARB1	≤ 5	≤ 10	≥ 90					≤ 0,5		≤ 2	Ru: Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos.																																												
	ARB2	≤ 5	≤ 30	≥ 70					≤ 1		≤ 2	Rg: Vidro.																																												
	ARC	≤ 10		≥ 90					≤ 2		≤ 2	Ra: Materiais betuminosos.																																												
2	MAT B	≤ 5				≤ 10	≥ 90	≤ 10	≤ 1		≤ 5	Rs: Solos.																																												
	MAT MB	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 70	≤ 1		≤ 5	FL: Material flutuante.																																												
	MAT C	≤ 30				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1		≤ 5	X (outros): Plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.																																												
3	AGER B	≤ 5	≤ 10			≤ 5	≥ 90		≤ 1		≤ 5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Constituintes</th> <th>Amostra:</th> <th>Material 2 10/40</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Proporções (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>x</td> <td></td> <td>0,09</td> </tr> <tr> <td>Rc</td> <td></td> <td>50,80</td> </tr> <tr> <td>Ru</td> <td></td> <td>6,59</td> </tr> <tr> <td>Rb</td> <td></td> <td>41,30</td> </tr> <tr> <td>Ra</td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Rg</td> <td></td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>Rs</td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Rc+Ru</td> <td></td> <td>57,39</td> </tr> <tr> <td>Rc+Ru+Rg</td> <td></td> <td>57,62</td> </tr> <tr> <td>Rb+Rs</td> <td></td> <td>41,30</td> </tr> <tr> <td>FL (cm<sup>3</sup>)</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Rc+Rb+Ru</td> <td></td> <td>98,69</td> </tr> </tbody> </table>			Constituintes	Amostra:	Material 2 10/40	Proporções (%)			x		0,09	Rc		50,80	Ru		6,59	Rb		41,30	Ra		0,00	Rg		0,24	Rs		0,00	Rc+Ru		57,39	Rc+Ru+Rg		57,62	Rb+Rs		41,30	FL (cm <sup>3</sup> )		0	Rc+Rb+Ru		98,69
	Constituintes	Amostra:	Material 2 10/40																																																					
Proporções (%)																																																								
x		0,09																																																						
Rc		50,80																																																						
Ru		6,59																																																						
Rb		41,30																																																						
Ra		0,00																																																						
Rg		0,24																																																						
Rs		0,00																																																						
Rc+Ru		57,39																																																						
Rc+Ru+Rg		57,62																																																						
Rb+Rs		41,30																																																						
FL (cm <sup>3</sup> )		0																																																						
Rc+Rb+Ru		98,69																																																						
AGER C	≤ 30	≤ 10			≤ 5	≥ 50		≤ 1			≤ 5																																													
4	CRA	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1		≤ 5																																													
	CRB	≤ 80				≤ 5	≥ 20	≤ 10	≤ 1		≤ 5																																													
	CRC	≤ 30				≤ 5	≥ 50	≤ 10	≤ 1		≤ 5																																													
5	MR1	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 30	≤ 1	≤ 5																																														
	MR2	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																																														
	MR3	≤ 10				≤ 5	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																																														
6	RAP	> 30 e ≤ 100				≤ 5	≤ 40		≤ 1		≤ 5																																													
1	Concretos de ligantes hidráulicos - LNEC E 471 - 2009					4	Caminhos rurais e florestais - LNEC - E 484 - 2016																																																	
2	Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte - LNEC E 474 - 2009					5	Preenchimento de valas - LNECE 485 - 2016																																																	
3	Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)					6	Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários - LNEC E 483 - 2016																																																	
(a)A massa M1, usada na determinação das proporções relativas dos constituintes, corresponde a todo o material com partículas de dimensão superior a 4 mm e inferior as dimensões máximas de cada material, Quadro B.1, Anexo B.														57,62																																										
(b)A massa mínima M1 a tomar para ensaio é de 80 kg se 63 mm < Dmax ≤ 80 mm ou de 120 kg se 80 mm < Dmax ≤ 180 mm.														41,30																																										
(c)A massa do constituinte solo (“argila e solo”), separada do resto da amostra durante o procedimento de ensaio estabelecido na NP EN 933-11, será determinada e designar-se-á por MS. Esta massa não será adicionada à dos restantes materiais incluídos na massa MX referida na NP EN 933-11.														0																																										
A proporção do solo na amostra é calculada a partir da equação: RS (%) = 100 × (MS / M1 )														98,69																																										

ANEXO C

Quadro C.3 – Classificação do *Material 3 - Tout Venant*

Classificação dos materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD)												Constituintes (NP EN 933-11):																																												
Usos	Classes	Proporção dos constituintes										Rc: Concreto, produtos de concreto e argamassas.																																												
		Ra (%)	Rb (%)	Rc (%)	Rc+Ru (%)	Rg (%)	Rc+Ru+Rg (%)	Rb+Rs (%)	X (%)	X+Rg (%)	FL (cm <sup>3</sup> /kg)	FL (%)	Rb: Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e concreto celular não flutuante.																																											
1	ARB1	≤ 5	≤ 10	≥ 90					≤ 0,5		≤ 2	Ru: Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos.																																												
	ARB2	≤ 5	≤ 30	≥ 70					≤ 1		≤ 2	Rg: Vidro.																																												
	ARC	≤ 10		≥ 90					≤ 2		≤ 2	Ra: Materiais betuminosos.																																												
2	MAT B	≤ 5				≤ 10	≥ 90	≤ 10	≤ 1		≤ 5	Rs: Solos.																																												
	MAT MB	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 70	≤ 1		≤ 5	FL: Material flutuante.																																												
	MAT C	≤ 30				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1		≤ 5	X (outros): Plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque.																																												
3	AGER B	≤ 5	≤ 10			≤ 5	≥ 90		≤ 1		≤ 5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Constituintes</th> <th>Amostra:</th> <th>Material 3 0/40</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Proporções (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>x</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Rc</td> <td></td> <td>84,31</td> </tr> <tr> <td>Ru</td> <td></td> <td>15,41</td> </tr> <tr> <td>Rb</td> <td></td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Ra</td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Rg</td> <td></td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td>Rs</td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Rc+Ru</td> <td></td> <td>99,71</td> </tr> <tr> <td>Rc+Ru+Rg</td> <td></td> <td>99,79</td> </tr> <tr> <td>Rb+Rs</td> <td></td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>FL (cm<sup>3</sup>)</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Rc+Rb+Ru</td> <td></td> <td>99,91</td> </tr> </tbody> </table>			Constituintes	Amostra:	Material 3 0/40	Proporções (%)			x		0	Rc		84,31	Ru		15,41	Rb		0,19	Ra		0,00	Rg		0,08	Rs		0,00	Rc+Ru		99,71	Rc+Ru+Rg		99,79	Rb+Rs		0,19	FL (cm <sup>3</sup> )		0	Rc+Rb+Ru		99,91
	Constituintes	Amostra:	Material 3 0/40																																																					
Proporções (%)																																																								
x		0																																																						
Rc		84,31																																																						
Ru		15,41																																																						
Rb		0,19																																																						
Ra		0,00																																																						
Rg		0,08																																																						
Rs		0,00																																																						
Rc+Ru		99,71																																																						
Rc+Ru+Rg		99,79																																																						
Rb+Rs		0,19																																																						
FL (cm <sup>3</sup> )		0																																																						
Rc+Rb+Ru		99,91																																																						
AGER C	≤ 30	≤ 10			≤ 5	≥ 50		≤ 1			≤ 5																																													
4	CRA	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1		≤ 5																																													
	CRB	≤ 80				≤ 5	≥ 20	≤ 10	≤ 1		≤ 5																																													
	CRC	≤ 30				≤ 5	≥ 50	≤ 10	≤ 1		≤ 5																																													
5	MR1	≤ 30				≤ 25	≥ 70	≤ 30	≤ 1	≤ 5																																														
	MR2	Sem limite				≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																																														
	MR3	≤ 10				≤ 5	Sem limite	Sem limite	≤ 1	≤ 5																																														
6	RAP	> 30 e ≤ 100				≤ 5	≤ 40		≤ 1		≤ 5																																													
1	Concretos de ligantes hidráulicos - LNEC E 471 - 2009					4	Caminhos rurais e florestais - LNEC - E 484 - 2016																																																	
2	Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte - LNEC E 474 - 2009					5	Preenchimento de valas - LNECE 485 - 2016																																																	
3	Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)					6	Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários - LNEC E 483 - 2016																																																	
(a)A massa M1, usada na determinação das proporções relativas dos constituintes, corresponde a todo o material com partículas de dimensão superior a 4 mm e inferiores as dimensões máximas de cada material, Quadro B.1, Anexo B.																																																								
(b)A massa mínima M1 a tomar para ensaio é de 80 kg se 63 mm < Dmax ≤ 80 mm ou de 120 kg se 80 mm < Dmax ≤ 180 mm.																																																								
(c)A massa do constituinte solo (“argila e solo”), separada do resto da amostra durante o procedimento de ensaio estabelecido na NP EN 933-11, será determinada e designar-se-á por MS. Esta massa não será adicionada à dos restantes materiais incluídos na massa MX referida na NP EN 933-11.																																																								
A proporção do solo na amostra é calculada a partir da equação: RS (%) = 100 × (MS / M1 )																																																								

ANEXO C  
Quadro C.4 – Material 1 - Tijolo Fino

<b>Amostra:</b> Material 1 - Tijolo Fino (0/16)																
<b>Origem:</b>																
<b>Data da Colheita:</b> 28/10/2021																
<b>Local da Colheita:</b> Zona Industrial de Mós																
Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos materiais reciclados																
Requisitos de conformidade			Categoria													
			Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte (E 474 - 2009)			Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)			Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários (E 483 - 2016)				Caminhos rurais e florestais (E 484 - 2016)			
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	MAT1	MAT2	AGER1	AGER2	AGER3	RAP	CR1	CR2	CR3	CR4	CE/LA	PSA2/PIA	PSA1	
			B, MB e C	B e C	MB	B ou C	B ou C	B		CRA, CRB, CRC	CRA, CRB, CRC	CRB, CRC	CRC	MR3	MR1, MR2 e MR3	MR1
Geométricos e de natureza	Dimensão (EN 933-1+A1)	–	D <sub>max</sub> ≤ 150	D <sub>max</sub> <	D <sub>max</sub> <											
		EN 13285				0/31,5	0/31,5	0/31,5	0/31,5							
	Qualidade dos finos (NP EM 933-9) (2)	NP EN 933-1 (1)								D <sub>max</sub> ≤ 180 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm	D <sub>max</sub> ≤ 20 mm, se DN(9) ≤ 200 ≤ 40 mm, se 200 ≤ DN ≤ 600 ≤ 63 mm, se DN > 600(10)	D <sub>max</sub> ≤ 180 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80 mm
		EN 933-9	MB0/D < 2	MB0/D < 1	MB0/D < 1											
	Teor de finos (EN 933-1+A1)	EN 13242+A1				MB0/D ≤ 1,0	MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8							
		EN 933-9 (3)								–	MB0/D ≤ 2,0	MB0/D ≤ 2,0	MB0/D ≤ 1,0	–	–	< 2,0
	Percentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (EN 933-5)	LNEC E 196 (passado no peneiro 80 µm)	≤ 10%	≤ 10%	≤ 10%											
		EN 13285				UF9	UF9	UF9	UF9							
	Classe de granulometria (EN 933-1+A1)	NP EN 933-1 (≤ 0,063 mm)				UF9	LF2	LF2	LF2	–	≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%	–	≤ 12%
		EN 13242+A1				C50/30	C50/10	C90/3	C90/3							
Sobretamanhos (EN 933-1+A1)	EN 13285				GB	GB	GA	GP								
	EN 13285				OC75	OC80	OC85	OC75								
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação (EN 1097-2) e Resistência ao desgaste (EN 1097-1)	NP EN 1097-2 e EN 1097-1+A1	–	LA ≤ 45	MDE ≤ 45	–										
		EN 13242+A1				LA45 e MDE45 ou LA+MDE ≤ 85	LA40 e MDE40 ou LA+MDE ≤ 75	LA40 e MDE35 ou LA+MDE ≤ 70	LA40							
Químico	Teor de sulfatos solúveis em água (SS) (NP EN 1744-1) (4)	EN 1744-1	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%											
		EN 13242+A1				SS0,7	SS0,7	SS0,7	SS0,7	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%	
	NP EN 1744-1															
	EN 12457-4															
Libertação de substâncias perigosas (5)	EN 12457-4															
	EN 12697-1															
	Teor em betume															
1	Para D <sub>max</sub> nominal > 90 mm, a sua dimensão máxima deve ser determinada de acordo com o estabelecido na norma EN 13383-2.															
2	MB0/D é o valor de azul de metileno (MB) expresso em g/kg segundo a norma de ensaio EN 933-9, multiplicado pela percentagem da fracção passada no peneiro 2 mm															
3	Esta avaliação apenas deve ser realizada se o teor em finos for superior a 3%															
4	Para teores de sulfatos superiores a 0,2% ou SS > 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de concreto. Estes materiais não devem ser usados conjuntamente com tubos em concreto															
5	A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – Tabela N.º 2 da Parte B do Anexo IV do Decreto-Lei 183/2009 (Secção 2.1.2.1, da Decisão do Conselho 2003/33/CE). De referir															
9	DN = Diâmetro Nominal do tubo															
10	Os valores de D e de DN foram adaptados de FprEN 1610															

## ANEXO C

### Quadro C.5– Material 2 - Tijolo Grosso

Amostra:	Material 2 - Tijolo Grosso (10/40)
Origem:	
Data da Colheita:	28/10/2021
Local da Colheita:	Zona Industrial de Mós

Requisitos de conformidade		Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos materiais reciclados															
		Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte (E 474 - 2009)			Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)			Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários (E 483 - 2016)		Caminhos rurais e florestais (E 484 - 2016)				Preenchimento de valas (E 485 - 2016)			
		MAT1	MAT2		AGER1	AGER2	AGER3	RAP	CR1	CR2	CR3	CR4	CE/LA	PSA2/PIA	PSA1		
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	B, MB e C	B e C	MB	B ou C	B ou C	B		CRA, CRB, CRC	CRA, CRB, CRC	CRB, CRC	CRC	MR3	MR1, MR2 e MR3	MR1	
Geométricos e de natureza	Dimensão (EN 933-1+A1)	EN 13285	D <sub>max</sub> ≤ 150 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80	D <sub>max</sub> ≤ 80	0/31,5	0/31,5	0/31,5	0/31,5								
		NP EN 933-1 (1)									D <sub>max</sub> ≤ 180 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm	D <sub>max</sub> ≤ 20 mm, se DN(9) ≤ 200 ≤ 40 mm, se 200 ≤ DN ≤ 600 ≤ 63 mm, se DN > 600(10)	D <sub>max</sub> ≤ 180 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80 mm
	Qualidade dos finos (NP EM 933-9) (2)	EN 933-9	MB0/D < 2	MB0/D < 1	MB0/D < 1					MB0/D ≤ 0,8							
		EN 13242+A1				MB0/D ≤ 1,0	MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8								
	Teor de finos (EN 933-1+A1)	EN 933-9 (3)															
		LNCE E 196 (passado no peneiro 80 µm)	≤ 10%	≤ 10%	≤ 10%							MB0/D ≤ 2,0	MB0/D ≤ 2,0	MB0/D ≤ 1,0			< 2,0
	Porcentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (EN 933-5)	EN 13285				UF9	UF9	UF9	UF9	UF9							
		NP EN 933-1 (≤ 0,063 mm)										≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%	≤ 12%		≤ 12%
		EN 13242+A1				C50/30	C50/10	C90/3	C90/3								
		EN 13285				GB	GB	GA	GP								
Sobretamanhos (EN 933-1+A1)	EN 13285				OC75	OC80	OC85	OC75									
	NP EN 1097-2 e EN 1097-1+A1		LA ≤ 45	MDE ≤ 45													
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação (EN 1097-2) e Resistência ao desgaste (EN 1097-1)	EN 13242+A1			LA45 e MDE45 ou LA+MDE ≤ 85	LA40 e MDE40 ou LA+MDE ≤ 75	LA40 e MDE35 ou LA+MDE ≤ 70	LA40									
		NP EN 1097-2 e EN 1097-1+A1									LA ≤ 50	LA ≤ 45 ou MDE ≤ 45	LA ≤ 40 ou MDE ≤ 40			LA ≤ 45 e MDE ≤ 45	
Químico	Teor de sulfatos solúveis em água (SS) (NP EN 1744-1) (4)	EN 1744-1	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%												
		EN 13242+A1				SS0,7	SS0,7	SS0,7	SS0,7								
	NP EN 1744-1																
	EN 12457-4																
	EN 12457-4																
Teor em betume	EN 12697-1																
	EN 12697-1																

1 Para D<sub>max</sub> nominal > 90 mm, a sua dimensão máxima deve ser determinada de acordo com o estabelecido na norma EN 13383-2.  
2 MB0/D é o valor de azul de metileno (MB) expresso em g/kg segundo a norma de ensaio EN 933-9, multiplicado pela percentagem da fracção passada no peneiro 2 mm.  
3 Esta avaliação apenas deve ser realizada se o teor em finos for superior a 3%.  
4 Para teores de sulfatos superiores a 0,2% ou SS > 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de concreto. Estes materiais não devem ser usados conjuntamente com tubos em concreto.  
5 A classificação baseia-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – Tabela N.º 2 da Parte B do Anexo IV do Decreto-Lei 183/2009 (Secção 2.1.2.1, da Decisão do Conselho 2003/33/CE). De referir que, caso seja possível verificar que os materiais provenientes de RCD cumprem as  
9 DN = Diâmetro Nominal do tubo  
10 Os valores de D e de DN foram adaptados de FprEN 1610

## ANEXO C

### Quadro C.6 – Material 3 - Tout Venant

Amostra:	Material 3 - Tout Venant (0/40)
Origem:	
Data da Colheita:	28/10/2021
Local da Colheita:	Zona Industrial de Mós

Requisitos de conformidade		Propriedades e requisitos mínimos de conformidade dos materiais reciclados																
		Em aterro e camada de leito de infra-estruturas de transporte (E 474 - 2009)			Camadas não ligadas de pavimentos (E 473 - 2009)			Agregado betuminoso para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários (E 483 - 2016)	Caminhos rurais e florestais (E 484 - 2016)				Preenchimento de valas (E 485 - 2016)					
		MAT1	MAT2		AGER1	AGER2	AGER3	RAP	CR1	CR2	CR3	CR4	CE/LA	PSA2/PIA	PSA1			
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	B, MB e C	B e C	MB	B ou C	B ou C	B		CRA, CRB, CRC	CRA, CRB, CRC	CRB, CRC	CRC	MR3	MR1, MR2 e MR3	MR1		
Geométricos e de natureza	Dimensão (EN 933-1+A1)	-	D <sub>max</sub> ≤ 150 mm															
		EN 13285				0,31,5	0,31,5	0,31,5	0,31,5									
	Qualidade dos finos (NP EM 933-9) (2)	NP EN 933-1 (1)													D <sub>max</sub> ≤ 180 mm	D <sub>max</sub> ≤ 80 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm	D <sub>max</sub> ≤ 40 mm
		EN 933-9		MB0/D < 2	MB0/D < 1	MB0/D < 1												
		EN 13242+A1					MB0/D ≤ 1,0	MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8	MB0/D ≤ 0,8								
	Teor de finos (EN 933-1+A1)	EN 933-9 (3)																
		EN 933-9 (3)																
	Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação (EN 1097-2) e Resistência ao desgaste (EN 1097-1)	LNEC E 196 (passado no peneiro 80 µm)		≤ 10%	≤ 10%	≤ 10%											
			EN 13285				UF9	UF9	UF9	UF9								
		NP EN 933-1 (≤ 0,063 mm)																
EN 13242+A1					C50/30	C50/10	C90/3	C90/3										
EN 13285					GB	GB	GA	GP										
Químico	Teor de sulfatos solúveis em água (SS) (NP EN 1744-1) (4)	EN 13285				OC75	OC80	OC85	OC75									
		EN 13285																
	Libertação de substâncias perigosas (5)	NP EN 1097-2 e EN 1097-1+A1			LA ≤ 45	MDE ≤ 45												
		EN 13242+A1				LA45 e MDE45 ou LA40 e MDE40 ou LA+MDE ≤ 85	LA40 e MDE45 ou LA+MDE ≤ 75	LA40 e MDE35 ou LA+MDE ≤ 70	LA40									
		NP EN 1097-2 e EN 1097-1+A1																
		EN 1744-1		≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%												
		EN 13242+A1					SS0,7	SS0,7	SS0,7	SS0,7								
		NP EN 1744-1																
		EN 12457-4																
		EN 12457-4																
		EN 12697-1																

1 Para D<sub>max</sub> nominal > 90 mm, a sua dimensão máxima deve ser determinada de acordo com o estabelecido na norma EN 13383-2,  
2 MB0/D é o valor de azal de melileno (MB) expresso em g/kg segundo a norma de ensaio EN 933-9, multiplicado pela percentagem da fracção passada no peneiro 2 mm  
3 Esta avaliação apenas deve ser realizada se o teor em finos for superior a 3%  
4 Para teores de sulfatos superiores a 0,2% ou SS > 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de concreto. Estes materiais não devem ser usados conjuntamente com tubos em concreto  
5 A classificação básica-se apenas nos resultados do ensaio de lixiviação para L/S = 10 l/kg – Tabela N.º 2 da Parte B do Anexo IV do Decreto-Lei 183/2009 (Secção 2.1.2.1, da Decisão do Conselho 2003/33/CE). De referir que, caso seja possível verificar que os materiais provenientes de RCD cumprem as  
9 DN = Diâmetro Nominal do tubo  
10 Os valores de D e de DN foram adaptados de FprEN 1610